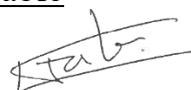


**Mémoire présenté le :
pour l'obtention du diplôme
de Statisticien Mention Actuariat
et l'admission à l'Institut des Actuaires**

Par : Madame BOUCHE Nina	
Titre du mémoire : L'impact de l'agrégation des données sur différents indicateurs (commissions, BE, SCR, ...) en assurance emprunteur.	
Confidentialité : <input type="checkbox"/> NON <input checked="" type="checkbox"/> OUI (Durée : <input type="checkbox"/> 1 an <input checked="" type="checkbox"/> 2 ans)	
Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus.	
<u>Membres présents du jury de la filière :</u>	Signature : <u>Entreprise :</u> Nom : GALEA & Associés GALEA & Associés 25 rue de Choiseul 75002 PARIS Tél. 01 43 22 11 11 R.C.S. Paris - 492 379 839 Signature : 
<u>Membres présents du jury de l'Institut des Actuaires :</u>	Signature : <u>Directeur de mémoire en entreprise</u> Nom : COGREL Nathanael Signature : 
	<u>Invité :</u> Nom : Signature :
	Autorisation de publication et de mise en ligne sur un site de diffusion de documents actuariels (après expiration de l'éventuel délai de confidentialité) <u>Signature du responsable entreprise :</u>  <u>Signature du candidat :</u> 

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent à Monsieur Norbert GAUTRON, Président de GALEA & Associés, pour m'avoir accueillie et m'avoir donné la possibilité d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de son cabinet.

Ceux-ci s'étendent également à tous mes collègues, à la fois pour leur accueil, leur gentillesse et leurs explications qui m'ont permise de mener à bien mes missions.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Monsieur Nathanael COGREL, mon responsable de stage, pour ses conseils, son suivi régulier, sa gentillesse, ses relectures ainsi que tout le temps qu'il m'a accordé pendant toute la durée de mon alternance, ce qui m'a permis de mener à bien l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie également Monsieur Léonard FONTAINE, associé au sein de GALEA & Associés, pour ses relectures et ses conseils avisés lors de la construction de cette étude.

À toute l'équipe pédagogique de l'Institut de Statistique de Sorbonne Université, et notamment à Monsieur Guillaume BIESSY, mon responsable pédagogique, mes sincères remerciements pour m'avoir formée durant ces années et m'avoir permis d'acquérir les connaissances théoriques nécessaires à ma carrière professionnelle.

Sans oublier ma famille, qui m'a apporté un soutien sans faille tout au long de mes études et mon amie, Inès Guérin, pour ses relectures attentives.

RÉSUMÉ

Mots clés : Assurance Emprunteur, Solvabilité 2, Solvency Capital Requirement [SCR], Best Estimate [BE], Agrégation des données, Garantie Décès, Garantie Arrêt de Travail.

Le secteur de l'assurance est confronté à une augmentation de la taille des bases de données et à une augmentation des calculs requis, engendrés par la directive "*Solvabilité 2*", comme le Best Estimate et le Solvency Capital Requirement. Ainsi, l'agrégation des données devient indispensable pour calculer dans des temps raisonnables ces deux notions.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'impact de l'agrégation des données en assurance emprunteur sur les indicateurs suivants : primes, charges de sinistres, commissions, Best Estimate, SCR Vie et SCR Santé.

Mesurer l'impact de l'agrégation par rapport aux résultats des données réelles est primordial. Dans ce but et par soucis de confidentialité, trois types de portefeuilles emprunteurs ont été simulés à partir de données clients. Pour ce faire la méthode NORTA a été utilisée ; elle nécessite les distributions marginales et la matrice de corrélation des variables des bases réelles. Une fois établies, huit méthodes d'agrégation ont été appliquées aux données.

Une méthode avec un taux de compression de plus de 97% a obtenu des résultats précis. Par ailleurs, il est ressorti de l'étude que d'avoir un taux de compression élevé ne signifie pas forcément que les résultats seront moins proches de la réalité.

Le sujet se trouve essentiellement sur le choix de l'agrégation, en fonction de la précision souhaitée, mais aussi de ce que calcule l'assureur, ce qui peut faire évoluer l'exactitude des techniques de regroupement. Un gain de temps conséquent peut être fait, essentiellement, lors de l'application des différents chocs pour le calcul du SCR.

ABSTRACT

Keywords : Loan Insurance, Solvency 2, Solvency Capital Requirement [SCR], Best Estimate [BE], Data aggregation, Death guarantee, Work stoppage guarantee.

Nowadays the insurance industry is facing unparalleled challenges as databases and computations become more and more complex, in particular with the " *Solvency 2* " directive which requires the calculation of the Best Estimate and the Solvency Capital Requirement. Thus, the aggregation of data becomes necessary to calculate efficiently these two concepts.

The goal of this thesis is to study the impact, in the loan insurance sector, of the aggregation of the data upon the following indicators : premiums, claims expenses, commissions, Best Estimate, Life SCR and Health SCR.

Measuring the impact of aggregation on the results with real data is crucial. To this end and to ensure confidentiality, three types of loan portfolios were simulated using client data. To achieve this, the NORTA method was used ; it requires the marginal distributions and the correlation matrix of the variables of the real databases. Once established, eight aggregation methods were applied to the data.

A method with a compression rate of more than 97% obtained accurate results. The study also showed that having a high compression rate doesn't necessarily mean that the results will be less accurate.

The issue is essentially about the choice of aggregation, depending on the desired accuracy, but also on what the insurer calculates, which can change the accuracy of the aggregation techniques. The computation time can be optimized mainly during the application of the different shocks for the calculation of the SCR.

SYNTHÈSE

Le secteur de l'assurance est confronté à une augmentation de la taille des bases de données, ce qui implique une durée de calculs plus importante et ce notamment, pour de nombreux indicateurs de la directive " *Solvabilité 2*". Par exemple, le Best Estimate [BE], qui correspond à la valeur actuelle probable des flux de trésorerie futurs ou encore le Solvency Capital Requirement [SCR], un indicateur de solvabilité de l'assureur défini dans la directive. De ce fait, l'agrégation des données est une stratégie permettant de rendre ces processus plus rapides et efficaces.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'impact de l'agrégation des données sur différents indicateurs (commissions, BE, SCR, ...) en assurance emprunteur.

Dans ce but et par soucis de confidentialité, trois types de portefeuilles emprunteurs ont été simulés à partir de données clients. Pour ce faire, la méthode NORTA a été utilisée. Cette dernière nécessite l'obtention des distributions marginales des variables de la base réelle et de leurs paramètres. Il est également essentiel de calculer la matrice représentative des corrélations entre les variables des bases réelles.

Ainsi, pour les données du portefeuille initial et à l'aide de ces informations, la méthode NORTA offre une modélisation basée sur une distribution multidimensionnelle. Cette distribution s'ajuste de manière pertinente aux données, tout en respectant la dépendance existante entre ces dernières.

Les portefeuilles fictifs obtenus ont les caractéristiques suivantes :

- Portefeuille 1 : Un portefeuille stable composé à 20% de contrats emprunteurs à la consommation et à 80% de contrats immobiliers ;
- Portefeuille 2 : Un portefeuille stable composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers ;
- Portefeuille 3 : Un portefeuille en run-off depuis 2012 composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers.

Ces trois bases alors obtenues, différentes méthodes ont été mises en place afin d'agrèger ces données simulées. L'objectif premier étant d'étudier l'impact des techniques de regroupement dans un cadre précis d'utilisation, sans prétendre qu'il n'en existe pas de meilleures. De ce fait, les stratégies d'associations sont choisies par expérience, en diversifiant les variables d'agrégation de la base et sont appliquées aux trois portefeuilles.

Le tableau suivant résume toutes les caractéristiques de ces stratégies de regroupement.

	Date de naissance	Date de souscription	Durée initiale du prêt	Capital initial x quotité (Cixqte)	Taux d'intérêt	Taux de cotisation
Méthode 1	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 2	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 3	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 4	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 5	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Agrégée par la durée initiale du prêt	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 6	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le capital initial multiplié par la quotité	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 7	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le taux de cotisation
Méthode 8	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Agrégée par le taux d'intérêt	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte

Un outil Excel / VBA est mis en place afin de projeter les flux et de modéliser la garantie décès (DC) et arrêt de travail (AT) dans le cadre de "Solvabilité 1" et de "Solvabilité 2". Il permet également d'obtenir le compte de résultat et donc de calculer les indicateurs suivants : les primes, les charges de sinistres et les commissions.

En complément, les indicateurs de "Solvabilité 2" ont également été calculés :

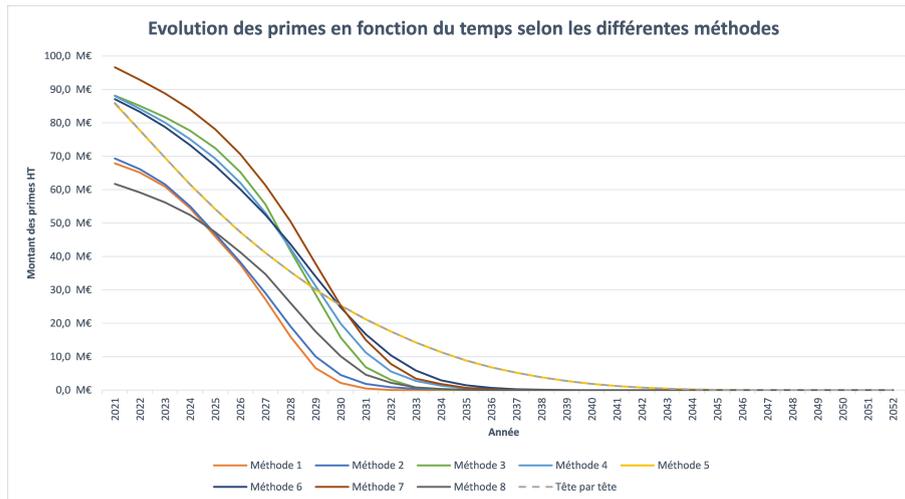
- BE Total;
- SCR Vie, les chocs appliqués sont : mortalité/ longévité/ invalidité-morbidité/ dépense/ révision/ cessation/ catastrophe;
- SCR Santé SLT, les chocs appliqués sont : mortalité/ longévité/ invalidité-morbidité/ dépense/ révision/ cessation.

Les études suivantes ont permis de visualiser l'impact de l'agrégation des données sur les différents indicateurs sélectionnés préalablement. Ci-dessous se trouvent les résultats obtenus ainsi que les graphiques de l'évolution des primes et le graphique donnant le montant du Best Estimate total, du SCR Vie et du SCR Santé SLT pour les différents portefeuilles :

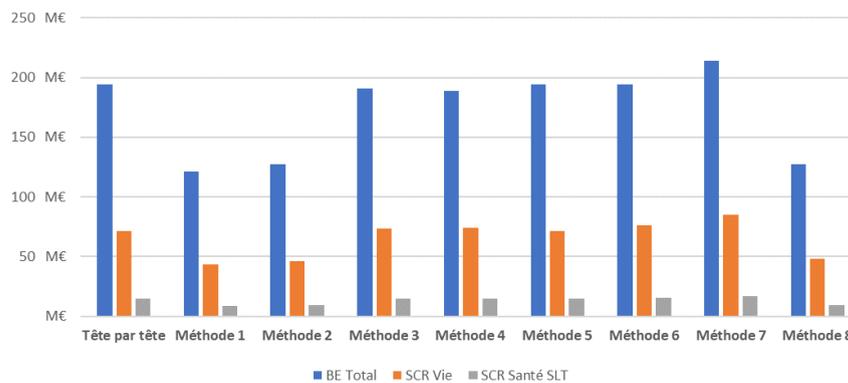
Portefeuille 1

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	976	11 898	976	11 898	3 387	5 426	5 608	4 896
Temps	44h13	0h17	3h30	0h17	3h30	0h59	1h35	1h39	1h26
Taux de compression		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%
Ecarts VAP Primes		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-33,2%	-30,6%	-10,7%	-10,4%	0,0%	-9,9%	-4,0%	-35,9%
Ecarts VAP Com. Tot.		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Ecarts BE Total		-37,5%	-34,5%	-1,8%	-2,8%	-0,1%	-0,1%	10,1%	-34,3%
Ecarts SCR Vie		-39,0%	-35,9%	2,3%	3,0%	-0,1%	5,9%	18,4%	-32,9%
Ecarts SCR Santé SLT		-42,6%	-38,3%	-0,2%	-1,4%	0,0%	3,0%	15,6%	-35,0%

Exemple de lecture du tableau : Le taux de compression de la méthode 1 pour le portefeuille 1 est de 99,3%. L'écart entre la valeur actuelle probable réelle et celle obtenue par la stratégie d'agrégation 1 pour l'indicateur des primes est de -38,5%.

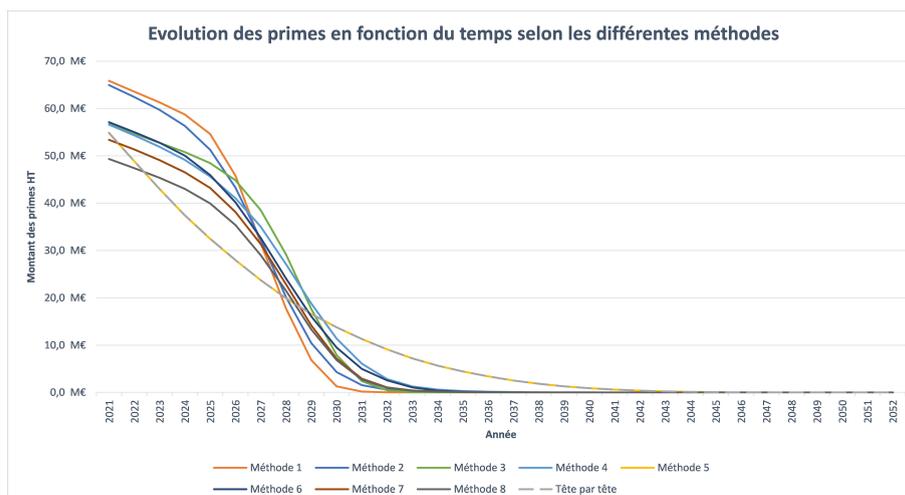


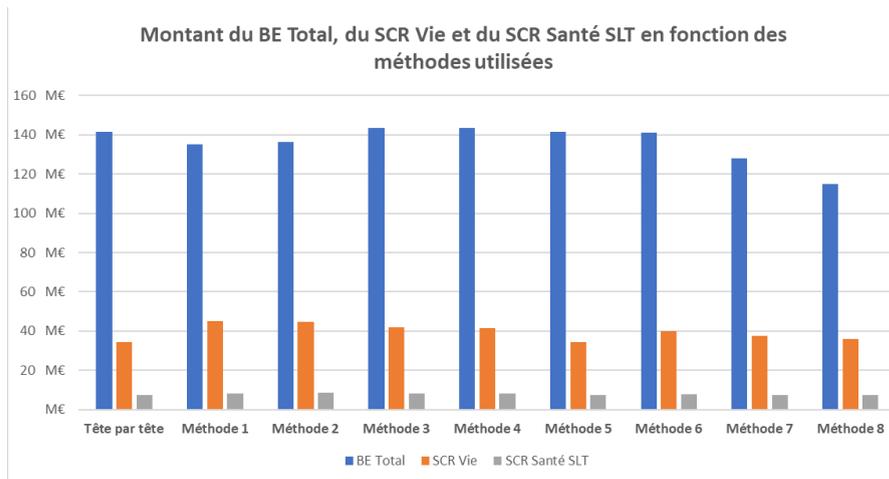
Montant du BE Total, du SCR Vie et du SCR Santé SLT en fonction des méthodes utilisées



Portefeuille 2

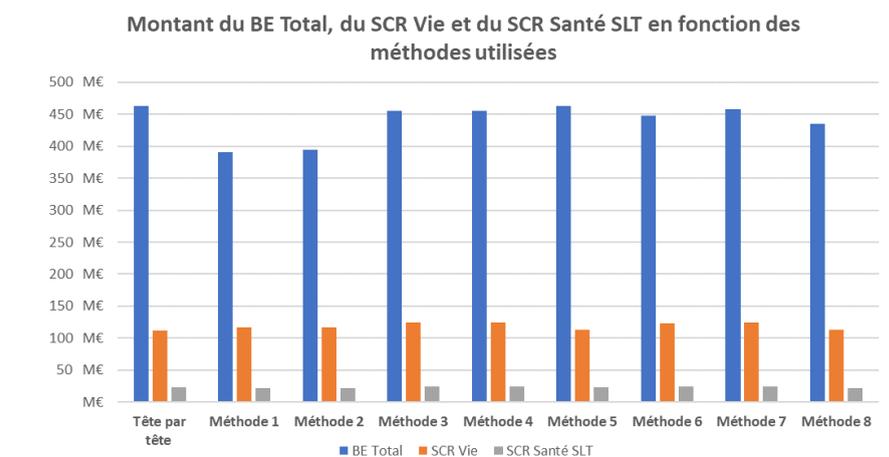
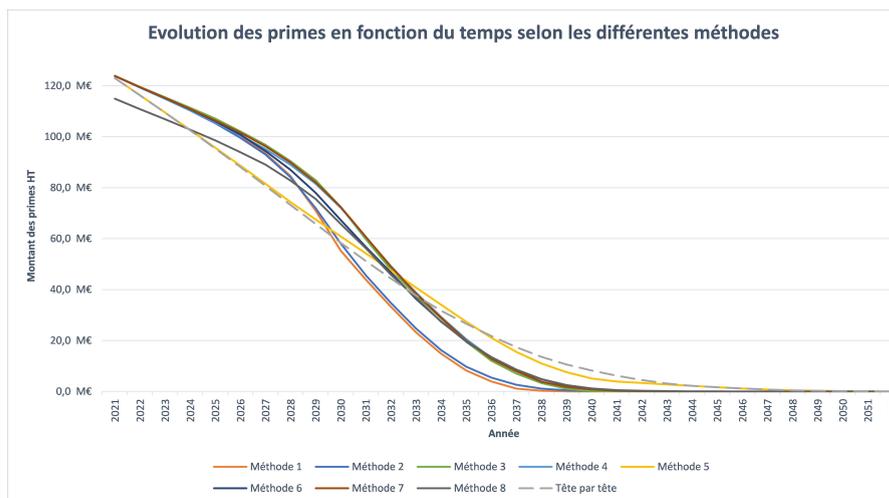
	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	1 152	13 183	1 152	13 183	4 133	6 512	6 132	5 620
Temps	44h13	0h20	3h53	0h20	3h53	1h13	1h55	1h48	1h39
Taux de compression		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%
Ecarts VAP Primes		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-29,4%	-26,9%	-12,3%	-11,7%	-0,1%	-11,7%	-22,2%	-35,1%
Ecarts VAP Com. Tot.		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecarts BE Total		-4,7%	-3,7%	1,4%	1,3%	-0,1%	-0,3%	-9,5%	-18,9%
Ecarts SCR Vie		30,3%	29,1%	21,5%	20,1%	-0,1%	16,3%	8,5%	3,8%
Ecarts SCR Santé SLT		15,5%	15,9%	10,4%	10,5%	0,1%	6,8%	-0,2%	-0,3%





Portefeuille 3

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	848	9 506	848	9 506	2 824	4 652	4 625	4 009
Temps	44h13	0h15	2h48	0h15	2h48	0h49	1h22	1h21	1h10
Taux de compression		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%
Ecarts VAP Primes		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-29,4%	-28,4%	-10,1%	-10,8%	-0,7%	-12,1%	-9,3%	-10,5%
Ecarts VAP Com. Tot.		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecarts BE Total		-15,6%	-14,7%	-1,5%	-1,6%	0,0%	-3,3%	-1,0%	-5,8%
Ecarts SCR Vie		4,2%	5,1%	11,3%	11,9%	1,0%	9,9%	11,3%	1,5%
Ecarts SCR Santé SLT		-5,7%	-4,1%	3,6%	4,4%	0,5%	2,1%	4,0%	-4,1%



D'après ces résultats, les méthodes 3 et 4 sont meilleures que les méthodes 1 et 2, il est ainsi plus intéressant d'effectuer les calculs par pondération par le capital initial multiplié par la quotité.

Ensuite, l'agrégation par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* (méthode 5) donne les meilleurs résultats avec des écarts au réel inférieurs ou égaux à 0,7% et ce pour tous les portefeuilles et tous les indicateurs. De plus, les analyses graphiques prouvent qu'elle permet d'obtenir une allure identique à la courbe réelle pour tous les calculs effectués. Il est possible, avec un taux de compression de plus de 97%, d'avoir une précision quasiment parfaite.

Cette méthode, bien que présentant un taux de compression plus élevé que les techniques d'association 2, 4, 6, 7 et 8, est la seule qui se démarque par ses résultats. Ainsi, un nombre de *model points* plus réduit n'implique pas nécessairement des résultats moins proches de la réalité.

De plus, l'adéquation d'une agrégation peut varier selon le portefeuille simulé utilisé. Par exemple, la méthode 8 qui utilise comme variable d'agrégation le *taux d'intérêt du prêt* donne de moins bons résultats pour les portefeuilles 1 et 2 que pour le portefeuille 3. En effet, l'écart de VAP pour le calcul des primes est, respectivement, de -33,6%, -8,8% et -3,2%. Le portefeuille 1 possède des prêts à la consommation et immobiliers donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors de l'agrégation par le taux d'intérêt. A l'inverse, le portefeuille 2 ne possède pas de prêts de courtes durées car il est constitué uniquement de prêts immobiliers. Le portefeuille 3 est constitué de prêts immobiliers et est en run-off depuis 2012 donc l'écart entre les durées initiales des prêts qui le compose est encore plus petit. Au vu de l'importance de la durée initiale du prêt dans les regroupements, il est évident que c'est ce qui implique que pour la méthode 8 le portefeuille 3 donne de meilleurs résultats que le portefeuille 2 qui lui-même admet des écarts plus petits que pour le portefeuille 1.

En outre, pour la plupart des méthodes, bien que la VAP calculée pour les différents indicateurs soit très proche de la VAP du tête par tête, les analyses graphiques montrent que les représentations des méthodes d'agrégation ne suivent pas l'allure de la courbe réelle. Elles restent cependant pertinentes dans le cas d'un assureur qui souhaite un résultat pour une année de projection précise. Cela peut également faire évoluer la décision sur la stratégie à choisir.

Le sujet se trouve essentiellement sur le choix de l'agrégation en fonction, d'une part de la précision souhaitée, mais aussi de ce que cherche à calculer l'assureur.

Malgré tout, un gain de temps conséquent peut être fait. Essentiellement, lors de l'application des différents chocs pour le calcul du SCR dans le cadre des réglementations imposées par "*Solvabilité 2*". En effet, ces calculs impliquent un temps de calcul neuf fois supérieur. Dans ce contexte, il est alors incontestable que la recherche d'une méthode d'agrégation efficace est essentielle.

Attention, ces résultats ne peuvent être généralisés sans une étude plus approfondie du portefeuille de travail. En effet, la réalisation de ce mémoire repose sur certaines hypothèses de simplification et sur un choix non exhaustif d'indicateurs. De plus, seuls trois portefeuilles spécifiques ont été analysés ici.

Par ailleurs, l'objectif étant d'analyser l'impact général de l'agrégation des données, les méthodes appliquées ont été choisies aléatoirement et sont relatives aux données traitées. En perspective d'une généralisation, il pourrait être pertinent d'effectuer des tests préalables, afin de sélectionner les méthodes d'agrégation. Enfin, aucune variable qualitative n'a été utilisée dans les agrégations effectuées, cela aurait pu mener à une analyse différente.

SYNTHESIS

As the size of the insurance databases increase, many indicators introduced by the “*Solvency 2*” directive, indicators which are estimated regularly, require longer computation time. For example, two of these indicators are the Best Estimate (BE), which corresponds to the probable present value of future cash flows, and the Solvency Capital Requirement (SCR), an indicator of the insurer’s solvency defined in the directive. Therefore, data aggregation is a strategy to make these processes faster and more efficient.

The goal of this thesis is to study the impact, in the loan insurance sector, of the aggregation of the data upon different indicators (commissions, Best Estimate, SCR...).

To this end and to ensure confidentiality, three types of borrowers portfolios were simulated using client data. To do this, the NORTA method was used. This method requires to obtain the marginal distributions of the variables of the real base and their parameters. It is also essential to calculate the matrix representing the correlations between the variables of the real bases.

Thus, for the initial portfolio data and thanks to this information, the NORTA method offers a model based on a multidimensional distribution. This distribution fits the data in a relevant way, while respecting the existing dependence.

The resulting simulated portfolios have the following characteristics :

- Portfolio 1 : A stable portfolio made up of 20% consumer loans and 80% real estate loans ;
- Portfolio 2 : A stable portfolio composed of 100% real estate loans contracts ;
- Portfolio 3 : A portfolio in run-off since 2012 composed of 100% real estate loans contracts.

With these three bases obtained, different methods were implemented to aggregate these simulated data. The goal was to study the impact of the aggregation techniques in a specific framework, without claiming that there are no better ones. Therefore, the association strategies are chosen by experimentation, by diversifying the aggregation variables of the database and are applied to the three portfolios.

The following table summarizes all the characteristics of these clustering strategies.

	Date of birth	Date of subscription	Initial term of the loan	Initial capital x Percentage (ICxPer)	Interest rate	Contribution rate
Method 1	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Calculated by average	Calculated by average	Calculated by average	Calculated by average
Method 2	Aggregated by month and year of birth	Aggregated by month and year of subscription	Calculated by average	Calculated by average	Calculated by average	Calculated by average
Method 3	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated by average	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated as a weighted average by the ICxPer
Method 4	Aggregated by month and year of birth	Aggregated by month and year of subscription	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated by average	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated as a weighted average by the ICxPer
Method 5	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Aggregated by the initial loan term	Calculated by average	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated as a weighted average by the ICxPer
Method 6	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Aggregated by the initial capital multiplied by the percentage	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated as a weighted average by the ICxPer
Method 7	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated by average	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Aggregated by contribution rate
Method 8	Aggregated by year of birth	Aggregated by year of subscription	Calculated as a weighted average by the ICxPer	Calculated by average	Aggregated by interest rate	Calculated as a weighted average by the ICxPer

An Excel / VBA tool has been set up to project the flows and to model the death and work stoppage cover within the "Solvency 1" and "Solvency 2" frameworks. It also allows to obtain the profit and loss account and thus to calculate the following indicators.

- Premiums;
- Losses and loss adjustment expenses;
- Commissions.

In addition, the "Solvency 2" indicators were also calculated :

- Total BE;
- Life SCR, the shocks applied are : mortality, longevity, disability, morbidity, expense, revision, lapse, catastrophe;
- SCR Health SLT, the shocks applied are : mortality, longevity, disability, disability-morbidity, expense, revision, lapse.

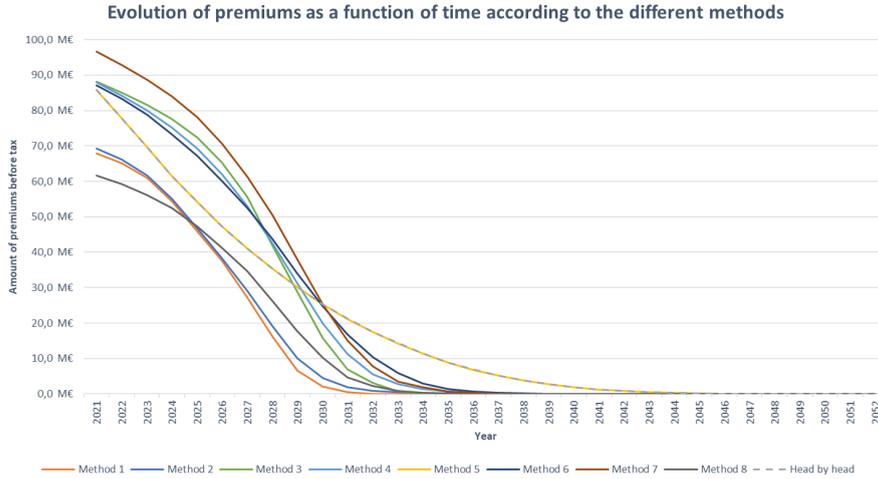
The following studies made possible the visualization of the impact of data aggregation on the different indicators selected beforehand. Below are the results obtained as well as the graphs of the evolution of premiums and the graph showing the total Best Estimate, the Life SCR and the SCR Health SL for the different portfolios :

Portfolio 1

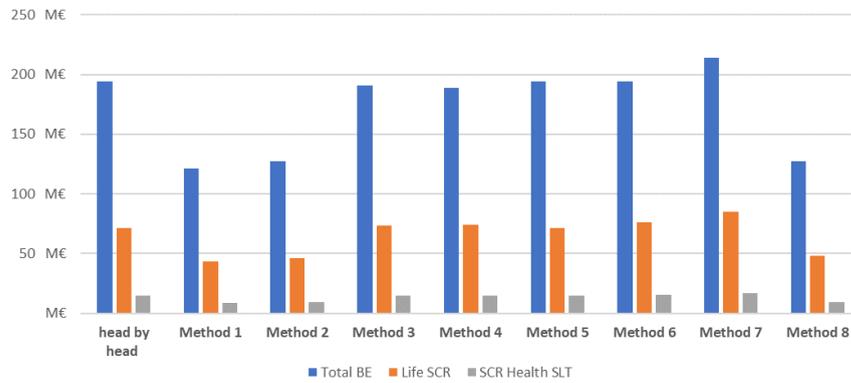
	Head by head	Method 1	Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	Method 6	Method 7	Method 8
Number of lines	150 000	976	11 898	976	11 898	3 387	5 426	5 608	4 896
Times	44h13	0h17	3h30	0h17	3h30	0h59	1h35	1h39	1h26
Compression ratio		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%
Premiums EPV variations		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Losses & loss adj. exp. EPV var.		-33,2%	-30,6%	-10,7%	-10,4%	0,0%	-9,9%	-4,0%	-35,9%
Tot. Commissions EPV variations		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Total BE variations		-37,5%	-34,5%	-1,8%	-2,8%	-0,1%	-0,1%	10,1%	-34,3%
Life SCR variations		-39,0%	-35,9%	2,3%	3,0%	-0,1%	5,9%	18,4%	-32,9%
SCR Health SLT variations		-42,6%	-38,3%	-0,2%	-1,4%	0,0%	3,0%	15,6%	-35,0%

*EPV = Expected Present Value

How to read the table : for instance, the compression rate of method 1 for portfolio 1 is 99,3%. The difference between the real expected present value and the one obtained by the aggregation strategy 1 for the premiums indicator is -38,5%.

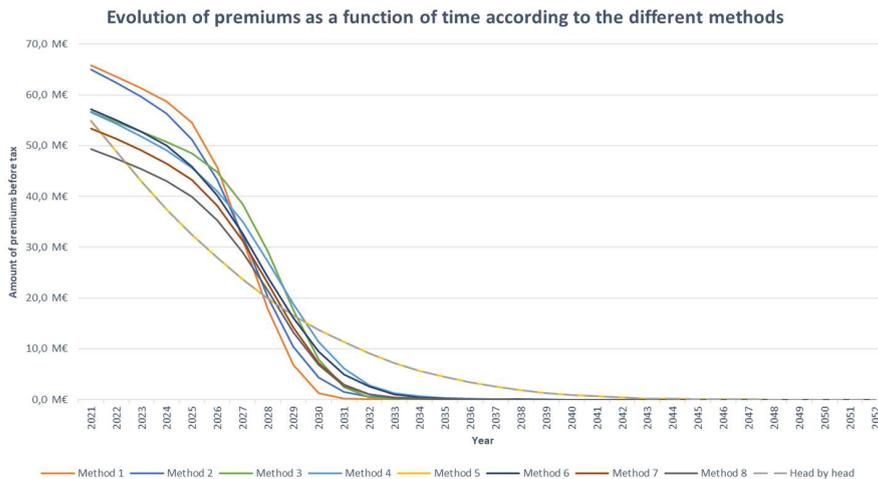


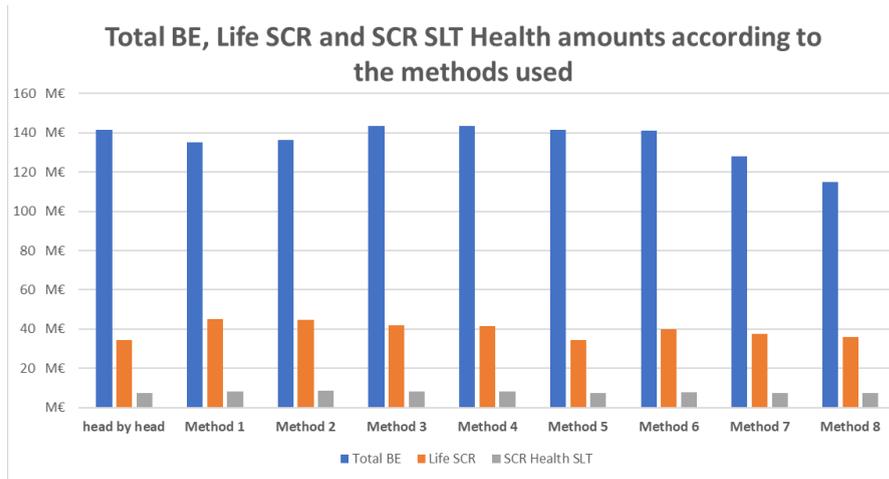
Total BE, Life SCR and SCR SLT Health amounts according to the methods used



Portfolio 2

	Head by head	Method 1	Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	Method 6	Method 7	Method 8
Number of lines	150 000	1 152	13 183	1 152	13 183	4 133	6 512	6 132	5 620
Times	44h13	0h20	3h53	0h20	3h53	1h13	1h55	1h48	1h39
Compression ratio		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%
Premiums EPV variations		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Losses & loss adj. exp. EPV var.		-29,4%	-26,9%	-12,3%	-11,7%	-0,1%	-11,7%	-22,2%	-35,1%
Tot. Commissions EPV variations		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Total BE variations		-4,7%	-3,7%	1,4%	1,3%	-0,1%	-0,3%	-9,5%	-18,9%
Life SCR variations		30,3%	29,1%	21,5%	20,1%	-0,1%	16,3%	8,5%	3,8%
SCR Health SLT variations		15,5%	15,9%	10,4%	10,5%	0,1%	6,8%	-0,2%	-0,3%

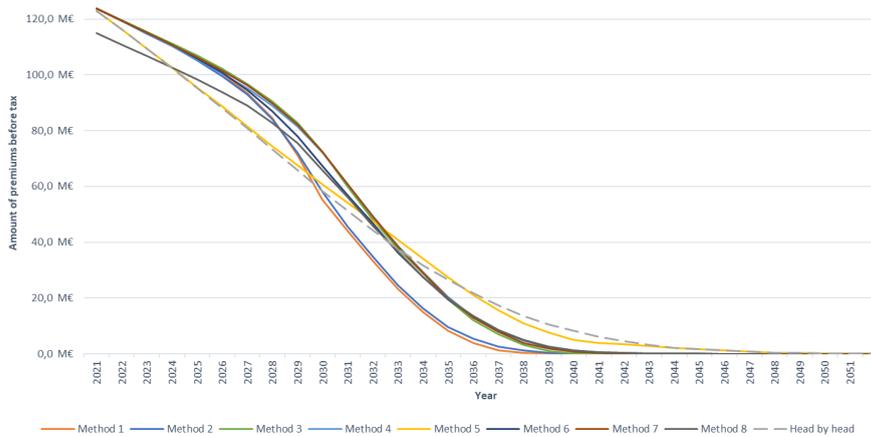




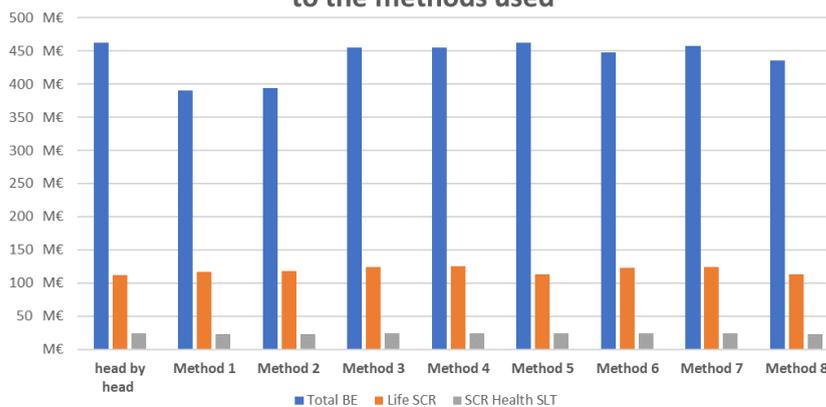
Portfolio 3

	Head by head	Method 1	Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	Method 6	Method 7	Method 8
Number of lines	150 000	848	9 506	848	9 506	2 824	4 652	4 625	4 009
Time	44h13	0h15	2h48	0h15	2h48	0h49	1h22	1h21	1h10
Compression ratio		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%
Premiums EPV variations		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Losses & loss adj. exp. EPV var.		-29,4%	-28,4%	-10,1%	-10,8%	-0,7%	-12,1%	-9,3%	-10,5%
Tot. Commissions EPV variations		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Total BE variations		-15,6%	-14,7%	-1,5%	-1,6%	0,0%	-3,3%	-1,0%	-5,8%
Life SCR variations		4,2%	5,1%	11,3%	11,9%	1,0%	9,9%	11,3%	1,5%
SCR Health SLT variations		-5,7%	-4,1%	3,6%	4,4%	0,5%	2,1%	4,0%	-4,1%

Evolution of premiums as a function of time according to the different methods



Total BE, Life SCR and SCR SLT Health amounts according to the methods used



According to these results, methods 3 and 4 are better than methods 1 and 2, so it is more interesting to perform the calculations by weighting by the initial capital multiplied by the proportion.

Then, the aggregation by the variables *year of birth*, *year of subscription* and *initial duration of the loan* (method 5) gives the best results with deviations from the real values less than or equal to 0,7% for all the portfolios and all the indicators. Moreover, the graphical analyses prove that it allows us to obtain a curve identical to the real curve for all the calculations carried out. It is possible with a compression rate of more than 97% to have a nearly perfect accuracy.

This method, although it has a higher compression rate than the association techniques 2, 4, 6, 7 and 8, is the only one that stands out in terms of results. Thus, a smaller number of *model points* does not necessarily mean that the results are less accurate.

In addition, the adequacy of an aggregation may vary depending on the simulated portfolio used. For example, method 8, which uses the *loan interest rate* as the aggregation variable, gives worse results for portfolio 1 and 2 than for portfolio 3. In fact, the difference in PVP for the calculation of premiums is -33,6%, -8,8% and - 3,2% respectively. Portfolio 1 has consumer and real estate loans, and therefore with very different loan durations, which can be grouped together when aggregated by interest rate. In contrast, portfolio 2 has no short-term loans as it is made up solely of real estate loans. Portfolio 3 is made up of real estate loans and has been in run-off since 2012, so the gap between the initial durations of the loans that make it up are long and close to each other. Given the importance of the initial loan duration in the groupings, it is obvious that this is what explains that the results obtained for method 8, portfolio 3 are better than those on portfolio 2 which itself admits smaller spreads than for portfolio 1.

Moreover, for most methods, although the expected present value (EPV) calculated for the different indicators is very close to the EPV of the head per head, the graphical analyses show that the representations of the aggregation methods do not follow the course of the real curve. They remain relevant in the case of an insurer who wants a result for a precise projection year. This can also help the decision on the strategy to choose.

The subject is essentially about the choice of aggregation according to the desired precision on the one hand, but also according to what the insurer wants to calculate on the other hand.

Nevertheless, a significant amount of time can be saved. Essentially, when applying the various shocks for the calculation of the SCR in the context of the regulations imposed by "*Solvency 2*". Indeed, these calculations imply a calculation time nine times higher. In this context, it is undeniable that the search for an efficient aggregation method is essential.

It should be noted that these results cannot be generalized without a more in-depth study of the portfolio. Indeed, the realization of this thesis is based on certain simplifying assumptions and on a non-exhaustive choice of indicators. Moreover, only three specified portfolios have been analysed here.

Moreover, since the objective is to analyse the general impact of data aggregation, the methods applied were chosen randomly and are relative to the date processed. In view of generalization, it could be relevant to carry out preliminary tests in order to select the aggregation methods. Finally, no qualitative variables were used in the aggregations performed, which could have led to a different analysis.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	2
ABSTRACT	3
SYNTHÈSE	4
SYNTHESIS	9
INTRODUCTION	17
1 L'Assurance Emprunteur	19
1 Principes généraux de l'assurance emprunteur	19
1.1 Les principales caractéristiques de l'assurance des emprunteurs	19
1.1.1 Définition	19
1.1.2 Les principaux intervenants	19
1.1.3 Les différentes catégories de prêts	20
1.2 Présentation des différentes garanties et des différents types de contrats	21
1.2.1 Les garanties de l'assurance emprunteur	21
1.2.2 Différences entre contrat collectif et contrat individuel	24
1.3 Tarification	27
1.3.1 Les principes généraux de tarification	27
1.3.2 Sélection médicale	27
2 Le marché de l'assurance emprunteur : le contexte économique et les évolutions réglementaires	28
2.1 Quelques chiffres sur l'assurance emprunteur	28
2.2 Évolutions réglementaires spécifiques à l'assurance emprunteur	29
2.2.1 Principales évolutions réglementaires	30
2.2.2 Une évolution ralentie par des organismes prêteurs réticents	31
2.2.3 Des évolutions positives pour les consommateurs	31
2.3 Évolutions réglementaires assurantielles	33
2.3.1 Le référentiel solvabilité 1	33
2.3.2 Le cadre prudentiel de Solvabilité 2	34
2 Simulation d'un portefeuille d'assurés	39
1 Simulation des portefeuilles	39
1.1 Le processus de création des portefeuilles	39
1.1.1 Traitement des données	39
1.1.2 La distribution des variables	40
1.1.3 La corrélation	40
1.1.4 La méthode NORTA	41
1.1.5 Synthèse de la méthodologie de simulation des portefeuilles	42
1.2 Les portefeuilles choisis	42
1.2.1 Le profil des portefeuilles	43
1.3 La distribution des variables	43
1.3.1 Quelques statistiques	44

2	Méthodes d'agrégations	44
2.1	Méthode 1	45
2.2	Méthode 2	45
2.3	Méthode 3	46
2.4	Méthode 4	46
2.5	Méthode 5	47
2.6	Méthode 6	48
2.7	Méthode 7	48
2.8	Méthode 8	49
2.9	Synthèse des méthodes	49
3	Modélisation des contrats emprunteurs sous les référentiels Solvabilité 1 et Solvabilité 2	50
3.1	Le modèle	50
3.1.1	Les données	50
3.1.2	Hypothèses	51
3.1.3	Paramétrage légal	51
3.1.4	Participation aux bénéficiaires	51
3.1.5	La simulation des individus en incapacité	52
3.1.6	Le mécanisme de la projection des AT / DC sur l'outil	52
3.2	Solvabilité 1	53
3.2.1	Provisions	53
3.2.2	Compte de résultat	56
3.3	Solvabilité 2	56
3.3.1	Le Best Estimate	57
3.3.2	Le SCR Vie	57
3.3.3	Le SCR Santé SLT	59
3	Comparaison des méthodes et analyse des résultats	61
1	Rappel des portefeuilles et des méthodes	61
2	Portefeuille 1	62
2.1	Temps de calculs	62
2.2	Primes	62
2.3	Charge de sinistres	64
2.4	Commissions	66
2.5	Best Estimate	67
2.6	SCR Vie	68
2.7	SCR Santé	69
2.8	Conclusion	70
3	Portefeuille 2	71
3.1	Temps de calculs	71
3.2	Primes	72
3.3	Charge de sinistres	74
3.4	Commissions	75
3.5	Best Estimate	76
3.6	SCR Vie	77
3.7	SCR Santé	78
3.8	Conclusion	79
4	Portefeuille 3	81

4.1	Temps de calculs	81
4.2	Primes	81
4.3	Charge de sinistres	83
4.4	Commissions	85
4.5	Best Estimate	86
4.6	SCR Vie	87
4.7	SCR Santé	88
4.8	Conclusion	89
CONCLUSION		91
ANNEXES		95
GLOSSAIRE		96

INTRODUCTION

Le secteur de l'assurance est confronté à des bases de données de plus en plus massives, ce qui implique des temps de calculs très longs. En outre, en date du 1er janvier 2016, la directive "Solvabilité 2" a poursuivi des objectifs précis, à savoir :

- Renforcer l'intégration du marché européen dans l'assurance ;
- Améliorer la protection des preneurs d'assurance et des ayants droit ;
- Renforcer la compétitivité des assureurs et réassureurs européens au niveau international.

Par ailleurs, elle a introduit le calcul du Best Estimate (BE) et du Solvency Capital Requirement (SCR) qui nécessitent l'application de différents chocs selon les catégories de risques qui doivent être couverts, relativement aux garanties traitées.

Du fait de ces événements, les résultats sont obtenus après une durée importante. L'agrégation des données est une stratégie permettant d'avoir des résultats qui peuvent être disponibles dans des temps plus courts. Le Règlement Délégué précise *"lorsqu'un calcul distinct pour chaque contrat représente une charge induite pour l'entreprise d'assurance ou de réassurance, celle-ci peut regrouper les contrats pour effectuer ces projections, à condition de satisfaire à l'ensemble des exigences suivantes :*

- *il n'y a pas de différences significatives dans la nature et la complexité des risques sous-jacents aux contrats faisant partie d'un même groupe ;*
- *le regroupement de contrats ne crée pas une image faussée des risques sous-jacents aux contrats et n'introduit pas de biais dans leurs coûts ;*
- *il est probable que le regroupement de contrats produise approximativement les mêmes résultats pour le calcul de la meilleure estimation qu'un calcul contrat par contrat, en particulier pour ce qui concerne les garanties financières et les options contractuelles prévues par les contrats. "*

Dans le cadre de ce mémoire, une étude de l'impact de l'agrégation des données sur différents indicateurs (commissions, BE, SCR, ...) en assurance emprunteur sera effectuée.

Afin de répondre à cette problématique, diverses méthodes d'agrégation sont appliquées sur trois portefeuilles d'assurance emprunteur ayant des caractéristiques variées. Ce mémoire s'articule en trois parties.

Dans une première partie, il s'agit de présenter l'assurance emprunteur, avec ses principaux intervenants et les différentes catégories de prêts existants. Ensuite, il convient d'étudier les garanties proposées et les différents types de contrats auxquels un individu peut souscrire. Après avoir défini ces contrats, il est pertinent d'analyser le marché de l'assurance emprunteur et les évolutions réglementaires de ces dernières années. Enfin, il s'agit de préciser le référentiel "Solvabilité 2" et plus particulièrement du passage de "Solvabilité 1" à "Solvabilité 2".

Une seconde partie énonce la stratégie de simulation des données. Celle-ci passe par un processus de création des portefeuilles et par l'établissement des caractéristiques des bases fictives voulues. Les méthodes d'agréations ainsi que les modèles et outils utilisés par la suite sont également présentés.

Pour finir, les calculs de projection sur les différents portefeuilles et les méthodes d'agrégation précédemment choisies sont effectués. Il s'agit alors de comparer les résultats selon plusieurs indicateurs afin de déterminer l'impact de l'agrégation des données sur les différentes bases. Dans le cadre de ce mémoire, seul le passif est étudié.

1 | L'Assurance Emprunteur

1 Principes généraux de l'assurance emprunteur

Afin de cerner de manière plus approfondie l'agrégation des données en assurance emprunteur, il convient, dans un premier temps, de définir et de caractériser l'assurance emprunteur d'un point de vue général.

1.1 Les principales caractéristiques de l'assurance des emprunteurs

1.1.1 Définition

L'assurance des emprunteurs (ADE) est un produit de prévoyance. Elle est nécessaire aux familles, travailleurs indépendants ou étudiants souhaitant contracter un prêt. L'ADE protège l'emprunteur en cas de survenance d'un sinistre en échange d'une prime. La durée du contrat est limitée à la durée du prêt. L'assurance des emprunteurs n'est légalement pas obligatoire, cependant aucun établissement de crédit n'acceptera une demande sans que son client ne soit couvert par une assurance de ce type, à moins qu'il estime que d'autres garanties qui lui sont données sont suffisantes (hypothèque sur un bien immobilier non financé par le prêt, contrat d'assurance vie de type épargne, nantissement de placements financiers...). Ainsi, en cas de décès, d'arrêt de travail dû à une maladie ou à une perte d'emploi involontaire, l'assureur indemniserà la banque de la totalité ou d'une partie du capital emprunté. En général, les personnes souscrivant à ce type d'assurances souhaitent acheter un bien immobilier ou souscrire à un prêt à la consommation. L'ADE a donc le rôle de prévoyance pour l'assuré et de garantie pour la banque.

1.1.2 Les principaux intervenants

L'organisme prêteur Un organisme prêteur est un organisme financier qui peut être une banque ou un établissement de crédit. Son rôle est de prêter de l'argent à un individu en échange du paiement d'intérêts par celui-ci sur toute la durée de l'emprunt. Ces établissements souhaitent être protégés en cas de sinistre empêchant l'emprunteur de rembourser son prêt. L'organisme prêteur peut également être le souscripteur de l'assurance en cas de contrats collectifs et en sera alors aussi le bénéficiaire. [5] [9]

L'assureur L'assureur est la partie au contrat qui s'engage à exécuter une prestation au bénéfice de l'assuré en cas de réalisation du risque. Il s'agit obligatoirement d'une entreprise d'assurance soumise au contrôle de l'état et disposant des différents agréments nécessaires délivrés par l'ACPR. En assurance emprunteur, l'assureur définit et gère les risques décès, invalidité et arrêt de travail.

L'assuré L'assuré est la personne dont le risque est couvert. Une confusion est souvent commise entre le terme d'assuré et celui de souscripteur, l'assuré n'est pas nécessairement le souscripteur.

Le souscripteur / L'adhérent Le souscripteur est la personne qui signe le contrat et qui s'engage au paiement des primes, c'est obligatoirement une personne physique ou morale.

Le bénéficiaire Le bénéficiaire est la personne, physique ou morale, à laquelle l'assureur verse les prestations fixées au contrat dans le cas de la réalisation d'un risque couvert. Le souscripteur désigne le bénéficiaire. Cette désignation doit se faire sans ambiguïté et peut être nominative ou

non. En assurance emprunteur, en général, le banquier qui a accordé le prêt est le bénéficiaire du remboursement du crédit par l'assureur en cas de réalisation du risque assuré.

1.1.3 Les différentes catégories de prêts

Les prêts immobiliers Le prêt immobilier concerne les opérations d'acquisition de résidence principale, d'achat d'une résidence locative ou d'acquisition d'une résidence secondaire. Il existe différents types de prêts immobiliers :

- Le prêt amortissable : Ce type de prêt va permettre aux emprunteurs de rembourser leurs prêts au fur et à mesure du temps. Le calcul des intérêts est établi à partir du capital restant dû, donc les intérêts vont diminuer au cours du temps. Il a une durée maximale de quarante ans.
- Le prêt In Fine : C'est un prêt non-amortissable. Il concerne essentiellement les investisseurs qui disposent déjà d'apports telle qu'une épargne qui soutiendra le prêt. L'emprunteur remboursera uniquement les intérêts d'emprunt au cours du prêt. En effet, la totalité du capital sera remboursée lors de la dernière mensualité. La durée maximale de ce type de prêt est de quinze ans.
- Le prêt relais : C'est un prêt de courte durée (maximum deux ans) qui est non-amortissable. Il concerne les emprunteurs qui attendent la vente d'un bien immobilier. L'établissement bancaire fait une avance sous forme de prêt à l'emprunteur afin qu'il puisse acheter son nouveau logement en attendant la vente du bien qu'il possède.

Les prêts à la consommation Le prêt à la consommation traite des opérations autres que celles liées à l'immobilier. Il permet l'achat de biens ou de services ou même d'épargner. Le montant des prêts est compris entre 200 € et 75 000 €. Les prêts personnels (prêt étudiant garanti par l'état, achat de voiture...) et le crédit revolving (renouvelable) font partie de cette catégorie de prêts.

Les prêts professionnels Le prêt professionnel est choisi par les emprunteurs pour acheter du matériel et des équipements dans le cadre de leur profession. Ce type de prêt peut également servir pour acquérir un bien immobilier ou pour combler un manque de trésorerie (fonds de roulement, renforcer les capitaux propres). Un entrepreneur peut demander un prêt professionnel afin de créer son entreprise.

Les autres formes de prêts

- Rachat de crédit : Cette opération permet de regrouper tout ou une partie des crédits d'un foyer, quelle qu'en soit l'origine (immobilier, à la consommation, professionnel,...), en un seul, en diminuant et en recalculant les mensualités.
- Crédit renouvelable (autrefois appelé crédit permanent) : Ce prêt à la consommation, qui concerne les particuliers, permet d'utiliser son capital de la manière dont l'emprunteur le souhaite et de le rembourser par mensualités. Ce type de prêt peut être proposé par un établissement bancaire ou par un commerce et possède un montant maximum autorisé. Les particuliers doivent être informés de la portée de leurs engagements.

- Crédit-bail (ou location avec / sans option d'achat) : L'organisme prêteur permet à l'emprunteur (particulier ou professionnel) d'acquérir un bien mobilier ou immobilier en échange du versement de loyers. Le contrat peut-être associé à une promesse de vente à l'échéance du contrat.
- Découvert : Il y a un découvert bancaire quand les dépenses et/ou les retraits d'un client (particulier ou professionnel) de l'organisme financier dépassent le montant auquel il a droit. À ce titre, le découvert est un crédit mis à la disposition du titulaire du compte.

1.2 Présentation des différentes garanties et des différents types de contrats

1.2.1 Les garanties de l'assurance emprunteur

L'organisme d'assurance définit lui-même les garanties minimales nécessaires à l'obtention d'un prêt. La garantie décès est systématiquement réclamée par l'organisme prêteur dans le cas d'un prêt immobilier. Les garanties incapacité temporaire de travail (ITT) et invalidité permanente et totale (IPT) peuvent être facultatives dans certains cas, comme pour le prêt pour investissement où elle n'est pas demandée. A l'inverse, elle est généralement exigée pour un prêt immobilier dans le secteur protégé, c'est-à-dire celui du logement. Par ailleurs, suite à la crise économique et aux taux d'emprunts bas, certains organismes prêteurs commencent à exiger la garantie perte d'emploi (PE) qui était jusque là peu souscrite [8].

Aujourd'hui, cinq critères sont requis pour la validité des garanties d'un contrat d'assurance emprunteur :

- les garanties doivent couvrir un risque qui, en cas de réalisation, affecterait de manière significative la capacité de l'emprunteur à rembourser son crédit ;
- les garanties doivent faire partie d'une des branches de l'assurance ;
- les garanties doivent pouvoir être assurées d'un point de vue technique ;
- les garanties doivent être expressément stipulées dans un contrat ;
- le prix de vente des garanties doit être équitable.

Les garanties décès et perte totale et irréversible d'autonomie (PTIA)

Le décès La garantie décès est la garantie de base de tout contrat d'assurance emprunteur, c'est le socle minimal. Elle est systématiquement réclamée par l'organisme prêteur à celui qui veut se voir accorder un prêt. Cette garantie annule la dette en cas de décès de l'assuré. En effet, si le décès de l'assuré survient avant la fin du remboursement du prêt, alors l'assureur remboursera à l'organisme prêteur le capital restant dû à hauteur de la quotité assurée. En outre, cela permet, par exemple, aux ayants droits de récupérer un bien immobilier plus facilement. L'âge maximal de fin de garantie, selon le contrat, se situe généralement entre 70 et 90 ans.

La quotité correspond à la part du capital emprunté qui est garantie. En effet, dans le cas de deux co-emprunteurs, on peut avoir des quotités réparties par moitié (50% et 50%) mais on peut aussi avoir 100% et 100% ou même 100% et 50%. La somme n'est pas forcément égale à 100%.

La perte totale et irréversible d'autonomie (PTIA) La garantie perte totale et irréversible d'autonomie (PTIA) permet à l'assuré de toucher la garantie décès dans le cas où il est dans l'impossibilité absolue et définitive d'exercer une activité rémunérée, et dans le cas où ce dernier a besoin de l'assistance d'une autre personne pour accomplir au moins trois des quatre actes de la vie quotidienne (AVQ) : se déplacer, se laver, se vêtir, se nourrir. L'âge maximal de fin de garantie de la PTIA est selon le contrat généralement situé entre 60 et 67 ans. et correspond à un taux d'invalidité de 100%. L'assureur rembourse le montant du capital restant dû dans la limite de la quotité assurée.

Il existe des exclusions de garantie pour ces deux garanties telles que :

- le suicide la première année de souscription ;
- les décès dû à un fait volontaire de la part de l'assuré ou du bénéficiaire ;
- les accidents de navigation aérienne ;
- les guerres, les attentats ou les émeutes ;
- les explosions atomiques ou les irradiations ;
- la prise de stupéfiant ;
- les décès liés à une cause antérieure à la date d'effet de la garantie ;
- le meurtre.

L'incapacité temporaire de travail (ITT) La garantie incapacité temporaire de travail couvre l'impossibilité temporaire d'exercer une activité professionnelle, suite à un accident ou une maladie couverts par un arrêt de travail. L'incapacité doit être totale.

Il y a quelques années cette garantie était effective en cas d'incapacité d'exercer toute activité professionnelle mais elle évolue progressivement vers une incapacité à reprendre l'activité exercée au cours de l'accident ou de la maladie.

L'arrêt de travail ne peut excéder 1095 jours (passage en invalidité au-delà). En général, cette garantie possède une période de franchise pour la plupart des contrats fixée à 90 jours, durant laquelle l'assureur ne verse aucune indemnisation. L'âge maximal de fin de la garantie ITT est compris généralement entre 60 et 67 ans selon le contrat.

Si l'assuré répond aux critères de l'incapacité de travail avant la fin du remboursement du prêt alors il existe deux types de remboursement :

- Remboursement forfaitaire : l'assureur verse les mensualités du capital restant dû à hauteur de la quotité assurée à l'organisme prêteur durant la période d'arrêt ;
- Remboursement indemnitaire : l'assureur verse une mensualité correspondant à la différence entre le salaire perçu à travers l'activité avant l'arrêt et les sommes versées par la sécurité sociale, les prestations correspondant à la prévoyance collective et les versements provenant des assurances diverses durant l'arrêt de travail.

Certains assureurs proposent également un mixte de ces deux remboursements, avec une couverture indemnitaire minimale de X% de la mensualité du remboursement forfaitaire. Cette alternative permet à chaque assuré de recevoir une prestation dans l'hypothèse d'un arrêt de travail, ce qui n'est pas obligatoire pour le remboursement indemnitaire en cas d'incapacité de travail.

Par ailleurs, ce type de garantie peut comporter de nombreuses exclusions de garantie :

- les conséquences de maladies et d'accidents antérieures à la date d'adhésion ;

- les attentats ;
- les congés de maternité ;
- les maladies psychologiques ;
- les pathologies liées aux affections du dos ;
- les accidents/maladies dues à la consommation excessive d'alcool ou de stupéfiants.

Enfin, l'assuré a la possibilité d'être couvert contre ces exclusions en ajoutant des options aux contrats ce qui implique une surprime. Ces options sont alors mises en place suite à la demande de l'assuré ou au titre d'équivalence des garanties du contrat de groupe de l'organisme prêteur.

L'invalidité

L'invalidité permanente et totale (IPT) La garantie invalidité permanente et totale, à l'instar de la garantie décès et PTIA, permet en cas de dégradation drastique de l'état physique de l'assuré, le remboursement du prêt par l'assureur auprès de l'organisme bancaire. Selon les contrats, la définition même de l'IPT est différente. Cependant on retrouve généralement l'une des définitions suivantes :

- incapacité totale et définitive à exercer toute activité professionnelle ;
- l'assuré fait partie de la 2ème catégorie de la sécurité sociale ce qui correspond à un taux d'incapacité supérieur ou égal à 66% et inférieur à 99,9% ;
- une dernière définition correspond aux assureurs calculant leur propre niveau d'invalidité en croisant des tables d'incapacité professionnelle et fonctionnelle.

L'invalidité permanente et totale peut-être physique ou morale et doit être constatée avant l'âge limite de couverture propre à cette garantie qui est généralement de 62 ans. Cette garantie possède une période de franchise pour la plupart des contrats fixée à 90 jours, durant laquelle l'assureur ne verse aucune indemnisation. Si l'assuré répond aux critères stipulés et définis dans le contrat par l'assureur, alors ce dernier prendra en charge la couverture. L'IPT possède les mêmes caractéristiques d'exclusions de garantie que l'ITT.

L'invalidité professionnelle (IP PRO) L'invalidité professionnelle concerne les professions médicales, paramédicales et vétérinaires. Si l'assuré est dans l'impossibilité totale d'exercer sa profession avec une invalidité supérieure à 66% (uniquement pour l'invalidité professionnelle), alors l'assureur remboursera le montant du capital restant dû.

L'invalidité permanente et partielle (IPP) L'invalidité permanente et partielle, concerne l'assuré dont l'état suite à un accident ou à une maladie, le rend incapable de travailler de façon partielle ou totale. L'assureur prend alors en charge une partie des mensualités. Cette garantie concerne les assurés ayant un taux d'incapacité supérieur à 33%. Ceci correspond à une invalidité de 1ère catégorie de la Sécurité sociale et à un taux d'incapacité inférieur à 66% équivalent à la garantie IPT. Il existe différents contrats de garantie IPP, les deux plus communs sont :

- la garantie "n-33/33" : qui indemnise les assurés ayant un taux d'incapacité compris entre 33% et 66% proportionnellement à ce taux, c'est-à-dire que l'assureur ne verse rien pour un taux d'incapacité à 33% et verse 100% des mensualités pour un taux d'incapacité de 66% dans la limite de la quotité assurée ;
- la garantie de seuil 50% : l'assureur indemnise à hauteur de 50% les mensualités dans la mesure où l'assuré possède un taux d'incapacité situé entre 50% et 66%.

En général, cette garantie possède une période de franchise pour la plupart des contrats fixée à 90 jours, durant laquelle l'assureur ne verse aucune indemnisation. L'âge limite de couverture propre à cette garantie est situé généralement entre 59 et 67 ans. L'IPP possède les mêmes exclusions de garantie que l'ITT.

Le tableau suivant résume les différentes garanties concernant l'invalidité :

Type de Garantie	Couverture	Taux d'incapacité	Age limite de couverture	Franchise
IPT	Dégradation drastique de l'état physique de l'assuré	entre 66% et 99.9%	62 ans	90 jours
IP PRO	Concerne les professions médicales, paramédicales et vétérinaire	> 66%		
IPP	Concerne les assurés dont l'état suite à un accident ou à une maladie le rend incapable de travailler de façon partielle ou totale	entre 33% et 66%	entre 59 et 67 ans selon les contrats	90 jours

FIGURE 1.1 – Les différentes garanties concernant l'invalidité

La perte d'emploi (PE) Certains contrats proposent, en complément des garanties de base, de couvrir le risque lié à la perte d'emploi. Ce complément est appelé la garantie perte d'emploi, cette dernière est la moins adoptée en assurance emprunteur car elle est onéreuse.

La garantie perte d'emploi couvre le risque de licenciement, également dans certains contrats le cas de rupture conventionnelle. Elle peut être prise uniquement par les assurés ayant un contrat à durée indéterminée (CDI) avec une ancienneté minimale de 12 à 18 mois selon les contrats. En effet, les contrats à durée déterminée, les artisans, les professions libérales et les commerçants ne sont pas concernés par cette garantie. L'assureur remboursera à l'organisme prêteur le capital restant dû à hauteur de la quotité assurée dans le cas d'un remboursement forfaitaire, ou dans le cas d'un remboursement indemnitaire l'assureur versera la différence entre le salaire perçu à travers la dernière activité rémunérée et les allocations chômage. La durée d'indemnisation est souvent limitée à 12 ou 24 mois. En général, l'assureur ne verse rien durant les trois premiers mois d'arrêt (franchise de 90 jours). L'âge limite de couverture propre à cette garantie est généralement situé entre 55 et 67 ans.

1.2.2 Différences entre contrat collectif et contrat individuel

Sur le marché français de l'assurance des emprunteurs, on retrouve deux types de contrats :

- les contrats de groupe ;
- les contrats individuels.

Les contrats dits de "groupe" Les contrats dits de "groupe" lient trois parties :

- l'assureur
- le souscripteur
- l'adhérent

L'adhésion à un contrat de groupe peut-être facultative ou obligatoire. Dans le cas de l'assurance emprunteur, elle est facultative.

D'après l'article 141-1 du Code des assurances, "Est un contrat d'assurance de groupe le contrat souscrit par une personne morale ou un chef d'entreprise en vue de l'adhésion d'un ensemble de personnes répondant à des conditions définies au contrat, pour la couverture des risques dépendant de la durée de la vie humaine, 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 de chômage. Les adhérents doivent avoir un lien de même nature avec le souscripteur" .

En assurance emprunteur, les contrats de groupe sont les contrats de groupe bancaires. Dans ce cas, le souscripteur est l'organisme prêteur, l'assureur est partenaire de la banque, l'adhérent est alors nécessairement un client de la banque ayant contracté un emprunt. On les appelle les contrats de groupe fermés. Les assureurs communiquent donc une grille tarifaire globale et c'est la banque qui accordera des dérogations. Pour ce type de contrat, il n'y a donc pas de segmentation. La banque est donc ici apporteur d'affaire et touche une commission fixe, variable ou les deux.

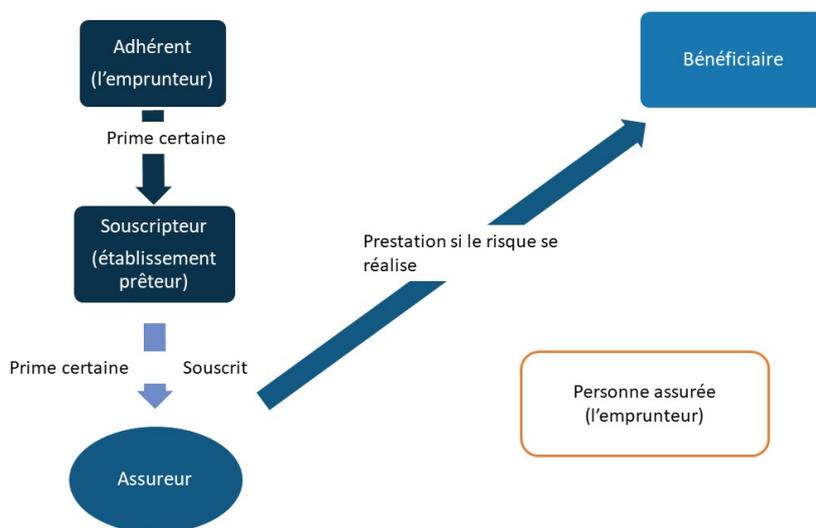


FIGURE 1.2 – Le fonctionnement des contrats de groupe

Les contrats individuels L'emprunteur peut également décider de souscrire un contrat individuel, il est donc le souscripteur du contrat. L'assuré fait l'objet d'une enquête afin de déterminer le risque qu'il a de ne pas parvenir à rembourser son prêt totalement. Le contrat sera alors fait sur-mesure pour l'assuré et il n'y aura pas d'intermédiaire, l'assuré traite directement avec l'assureur. La tarification est donc très segmentée. En assurance emprunteur, pour l'assuré, souscrire à un contrat individuel est un avantage s'il est considéré comme un "bon" risque. De plus, ce type de contrat est personnalisé et, à l'inverse du contrat de groupe, il est plus facile de le résilier. L'assureur versera des prestations dans le cas de la réalisation d'un risque garanti par le contrat d'assurance. Le bénéficiaire sera l'organisme prêteur ou l'assuré.

L'assuré peut également passer par un intermédiaire comme un courtier, celui-ci traite alors avec l'assureur et comme apporteur d'affaire, il touchera une commission et non l'organisme prêteur.

L'assuré peut donc être assuré directement auprès d'un assureur indépendant ou par l'intermédiaire d'un courtier, on parle alors de contrat alternatif externe. Par ailleurs, l'assuré peut également

se voir proposer un contrat individuel par son organisme prêteur, on parle alors de contrat alternatif interne.

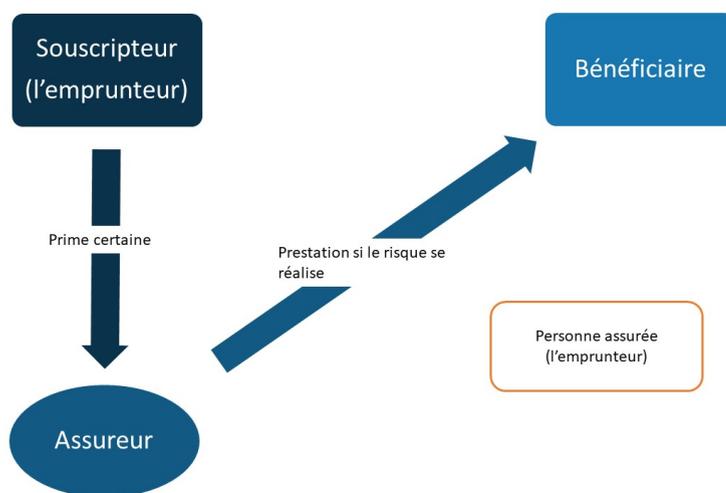


FIGURE 1.3 – Le fonctionnement des contrats individuels

Pour résumer ce qui a été vu dans cette partie, on peut représenter le mécanisme de la commercialisation de la manière suivante :

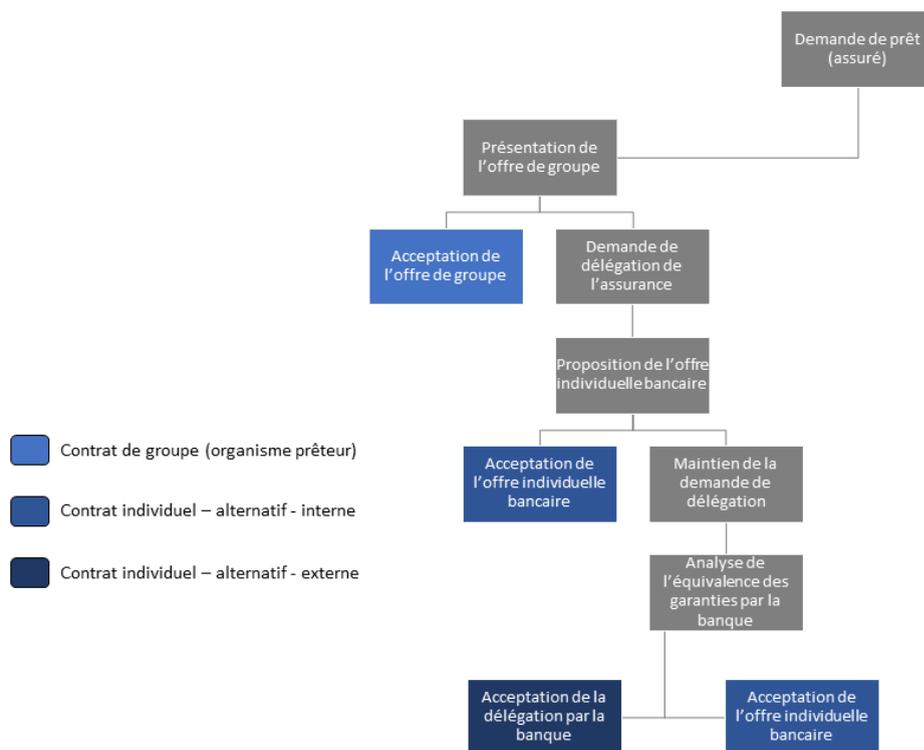


FIGURE 1.4 – Le mécanisme de commercialisation des contrats en assurance emprunteur

1.3 Tarification

1.3.1 Les principes généraux de tarification

Ensuite, il est intéressant d'énoncer les principes généraux de la tarification en assurance emprunteur. Ils existent différentes méthodes de tarification :

- En fonction du Capital Initial (CI) : Le taux de prime est fixe et exprimé en pourcentage du capital initial. Le montant de la prime reste le même pendant toute la durée du prêt ;
- En fonction du Capital Restant Dû (CRD) : Le taux de prime est fixe et exprimé en fonction du capital restant dû. Le montant de la prime décroît parallèlement à l'évolution du CRD ;
- Un taux de prime variable en pourcentage du CRD. Le montant de la prime suit l'évolution théorique du risque de l'assuré. *Exemple : on suit l'évolution du risque en fonction de l'âge de l'individu et du capital restant dû.*

1.3.2 Sélection médicale

La sélection médicale permet, en plus de la tarification prudente, d'accueillir tous les profils d'assurés tout en évitant les erreurs de jugements, de sélectionner les bons risques et de majorer d'une surprime les mauvais risques. Ceci permet donc de proposer un tarif plus faible pour les individus en bonne santé à la date de souscription. Le niveau de sélection médicale est généralement fonction de l'âge de l'individu et du montant du capital sous-risque. Cela peut aller d'un simple questionnaire médical à des analyses médicales plus poussées qui permettent d'identifier l'état de santé de l'assuré et de définir le type de risque qu'il génère : risque normal, risque aggravé ou refus d'assurance. En ce qui concerne l'assurance emprunteur, un assuré dont le prêt est accepté aura moins de risque de se voir refuser l'assurance. En effet, les critères de sélection des crédits et des assurances sont fortement corrélés. Les principaux facteurs discriminants de l'assurance sont l'âge, la catégorie socio-professionnelle, le statut fumeur/non-fumeur et l'indice de masse corporelle.

La convention AERAS ou s'Assurer et Emprunter avec un Risque Aggravé de Santé concerne les personnes malades ou handicapées qui sont victimes de discrimination lors de la demande de prêt. Le but de cette convention est donc de faciliter l'accès au crédit ainsi que l'obtention d'une assurance pour les demandeurs de crédit qui sont considérés très à risque.

Le risque de santé aggravé Le risque aggravé est un risque dont la probabilité de réalisation est supérieur à la moyenne de la population de référence, cela concerne 3 catégories de personnes :

- Les personnes exerçant des professions spécifiques ;
- Les personnes pratiquant des sports extrêmes ;
- Les personnes atteintes de maladie, on l'appelle le risque de santé aggravé.

Le risque de santé aggravé peut être assuré mais une surprime est appliquée afin de compenser les risques plus importants qu'encours l'assureur. A l'instar, au vu des avancées médicales et technologiques, la notion de risque aggravé de santé évolue au fil des années et les maladies qui peuvent faire partie de ce dispositif sont définies par la convention.

La dernière révision de la convention facilite l'accès à l'assurance pour les anciens malades du cancer. Ce mécanisme porte le nom de droit à l'oubli.

2 Le marché de l'assurance emprunteur : le contexte économique et les évolutions réglementaires

Maintenant que la présentation générale de l'assurance emprunteur a été vue, il est intéressant d'analyser le contexte économique du marché ainsi que les différentes évolutions réglementaires.

2.1 Quelques chiffres sur l'assurance emprunteur

La FFA (Fédération Française de l'Assurance) a publié une étude le 12 octobre 2019 [6] sur les contrats d'assurance emprunteur dans laquelle on constate que le montant des cotisations depuis 2010 n'a cessé d'augmenter comme le montre la figure 1.5.

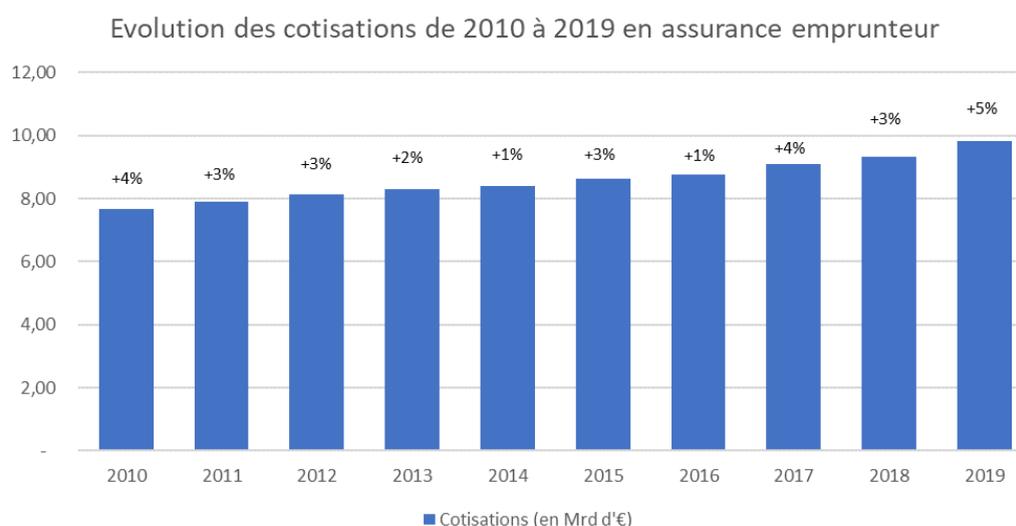


FIGURE 1.5 – Évolution des cotisations sur la période de 2010 à 2019 (Source : FFA)

En effet, cette figure met en évidence une augmentation du montant des cotisations d'environ 5% entre 2018 et 2019, et d'environ 16% sur 5 ans. Chaque année, l'augmentation est supérieure à 1%.

En ce qui concerne la répartition selon le type de prêts, celle-ci est, pour l'année 2019, selon la FFA :

- 72% pour les prêts immobiliers ;
- 21% pour les prêts à la consommation ;
- 7% pour les prêts professionnels.

On peut retrouver ces résultats sur la figure 1.6 à la page suivante qui montre la répartition des ventes de contrats en fonction du prêt contracté (Immobilier / Consommation / Professionnel).

La forte proportion de prêts immobiliers est liée d'une part à la forte demande de ces prêts et d'autre part au montant souvent important de ces derniers.

Répartition des ventes par types de prêts en assurance emprunteur de 2010 à 2019

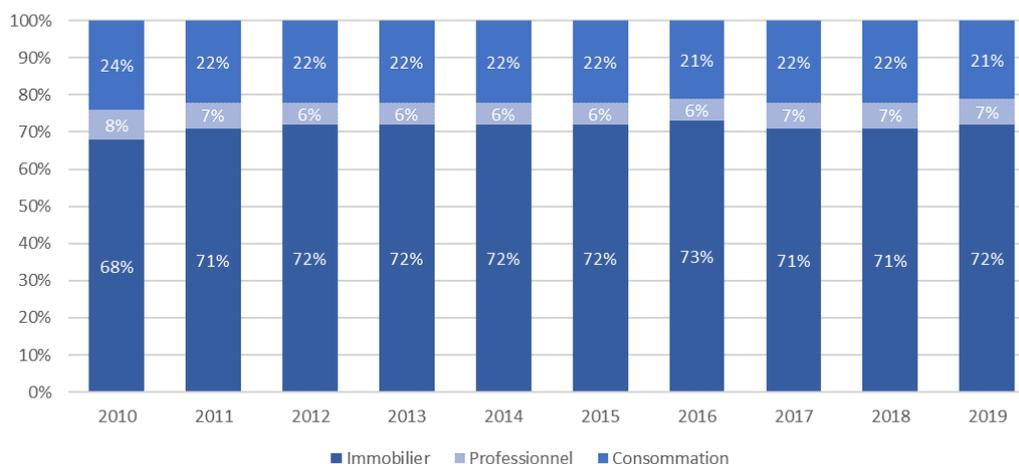


FIGURE 1.6 – Répartition des ventes par type de prêts en assurance emprunteur de 2010 à 2019 (Source : FFA)

Le rapport annuel de l'ACPR sur le financement de l'habitat a révélé que les emprunteurs décidaient souvent de prendre les garanties décès et incapacité de travail. Selon la FFA, la répartition du chiffre d'affaires de l'assurance emprunteur est la suivante :

- 71% garantie décès ;
- 27% garantie incapacité ;
- 2% garantie perte d'emploi.

La décomposition de la prime entre 2003 et 2013 était de :

- 42% pour la couverture des sinistres ;
- 22% pour la rémunération de l'assureur ;
- 36% pour la rémunération du distributeur.

La prime pure représentait moins de 50% de la prime totale, c'est pour cela que l'évolution réglementaire a cherché à favoriser la concurrence et permettre aux assurés d'avoir un tarif plus en adéquation avec leurs risques sous-jacents.

2.2 Évolutions réglementaires spécifiques à l'assurance emprunteur

Lorsqu'un individu veut se voir accorder son prêt, il est nécessaire pour lui de souscrire à un contrat en assurance emprunteur. Comme énoncé précédemment, le choix de l'assurance, des garanties, du contrat collectif ou individuel est très important. En effet, cette assurance fait partie du coût du prêt au même titre que les intérêts.

Même si depuis le début des années 2000, les emprunteurs sont libres de choisir leur assureur, cette idée a été fortement soutenue par de nouvelles lois qui interdisent le refus de prêts si l'emprunteur choisit une autre assurance équivalente à celle proposée par l'organisme prêteur. Par ailleurs, depuis 2010, l'assuré peut choisir son assurance emprunteur à la souscription et même en cours de prêt [7].

2.2.1 Principales évolutions réglementaires

La loi « MURCEF »

La loi sur les Mesures Urgentes de Réforme à Caractère Économique et Financier (MURCEF) est entrée en vigueur le 11 décembre 2001. Elle interdit à l'organisme prêteur de rendre le prêt et l'assurance de prêt indissociables.

La loi « Lagarde »

Cette loi adoptée le 1er juillet 2010, en ce qui concerne l'assurance emprunteur, favorise la délégation d'assurance de prêt immobilier. Ce texte permet à un emprunteur de demander un prêt dans une banque et de souscrire une assurance emprunteur dans un autre établissement. Ce texte de loi traite aussi des regroupements de prêts, l'objectif étant d'informer l'emprunteur de sa situation et des opérations de regroupement de crédits qu'il s'apprête à réaliser. Cette loi a créé une concurrence directe entre les organismes prêteurs impliquant une forte augmentation de la présence des courtiers en crédit qui sont mieux placés pour favoriser la rapidité de l'obtention du prêt et de l'assurance.

La loi « Hamon »

Cette loi a pris effet en 2015, elle offre la possibilité, pour n'importe quel assuré de résilier son contrat dans les 12 mois suivant la souscription du crédit sans frais ni pénalités pour s'assurer auprès d'un nouvel assureur. Jusqu'en 2017-2018, ce système peinait à se développer et a été mis de côté par le marché. Les raisons de cette évolution tardive sont la complexité de ce mécanisme qui impose de nombreux échanges avec les organismes prêteurs par lettre recommandée et l'évaluation et la gestion des contrats d'assurance à garanties équivalentes. Ce processus a donc remplacé la loi Lagarde et permet à l'emprunteur de rompre ce contrat plus facilement. Il engendre une souscription simplifiée, des délais de traitement plus courts et la possibilité d'une substitution moins contraignante.

L'amendement « Bourquin »

Applicable depuis janvier 2018, cette loi permet à l'assuré de résilier et de remplacer son contrat d'assurance tant que les garanties de ce dernier sont équivalentes au précédent. Par ailleurs, elle clarifie la date de résiliation des contrats d'assurances emprunteur, cette date est maintenant choisie par l'assuré. Ce texte renforce également le devoir de prévention de la banque : obligation annuelle d'information sur le droit de changer d'assurance emprunteur à laquelle s'ajoutent les modalités et les délais de résiliation. Cette loi n'a pas eu le succès attendu, en effet, les courtiers en crédit qui ont une grosse part du marché ne peuvent pas se permettre d'aller contre leurs partenaires bancaires en investissant sur ce nouveau marché. De plus, le changement d'assurance reste un processus complexe et long qui demande beaucoup d'interactions entre les différents acteurs ce qui a tendance à décourager les assurés. Enfin, les organismes prêteurs ne souhaitant pas perdre leurs assurés, ont mis en place des contre-offres très compétitives.

2.2.2 Une évolution ralentie par des organismes prêteurs réticents

Huit ans après la loi « Lagarde », un bilan a été effectué par l'ACPR, qui met en évidence l'évolution très lente et controversée des résultats attendus. Alors que certains acteurs de l'assurance emprunteur s'attendaient à une augmentation significative des tarifs, en particulier pour les personnes âgées, cela n'a pas été le cas, les tarifs des contrats ont baissé et les garanties restent les mêmes voire sont meilleures. Cependant, ce bilan révèle que certains organismes prêteurs n'informent pas suffisamment l'assuré en particulier en ce qui concerne le libre choix de son assurance.

En effet, malgré l'application de l'amendement Bourquin, l'impact est très mitigé, la concurrence est certes plus importante, mais le pourcentage d'emprunteurs assurés autre part que dans l'organisme prêteur reste faible et son évolution ne correspond pas à ce qui était attendu. Actuellement, il y a encore de la part de certains établissements prêteurs un défaut d'information en ce qui concerne :

- La communication claire de la date d'anniversaire du contrat ;
- Des refus injustifiés et abusifs de contrats alternatifs externes ;
- Une partie administrative alourdie afin de démotiver le client à déléguer son assurance.

Ces dernières années, plusieurs projets de lois ont été étudiés et sont encore étudiés tels que le second amendement Bourquin durant l'année 2019-2020 et la possibilité de résiliation infra-annuelle (RIA).

2.2.3 Des évolutions positives pour les consommateurs

Les différentes lois mises en place depuis 2010 avaient pour objectif d'ouvrir à la concurrence le marché de l'assurance emprunteur afin d'avoir des tarifs plus adaptés au risque de l'assureur et de garantir à l'assuré la liberté du choix de l'assurance. L'objectif a été atteint, en effet on a pu constater ces dernières années une augmentation de la part des contrats dits alternatifs opposés aux contrats classiques de groupe des organismes prêteurs.

Il existe deux types de contrats alternatifs, les contrats alternatifs externes, qui correspondent aux contrats d'assurance extérieurs à l'organisme prêteur et des contrats alternatifs internes, c'est-à-dire

des contrats d'assurance internes à l'organisme prêteur mais différents du contrat de groupe créé en réponse aux envies des assurés de souscrire à des contrats alternatifs externes.

La part des contrats alternatifs externes ou internes augmente ces dernières années comme le montre la figure 1.7 représentant la répartition des ventes en assurance emprunteur de 2017 à 2019. On remarque que les contrats alternatifs atteignent 25% [2] de la production annuelle fin 2019. La concurrence résultant de l'évolution réglementaire a aussi forcé les organismes prêteurs à revoir leurs offres sur les contrats de groupe qui tendent à s'aligner sur les contrats alternatifs. De ce fait, les assureurs externes n'ont que partiellement profité de ces évolutions réglementaires. En effet, le plus grand bénéficiaire de ces évolutions réglementaires se trouve être le consommateur qui par l'augmentation de la concurrence, voit les tarifs des contrats emprunteurs baisser significativement tout en conservant une couverture des garanties excellente voire meilleure qu'auparavant.

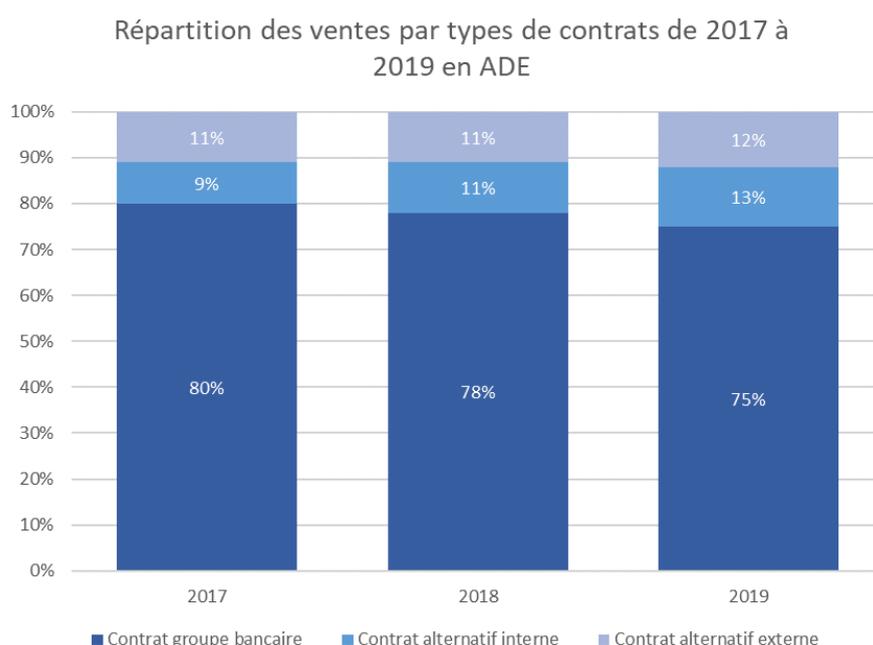


FIGURE 1.7 – Répartition des ventes par types de contrats de 2017 à 2019 en assurance emprunteur (Source : "Bilan de l'assurance emprunteur" de 2020 par Actélior pour le CCSF)

Par ailleurs, cette baisse du tarif pour les contrats alternatifs est possible essentiellement grâce à la forte segmentation :

- Par tranche d'âge ;
- Par catégorie socio-professionnelle ;
- Par caractère fumeur/non-fumeur.

En ce qui concerne les contrats de groupe, les tarifs des contrats ont baissé pour les personnes de moins de 40 ans et augmenté pour celles plus de 50 ans.

L'objectif d'augmenter la concurrence afin que les consommateurs puissent avoir le choix de leur assurance et avoir des tarifs adaptés a été atteint, même si l'évolution attendue a été lente et n'a pas encore donné tous les résultats espérés.

2.3 Évolutions réglementaires assurantielles

Un organisme assureur est solvable s'il est capable de faire face à ses engagements, c'est-à-dire de verser à ses cotisants les montants qui leur sont dus.

Plusieurs risques peuvent remettre en cause la solvabilité d'un organisme assureur :

- Une mauvaise maîtrise de ses risques assurantiels (ex : taux servis trop élevés en épargne, dégradation des sinistres en santé, mauvaise tarification en prévoyance...);
- Une insuffisance du provisionnement;
- Des pertes sur les marchés financiers;
- Des processus défaillants...

Afin de limiter ces risques, il existe différentes stratégies à mettre en place :

- Les entités constituent des réserves importantes pour faire face aux échéances futures (provisions techniques), ainsi que d'une réserve additionnelle pour faire face aux coûts imprévus (fonds propres);
- Suivi des risques, suivi de la rentabilité;
- Gestion prudente des actifs;
- Culture de suivi du risque, contrôle des processus de l'organisme.

2.3.1 Le référentiel solvabilité 1

La directive "Solvabilité 1" a été adoptée en 1973 par l'Union Européenne et révisée en 2002. Elle a pour but de mettre en place une réglementation commune pour les organismes d'assurance et de réassurance de l'Union Européenne, notamment en leur imposant d'évaluer les engagements prudemment et de garder une marge de solvabilité. La directive imposait également aux entreprises de constituer au passif du bilan des provisions techniques « suffisantes » représentatives de ses engagements comptables. Le référentiel de "Solvabilité 1" est composé de trois piliers :

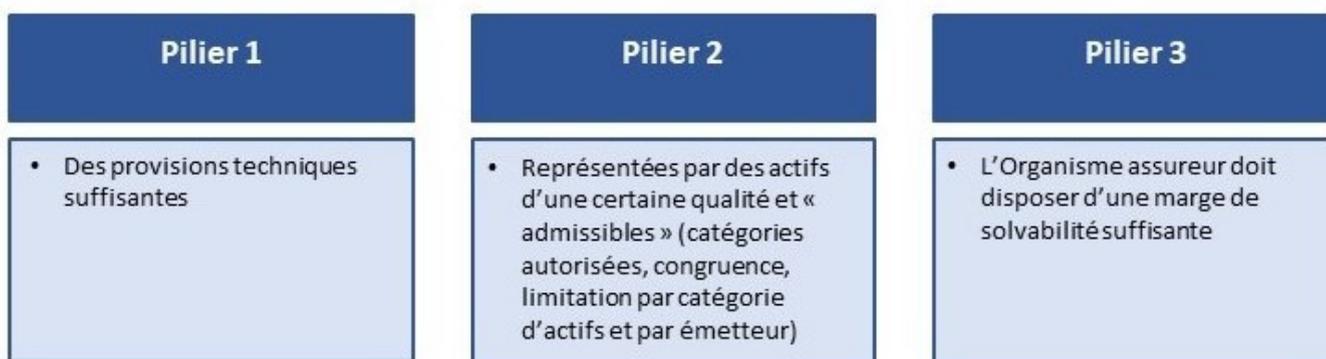


FIGURE 1.8 – Les trois piliers de Solvabilité 1

L'exigence de solvabilité en assurance non-vie Il existe deux méthodes afin de calculer les marges :

- Méthodes des primes : 16% ou 18% des primes selon la taille (on utilise les primes brutes acquises ou émises, en prenant le chiffre le plus élevé);
- Méthodes des sinistres : 23% ou 26% des sinistres selon la taille (charge moyenne des sinistres sur les 3 dernières années).

L'exigence de solvabilité en assurance vie On utilise des méthodes différentes en fonction du type de produits afin de calculer les marges :

- Fonds euros : 4% des provisions mathématiques + 3% des capitaux sous risque ;
- Unités de compte : 1% des provisions mathématiques ;
- Temporaire décès : 0,1% ou 0,15% des capitaux sous risque.

L'insuffisance du référentiel "*Solvabilité 1*" est principalement dûe à l'absence de prise en compte des risques propres à chaque organisme assureur, de même que l'utilisation de règles "forfaitaires" pour le calcul des exigences de marge de solvabilité. En effet, les capitaux réglementaires minimum exigés étaient calculés en fonction des pourcentages du montant des primes et des sinistres, le calcul des marges de risques était donc commun à toutes les entreprises et faisait abstraction du risque spécifique à chacune. Afin de combler ces lacunes et de proposer un outil amélioré, le référentiel "*Solvabilité 1*" fut révisé en 2002 par les directives 2002/12/CE et 2002/13/CE. Sous l'influence de la crise des *subprimes*, la réglementation assurantielle s'est alourdie et la nécessité d'un référentiel complémentaire s'est faite sentir. Ainsi, la nouvelle directive 2009/138/CE du parlement européen et du conseil, connue dans le secteur sous la nomination "*Solvabilité 2*" a été votée le 25 Novembre 2009 par la Commission Européenne et est entrée en vigueur au 1er Janvier 2016 [1].

2.3.2 Le cadre prudentiel de Solvabilité 2

Les généralités de Solvabilité 2 Après son entrée en vigueur, la directive "*Solvabilité 2*" touche tous les organismes d'assurance et de réassurance faisant partie de l'Union Européenne. Son objectif est de renforcer et d'améliorer les critères jugés insuffisants mis en place avec "*Solvabilité 1*", entre autre la notion de profil de risque est prise en compte dans le calcul des marges de solvabilité. Elle a pour but de :

- Renforcer l'intégration du marché de l'Union Européenne dans l'assurance ;
- Améliorer la protection des preneurs d'assurance et des ayants droits ;
- Renforcer la compétitivité des assureurs et réassureurs de l'Union Européenne au niveau international.

La figure 1.9 ci-dessous présente les trois piliers de cette nouvelle directive.

La figure 1.10, quant à elle, se focalise sur le pilier 1 qui met en évidence les indicateurs intéressants à calculer dans la suite du mémoire [4].

Le rapport entre l'actif net et le SCR définit le ratio de solvabilité (ratio de couverture du SCR).

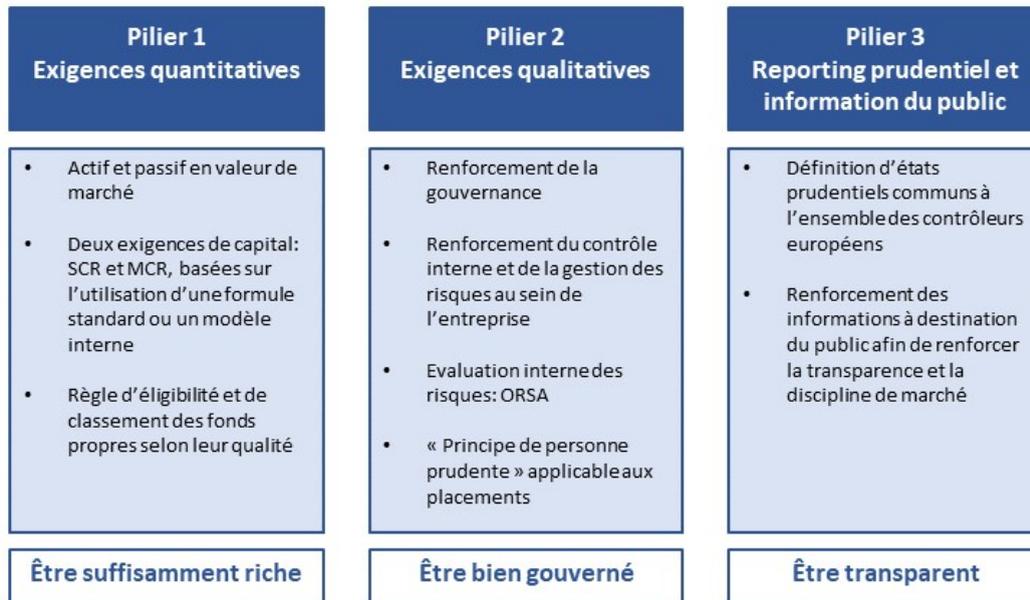


FIGURE 1.9 – Les trois piliers Solvabilité 2

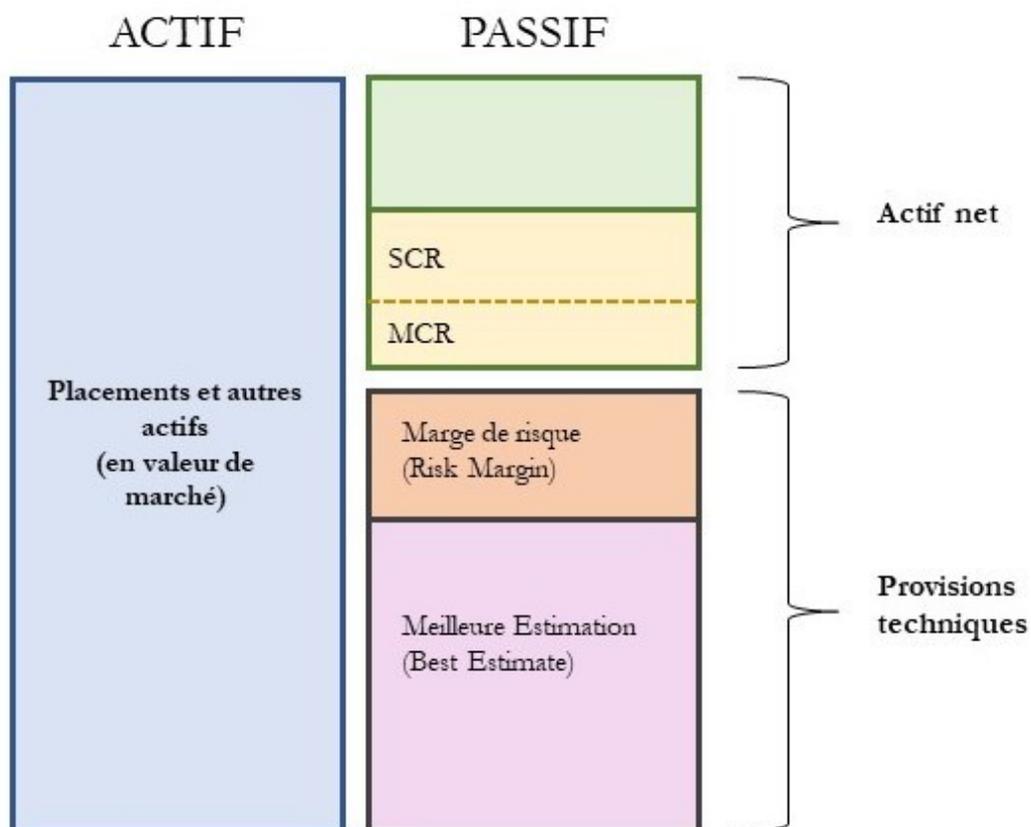


FIGURE 1.10 – Le pilier 1 : les exigences quantitatives

Best Estimate La meilleure estimation est calculée en projetant les flux futurs probables liés à l'exécution des contrats en portefeuille actualisés par la courbe des taux sans risque de l'EIOPA, en tenant compte de leur probabilité de survenance [3].

D'après l'article 28 du règlement délégué 2015/35, voté par la Commission Européenne le 10 octobre 2014 pour compléter "Solvabilité 2", la projection des flux de trésorerie dans le calcul du Best estimate comprend :

- les versements des prestations ;
- les versements que l'entreprise d'assurance ou de réassurance devra effectuer pour fournir des prestations contractuelles en nature ;
- toutes les dépenses qui seront engagées aux fins d'honorer les engagements d'assurance et de réassurance ;
- les paiements de primes et flux de trésorerie supplémentaires résultant de ces primes ;
- Les frais se rapportant aux engagements d'assurance (charges administratives, frais de gestion des investissements, frais de gestion des sinistres, ...) en hypothèse de continuité d'activité et en tenant compte de l'inflation ;
- les paiements entre l'entreprise d'assurance ou de réassurance et des entreprises d'investissement en rapport avec des contrats prévoyant des prestations indexées et en unités de compte ;
- les taxes (CSG, CRDS, TSCA).

SCR La directive "Solvabilité 2" demande deux niveaux des fonds propres : d'une part, le SCR ou "Solvency Capital Requirement", qui est le besoin en capital et d'autre part, le MCR ou "Minimum Capital Requirement", qui est le capital réglementaire minimal.

Le SCR correspond au niveau de fonds propres nécessaires pour limiter la probabilité de ruine de l'entreprise à 0,5% à horizon un an. Le calcul du SCR peut se faire soit :

- A l'aide d'une formule standard proposée par l'EIOPA ;
- A l'aide d'un modèle interne développé par l'organisme d'assurance.

Le calcul du SCR par la formule standard doit couvrir au moins les catégories de risques figurants sur la figure 1.11.

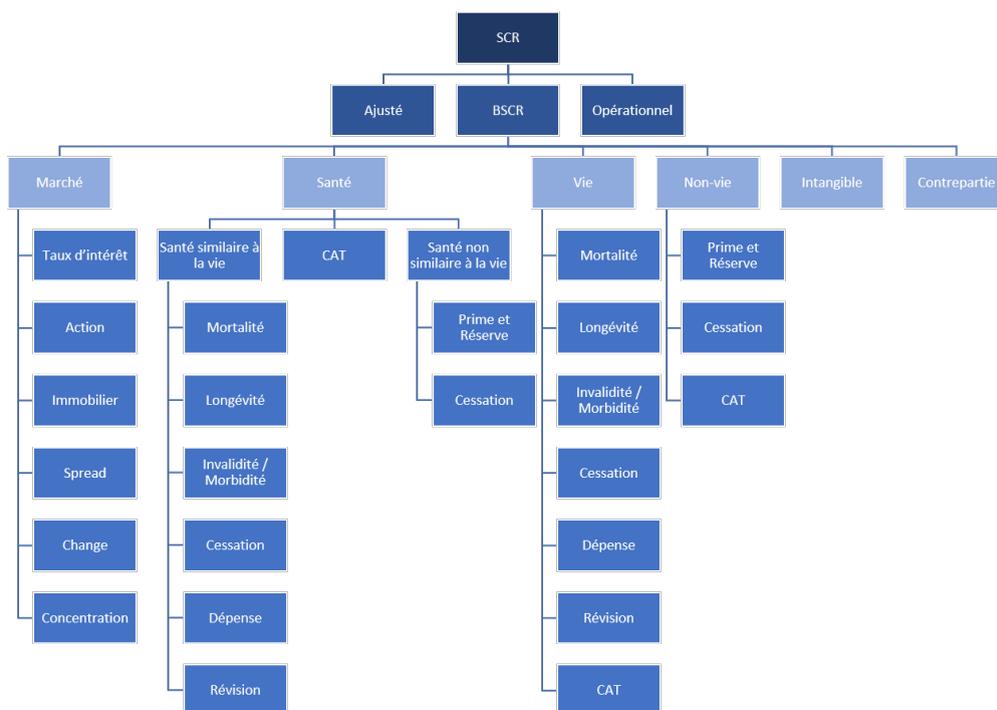


FIGURE 1.11 – Les composants du SCR selon ses différents modules

Dans le cadre ce mémoire, seul le calcul par la formule standard sera effectué. Le SCR se compose de trois éléments : le BSCR ou SCR de base, l'ajustement pour capacité d'absorption de pertes et l'exigence de capital pour risque opérationnel. Selon la formule standard, le SCR vaut :

$$SCR = BSCR + SCR_{\text{opérationnel}} + Ajustement$$

Le SCR permet ainsi de garantir la sécurité des assurés en absorbant les pertes importantes en cas de ruine. Il doit être calculé au moins une fois par an, faire l'objet d'un suivi permanent et doit prendre en compte tous les risques quantifiables et les facteurs d'atténuation des risques.

Dans le cadre de cette étude, le choix a été fait de ne pas modéliser l'actif, donc le SCR total ne sera pas calculé car il ne serait pas possible de retrouver un SCR de marché pertinent. Seuls les indicateurs associés au passif seront étudiés. C'est pourquoi uniquement les sous-modules Vie et Santé similaire à la vie ont été sélectionnés. Les chocs par lesquels cette étude est concernée sont les suivants :

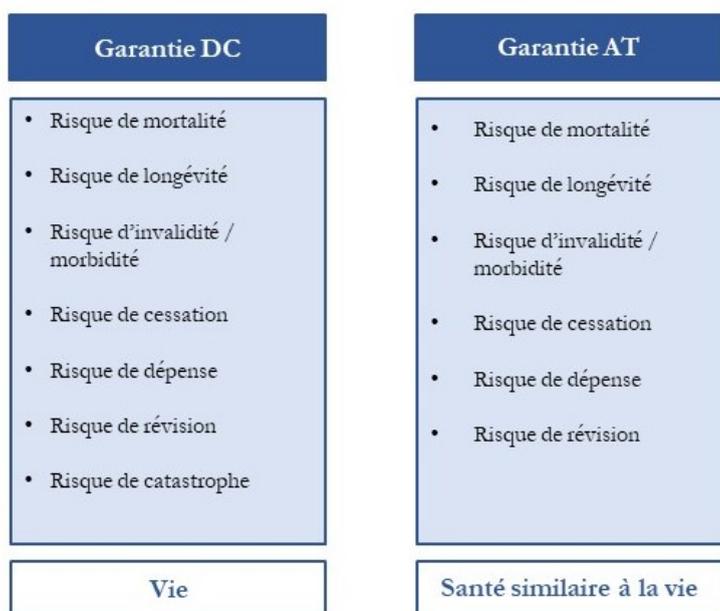


FIGURE 1.12 – Les composantes de SCR spécifiques à l'assurance emprunteur

Risk Margin La marge de risque, ou "*Risk Margin*" est définie dans les articles 37 à 39 du Règlement Délégué, elle s'ajoute au Best Estimate et est destinée à couvrir les risques liés à la totalité du portefeuille d'engagements d'assurance et de réassurance de l'entreprise en cas de reprise par une autre entreprise. Le Risk Margin représente le coût de détention du capital jusqu'à l'écoulement des provisions dans l'hypothèse de transfert de l'ensemble de ses engagements à un autre organisme. Le taux de coût du capital est fixé à 6%.

MCR Le MCR ou "*Minimum Capital Requirement*" correspond au niveau absolu en dessous duquel l'agrément de l'organisme assureur ou réassureur peut être retiré. Le calcul du MCR est plus simple, puisqu'il est basé sur les volumes de primes, des provisions et des capitaux sous risque ainsi que sur le SCR. Il doit être compris entre 25% et 45% du SCR.

L'agrégation des données sous Solvabilité 2 Dans "Solvabilité 2", dans le Règlement Délégué publié par la Commission Européenne en Janvier 2015, il est écrit que *"lorsqu'un calcul distinct pour chaque contrat représente une charge indue pour l'entreprise d'assurance ou de réassurance, celle-ci peut regrouper les contrats pour effectuer ces projections, à condition de satisfaire à l'ensemble des exigences suivantes :*

- *il n'y a pas de différences significatives dans la nature et la complexité des risques sous-jacents aux contrats faisant partie d'un même groupe ;*
- *le regroupement de contrats ne crée pas une image faussée des risques sous-jacents aux contrats et n'introduit pas de biais dans leurs coûts ;*
- *il est probable que le regroupement de contrats produise approximativement les mêmes résultats pour le calcul de la meilleure estimation qu'un calcul contrat par contrat, en particulier pour ce qui concerne les garanties financières et les options contractuelles prévues par les contrats. "*

2 | Simulation d'un portefeuille d'assurés

1 Simulation des portefeuilles

Après avoir replacé le mémoire dans son contexte, il est intéressant d'étudier les simulations des portefeuilles qui ont été réalisées, notamment par soucis de confidentialité mais également pour permettre de simuler des données caractérisées en s'appuyant sur différents types de portefeuilles afin d'analyser l'impact de l'agrégation des données dans des cas distincts.

1.1 Le processus de création des portefeuilles

La simulation des données a été obtenue, tout d'abord, par l'utilisation de plusieurs portefeuilles clients d'assurance emprunteur de type différents tant au niveau de leur évolution (Run-off, stable, en croissance) qu'au niveau de leurs contrats de prêt (100% Immo, mixte Immo/Conso). Ces bases ont servi de point de départ et de comparaison, afin de rester en cohérence avec les caractéristiques d'un ensemble de contrats d'assurance emprunteur tout en respectant la confidentialité.

Pour simuler de manière fiable les données, il s'agit d'effectuer différentes étapes :

- Traitement de la base et des incohérences des portefeuilles clients ;
- Étude des distributions des variables quantitatives afin de trouver la meilleure estimation ;
- Détermination de la corrélation entre les variables quantitatives qui sont intéressantes pour la suite ;
- Application de la méthode Norta afin de simuler un portefeuille ;
- Vérification de la cohérence et traitement de la base obtenue.

Par la suite, les méthodes d'agrégations mises en place sont appliquées sur les bases de données ainsi obtenues. Enfin, à partir de cela, différents indicateurs sont calculés. Après analyse et comparaison des différents résultats, il est possible de déterminer si l'agrégation des données peut permettre d'obtenir une estimation pertinente, tout en réduisant la durée des calculs de manière significative. De même, il est intéressant de comparer les résultats des méthodes en fonction des types de portefeuilles afin de remarquer si cela a un impact.

1.1.1 Traitement des données

Dans un premier temps, le traitement des données est l'étape essentielle, d'une part, afin de sélectionner les variables quantitatives qui sont nécessaires pour la suite de notre étude, d'autre part afin d'obtenir une base cohérente qui sert de point de départ à la simulation.

Les variables quantitatives sélectionnées sont :

- L'année et le mois du début du contrat ;
- La durée initiale du prêt ;
- Le montant du capital initial ;
- Le taux intérêt du prêt ;
- L'âge de l'assuré à la date d'extraction ;
- Le montant du capital restant dû ;

- La quotité;
- Le taux de cotisation.

Les contrôles de cohérence effectués sont :

- Informations manquantes;
- Âge de souscription incohérent (inférieur à 18 ans ou supérieur à 80 ans);
- Capital initial inférieur au capital restant dû;
- Montants négatifs;
- Quotité supérieure à 100%...

1.1.2 La distribution des variables

Après avoir traité et choisi les variables quantitatives pour la suite de l'étude, il s'agit maintenant de les étudier et de déterminer, pour chacune d'entre elles, la loi qui se rapproche le plus de leurs distributions initiales. Pour cela, les distributions initiales sont ajustées par un maximum de vraisemblance par plusieurs lois (Normale, Weibull, Gamma, Log-normale...) à l'aide de la fonction *fitdistr* du package MASS sur le logiciel R. Afin de déterminer le meilleur choix, le critère d'information bayésienne (BIC) est calculé par la formule :

$$BIC = -2 \ln L + k \ln N$$

Avec :

- L est la vraisemblance du modèle estimé;
- N est le nombre d'observations de l'échantillon;
- k est le nombre de paramètres libres du modèle.

Le critère est calculé pour chaque modèle avec pour objectif de minimiser celui-ci.

Après avoir déterminée la loi qui permettra de simuler les données de manière juste, la même fonction que celle utilisée au-dessus donnera pour la loi choisie, les paramètres les plus judicieux à choisir.

1.1.3 La corrélation

Après avoir traité les données, sélectionné les variables intéressantes pour l'étude puis déterminé et expliqué la stratégie mise en place afin d'obtenir une simulation proche de nos attentes, il paraît nécessaire de reproduire la corrélation entre les variables pour garder des profils d'assurés cohérents, par exemple :

- La durée initiale du prêt est fortement corrélée positivement avec le montant du capital emprunté puisqu'en général, plus la durée du prêt est longue, plus le montant emprunté est important;
- La durée initiale du prêt est corrélée négativement avec l'âge de souscription, plus la durée initiale du prêt est longue plus l'âge de souscription est jeune;
- Le montant du capital initial doit être corrélé positivement avec l'âge de souscription car en général plus l'assuré est âgé plus il pourra se permettre au vu de sa situation professionnelle et de sa stabilité d'emprunter un capital important;
- Le taux de cotisation est corrélé positivement avec le capital initial car plus le montant prêt est important plus le taux de cotisation est élevé;

- Le taux d'intérêt est, quant à lui, corrélé négativement avec l'année de souscription, en effet, plus l'année de souscription est grande, plus le prêt est récent et donc plus le taux d'intérêt est bas au vu de la baisse des taux ces dernières années.

La matrice de corrélation entre les variables qui sera utilisée pour la suite de notre étude est la suivante :

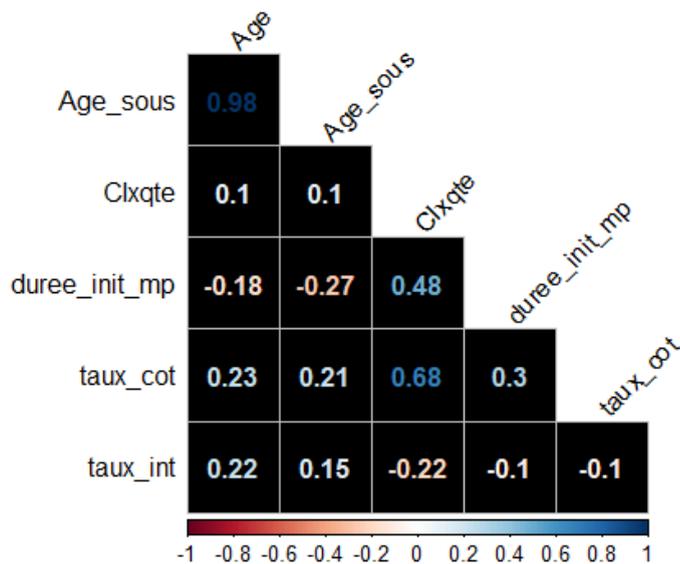


FIGURE 2.1 – Matrice de corrélation choisie pour la simulation des portefeuilles

Avec :

- Age : L'âge de l'assuré à la date d'extraction ;
- Age_sous : L'âge de souscription de l'adhérent ;
- Clxqte : Le montant du capital initial multiplié par la quotité ;
- duree_init_mp : La durée initiale du prêt en mois ;
- taux_cot : Le taux de cotisation ;
- taux_int : Le taux d'intérêt du prêt.

Cette matrice est obtenue en s'appuyant sur le calcul des corrélations entre les variables des bases réelles.

1.1.4 La méthode NORTA

Le principe de la méthode NORTA [13] est d'obtenir pour les variables du portefeuille initial une modélisation par une distribution multidimensionnelle qui s'ajuste de la meilleure façon aux données tout en respectant la dépendance existante entre les variables. Afin de garder la structure de dépendance on va simuler un vecteur aléatoire X à partir de sa matrice de corrélation et des distributions marginales. Notons $X = (X_1, \dots, X_d)$ le vecteur aléatoire que l'on cherche à simuler. Pour chaque X_i , on a la distribution conjointe :

$$F(x_1, \dots, x_d) = P_r\{X_1 \leq x_1, \dots, X_n \leq x_d\}$$

et les fonctions de distributions marginales,

$$F(x_i) = P_r\{X_i \leq x\}, \quad 1 \leq i \leq d.$$

Tout d'abord nous allons simuler un vecteur $N = (N_1, \dots, N_d)$, i.i.d d'une variable aléatoire normale centrée réduite. Soit R_ρ^Z la matrice de corrélation souhaitée pour le vecteur X, et L la matrice telle que,

$$R_\rho^Z = LL^t$$

On obtient alors le vecteur $Z = (Z_1, \dots, Z_d)$ grâce à la formule suivante :

$$Z = NL$$

Et donc,

$$Z \sim \mathcal{N}(0, R_\rho^Z)$$

Donc Z est une loi normale multivariée de moyenne zéro et de covariance la matrice de corrélation R_ρ^Z . La matrice de corrélation de Z est obtenue par la formule suivante :

$$\rho_{i,j}^Z = \text{Corr}(Z_i, Z_j), \quad 1 \leq i < j \leq d.$$

Et donc R_ρ^Z est construit à partir de tous les $\rho_{i,j}^Z$.

Afin d'obtenir X le nouveau vecteur, on effectue le calcul suivant pour chacun de ses éléments :

$$X_i = F_i^{-1}(\Phi(Z_i)), \quad 1 \leq i \leq d.$$

Avec :

- Φ est la fonction de répartition d'une loi normale centrée réduite ;
- Z_i est la i^{me} composante d'une normale multivariée.

Sur le logiciel R il existe une fonction notée *rnorta* du package *SimCorMultRes* qui permet d'obtenir un vecteur, selon la méthode NORTA, à partir des distributions marginales et de leurs paramètres ainsi que de la matrice de corrélation qui reflète la structure de dépendance que l'on souhaite reproduire.

1.1.5 Synthèse de la méthodologie de simulation des portefeuilles

Trois types de portefeuilles emprunteurs ont été simulés à partir de données clients. Pour ce faire, la méthode NORTA a été utilisée. Cette dernière nécessite l'obtention des distributions marginales des variables de la base réelle précédemment sélectionnées et traitées. Les distributions ont été choisies à l'aide du critère d'information bayésienne et les paramètres des lois par l'utilisation d'une fonction du logiciel R. La méthode utilise la matrice représentative des corrélations entre les variables des bases réelles qu'il est donc essentiel de calculer.

Ainsi, pour les données du portefeuille initial et à l'aide de ces informations, la méthode NORTA offre une modélisation basée sur une distribution multidimensionnelle. Cette distribution s'ajuste de manière pertinente aux données, tout en respectant la dépendance existante entre ces dernières.

1.2 Les portefeuilles choisis

Les études faites précédemment sont utilisées pour simuler trois types de portefeuilles qui gardent la structure d'un portefeuille emprunteur.

1.2.1 Le profil des portefeuilles

Sur le marché de l'assurance emprunteur, la majorité des prêts sont des prêts à annuités constantes et définis en fonction des capitaux initiaux. De plus, au vu de la faible présence d'autres types de prêts, les données permettant de calibrer les hypothèses et les lois sont moindres. Afin de simplifier les travaux mais également de ne pas avoir un calibrage moins précis et de ne pas générer des portefeuilles peu pertinents, seuls les prêts à annuités constantes et définis en fonction des capitaux initiaux sont simulés.

Les trois portefeuilles simulés sont composés de 150 000 observations et ont les caractéristiques suivantes :

- Portefeuille 1 : Un portefeuille stable composé à 20% de contrats emprunteurs à la consommation et à 80% de contrats immobiliers ;
- Portefeuille 2 : Un portefeuille stable composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers ;
- Portefeuille 3 : Un portefeuille en run-off depuis 2012 composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers.

1.3 La distribution des variables

Les lois mises en place pour la simulation des trois portefeuilles sont récapitulées dans le tableau de la figure 2.2 ci-dessous.

	Portefeuille 1		Portefeuille 2	Portefeuille 5
	Immo	Conso	Immo	Immo
Age	Gamma - Shape : 14 - Rate : 0,3	Weibull - Shape : 3,7 - Scale : 53	Gamma - Shape : 13,6 - Rate : 0,3	Gamma - Shape : 29,2 - Rate : 0,6
Age de souscription	Gamma - Shape : 12 - Rate : 0,3	Weibull - Shape : 3,5 - Scale : 50	Gamma - Shape : 12,4 - Rate : 0,3	Gamma - Shape : 19,2 - Rate : 0,52
Capital initial x quotité	Weibull - Shape : 1 - Scale : 35 500	Log-normale - Meanlog : 8,5 - Sdlog : 1	Log-normale - Meanlog : 10 - Sdlog : 1,3	Weibull - Shape : 1,18 - Scale : 67201
Durée initiale du prêt	Weibull - Shape : 1,7 - Scale : 160	Cauchy - Location : 58 - Scale : 10	Weibull - Shape : 1,7 - Scale : 159	Normale - Mean : 270 - Sd : 70
Taux d'intérêt	Weibull - Shape : 1,3 - Scale : 2,8	Log-normale - Meanlog : 0,8 - Sdlog : 0,6	Weibull - Shape : 1,2 - Scale : 2,8	Weibull - Shape : 1,9 - Scale : 3,2
Taux de cotisation	Log-normale - Meanlog : -1,2 - Sdlog : 0,8	Log-normale - Meanlog : -0,5 - Sdlog : 0,5	Log-normale - Meanlog : -1,2 - Sdlog : 0,8	Cauchy - Location : 0,37 - Scale : 0,06

FIGURE 2.2 – Distributions des variables utilisées pour la simulation des 3 portefeuilles

L'analyse des portefeuilles a mis en avant des prêts atypiques concernant le montant du prêt. En règle générale, ils sont étudiés avec attention au vu des montants des capitaux sous risque, notam-

ment pour la tarification de l'assurance. Afin de ne pas influencer le calibrage des lois par ces prêts assimilables à des valeurs extrêmes, la base qui a servie à l'ajustement des lois et des paramètres a été tronquée de 5% de ces valeurs extrêmes pour le portefeuille 1.

Pour la suite des calculs, le capital restant dû sera utilisé et calculé à l'aide de la formule suivante :

$$CRD = CI \frac{1 - (1 + \text{taux_int})^{\frac{-\text{duree_init_mp}}{12} + \text{duree_act}}}{1 - (1 + \text{taux_int})^{\frac{-\text{duree_init_mp}}{12}}}$$

Avec : duree_act : La durée écoulée depuis la souscription en année.

1.3.1 Quelques statistiques

Voici les principales statistiques des portefeuilles obtenues :

		Age moyen de souscription	Age moyen actuel	CI x quotité moyen	CRD x quotité moyen	Durée initiale moyenne (en mois)	Taux d'intérêt moyen	Taux de cotisation moyen
Portefeuille 1	Conso	45	48	8 225	4 672	71	2,50%	0,70%
	Immo	38	45	38 710	22 084	167	2,35%	0,43%
Portefeuille 2	Immo	39	45	40 856	22 252	176	2,40%	0,37%
Portefeuille 3	Immo	37	49	65 448	38 304	280	2,90%	0,43%

FIGURE 2.3 – Principales statistiques des variables des 3 portefeuilles

La comparaison des données simulées et réelles confirment que les bases obtenues reproduisent les caractéristiques d'un portefeuille d'assurance emprunteur.

2 Méthodes d'agrégations

Les trois bases fictives sont alors obtenues. L'objectif du mémoire est de montrer, dans les circonstances actuelles, l'impact de l'agrégation des données si elle est utilisée en assurance emprunteur. Il est donc nécessaire d'établir différentes méthodes afin d'agréger les trois portefeuilles simulés. L'intention n'est pas de trouver la meilleure technique de regroupement, car cela dépendrait d'une part de ce que l'assureur cherche précisément calculer et d'autre part de la précision qu'il souhaite obtenir. De ce fait, les stratégies d'associations sont choisies par expérience, en diversifiant les variables qui agrègent la base et sont appliquées aux trois portefeuilles.

A l'origine, l'ensemble des bases fictives sont composées de 150 000 observations et sont de la forme suivante :

Nombre d'individus	Date de souscription	Date de naissance	Etat de l'assuré	Type de prêt	Taux d'intérêt annuel du prêt	Durée de remboursement en mois	Assiette de cotisation	Taux de prime annuel	(CRD x quotité)	(CI x quotité)
1,0	30/06/2013	30/06/1967	Valide	Annuité constante	2,33%	240	Capital Initial	0,62%	71 645	102 216
1,0	30/06/2015	30/06/1987	Valide	Annuité constante	2,07%	300	Capital Initial	0,19%	46 048	54 897
1,0	30/06/2016	30/06/1984	Valide	Annuité constante	1,69%	240	Capital Initial	1,11%	45 785	55 439
1,0	30/06/2014	30/06/1981	Valide	Annuité constante	1,38%	300	Capital Initial	0,57%	48 117	60 882
1,0	30/06/2012	30/06/1977	Valide	Annuité constante	1,26%	300	Capital Initial	0,98%	48 504	67 986
1,0	30/06/2015	30/06/1968	Valide	Annuité constante	1,46%	240	Capital Initial	0,70%	75 379	97 071
1,0	30/06/2016	30/06/1978	Valide	Annuité constante	2,22%	120	Capital Initial	0,77%	60 153	96 079
1,0	30/06/2016	30/06/1965	Valide	Annuité constante	1,35%	120	Capital Initial	0,38%	57 856	93 912
1,0	30/06/2015	30/06/1988	Valide	Annuité constante	1,06%	120	Capital Initial	0,70%	29 367	57 221
1,0	30/06/2015	30/06/1971	Valide	Annuité constante	1,52%	180	Capital Initial	0,62%	38 071	55 056

FIGURE 2.4 – Extrait d'une base d'un portefeuille avant agrégation

2.1 Méthode 1

La première méthode ne tient pas compte du mois de naissance et de souscription puisque nous considérerons que l'ensemble des souscripteurs est né dans le courant du mois de juin. La base de données est agrégée par les variables :

- Année de naissance ;
- Année de souscription.

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt ;
- Le capital initial multiplié par la quotité ;
- Le taux d'intérêt du prêt ;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des portefeuilles :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	976	1152	848
Taux de compression	99,3%	99,2%	99,4%

FIGURE 2.5 – Méthode 1 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.2 Méthode 2

En ce qui concerne la deuxième méthode, la base de données est agrégée par les variables :

- Mois de naissance ;
- Année de naissance ;
- Mois de souscription ;
- Année de souscription.

Les mois de naissance et de souscription sont regroupés selon le principe suivant :

- Janvier, Février, Mars deviennent Février ;
- Avril, Mai, Juin deviennent Mai ;
- Juillet, Août, Septembre deviennent Août ;
- Octobre, Novembre, Décembre deviennent Novembre.

Exemple : Un individu né en décembre 1975 ayant souscrit son contrat en mars 2002 deviendra un individu né en novembre 1975 ayant souscrit un contrat en février 2002

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt ;
- Le capital initial multiplié par la quotité ;
- Le taux d'intérêt du prêt ;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des portefeuilles :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	11 898	13 183	9 506
Taux de compression	92,1%	91,2%	93,7%

FIGURE 2.6 – Méthode 2 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.3 Méthode 3

La troisième méthode ne tient pas compte du mois de naissance et de souscription de l'individu, les souscripteurs sont considérés comme étant nés dans le courant du mois de juin. La base de données est agrégée par les variables :

- Année de naissance;
- Année de souscription.

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt;
- Le capital initial multiplié par la quotité;
- Le taux d'intérêt du prêt;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Excepté pour la variable *capital initial multiplié par la quotité* qui sera calculée en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	976	1152	848
Taux de compression	99,3%	99,2%	99,4%

FIGURE 2.7 – Méthode 3 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.4 Méthode 4

En ce qui concerne la quatrième méthode, la base de données est agrégée par les variables :

- Mois de naissance;
- Année de naissance;
- Mois de souscription;
- Année de souscription.

Les mois de naissance et de souscription des individus sont regroupés selon le principe suivant :

- Janvier, Février, Mars deviennent Février ;
- Avril, Mai, Juin deviennent Mai ;
- Juillet, Août, Septembre deviennent Août ;
- Octobre, Novembre, Décembre deviennent Novembre.

Exemple : Un individu né en décembre 1975 ayant souscrit son contrat en mars 2002 deviendra un individu né en novembre 1975 ayant souscrit un contrat en février 2002

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt ;
- Le capital initial multiplié par la quotité ;
- Le taux d'intérêt du prêt ;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Excepté pour la variable *capital initial multiplié par la quotité* qui sera calculée en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	11 898	13 183	9 506
Taux de compression	92,1%	91,2%	93,7%

FIGURE 2.8 – Méthode 4 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.5 Méthode 5

Pour la méthode 5, la base de données est agrégée par les variables :

- Année de naissance ;
- Année de souscription ;
- Durée initiale du prêt.

Pour les variables calculées :

- Le capital initial multiplié par la quotité ;
- Le taux d'intérêt du prêt ;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Excepté pour la variable *capital initial multiplié par la quotité* qui sera calculée en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	3 387	4 133	2 824
Taux de compression	97,7%	97,2%	98,1%

FIGURE 2.9 – Méthode 5 : Tableau répertorient le nombre de lignes avant et après l’agrégation des portefeuilles

2.6 Méthode 6

La méthode 6 agrège la base de données par les variables :

- Année de naissance ;
- Année de souscription ;
- Capital initial x quotité.

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt ;
- Le taux d’intérêt du prêt ;
- Le taux de cotisation du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Voici le nombre d’observations obtenu avant et après l’agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	5 426	6 512	4 652
Taux de compression	96,4%	95,7%	96,9%

FIGURE 2.10 – Méthode 6 : Tableau répertorient le nombre de lignes avant et après l’agrégation des portefeuilles

2.7 Méthode 7

La méthode 7 agrège la base de données par les variables :

- Année de naissance ;
- Année de souscription ;
- Taux de cotisation.

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt ;
- Le capital initial multiplié par la quotité ;
- Le taux d’intérêt du prêt.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Excepté pour la variable *capital initial multiplié par la quotité* qui sera calculée en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d’observations obtenu avant et après l’agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	5 608	6 132	4 625
Taux de compression	96,3%	95,9%	96,9%

FIGURE 2.11 – Méthode 7 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.8 Méthode 8

La méthode 8 agrège la base de données par les variables :

- Année de naissance;
- Année de souscription;
- Taux d'intérêt.

Pour les variables calculées :

- La durée initiale du prêt;
- Le capital initial multiplié par la quotité;
- Le taux de cotisation.

Elles seront calculées en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des sous-ensembles de données. Excepté pour la variable *capital initial multiplié par la quotité* qui sera calculée en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. Voici le nombre d'observations obtenu avant et après l'agrégation des données par cette méthode pour chaque portefeuille :

	Portefeuille 1	Portefeuille 2	Portefeuille 3
Nombre de lignes avant agrégation	150 000	150 000	150 000
Nombre de ligne après agrégation	4 896	5 620	4 009
Taux de compression	96,7%	96,3%	97,3%

FIGURE 2.12 – Méthode 8 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles

2.9 Synthèse des méthodes

Les méthodes d'agrégation pour l'étude ont été choisies, il s'agit donc d'appliquer ces huit techniques aux trois bases de données afin d'en comparer les résultats pour différents indicateurs. Le tableau suivant résume toutes les caractéristiques de ses stratégies de regroupement.

	Date de naissance	Date de souscription	Durée initiale du prêt	Capital initial x quotité (Cixqte)	Taux d'intérêt	Taux de cotisation
Méthode 1	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 2	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 3	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 4	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 5	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Agrégée par la durée initiale du prêt	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 6	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le capital initial multiplié par la quotité	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 7	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le taux de cotisation
Méthode 8	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Agrégée par le taux d'intérêt	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte

FIGURE 2.13 – Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation

3 Modélisation des contrats emprunteurs sous les référentiels Solvabilité 1 et Solvabilité 2

Comme énoncé précédemment, ces huit méthodes d'agrégation sont appliquées aux trois bases de données afin d'en comparer les résultats pour différents indicateurs. Il est donc maintenant judicieux de présenter quels indicateurs seront calculés.

Un outil Excel / VBA est mis en place afin de projeter les flux et de modéliser la garantie DC et AT dans les référentiels "Solvabilité 1" et "Solvabilité 2". Les hypothèses et paramètres qui sont utilisés pour ce mémoire seront également présentés dans cette partie.

3.1 Le modèle

3.1.1 Les données

Auparavant les portefeuilles fictifs ont été choisis et simulés, ils ont ensuite été agrégés en suivant les stratégies d'association précisées antérieurement. A la suite de ces étapes, les *model points* sont construits et la base agrégée finale est obtenue. Cette dernière est composée de toutes les variables qui sont nécessaires aux calculs des indicateurs qui seront présentés par la suite. Voici à la page suivante un extrait du portefeuille 1 agrégé par la méthode 1 :

Nombre d'individus MP	Date de souscription	Date de naissance	Etat de l'assuré	Type de prêt	Taux d'intérêt annuel du prêt	Durée de remboursement en mois	Assiette de cotisation	Taux de prime annuel	(CRD x quotité)	(CI x quotité)
42	30/06/2010	30/06/1950	Valide	Annuité constante	2,40%	207	Capital Initial	0,81%	28 336	60 179
5	30/06/2011	30/06/1933	Valide	Annuité constante	2,41%	168	Capital Initial	0,94%	30 092	76 016
150	30/06/2010	30/06/1961	Valide	Annuité constante	2,94%	225	Capital Initial	0,64%	25 830	48 395
40	30/06/2012	30/06/1945	Valide	Annuité constante	2,66%	159	Capital Initial	0,57%	23 895	54 517
255	30/06/2013	30/06/1961	Valide	Annuité constante	2,16%	157	Capital Initial	0,54%	22 964	45 961
131	30/06/2018	30/06/1955	Valide	Annuité constante	2,27%	65	Capital Initial	0,75%	12 359	19 162
17	30/06/2011	30/06/1939	Valide	Annuité constante	2,64%	138	Capital Initial	0,59%	9 525	39 466
501	30/06/2013	30/06/1968	Valide	Annuité constante	2,34%	166	Capital Initial	0,49%	23 790	44 687
231	30/06/2015	30/06/1967	Valide	Annuité constante	1,90%	158	Capital Initial	0,58%	32 864	50 590

FIGURE 2.14 – Exemple du début du portefeuille 1 agrégé par la méthode 1

Parallèlement, l'outil de calculs ainsi que ses hypothèses et paramètres de projection énoncés ci-dessous seront les mêmes pour tous les portefeuilles et toutes les méthodes. Cela permettra de comparer les résultats de manière cohérente.

3.1.2 Hypothèses

- La date d'évaluation : 31/12/2020 ;
- Le taux technique : 0,00% au 31/12/2020 ;
- La table de mortalité : TH00-02, de par l'expérience acquise en assurance emprunteur, la table de mortalité est abattue de 65%. La projection étant mensuelle, le taux mensuel est utilisé et calculé par la formule suivante : $Taux_{mensuel} = 1 - (1 - Taux_{annuel})^{1/12}$;
- Taux de résiliation annuel : 3% (Mensuel : $Taux_{resiliation_{mensuel}} = 1 - (1 - Taux_{resiliation_{annuel}})^{1/12}$ soit 0,25%) ;
- Nombre de mois de franchise : 3 mois ;
- Taux de chargement : 7% ;
- Taux de rendement : 0% ;
- Taux commission fixe : 18% ;
- Taux de commission variable établi selon un système de commissions variables définies en fonction du niveau de S/P de l'année.

3.1.3 Paramétrage légal

- TSCA décès (avant le 01/01/2019) : 0% ;
- TSCA décès (à partir du 01/01/2019) : 9% ;
- TSCA arrêt de travail : 9%.

3.1.4 Participation aux bénéfices

La participation aux bénéfices représente 85% des produits financiers et 90% des produits techniques. Dans cette étude, seuls les contrats d'assurance emprunteur sont simulés donc les produits financiers sont considérés comme nuls et l'hypothèse est faite que le taux de rendement est à 0%. La partie composée de 85% des produits financiers est nulle. En ce qui concerne la partie résultat technique, comme tout au long de la projection, la même loi de mortalité est utilisée pour le calcul des provisions et pour le règlement des sinistres. Il n'y aura pas de pertes ni de gains techniques donc les Boni-Mali seront inexistantes et par conséquent le résultat technique est nul. De ce fait, aucune participation aux bénéfices n'a été modélisée.

3.1.5 La simulation des individus en incapacité

Un portefeuille d'assurance emprunteur possède communément très peu d'individus à l'état d'incapacité compte tenu du nombre d'assurés à l'état valide. Il a donc été décidé, pour cette étude, qu'à la date d'évaluation aucun assuré ne serait considéré en incapacité.

Cette hypothèse n'est pas réaliste, cependant, effectuer un tirage aléatoire dans la base parmi les individus valides afin de simuler des assurés en incapacité n'a pas paru être un choix judicieux. En effet, procéder de cette manière reviendrait à modéliser des individus en incapacité à la date d'évaluation non agrégée car ils sont uniques, et donc certaines lignes "en tête à tête" seraient identiques à celles agrégées.

Cette hypothèse n'est pas la plus pragmatique. En réalité il devrait y avoir des provisions au début de la projection comme les provisions pour sinistres non connus. Néanmoins, ce mémoire s'intéresse à l'impact de l'agrégation des données.

En choisissant de tirer aléatoirement les individus en incapacité au début de la projection, le calcul aurait été le même pour la base agrégée et non agrégée, ce qui aurait été inintéressant.

L'intérêt est de comparer les résultats du calcul tête par tête, à ceux obtenus par les méthodes d'agrégation. Cela reste possible même sans simuler d'individus en incapacité à la date d'évaluation car ils ne seront simulés ni dans le cas agrégé ni dans le cas non agrégé.

Une analyse des caractéristiques des personnes en incapacité aurait pu être réalisée mais ces cas étant peu nombreux, il y aurait eu un risque important d'obtenir des lois peu crédibles et des paramètres calibrés qui n'auraient pas été représentatifs de la réalité.

Les individus en incapacité ne sont donc pas modélisés à la date d'évaluation mais ils le seront dans le futur.

3.1.6 Le mécanisme de la projection des AT / DC sur l'outil

État valide à arrêté : Pour un mois t (en se plaçant au début du mois), un stock d'individus valides est à disposition, sur lequel un taux de passage de l'état valide à l'état d'incapacité/invalidité est appliqué en utilisant la loi d'incidence.

État valide à valide : Pour chaque mois de projection, les personnes passant en arrêt de travail, décédées ou qui ont résilié sont retirées du stock d'individus valides. Les individus passés de l'état arrêté à valide sont ajoutés à ce stock.

État valide à résilié : Un taux de rachat de 3% est appliqué sur le stock d'individus valides.

État valide à décédé : Un taux de mortalité est appliqué sur le stock d'individus valides. Ce taux est obtenu en utilisant la table TH-002 sur laquelle est appliqué un abattement de 65%.

État arrêté à arrêté : La loi de maintien est appliquée sur le stock d'individus en incapacité. Cela permet d'obtenir le nombre de personnes restant en arrêt de travail au fur et à mesure des mois d'écoulement. La table de la loi d'incidence indique le taux de maintien des individus en fonction de l'âge de passage en arrêt de travail et du nombre de mois passés en arrêt de travail.

État arrêté à valide : Les personnes décédées et maintenues à l'état d'arrêtés sont retirées du stock des individus en arrêt de travail.

État arrêté à décédé : Le nombre d'individu est calculé en appliquant la loi de mortalité qui se repose sur la table TH-002 à laquelle est appliqué un abattement de 65%.

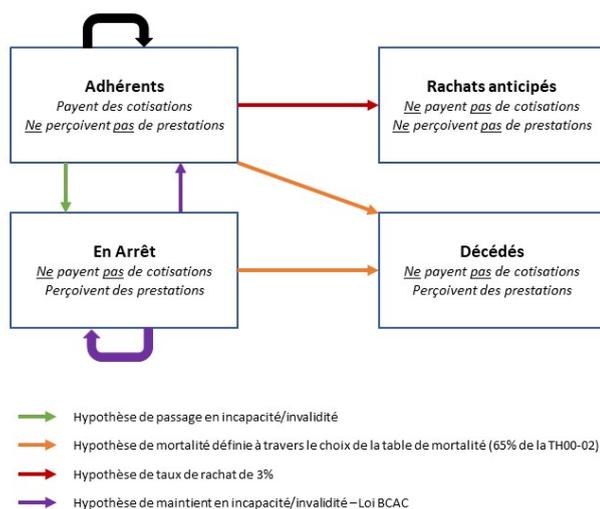


FIGURE 2.15 – Illustration des états et des possibilités de passage pour un assuré

3.2 Solvabilité 1

3.2.1 Provisions

Les provisions en assurance emprunteur sont les suivantes :

- PSAP (Provision Pour Sinistres à Payer) connus : la somme des provisions des sinistres survenus et connus ;
- PSAP non connus : est la somme des provisions des sinistres survenus et non déclarés ;
- PRC (Provision pour Risques Croissants) et PM (Provision mathématique) : correspondent à la différence des valeurs actuelles des engagements respectivement pris par l'assureur et par les assurés sur le risque arrêt de travail pour la PRC et sur le risque décès pour la PM. Par abus de langage, le terme de PRC est utilisé pour ces deux provisions.

PRC

Comme énoncé précédemment, les portefeuilles simulés sont composés uniquement de prêts tarifiés en pourcentage du capital initial.

Les figures 2.16 et 2.17, visibles à la page suivante, représentent un contrat d'assurance emprunteur pour un individu ayant souscrit un prêt à l'âge de 40 ans, d'un montant initial de 75 000 € pour un taux d'intérêt annuel de 1.5% et pour une durée de 15 ans.

EVOLUTION TEMPORELLE DE LA DIFFÉRENCE DES VAP

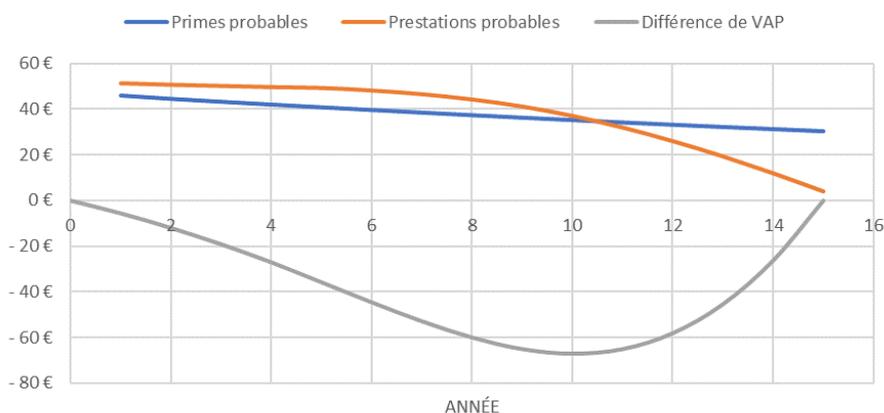


FIGURE 2.16 – Évolution de la différence des VAP pour un contrat d’une durée de 15 ans tarifié en pourcentage du CI

EVOLUTION TEMPORELLE DE LA DIFFÉRENCE DES VAP

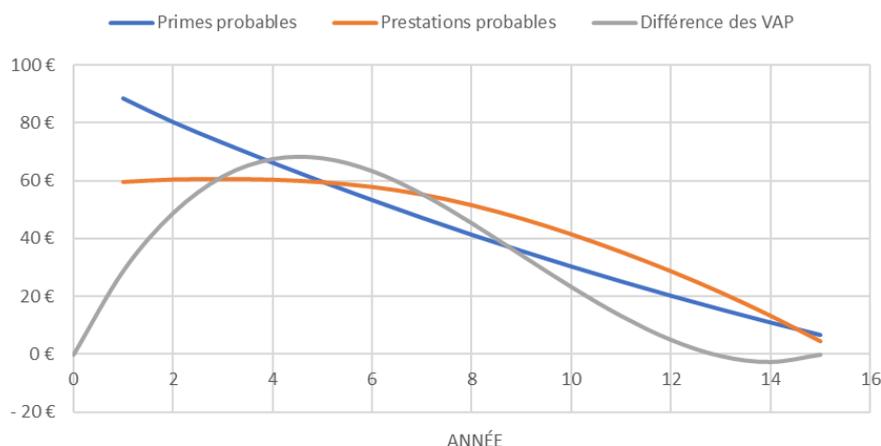


FIGURE 2.17 – Évolution de la différence des VAP pour un contrat d’une durée de 15 ans tarifié en pourcentage du CRD

Ces différentes figures montrent l’évolution du montant des primes probables et des prestations probables au cours du temps. La différence des VAP a également été représentée. L’année 0 correspond au 31/12 de l’année de souscription.

L’analyse de la figure 2.16 montre que la différence des VAP est toujours négative dans le cas d’un contrat tarifié en pourcentage du capital initial.

A l’inverse, l’étude de la figure 2.17 montre que la différence de VAP pour un contrat tarifié en pourcentage du capital restant est majoritairement positive.

Pour un contrat tarifié en pourcentage du CRD, la majorité des primes sont payées en début de contrat. Or les sinistres surviennent tout au long du contrat donc la différence des VAP est positive.

Au contraire, lorsque le contrat est tarifié en pourcentage du CI, l'assuré paye des cotisations à la fin du contrat ce qui entraîne que la différence des VAP est négative.

Au vu de ces résultats, pour la suite, il sera considéré que la PRC est pratiquement nulle et donc par simplification elle ne sera pas prise en compte. Cette hypothèse n'est pas réaliste, c'est un choix de modélisation. En effet, cela n'aura aucun impact significatif sur le calcul des indicateurs (Primes, SCR, BE).

Les charges pour la garantie décès

Dans notre outil, la charge ultime est modélisée grâce à la formule suivante :

$$Prestations_{DC}(t) = CRD(Stock_{valide}(t+1) - Stock_{valide}(t))$$

Avec :

- $Stock_{valide}(t)$ qui représente le nombre de valides au début du mois t ;
- $Stock_{valide}(t+1) = Stock_{valide}(t) + (Nb_{DC}(t) + Nb_{Resiliation}(t))$;
- $Nb_{DC}(t) = l_x(t) - l_x(t+1)$;
- $Nb_{Resiliation}(t) = Stock_{valide}(t)Taux_{Resiliation}$.

Une majorité de cette charge sera payée l'année en cours, cependant, les sinistres, non connus ou connus, qui surviendront en fin d'année resteront à payer. Soit S le pourcentage de sinistres payés l'année après sa survenance. Par expérience, la valeur choisie est : $S = 20\%$.

Les prestations permettent de calculer facilement les provisions pour la garantie décès au début du mois t par la formule :

$$Provisions_{DC}(t) = Prestations(t) * S$$

Afin de simplifier, seule l'assiette de calcul de cotisation en fonction du capital initial est représentée dans cette étude. Elle est la plus choisie. Les cotisations sont calculées par la formule :

$$Prime^{CI} = Taux_{Prime}^{CI} CI_t Stock_{valide}(t)$$

Les charges pour la garantie arrêt de travail

Les prestations pour la garantie arrêt de travail à la date t sont égales au produit de la mensualité et du nombre d'individus en arrêt à cette date à condition que le délai de franchise soit dépassé et que le prêt soit toujours en cours. On obtient donc :

$$Prestations_{AT}(t) = m * \mathbf{1}_{[t > franchise]} * \mathbf{1}_{[t = pret-en-cours]} \sum_{k=0}^t (x_{t-k}^k)$$

Avec :

- m : la mensualité ;
- x_{t-k}^k : individus tombés en arrêt à la date $(t-k)$ et ayant k mois d'ancienneté.

Les provisions pour la garantie arrêt de travail à la date t sont égales à la somme pour k allant de t à l'infini des prestations à la date k associés aux individus en arrêt à la date t ou avant multiplié par le facteur d'actualisation à la date $(k-t)$. On obtient donc :

$$Provision_{AT}(t) = \sum_{k=t}^{\infty} (m * \mathbf{1}_{[t > franchise]} * \mathbf{1}_{[t = pret-en-cours]} * \sum_{i=0}^k (x_{k-i}^i * \mathbf{1}_{[t \geq date-entree-arret]}) * actu(k-t))$$

3.2.2 Compte de résultat

Le compte de résultat est un document qui détaille la variation de capitaux propres de l'exercice. Il est composé du résultat technique et des frais généraux. [11]

L'outil de calcul permet d'obtenir le compte de résultat de la forme suivante :

Montants en K€					
Année	2021	2022	2023	2024	2025
(1) Primes HT - TOTALES	67 964	65 843	63 816	61 853	59 952
(2) Règlements de sinistres	1 791	2 315	2 323	2 319	2 312
(3) Provisions 31/12	426	1 294	1 995	2 611	3 160
(4) Charge de sinistres	2 218	3 182	3 025	2 935	2 860
(5) Produits financiers	0	0	0	0	0
(6) Résultat technique et financier, hors frais (6) = (1) - (4) + (5)	65 746	62 661	60 791	58 918	57 091
(7) Ratio de sinistralité S/P (7) = 1 - (6) / (1)	3,3%	4,8%	4,7%	4,7%	4,8%
(8) Frais	4 757	4 609	4 467	4 330	4 197
(9) Résultat technique et financier, y.c. frais (9) = (6) - (8)	60 989	58 052	56 324	54 589	52 895
Commission (fixe = 20 %) de commercialisation	13 593	13 169	12 763	12 371	11 990
Commission (variable) de gestion administrative et de pilotage de la délégation, y.c. avance	22 428	21 728	21 059	20 412	19 784
Taux de commission (variable)	33%	33%	33%	33%	33%
(10) TOTAL - Commissions	36 021	34 897	33 822	32 782	31 774
(11) Résultat technique et financier, y.c. commissions (11) = (9) - (10)	24 968	23 155	22 502	21 806	21 120

FIGURE 2.18 – Compte de résultat du portefeuille 1 agrégé par la méthode 1 pour les 5 prochaines années

Il est donc composé :

- Des primes, des règlements de sinistres et des provisions dont le calcul a été explicité précédemment ;
- Du ratio de sinistralité S/P : $Ratio_{S/P} = 1 - \frac{Primes - Charge_{sinistre} + Produits_{financiers}}{Primes}$, les produits financiers sont considérés comme nuls car seuls des contrats en assurance emprunteur sont simulés dans cette étude ;
- Des frais : $Frais(t) = Taux_{frais}(t) * Primes(t)$;
- Des commissions : $Commissions_{total} = Commissions_{fixe} + Commissions_{variable}$;
 1. $Commissions_{fixe} = Taux_{commission_{fixe}} * Primes_{totales}$;
 2. $Commissions_{variables} = Taux_{commission_{variable}} * Primes_{totales}$;
- Des charges de sinistres : $Charge_{sinistre}(t) = Prestations(t) + (Provisions(t) - Provisions(t-1))$.

3.3 Solvabilité 2

Tel que mentionné dans le chapitre 1 partie 2.3.2, le SCR se divise en sous-module. L'actif n'est pas modélisé ce qui implique que le SCR de marché ne peut pas être calculé de manière pertinente donc le SCR total n'est pas modélisé. Les indicateurs calculés sont ceux associés au passif.

3.3.1 Le Best Estimate

Le Best Estimate doit être segmenté en « Line of Business » (LoB). Les LoB sont définies dans les spécifications techniques fournies par EIOPA. La classification en LoB est effectuée selon la nature des risques et la matérialité des garanties. Dans le cas de l'assurance emprunteur, la garantie décès appartient au LoB 32 "Autre assurance vie" associé au sous-module Vie. La garantie arrêt de travail appartient au LoB 29 "Assurance santé SLT" associé au sous-module Santé SLT. Pour la suite, le calcul du BE s'effectue de la manière suivante :

$$BE = BE(LoB - 32) + BE(LoB - 29) + BE(Frais) + BE(Commissions)$$

Donc,

$$BE = BE(DC) + BE(AT) + BE(Frais) + BE(Commissions)$$

Avec :

$$BE(DC) = BE(Sinistres_{DC}) - BE(Primes_{DC})$$

Et,

$$BE(AT) = BE(Sinistres_{AT}) - BE(Primes_{AT})$$

Où :

- $BE(Primes)$: correspond aux flux de primes probables actualisés par la courbe des taux sans risque de l'EIOPA ;
- $BE(Sinistres)$: correspond aux flux de sinistres probables actualisés par la courbe des taux sans risque de l'EIOPA.

Dans la suite, les calculs du SCR Santé et du SCR Vie sont effectués.

3.3.2 Le SCR Vie

Pour calculer le SCR_{Vie} , les chocs suivants sont appliqués :

- Choc de mortalité ;
- Choc de longévité ;
- Choc d'invalidité-morbidité ;
- Choc de dépense ;
- Choc de révision ;
- Choc de cessation ;
- Choc de catastrophe (CAT).

Grâce à ces chocs, le SCR_{Vie} est calculé par la formule [14] :

$$SCR_{Vie} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} Vie_i Vie_j}$$

Avec : $Corr_{i,j}$ qui correspond à la corrélation entre les différents sous-modules, ces coefficients sont donnés par une matrice qui est située en annexe.

Le SCR de chaque sous-module est obtenu en calculant la variation de la Net Asset Value (ΔNAV) qui est obtenue grâce à la formule [12] :

$$\Delta NAV = NAV(\text{central}) - NAV(\text{choc}) = (A_0 - BE_0) - (A_1 - BE_1)$$

Avec :

- A_0 et A_1 la valeur des actifs respectivement du scénario central et du scénario choqué ;
- BE_0 et BE_1 la valeur du Best Estimate respectivement du scénario central et du scénario choqué.

Dans le cadre des chocs qui sont étudiés, c'est-à-dire les chocs liés aux sous-modules Vie et Santé SLT, la valeur de marché initiale de l'actif reste inchangée et donc on a : $A_0 = A_1$. On obtient donc :

$$\Delta NAV = BE_1 - BE_0$$

Le risque de mortalité Le risque de mortalité a pour but de mesurer l'effet sur les provisions d'une hausse durable des taux de décès. Elle est modélisée par une hausse soudaine et permanente de 15% des taux de décès qui doit s'appliquer quel que soit l'état de santé. On obtient alors :

$$Vie_{Mort} = BE_{Mort} - BE_{Central}$$

Le risque de longévité Le risque de longévité a pour but de mesurer l'impact d'une baisse durable des taux de décès. Or, en assurance emprunteur, si les individus ont une probabilité de survie plus grande, ils vont de manière probable payer plus de primes. De plus, étant donné qu'il y aurait d'une manière probable moins de décès, il y aurait moins de prestations. Ainsi, le risque décès n'est pas soumis au risque de longévité.

Le risque d'invalidité-morbidité Le risque d'invalidité-morbidité a pour but de mesurer l'effet sur les provisions d'une hausse des aggravations et d'une baisse des améliorations de l'état de santé. Les chocs suivants sont donc appliqués :

- Hausse de 35 % des taux d'invalidité-morbidité au cours des 12 mois à venir ;
- Hausse de 25 % des taux d'invalidité-morbidité pour tous les mois postérieurs aux 12 mois à venir ;
- Baisse de 20 % des taux de recouvrement pour l'invalidité-morbidité concernant les 12 mois à venir et l'ensemble des années ultérieures.

On obtient alors :

$$Vie_{inval-morb} = BE_{inval-morb} - BE_{Central}$$

Le risque de dépense Le risque de dépense est modélisé pour une augmentation de 10 % du montant des dépenses.

$$Vie_{dep} = BE_{dep} - BE_{Central}$$

Le risque de révision La garantie décès en assurance emprunteur de la même manière que pour le risque longévité n'est pas soumis à ce risque.

Le risque de cessation Le risque de cessation se calcule de la manière suivante :

$$Vie_{Cess} = \text{Max}(Cess_{haute}; Cess_{basse}; Cess_{masse})$$

Avec : $Cess_i = BE_i - BE_{Central}$ et :

- Cessation Haute : Hausse soudaine permanente de 50 % des taux d'exercice des options pertinentes exposées dans la limite de 100% ;
- Cessation Basse : Baisse soudaine permanente de 50 % des taux d'exercice des options pertinentes exposées dans la limite de 20 points ;
- Cessation Masse : Cessation soudaine de 40% des contrats d'assurance.

Dans le cadre de l'assurance emprunteur, le choc qui induit une variation de la NAV la plus importante est celui de la cessation de masse.

Le risque de catastrophe (CAT) Le risque de catastrophe est modélisé par une hausse soudaine de 0,15 points de pourcentage des taux de mortalité (exprimés en pourcentage) au cours des 12 mois à venir. Le SCR du risque CAT s'obtient donc en calculant :

$$Vie_{CAT} = BE_{CAT} - BE_{Central}$$

3.3.3 Le SCR Santé SLT

Pour calculer le $SCR_{SanteSLT}$, les chocs suivants sont appliqués :

- Choc de mortalité ;
- Choc de longévité ;
- Choc d'invalidité-morbidité ;
- Choc de dépense ;
- Choc de révision ;
- Choc de cessation.

De la même manière que précédemment, grâce à ces chocs, le $SCR_{SanteSLT}$ est obtenu par la formule :

$$SCR_{SanteSLT} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} SanteSLT_i SanteSLT_j}$$

Avec : $Corr_{i,j}$ qui correspond à la corrélation entre les différents sous-modules, ces coefficients sont donnés par une matrice qui est située en annexe.

Le risque de mortalité Le risque de mortalité a pour but de mesurer l'effet sur les provisions d'une hausse durable des taux de décès. Elle est modélisée par une hausse soudaine et permanente de 15% des taux de décès qui doit s'appliquer quel que soit l'état de santé. On obtient alors :

$$SanteSLT_{Mort} = BE_{Mort} - BE_{Central}$$

Le risque de longévité Le risque longévité est modélisé dans le sous-module Santé SLT. En effet, le taux de mortalité diminue donc le nombre d'individus à l'état valide augmente. Lorsque le taux d'incidence est appliqué, le nombre d'individus en arrêt de travail croît et cela implique que plus de prestations sont versées. Si on s'intéresse au Best Estimate l'impact sera négatif. Le risque longévité

est modélisé par une baisse soudaine et permanente de 20 % des taux de mortalité. Le SCR du risque longévité s'obtient donc en calculant :

$$SanteSLT_{Longevite} = BE_{Longevite} - BE_{Central}$$

Le risque d'invalidité-morbidité Le risque d'invalidité-morbidité a pour but de mesurer l'effet sur les provisions d'une hausse des aggravations et d'une baisse des améliorations de l'état de santé. Les chocs suivants sont appliqués :

- Hausse de 35 % des taux d'invalidité-morbidité au cours des 12 mois à venir;
- Hausse de 25 % des taux d'invalidité-morbidité pour tous les mois postérieurs aux 12 mois à venir;
- Baisse de 20 % des taux de recouvrement pour l'invalidité-morbidité concernant les 12 mois à venir et l'ensemble des années ultérieures.

On obtient alors :

$$SanteSLT_{inval-morb} = BE_{inval-morb} - BE_{Central}$$

Le risque de dépense Le risque de dépense est modélisé pour une augmentation de 10 % du montant des dépenses.

$$SanteSLT_{dep} = BE_{dep} - BE_{Central}$$

Le risque de révision La garantie arrêt de travail en assurance emprunteur de la même manière que pour la garantie décès n'est pas soumis à ce risque.

Le risque de cessation Le risque de cessation se calcule de la manière suivante :

$$SanteSLT_{Cess} = \text{Max}(Cess_{haute}; Cess_{basse}; Cess_{masse})$$

Avec : $Cess_i = BE_i - BE_{Central}$ et :

- Cessation Haute : Hausse soudaine permanente de 50 % des taux d'exercice des options pertinentes exposées dans la limite de 100%;
- Cessation Basse : Baisse soudaine permanente de 50 % des taux d'exercice des options pertinentes exposées dans la limite de 20 points;
- Cessation Masse : Cessation soudaine de 40% des contrats d'assurance.

Dans le cadre de l'assurance emprunteur, le choc qui induit une variation de la NAV la plus importante est celui de la cessation de masse.

3 | Comparaison des méthodes et analyse des résultats

Dans les chapitres précédents, le lecteur a été éclairé sur le contexte de ce mémoire. L'origine des données a été explicitée et elles ont été présentées. Pareillement, l'outil de calcul ainsi que ses hypothèses et paramètres ont été expliqués. Enfin, les indicateurs qui seront calculés par la suite ont été énoncés.

Dans cette dernière partie, les résultats seront présentés, analysés et comparés.

1 Rappel des portefeuilles et des méthodes

Comme évoqué dans le chapitre 2 partie 1.2.1, les trois portefeuilles simulés sont composés de 150 000 observations et ont les caractéristiques suivantes :

- Portefeuille 1 : Un portefeuille stable composé à 20% de contrats emprunteurs à la consommation et à 80% de contrats immobiliers ;
- Portefeuille 2 : Un portefeuille stable composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers ;
- Portefeuille 3 : Un portefeuille en run-off depuis 2012 composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers.

En page suivante se trouve le tableau de synthèse qui récapitule les méthodes présentées au chapitre 2 partie 2.

	Date de naissance	Date de souscription	Durée initiale du prêt	Capital initial x quotité (Cixqte)	Taux d'intérêt	Taux de cotisation
Méthode 1	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 2	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 3	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 4	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 5	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Agrégée par la durée initiale du prêt	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 6	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le capital initial multiplié par la quotité	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 7	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le taux de cotisation
Méthode 8	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Agrégée par le taux d'intérêt	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte

FIGURE 3.1 – Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation

2 Portefeuille 1

2.1 Temps de calculs

L'objectif de ce mémoire est d'étudier différentes méthodes d'agrégation afin de montrer, l'importance de l'agrégation des données en termes de gain de temps. En effet, les durées de calculs sont de plus en plus importantes, notamment avec :

- L'augmentation de la taille des bases de données ;
- Les nombreux scénarios nécessitant d'être calculés afin de respecter les directives de "Solvabilité 2".

D'autre part, il est impératif que les techniques de regroupement choisies soient judicieuses afin d'avoir des résultats pertinents et donnant une précision proche de celle attendue par l'assureur sur les indicateurs qu'il souhaite calculer et donc ayant de faibles écarts avec le résultat réel.

Pour permettre de comparer les différentes méthodes en termes de temps de calcul, voici un tableau indiquant la durée d'obtention des résultats en fonction de l'agrégation mise en place :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	976	11 898	976	11 898	3 387	5 426	5 608	4 896
Taux de compression		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%
Temps	44h13	0h17	3h30	0h17	3h30	0h59	1h35	1h39	1h26
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.2 – Portefeuille 1 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes d'agrégation

Par analyse de ce tableau, trois groupes peuvent être formés en fonction de la durée d'obtention des résultats :

- Méthodes 1 et 3 : 17 minutes ;
- Méthodes 5, 6, 7 et 8 : entre 59 minutes et 1 heure et 39 minutes ;
- Méthodes 2 et 4 : 3 heures et 30 minutes.

Le dernier groupe cité ci-dessus est celui dont l'exécution est la plus longue, néanmoins le taux de compression est de 92,1% donc le gain de temps effectué est non négligeable.

Les résultats obtenus dans la figure 3.2 sont cohérents, en effet, les méthodes 1 et 3 agrègent toutes deux la base uniquement par les variables *année de naissance* et *année de souscription* ce qui explique leur période de réalisation équivalente. Les stratégies d'association issues du deuxième groupe possèdent toutes une variable d'agrégation supplémentaire, ce qui justifie l'augmentation de la durée d'obtention des résultats. Quant à elles, les méthodes 2 et 4, en ajoutant *mois de naissance* et *mois de souscription* à la liste des variables de regroupement rallongent de la même manière le temps de calculs.

2.2 Primes

Comme annoncé précédemment, l'outil Excel/VBA utilisé dans le cadre de ce mémoire permet d'obtenir la projection des primes sur les différentes années, avec l'hypothèse faite qu'il n'y a pas de nouveaux entrants. L'objectif est de montrer la pertinence de l'agrégation des données en assurance emprunteur et ce pour des indicateurs variés. La figure 3.3 présente, à la page suivante, l'évolution des primes selon les années de projection, analysée selon les méthodes présentées auparavant.

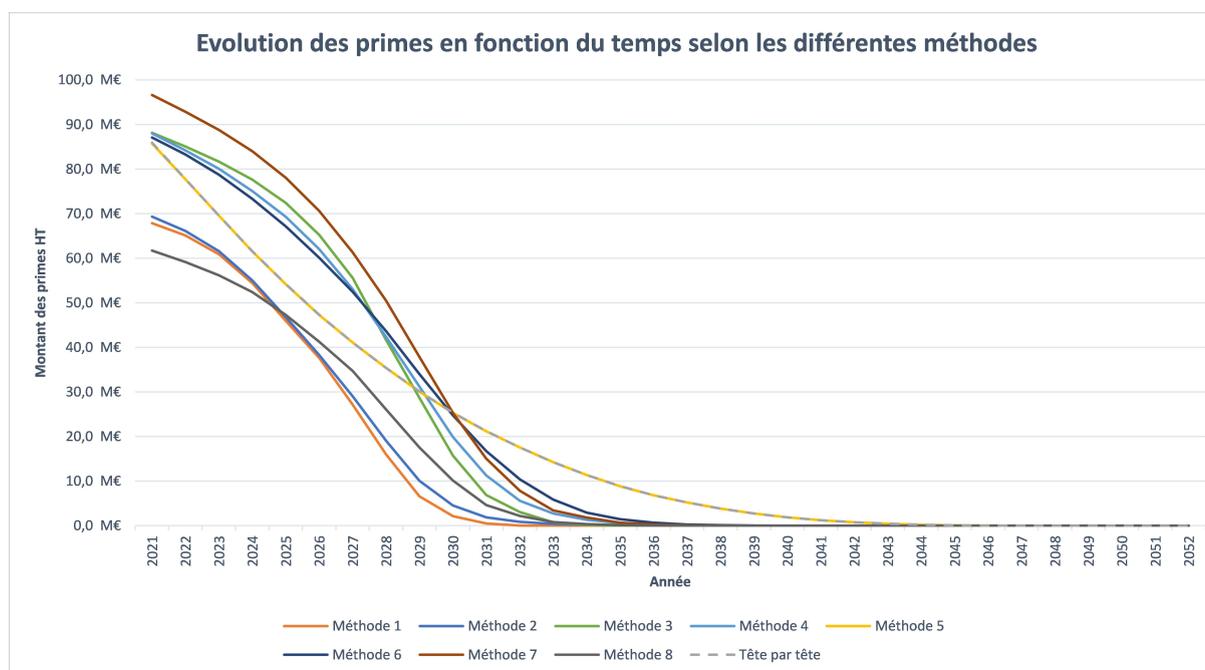


FIGURE 3.3 – Portefeuille 1 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d’agrégation

La lecture du graphique de la figure 3.3 met en évidence une certaine dualité : d’un côté, les méthodes 1, 2 et 8 sont proches, et de l’autre, c’est également le cas pour les méthodes 3, 4, 6 et 7.

Les variables calculées des stratégies 1 et 2 sont obtenues en prenant la valeur moyenne pour chaque sous-ensemble de données. A l’inverse, les techniques 3 et 4 calculent ces variables en prenant la valeur moyenne pondérée par le capital initial multiplié par la quotité des groupes de données. En conclusion, les méthodes 1 et 3 ainsi que 2 et 4 ne diffèrent que par leurs manières de calculer. Effectuer la pondération par le capital initial multiplié par la quotité donne un meilleur résultat. Par ailleurs, la comparaison du temps de projection des résultats met en évidence l’efficacité de la stratégie d’association numéro 3.

Les systèmes d’agrégation 3, 4, 6 et 7 ne suivent pas le résultat réel. Cependant, les courbes passent au-dessus puis en-dessous de celle du tête par tête. Par lecture graphique, les projections par année ne correspondent pas à la courbe grise, néanmoins, la valeur actuelle probable peut correspondre.

En outre, la stratégie 5 suit à la perfection la courbe représentative du résultat réel. Pourtant, il est important de rappeler que le temps de projection est réduit de 43h14 par cette méthode qui possède un taux de compression de 97,7%.

Enfin, la technique d’association numéro 8 est proche graphiquement des numéros 1 et 2, il est donc attendu que sa VAP soit éloignée de la réalité.

Afin d’avoir un unique chiffre comparable, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique de 0% est calculée :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	624 977 289	384 346 939	403 408 974	622 762 529	627 204 270	624 528 790	643 131 894	715 074 939	414 701 926
Ecart		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.4 – Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation

Exemple de lecture du tableau : Le taux de compression de la méthode 1 pour le portefeuille 1 est de 99,3%. L'écart entre la valeur actuelle probable réelle et celle obtenue par la stratégie d'agrégation 1 pour l'indicateur des primes est de -38,5%.

Dès lors, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupement 1 et 2 peuvent être mises de côté au vu de leurs forts écarts avec la VAP réelle. Cela confirme l'analyse graphique.

Ensuite, comme attendu, les méthodes 3, 4, 6 et 7, malgré le fait que leurs représentations graphiques ne suivent pas la réalité, donnent des VAP assez proches. En effet, même si la numéro 7 est plus éloigné avec un écart de 14,4%, les autres ont respectivement dans l'ordre chronologique -0,4%, 0,4% et 2,9%.

La valeur actuelle probable obtenue par la technique 5 confirme la très bonne précision qu'elle permet d'obtenir, avec un écart de -0,1% avec le réel, une représentation graphique identique et un taux de compression de 97,7%, ce qui paraît ainsi être un très bon choix.

A l'instar des méthodes 1 et 2, la stratégie numéro 8 peut être mise de côté du fait de son écart de plus de 30% avec la VAP du tête par tête.

Les méthodes 3, 4, 5 et 6 sont donc les plus précises. Toutefois, comme précisé ci-dessus, le temps de calcul de la technique 4 est relativement plus long que la numéro 3 et pourtant elle est aussi précise en terme de VAP. A choisir entre ces deux stratégies, la numéro 4 serait sûrement à privilégier. Dans cette étude la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. Cependant, cela dépend de la précision que l'on souhaite atteindre. De plus, il existe de multiples méthodes qui peuvent être mises en place. L'objectif de cette étude est de montrer qu'il est possible d'en trouver donnant des résultats très proches de la réalité. Par ailleurs, l'analyse des techniques d'agrégation repose également sur d'autres indicateurs qu'il est nécessaire d'étudier.

2.3 Charge de sinistres

Après s'être intéressé à l'évolution des primes, il convient d'étudier l'évolution de la charge de sinistres, c'est-à-dire l'évolution de la somme de la totalité des paiements effectués correspondant à l'exercice et des provisions pour sinistres, sans compter les provisions pour les sinistres des exercices précédents. Ainsi, la figure 3.5, en page suivante, présente l'évolution de la charge de sinistres selon les années de projection, analysés selon les différentes méthodes d'agrégation vues précédemment.

Par une méthode similaire à celle auparavant utilisée, par la lecture du graphique, il est aisé de constater que les méthodes 1, 2 et 8 suivent un schéma similaire. Il en va de même pour les méthodes 3, 4, 6 et 7.

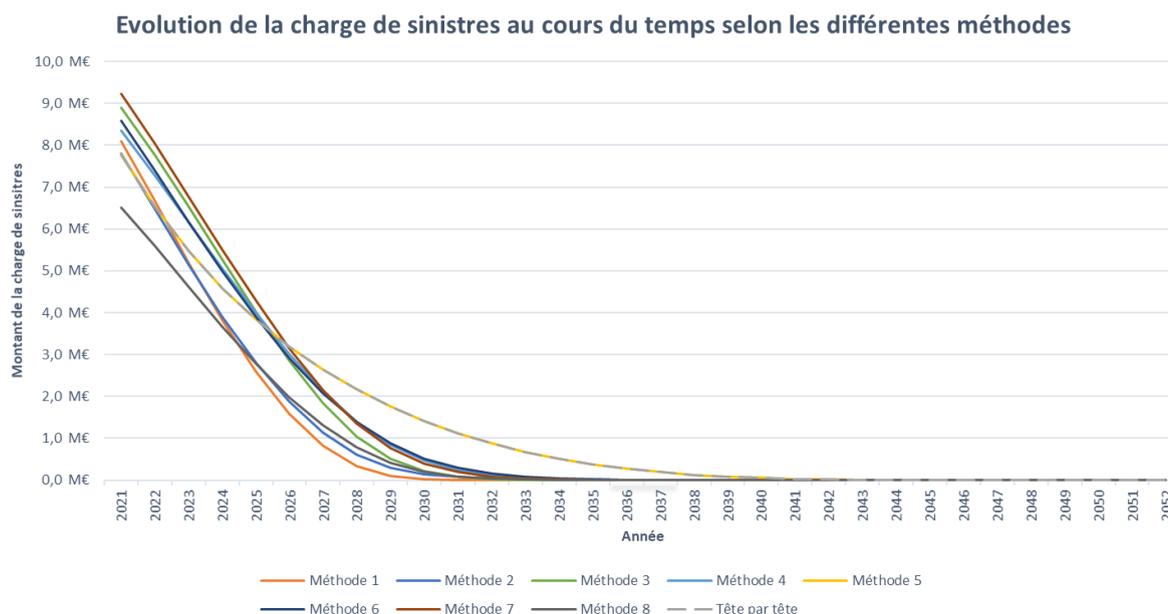


FIGURE 3.5 – Portefeuille 1 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d’agrégation

De la comparaison entre le graphique sur l’évolution des primes et celui de l’évolution de la charge de sinistres, il est aisé de voir que sur l’évolution de la charge de sinistres, les méthodes donnent des résultats plus proches et présentent moins d’écarts que sur l’évolution des primes. Cependant, la technique de regroupement numéro 5 est une nouvelle fois équivalente à la courbe représentative du tête par tête.

Afin de visualiser de manière plus détaillée l’écart existant entre la méthode réelle et les méthodes d’agrégation, la VAP actualisée est calculée avec une hypothèse de taux technique qui est de 0%, pour chaque méthode, les résultats ainsi que les écarts au calcul réel sont les suivants :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	43 731 437	29 211 093	30 328 374	39 058 952	39 165 278	43 726 262	39 383 706	41 993 099	28 013 224
Écarts		-33,2%	-30,6%	-10,7%	-10,4%	0,0%	-9,9%	-4,0%	-35,9%
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.6 – Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d’agrégation

A l’instar des résultats obtenus pour l’indicateur des primes, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupement 1, 2 et 8 peuvent être mises de côté au vu de leurs forts écarts, supérieurs à 30% avec la VAP réelle. L’analyse graphique met en évidence le fait que les 3 courbes sont les plus éloignées de la courbe réelle.

Les méthodes 3, 4, 6 et 7, donnent des VAP plus réalistes que les méthodes 1, 2 et 8. La numéro 7 est plus proche du résultat réel, avec un écart de 4,0% bien que sa représentation graphique ne suive pas celle du tête par tête.

La valeur actuelle probable calculée par la technique 5 confirme l’agrégation très précise qu’elle permet d’obtenir, avec un écart de 0,0% avec le réel, une représentation graphique identique et un taux de compression de 97,7% ce qui paraît être un très bon choix.

L'agrégation par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* ou *taux de cotisation* sont donc les plus précises. La technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable au niveau de la précision obtenue et du gain de temps effectué. Cependant, d'autres méthodes peuvent être mise en place. Il est maintenant intéressant d'effectuer l'analyse de l'indicateur des commissions totales.

2.4 Commissions

Il est intéressant d'étudier à présent l'évolution des commissions, elle est présentée selon les années de projection et les différentes méthodes vues précédemment.

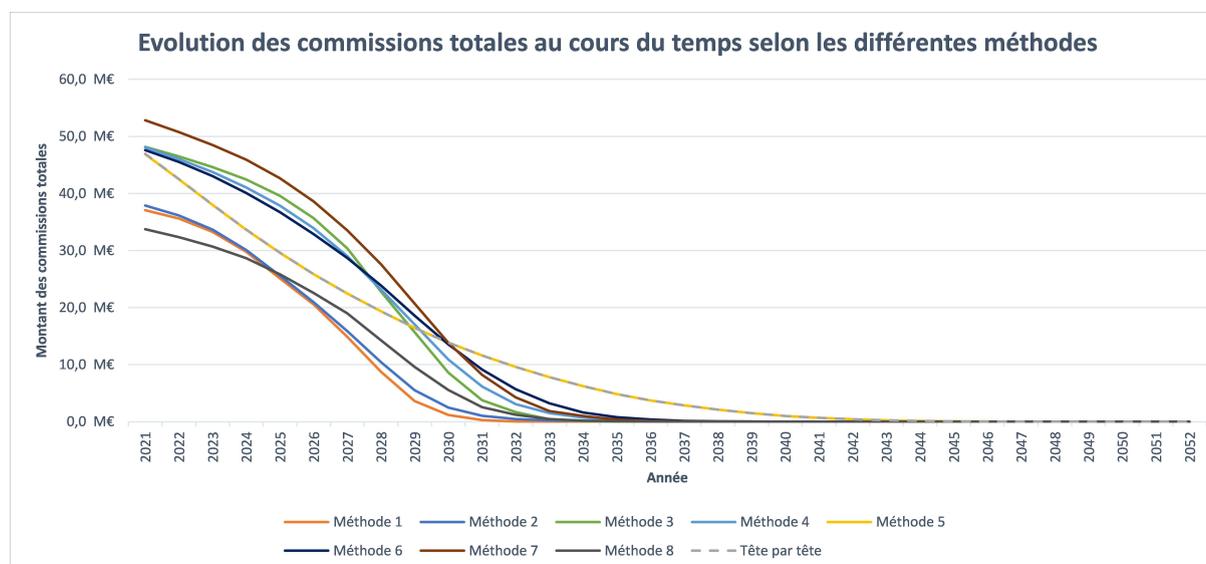


FIGURE 3.7 – Portefeuille 1 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation

Par analyse du graphique de la figure 3.7, il paraît évident que les allures des courbes sont semblables à celles obtenues précédemment dans le cas de l'évolution des primes. On retrouve la dualité entre d'un côté, les méthodes 1, 2 et 8 puis de l'autre les méthodes 3, 4, 6 et 7. De plus, la projection équivalente entre la méthode 5 et le réel est également d'apparence identique. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les commissions fixes se calculent en multipliant le montant des primes par un taux de commissions fixes déterminé. Or, les commissions totales sont calculées en sommant les commissions fixes et les commissions variables. Par ailleurs, on rappelle que les commissions variables sont de même obtenues en multipliant le montant des primes par un taux de commission variable établi selon le niveau de S/P de l'année.

Afin de visualiser de manière plus détaillée l'écart existant entre la méthode réelle et les stratégies d'agrégation, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique qui est de 0% est calculée, pour chaque méthode. Les résultats suivants sont obtenus ainsi que les écarts au calcul réel :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	341 654 251	210 109 660	220 530 239	340 443 516	342 871 668	341 409 072	351 578 769	390 907 633	226 703 719
Ecarts		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.8 – Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation

Les résultats obtenus sont identiques à ceux calculés pour l'indicateur des primes, ce qui confirme notre analyse.

La conclusion est donc identique, de par cette étude, la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. La précision souhaitée et le temps dont dispose l'assureur sont des critères déterminants pour le choix de la méthode d'agrégation. Il est maintenant essentiel de s'intéresser aux indicateurs introduits par la directive "Solvabilité 2" qui nécessitent de nombreux calculs et donc un temps d'exécution important.

2.5 Best Estimate

Le Best Estimate est calculé en projetant les flux futurs probables liés à l'exécution des contrats en portefeuilles actualisés par la courbe des taux sans risque de l'EIOPA [10], en tenant compte de leur probabilité de survenance. Le BE total est obtenu en effectuant la somme des BE des sous-modules Vie et Santé SLT pour le réel et les méthodes d'agrégation :

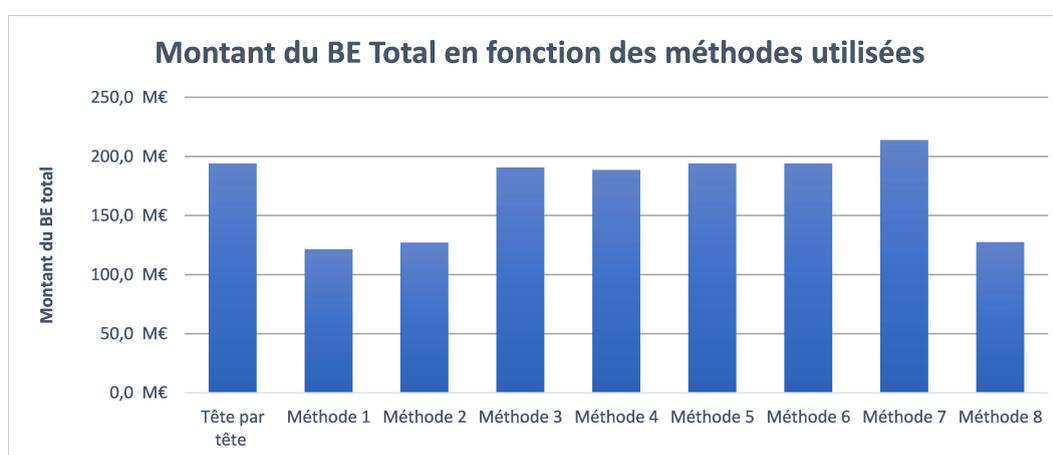


FIGURE 3.9 – Portefeuille 1 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

A l'image des résultats obtenus pour les autres indicateurs, on constate graphiquement que les méthodes 1, 2 et 8 donnent des résultats très éloignés du réel.

Cependant, les résultats des techniques de regroupement 3, 4, 5, 6 et 7 sont graphiquement proches du tête par tête.

Afin d'avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d'agrégation sont relevés dans le tableau suivant :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
BE Total	194 132 260	121 347 848	127 101 175	190 656 743	188 634 480	194 019 663	193 961 908	213 798 946	127 614 324
Ecarts		-37,5%	-34,5%	-1,8%	-2,8%	-0,1%	-0,1%	10,1%	-34,3%
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.10 – Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau appuie l'analyse graphique et identifie les méthodes 3, 4, 5 et 6 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants -1,8%, -2,8%, -0,1% et -0,1%. En effet, la méthode 7 s'est révélée éloignée du tête par tête avec un écart aux environs de 10%. Par ailleurs,

comme pour les autres indicateurs, la méthode 5 est celle qui a le meilleur résultat. Pour le Best Estimate total, les 4 techniques citées précédemment peuvent être des choix pertinents, mais cela dépend de la précision et du temps dont dispose l'assureur. Toutes ces méthodes ayant un taux de compression supérieur à 92%, elles permettent toutes un gain de temps important.

2.6 SCR Vie

Comme annoncé précédemment, pour calculer le SCR_{Vie} les chocs à appliquer sont les suivants :

- Choc de mortalité;
- Choc de dépense;
- Choc de cessation;
- Choc de catastrophe (CAT).

Après avoir effectué ces calculs, les résultats obtenus selon les différentes méthodes sont présentés sur la figure 3.11.

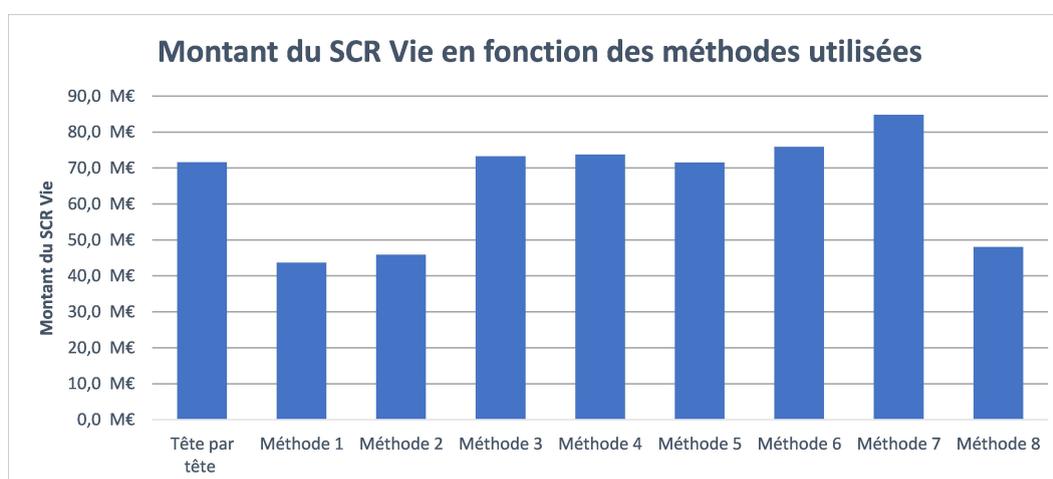


FIGURE 3.11 – Portefeuille 1 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

Les méthodes 1, 2 et 8 sont encore les stratégies les plus éloignées du résultat du tête par tête.

L'analyse graphique met en évidence la proximité entre les techniques 3, 4, 5, 6 et 7 entre elles, mais également avec le montant du SCR Vie de la base réelle.

Afin d'avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d'agrégation sont relevés dans le tableau suivant :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Vie	71 635 936	43 728 537	45 905 623	73 271 572	73 786 625	71 558 342	75 879 116	84 845 972	48 074 586
Écarts		-39,0%	-35,9%	2,3%	3,0%	-0,1%	5,9%	18,4%	-32,9%
Variation temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.12 – Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau appuie l'analyse graphique et identifie les méthodes 3, 4, 5 et 6 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants 2,3%, 3,0%, -0,1% et 5,9%. En effet, la

méthode 7 s'est révélée éloignée du tête par tête avec un écart aux environs de 18%. La méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel, avec un taux de compression de 97,7% et le fait que six calculs sont à effectuer pour cet indicateur ; le gain de temps n'est pas négligeable.

2.7 SCR Santé

A l'image du SCR_{Vie} , le calcul du $SCR_{SantéSLT}$ nécessite l'application de chocs listés ci-après :

- Choc de mortalité ;
- Choc de longévité ;
- Choc d'invalidité-morbidité ;
- Choc de dépense ;
- Choc de cessation.

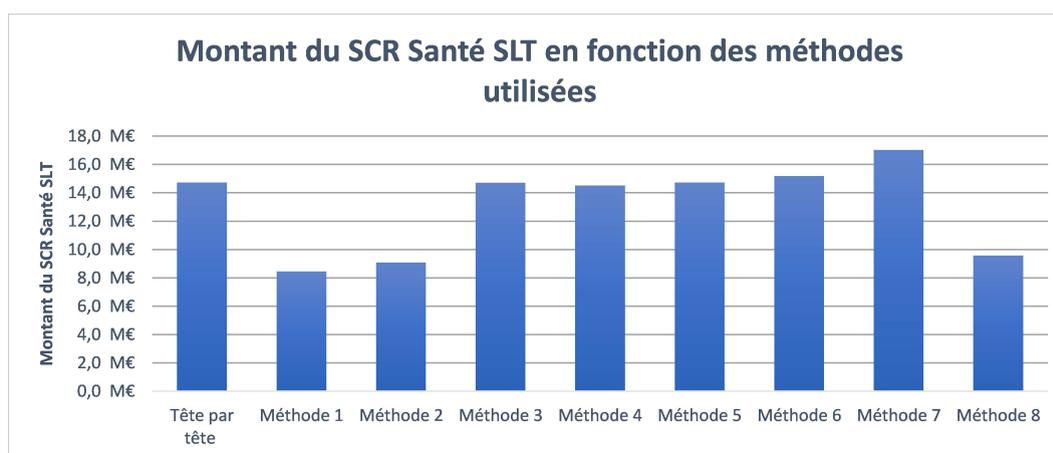


FIGURE 3.13 – Portefeuille 1 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

La figure 3.13, représente les $SCR_{SantéSLT}$ obtenus pour la base réelle et les bases agrégées.

En cohérence avec le Best Estimate total et le SCR_{Vie} , les techniques de regroupement 1,2 et 8 sont nettement inférieures au tête par tête. A l'image des conclusions faites pour les autres indicateurs, la figure met en évidence la possibilité que les stratégies d'association restantes soient proches de la réalité. Cependant, afin de confirmer cette analyse, les résultats sont détaillés dans le tableau suivant, les écarts avec la base non agrégée sont également renseignés :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Santé SLT	14 725 179	8 447 626	9 080 845	14 700 809	14 514 634	14 728 744	15 173 315	17 026 587	9 570 767
Ecarts		-42,6%	-38,3%	-0,2%	-1,4%	0,0%	3,0%	15,6%	-35,0%
Variation des temps		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%

FIGURE 3.14 – Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau confirme ce qui est ressorti de l'analyse graphique et identifie les méthodes 3, 4, 5 et 6 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants -0,2%, -1,4%, 0,0% et 3,0%. En effet, la méthode 7 s'est révélée éloignée du tête par tête avec un écart de plus 15%. Par ailleurs, la méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel.

Les techniques de regroupement citées, dont les numéros 3 et 5 ressortent le plus, montrent de par leur proximité avec le tête par tête, que l'agrégation des données peut donner une estimation très proche de la réalité.

Cependant, il est possible de mettre en place une multitude d'autres méthodes, le précision souhaitée par l'assureur et le temps dont il dispose sont des critères déterminants pour le choix de la stratégie d'association à mettre en place.

2.8 Conclusion

L'étude du portefeuille 1 composé à 20% de contrats emprunteurs à la consommation et à 80% de contrats immobiliers, a permis de visualiser l'impact de l'agrégation des données sur les différents indicateurs sélectionnés préalablement. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau de la figure suivante :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	976	11 898	976	11 898	3 387	5 426	5 608	4 896
Temps	44h13	0h17	3h30	0h17	3h30	0h59	1h35	1h39	1h26
Taux de compression		99,3%	92,1%	99,3%	92,1%	97,7%	96,4%	96,3%	96,7%
Ecarts VAP Primes		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-33,2%	-30,6%	-10,7%	-10,4%	0,0%	-9,9%	-4,0%	-35,9%
Ecarts VAP Com. Tot.		-38,5%	-35,5%	-0,4%	0,4%	-0,1%	2,9%	14,4%	-33,6%
Ecarts BE Total		-37,5%	-34,5%	-1,8%	-2,8%	-0,1%	-0,1%	10,1%	-34,3%
Ecarts SCR Vie		-39,0%	-35,9%	2,3%	3,0%	-0,1%	5,9%	18,4%	-32,9%
Ecarts SCR Santé SLT		-42,6%	-38,3%	-0,2%	-1,4%	0,0%	3,0%	15,6%	-35,0%

FIGURE 3.15 – Portefeuille 1 : Tableau de synthèse des résultats

Tout d'abord, la méthode d'agrégation par pondération par le capital initial multiplié par la quotité (3 et 4) est meilleure que celle prenant la moyenne des sous-groupes (1 et 2), comme l'a démontré la comparaison sur tous les indicateurs calculés.

La base agrégée par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *taux d'intérêt du prêt* implique des écarts de plus de 30% pour tous les calculs effectués. Cette méthode est donc rejetée.

En ce qui concerne la technique de regroupement par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *taux de cotisation* les résultats obtenus sont meilleurs que ceux des stratégies 1,2 et 8, néanmoins à l'exception du calcul de la charge de sinistres où elle fait nettement partie des meilleurs choix, pour les autres indicateurs les écarts sont de plus de 10%.

	Tête par tête	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 6
Nombre de lignes	150 000	976	11 898	5 426
Temps	44h13	0h17	3h30	1h35
Taux de compression		99,3%	92,1%	96,4%
Ecarts VAP Primes		-0,4%	0,4%	2,9%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-10,7%	-10,4%	-9,9%
Ecarts VAP Com. Tot.		-0,4%	0,4%	2,9%
Ecarts BE Total		-1,8%	-2,8%	-0,1%
Ecarts SCR Vie		2,3%	3,0%	5,9%
Ecarts SCR Santé SLT		-0,2%	-1,4%	3,0%

FIGURE 3.16 – Portefeuille 1 : Tableau de synthèse des résultats, focus sur les méthodes 3, 4 et 6

Par ailleurs, les méthodes 3, 4 et 6 ne suivent pas graphiquement l'allure de la courbe réelle, néanmoins les VAP obtenues sont proches de celles du tête par tête. La figure 3.16 se focalise sur

ces trois techniques. Par analyse de ce tableau, il est remarquable que certaines des bases agrégées sont meilleures pour le calcul de certains indicateurs sans l'être pour tous. Par exemple, la technique incluant comme variable d'agrégation le *capital initial multiplié par la quotité* permet un calcul plus précis du Best Estimate. Cependant, c'est la stratégie uniquement des variables d'agrégation *année de naissance, année de souscription* qui se trouve obtenir les résultats les plus pertinents pour les indicateurs : SCR_{Vie} et $SCR_{SanteSLT}$. Il en ressort donc que le choix de l'agrégation dépend de l'indicateur que l'assureur souhaite calculer.

La figure 3.15, met en évidence la méthode 5 qui donne les meilleurs résultats avec des écarts inférieurs à 0,1% pour tous les indicateurs. De plus, les analyses graphiques avaient prouvé auparavant qu'elle permettait d'obtenir une allure identique à la courbe réelle pour tous les calculs effectués. Elle prouve donc qu'il est possible avec un taux de compression d'environ 98% d'avoir une très bonne précision.

En conclusion, l'agrégation des données n'empêche pas d'avoir des résultats proches de la réalité. Le sujet se trouve essentiellement sur le choix de l'agrégation en fonction d'une part de la précision souhaitée mais aussi de l'indicateur que l'assureur cherche à calculer. Le gain de temps conséquent effectué pour le calcul de tous les indicateurs peut s'avérer essentiel.

Cependant, en fonction du type de portefeuille, les méthodes d'agrégation judicieuses peuvent changer. Désormais, la même étude va être effectuée avec un portefeuille stable composé à 100% de prêts immobiliers, et ainsi voir s'il existe un impact.

3 Portefeuille 2

3.1 Temps de calculs

L'étude effectuée précédemment va être reprise, cette fois-ci en utilisant les données obtenues en simulant un portefeuille d'assurance emprunteur composé à 100% de prêts immobiliers. Cela va permettre de constater si les méthodes d'agrégation restent pertinentes lorsque les données évoluent et si celles qui ressortent sont les mêmes malgré le changement des caractéristiques de la base initiale.

Comme énoncé antérieurement, les durées de calculs sont de plus en plus importantes notamment avec :

- L'augmentation de la taille des bases de données;
- Les nombreux scénarios nécessitant d'être calculés afin de respecter les directives de "Solvabilité 2".

Pour réduire ces temps de calculs, l'agrégation des données est une solution. Cependant, le regroupement doit permettre un gain de temps respectant la pertinence et la précision des résultats attendus par l'assureur.

Pour permettre de comparer les différentes méthodes en termes de temps de calculs, voici un tableau indiquant la durée d'obtention des résultats en fonction de l'agrégation mise en place :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	1 152	13 183	1 152	13 183	4 133	6 512	6 132	5 620
Taux de compression		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%
Temps	44h13	0h20	3h53	0h20	3h53	1h13	1h55	1h48	1h39
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.17 – Portefeuille 2 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes

De façon cohérente, l'analyse de ce tableau met en évidence, de la même manière que pour l'étude précédente, trois groupes formés en fonction de la durée d'obtention des résultats :

- Méthodes 1 et 3 : 20 minutes ;
- Méthodes 5, 6, 7 et 8 : entre 1 heure et 13 minutes et 1 heure et 55 minutes ;
- Méthodes 2 et 4 : 3 heures et 53 minutes.

L'analyse est donc la même que celle faite pour le portefeuille 1 :

- Le dernier groupe cité ci-dessus est celui dont l'exécution est la plus longue, néanmoins le taux de compression est de 91,2% donc le gain de temps effectué est non négligeable ;
- Les résultats sont cohérents, plus le nombre de variables d'agrégation est élevé, plus le nombre de lignes est important et donc plus le temps de calcul est long.

3.2 Primes

Comme annoncé antérieurement, l'outil Excel/VBA utilisé dans le cadre de ce mémoire permet d'obtenir la projection des primes sur plusieurs années, en prenant toujours l'hypothèse qu'il n'y a pas de nouveaux entrants.

La figure 3.18 représente l'évolution du montant des primes au cours du temps en fonction des techniques de regroupement présentées précédemment.

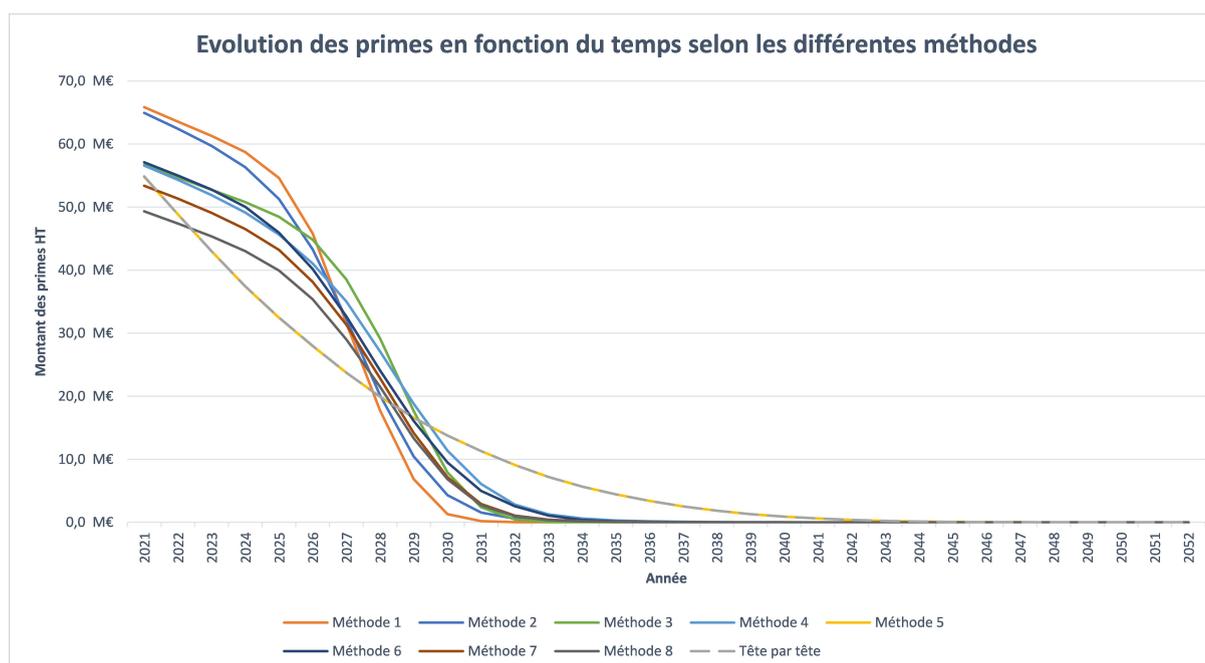


FIGURE 3.18 – Portefeuille 2 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation

L'étude réalisée est la même que la précédente, seule la base de donnée initiale évolue. Les résultats obtenus seront donc comparés également à ceux issus des calculs effectués pour le portefeuille 1.

A l'inverse de ce qui a été mis en évidence précédemment, la lecture du graphique de la figure 3.18 met en évidence, pour le calcul du montant des primes, que toutes les méthodes, à l'exception de la numéro 5 qui sera étudiée ultérieurement, donnent des résultats proches les uns des autres. Certes, les courbes ne suivent pas le résultat réel néanmoins elles passent au-dessus puis en-dessous de celle du tête par tête donc même si les projections par année ne correspondent pas à la courbe grise, la valeur actuelle probable peut correspondre.

La stratégie 5 ne fait pas partie de l'analyse ci-dessus. En effet, la courbe représentative de cette méthode suit à la perfection celle du résultat réel malgré son taux de compression de 97,2%.

Afin d'avoir un unique chiffre comparable, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique qui est de 0% est calculée :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	367 827 121	407 526 588	407 883 759	404 440 100	402 328 559	367 652 427	392 719 851	361 939 840	335 487 886
Écarts		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.19 – Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation

Dès lors, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupements donnent des résultats plus proches les uns des autres que lors de l'étude précédente.

Les méthodes 1, 2 et 8 avaient précédemment des écarts aux réels de plus de 30% pour cet indicateur. Dans le cadre de ce portefeuille, ils sont respectivement d'une valeur de 10,8%, 10,9% et -8,8%. Cela reste un résultat qui n'est pas satisfaisant, néanmoins on remarque une évolution positive en le sens où il est plus proche de la réalité. Cette évolution peut être expliquée par le fait que le portefeuille 1 possède des prêts à la consommation et immobiliers donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors de l'agrégation des données (sauf méthode 5). A l'inverse, le portefeuille 2 ne possède pas de prêts de courtes durées car il est constitué uniquement de prêts immobiliers. Au vu de l'importance de la durée initiale du prêt (méthode 5) dans les regroupements, il est fortement probable que c'est ce qui implique que le portefeuille 2 admet des écarts plus petits pour ces méthodes que le portefeuille 1.

La stratégie d'association 8 est en ce sens une meilleure estimation que les numéros 3 et 4 qui sont environ de 10%. De la même manière, la technique de regroupement utilisant comme variable d'agrégation le *capital initial multiplié par la quotité* affiche une hausse de 6,8% de la VAP comparée au tête par tête ce qui ne peut pas être considéré comme une approximation acceptable.

La méthode 7, malgré le fait que sa représentation graphique ne suit pas la réalité, donne une valeur actualisée 1,6% plus basse que celle à laquelle elle est comparée, ce qui peut être considéré comme une stratégie intéressante pour un assureur.

Ensuite, comme attendu, la valeur actuelle probable calculée par la technique 5 confirme l'agrégation très précise qu'elle permet d'obtenir, avec un écart de 0,0% avec le réel, une représentation graphique identique et un taux de compression de 97,2%, cela paraît être un très bon choix.

Les méthodes 5 et 7 sont donc les plus précises. Toutefois, comme cela est visible dans la figure 3.19, le taux de compression de la technique 7 est de 95,9%, ce qui est inférieur à celui de la numéro 5. Ainsi, une agrégation plus forte ne signifie pas des résultats plus éloignés de la réalité. De par cette étude la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. Cependant, l'analyse des techniques d'agrégation repose également sur d'autres indicateurs qu'il est nécessaire d'étudier.

3.3 Charge de sinistres

Après s'être intéressés à l'évolution des primes, il convient d'étudier l'évolution de la charge de sinistres. La figure 3.20, présente l'évolution de la charge de sinistres selon les années de projection, analysés selon les différentes méthodes d'agrégation vues précédemment.

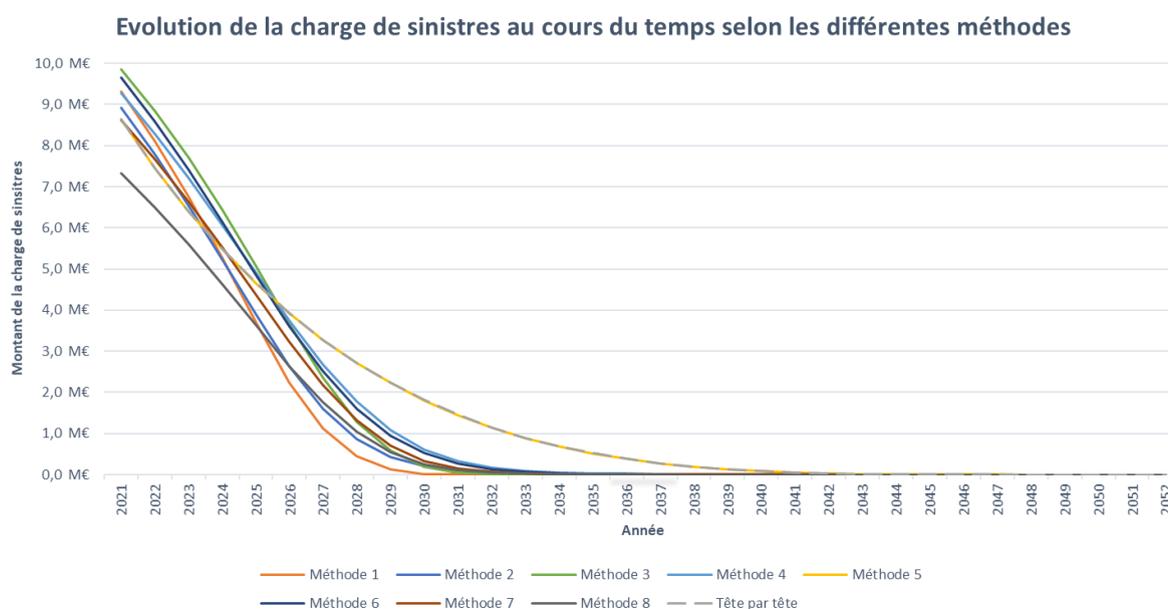


FIGURE 3.20 – Portefeuille 2 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation

Par une méthode similaire à celle auparavant utilisée, par la lecture du graphique, il est aisé de constater qu'à l'exception de la méthode 5, toutes les courbes des techniques de regroupement ont de la même manière que précédemment, des allures identiques. Néanmoins, il est remarquable que les représentations des stratégies 1, 2, 7 et 8 sont plus souvent en dessous de la courbe que les autres. Par hypothèse, les VAP de ces dernières devraient être plus éloignées de la réalité. L'agrégation utilisant la variable *durée initiale du prêt* est une nouvelle fois équivalente à la courbe représentative du tête par tête.

Afin de visualiser de manière plus détaillée l'écart existant entre la méthode réelle et les méthodes d'agrégation, la VAP actualisée est calculée avec une hypothèse de taux technique qui est de 0%, pour chaque méthode, les résultats ainsi que les écarts au calcul réel sont les suivants :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	52 511 726	37 061 093	38 363 370	46 043 676	46 382 361	52 464 103	46 382 438	40 837 604	34 074 154
Écarts		-29,4%	-26,9%	-12,3%	-11,7%	-0,1%	-11,7%	-22,2%	-35,1%
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.21 – Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d'agrégation

A l'inverse des résultats obtenus pour l'indicateur des primes, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupement 1, 2, 7 et 8 peuvent être mises de côté au vu de leurs forts écarts avec la VAP réelle, étant de plus de 20%. Ce qui confirme l'analyse graphique précédente.

Les méthodes 3, 4 et 6 ont des représentations graphiques qui ne suivent pas la réalité et donnent des écarts de VAP d'environ 12%, ce qui est trop important pour choisir l'une de ces stratégies.

La technique 5 a un écart de valeur actuelle probable avec le réel de -0,1%. Par ailleurs, la représentation graphique est identique à la courbe du tête par tête. De plus, le taux de compression est de 97,2% pour cette stratégie de regroupement. Ce sont de très bons résultats.

L'agrégation par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* est l'unique choix à retenir parmi ceux présentés pour le calcul de cet indicateur. Cependant, d'autres méthodes peuvent être mises en place. Par exemple, pour projeter de manière plus précise de la charge de sinistres, agréger par types de contrats peut être une bonne solution si la base de données contient cette information. Il est maintenant intéressant d'effectuer l'analyse de l'indicateur des commissions totales.

3.4 Commissions

Il est intéressant d'étudier à présent l'évolution des commissions, elle est présentée selon les années de projection et les différentes méthodes vues précédemment.

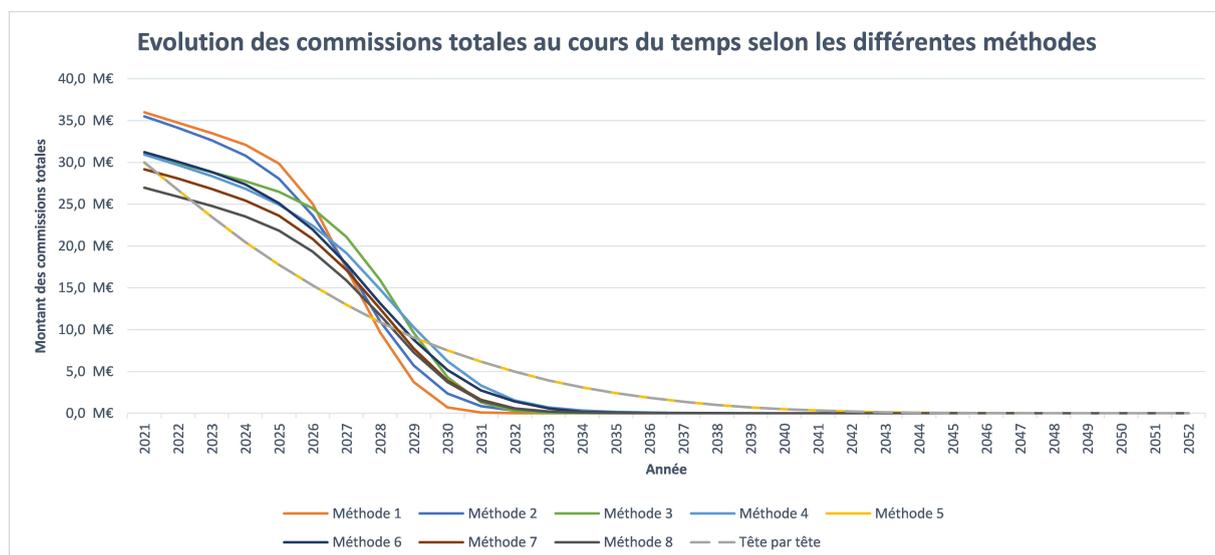


FIGURE 3.22 – Portefeuille 2 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation

Par analyse du graphique de la figure 3.22, il paraît évident que les allures des courbes sont semblables à celles obtenues précédemment dans le cas de l'évolution des primes. Toutes les méthodes, à l'exception de la numéro 5, donnent des résultats proches les uns des autres. Certes, les courbes passent au-dessus puis en-dessous de la représentation des résultats réels, ce qui laisse penser que la valeur actuelle probable obtenue avec ces techniques peut correspondre. La courbe représentative de la méthode 5 suit à la perfection celle du résultat réel malgré son taux de compression de 97,2%.

Ces résultats graphiques proches de celui de l'indicateur des primes peuvent être expliqués par le fait que les commissions fixes se calculent en multipliant le montant des primes par un taux de commissions fixes déterminé. Or, les commissions totales sont calculées en sommant les commissions fixes et les commissions variables. Par ailleurs, on rappelle que les commissions variables sont de même obtenues en multipliant le montant des primes par un taux de commission variable établis selon un système dépendant du niveau de S/P de l'année.

Afin de visualiser de manière plus détaillée l'écart existant entre la méthode réelle et les stratégies d'agrégation, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique qui est de 0% est calculée. Pour chaque méthode, les résultats suivants sont obtenus ainsi que les écarts au calcul réel :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	201 078 826	222 781 134	222 962 649	221 093 907	219 936 549	200 983 327	214 686 402	197 858 847	183 400 045
Ecarts		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.23 – Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation

Comme attendu, les résultats obtenus sont identiques à ceux calculés pour l'indicateur des primes, ce qui confirme notre analyse.

La conclusion est donc identique, de par cette étude, la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. Cependant, cela dépend de la précision que l'on souhaite atteindre. De plus, il existe une multitude de méthodes comme celle-ci qui permettent une très bonne précision et un gain de temps considérable.

3.5 Best Estimate

Le Best Estimate du scénario central est calculé dans le cadre du sous-module Vie et du sous-module Santé SLT. Le BE total est obtenu en effectuant la somme des BE de ces sous-modules pour le réel et les méthodes d'agrégation. Les résultats sont présentées sur la figure 3.24.

La figure 3.24, sur la page suivante, permet de constater graphiquement que les méthodes 7 et 8 donnent des résultats très éloignés du réel.

Cependant, les résultats des techniques de regroupement 1, 2, 3, 4, 5 et 6 sont graphiquement proches du tête par tête.

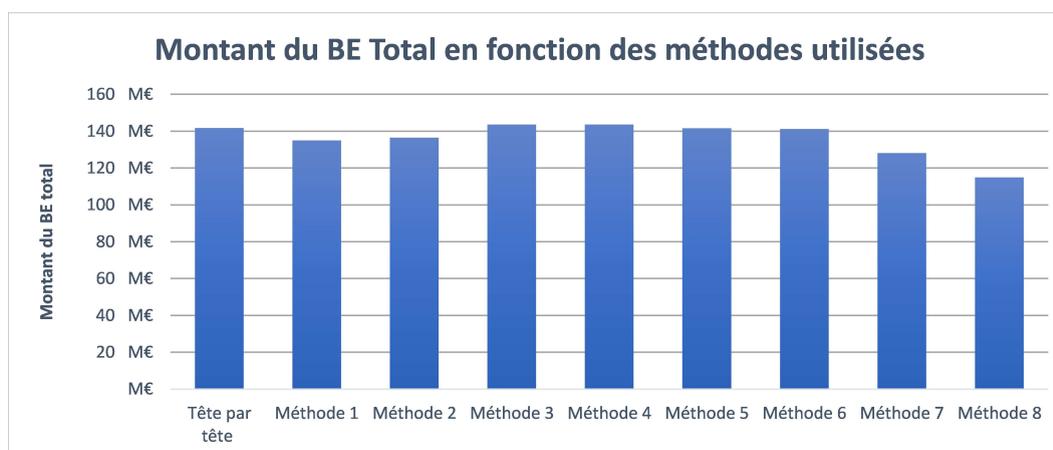


FIGURE 3.24 – Portefeuille 2 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

Afin d'avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d'agrégation sont relevés dans le tableau de la figure 3.25.

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
BE Total	141 654 465	134 969 728	136 430 604	143 658 748	143 546 136	141 563 385	141 196 830	128 151 807	114 922 029
Ecart		-4,7%	-3,7%	1,4%	1,3%	-0,1%	-0,3%	-9,5%	-18,9%
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.25 – Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau appuie l'analyse graphique et identifie les méthodes 3, 4, 5 et 6 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants 1,4%, 1,3%, -0,1% et -0,3%. En effet, les méthodes 1 et 2 se sont révélées légèrement plus éloignées du tête par tête avec des écarts respectivement de 4,7% et 3,7%. Ces deux derniers résultats restent proches, cela dépend de la précision que recherche l'assureur. Par ailleurs, la méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel. Pour le Best Estimate total, les 6 techniques citées précédemment peuvent être des choix pertinents cela dépend de la précision et du temps dont dispose l'assureur. Toutes ces méthodes ayant un taux de compression supérieur à 91% il y a un gain de temps important pour toutes.

3.6 SCR Vie

Comme annoncé précédemment, pour calculer le SCR_{Vie} les chocs à appliquer sont les suivants :

- Choc de mortalité;
- Choc de dépense;
- Choc de cessation;
- Choc de catastrophe (CAT).

Après avoir effectué ces calculs, la figure 3.26 à la page suivante, présente les résultats obtenus selon les différentes méthodes, sous forme graphique :

A l'inverse de ce qui a été vu lors du calcul de l'indicateur précédent, les méthodes 5 et 8 sont les seules qui ne semblent pas être trop éloignées du tête par tête.

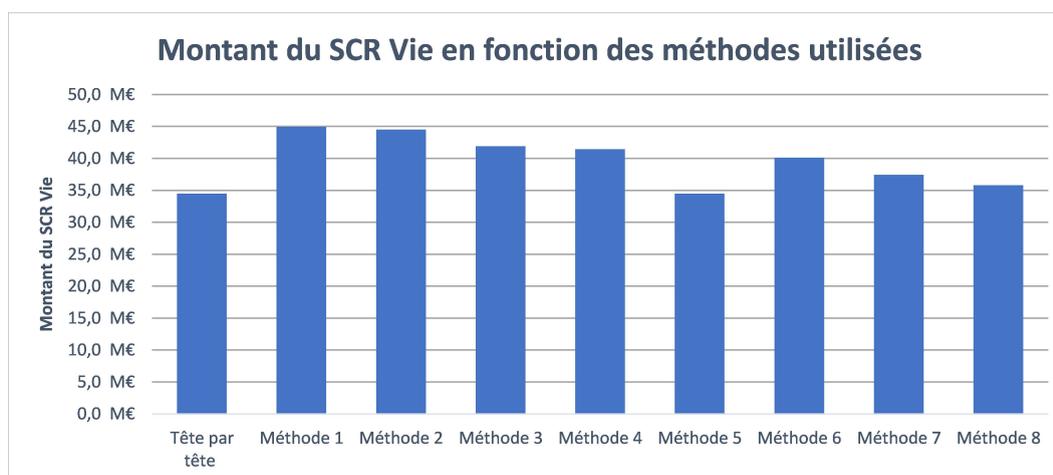


FIGURE 3.26 – Portefeuille 2 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d’agrégation utilisées

Afin d’avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d’agrégation sont relevés dans le tableau suivant :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Vie	34 493 837	44 955 405	44 525 714	41 925 169	41 439 534	34 460 117	40 118 833	37 427 471	35 793 144
Ecart		30,3%	29,1%	21,5%	20,1%	-0,1%	16,3%	8,5%	3,8%
Variation temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.27 – Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d’agrégation

Ce tableau appuie l’analyse graphique et identifie les méthodes 5 et 8 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants -0,1% et 3,8%. En effet, les autres techniques d’agrégation sont plus éloignées du tête par tête, la numéro 7 a un écart de 8,5% ce qui est trop élevé pour une estimation. Quant aux autres techniques, leur distance au réel est de plus de 16%. Par ailleurs, la méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel. Au vu des nombreux chocs à appliquer, les temps de calculs sont d’autant plus longs et donc l’agrégation des données est encore plus intéressante.

3.7 SCR Santé

A l’image du SCR_{Vie} , le calcul du $SCR_{SanteSLT}$ nécessite l’application de chocs listés ci-après :

- Choc de mortalité;
- Choc de longévité;
- Choc d’invalidité-morbidité;
- Choc de dépense;
- Choc de cessation.

La figure 3.28 à la page suivante, représente les $SCR_{SanteSLT}$ obtenus pour la base réelle et les bases agrégées.

En cohérence avec le Best Estimate total et le SCR_{Vie} , les techniques de regroupement 5, 7 et 8 sont les plus proches du tête par tête.

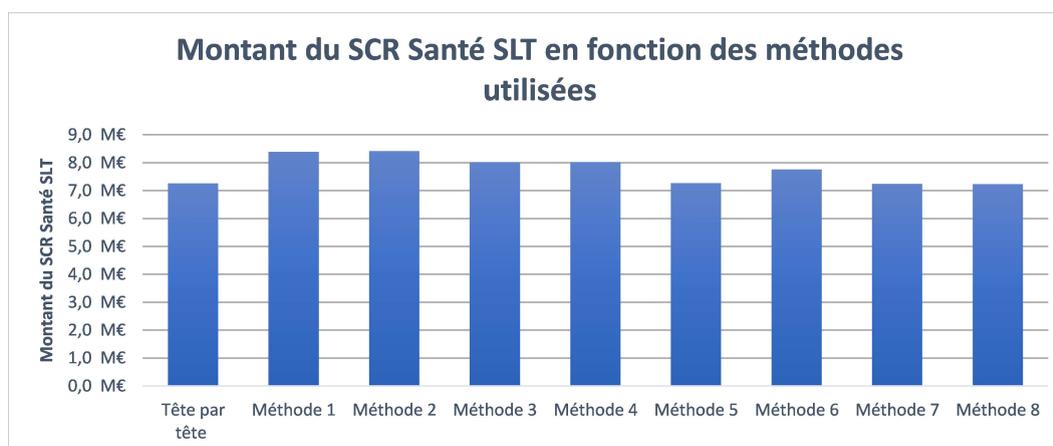


FIGURE 3.28 – Portefeuille 2 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d’agrégation utilisées

Cependant, afin de confirmer cette analyse, les résultats sont détaillés dans le tableau suivant, les écarts avec la base non agrégée sont également renseignés :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Santé SLT	7 259 803	8 387 208	8 413 343	8 014 679	8 024 869	7 264 443	7 755 318	7 241 924	7 234 466
Ecarts		15,5%	15,9%	10,4%	10,5%	0,1%	6,8%	-0,2%	-0,3%
Variation des temps		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%

FIGURE 3.29 – Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d’agrégation

Ce tableau confirme ce qui est ressorti de l’analyse graphique et identifie les méthodes 5, 7 et 8 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants 0,1%, -0,2% et -0,3%. En effet, la méthode 6 s’est révélée éloignée du tête par tête avec un écart 6,8%, les techniques restantes ont des écarts de plus de 10%. Les techniques citées au début de ce paragraphe montre qu’il est possible en agrégeant d’obtenir des résultats très proches de la réalité.

3.8 Conclusion

L’étude du portefeuille 2 qui a la caractéristique de posséder 100% de contrats immobiliers, a permis de visualiser l’impact de l’agrégation des données sur les différents indicateurs sélectionnés préalablement et de mettre en évidence l’évolution de l’efficacité des méthodes lors du changement de caractéristiques de la base des contrats (ici 100% immobiliers). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau de la figure 3.30.

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	1 152	13 183	1 152	13 183	4 133	6 512	6 132	5 620
Temps	44h13	0h20	3h53	0h20	3h53	1h13	1h55	1h48	1h39
Taux de compression		99,2%	91,2%	99,2%	91,2%	97,2%	95,7%	95,9%	96,3%
Ecarts VAP Primes		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-29,4%	-26,9%	-12,3%	-11,7%	-0,1%	-11,7%	-22,2%	-35,1%
Ecarts VAP Com. Tot.		10,8%	10,9%	10,0%	9,4%	0,0%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecarts BE Total		-4,7%	-3,7%	1,4%	1,3%	-0,1%	-0,3%	-9,5%	-18,9%
Ecarts SCR Vie		30,3%	29,1%	21,5%	20,1%	-0,1%	16,3%	8,5%	3,8%
Ecarts SCR Santé SLT		15,5%	15,9%	10,4%	10,5%	0,1%	6,8%	-0,2%	-0,3%

FIGURE 3.30 – Portefeuille 2 : Tableau de synthèse des résultats

A l'exception de la base agrégée par les variables *année de naissance, année de souscription* et *durée initiale du prêt* aucune autre stratégie ne ressort plus qu'une autre. Cependant, les résultats sont beaucoup plus proches que ceux obtenus lors de l'analyse des calculs du portefeuille 1. Ce dernier est constitué de prêts à la consommation et immobilier donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors des méthodes d'agrégation autre que la 5. A l'inverse, le portefeuille 2 ne possède que des prêts immobiliers. Au vu de l'importance de la durée initiale du prêt dans les regroupements, il est évident que c'est ce qui implique que le portefeuille 2 donne de meilleurs résultats que le portefeuille 1 en général. En outre, les techniques d'association 1 et 2 ne sont pour aucun indicateur éloignées de moins de 2% du résultat réel.

	Tête par tête	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	1 152	13 183	6 512	6 132	5 620
Temps	44h13	0h20	3h53	1h55	1h48	1h39
Taux de compression		99,2%	91,2%	95,7%	95,9%	96,3%
Ecart VAP Primes		10,0%	9,4%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecart VAP Chg. Sin.		-12,3%	-11,7%	-11,7%	-22,2%	-35,1%
Ecart VAP Com. Tot.		10,0%	9,4%	6,8%	-1,6%	-8,8%
Ecart BE Total		1,4%	1,3%	-0,3%	-9,5%	-18,9%
Ecart SCR Vie		21,5%	20,1%	16,3%	8,5%	3,8%
Ecart SCR Santé SLT		10,4%	10,5%	6,8%	-0,2%	-0,3%

FIGURE 3.31 – Portefeuille 2 : Tableau de synthèse des résultats - Focus sur les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8

Par ailleurs, les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8 ne suivent pas graphiquement l'allure de la courbe réelle, néanmoins les VAP obtenues sont proches de celles du tête par tête pour certains indicateurs. La figure 3.31 se focalise sur ces techniques. Par analyse de ce tableau, il est remarquable que certaines des bases agrégées sont meilleures pour le calcul de certains indicateurs sans l'être pour tous. Par exemple, la technique incluant comme variables d'agrégation le *capital initial multiplié par la quantité* permet un calcul plus précis du Best Estimate total. Cependant, c'est la stratégie des variables d'agrégation *année de naissance, année de souscription* et *taux d'intérêt du prêt* qui se trouve obtenir le résultat le plus pertinent pour les indicateurs : SCR_{Vie} . Pour le $SCR_{SanteSLT}$ il s'agit des techniques d'agrégation 7 et 8. On aboutit à la conclusion que, là aussi, le choix de l'agrégation doit être fonction de l'indicateur que l'assureur souhaite calculer.

La figure 3.30, met en évidence la méthode 5 qui donne les meilleurs résultats avec des écarts inférieurs ou égaux à 0,1% pour tous les indicateurs. De plus, les analyses graphiques avaient prouvé auparavant qu'elle permettait d'obtenir une allure identique à la courbe réelle pour tous les calculs effectués. Elle prouve donc qu'il est possible avec un taux de compression d'environ 97% d'avoir une très bonne précision.

En conclusion, avoir un nombre de *model points* réduit ne signifie pas que les résultats seront moins proches de la réalité. Le sujet se trouve essentiellement sur le choix de l'agrégation en fonction d'une part de la précision souhaitée mais aussi de l'indicateur que l'assureur cherche à calculer. En outre, un gain de temps conséquent peut être fait, essentiellement, lors de l'application des différents chocs pour le calcul du SCR dans le cadre des réglementations imposées par "*Solvabilité 2*". En effet, ces calculs multiplient par 9 la durée d'exécution. Il est alors incontestable que dans ce contexte la recherche d'une méthode d'agrégation efficace peut s'avérer essentielle.

Cependant, en fonction du type de portefeuille, les méthodes d'agrégation judicieuses peuvent changer. Désormais la même étude va être effectuée avec un portefeuille composé à 100% de prêts immobiliers en run-off depuis 2012, et ainsi voir s'il existe un impact.

4 Portefeuille 3

4.1 Temps de calculs

L'étude effectuée précédemment va une nouvelle fois être reprise, en utilisant les données obtenues en simulant un portefeuille d'assurance emprunteur en run-off depuis 2012 composé à 100% de prêts immobiliers. Cela va permettre de constater si les méthodes d'agrégation restent pertinentes lorsque les données évoluent et si celles qui ressortent sont les mêmes malgré le changement des caractéristiques de la base initiale.

Il est impératif que les techniques de regroupement choisies soient judicieuses afin d'avoir des résultats pertinents et donnant une précision proche de celle attendue par l'assureur sur les indicateurs qu'il souhaite calculer et donc ayant de faibles écarts avec le résultat réel.

Pour permettre de comparer les différentes méthodes en termes de temps de calculs, voici un tableau indiquant la durée d'obtention des résultats en fonction de l'agrégation mise en place :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	848	9 506	848	9 506	2 824	4 652	4 625	4 009
Taux de compression		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%
Temps	44h13	0h15	2h48	0h15	2h48	0h49	1h22	1h21	1h10
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.32 – Portefeuille 3 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes

L'analyse de ce tableau met en évidence trois groupes formés en fonction de la durée d'obtention des résultats :

- Méthodes 1 et 3 : 15 minutes ;
- Méthodes 5, 6, 7 et 8 : entre 49 minutes et 1 heure et 22 minutes ;
- Méthodes 2 et 4 : 2 heures et 48 minutes.

L'analyse est donc la même que celle faite pour les portefeuilles 1 et 2 :

- Le dernier groupe cité ci-dessus est celui dont l'exécution est la plus longue, néanmoins le taux de compression est de 93,7% donc le gain de temps effectué est non négligeable ;
- Les résultats sont cohérents, plus le nombre de variables d'agrégation est élevé, plus le nombre de ligne est important et donc plus le temps de calcul est long.

4.2 Primes

Comme annoncé antérieurement, l'outil Excel/VBA utilisé dans le cadre de ce mémoire permet d'obtenir la projection des primes sur plusieurs années, en prenant toujours l'hypothèse qu'il n'y a pas de nouveaux entrants.

La figure 3.33 représente l'évolution du montant des primes au cours du temps en fonction des techniques de regroupement présentées précédemment.

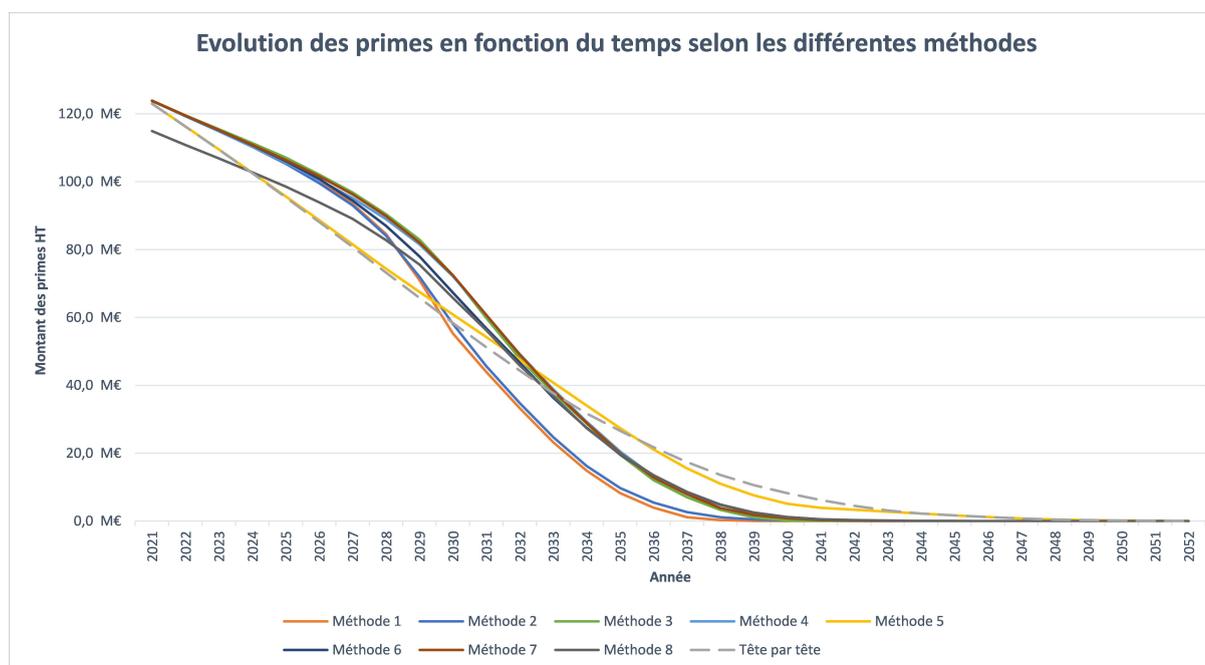


FIGURE 3.33 – Portefeuille 3 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d’agrégation

L’étude réalisée est la même que la précédente, seule la base de donnée initiale a évolué. Les résultats obtenus seront donc comparés également à ceux issus des calculs effectués pour les portefeuilles 1 et 2.

A l’inverse, de ce qui a été mis en évidence précédemment, la lecture du graphique de la figure 3.33 met en évidence, pour le calcul du montant des primes, que toutes les méthodes, à l’exception de la numéro 5 qui sera étudié ultérieurement, donnent des résultats proches les uns des autres. Certes, les courbes ne suivent pas le résultat réel néanmoins elles passent au-dessus puis en-dessous de celle du tête par tête donc même si les projections par année ne correspondent pas à la courbe grise, la valeur actuelle probable peut correspondre.

On peut expliquer cela par le fait que le portefeuille 1 possède des prêts à la consommation et immobiliers donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors de l’agrégation des données (sauf pour la méthode 5). A l’inverse, le portefeuille 2 ne possède pas de prêts de courtes durées car il est constitué uniquement de prêts immobiliers. Le portefeuille 3 est constitué de prêts immobiliers et est en run-off depuis 2012 donc l’écart entre les durées initiales des prêts qui le compose est encore plus petit. Au vu de l’importance de la durée initiale du prêt dans les regroupements, il est évident que c’est ce qui implique que le portefeuille 3 donne de meilleurs résultats que le portefeuille 2 qui lui-même admet des écarts plus petits que le portefeuille 1.

Cependant, à partir de l’année de projection 2026, les courbes représentatives des techniques 1 et 2 ont un montant de primes qui diminuent plus rapidement que celui des autres méthodes. Il est probable que cela ait un impact lors du calcul de la VAP.

La stratégie 5 ne fait pas partie de l’analyse ci-dessus. En effet, la courbe représentative de cette méthode suit de manière très proche celle du résultat réel malgré son taux de compression de 98,1%.

Afin d'avoir un unique chiffre comparable, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique qui est de 0% est calculée :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	1 196 378 808	1 109 501 092	1 121 389 488	1 239 444 043	1 241 661 127	1 201 265 568	1 220 048 533	1 242 942 924	1 158 671 101
Ecart		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.34 – Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation

Dès lors, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupements donnent des résultats plus proches du résultat réel que lors des études précédentes.

Cependant une similitude est qu'une nouvelle fois les méthodes 1 et 2 sont celles qui amènent à la VAP la plus éloignée du réel, avec des écarts respectivement d'une valeur de -7,3% et -6,3%. Cela reste un résultat qui n'est pas satisfaisant, néanmoins on remarque une évolution positive dans le sens où il est plus proche de la réalité que ce qui avait été obtenu précédemment.

Les stratégies d'association 3, 4, 7 et 8 ont toutes un écart au résultat réel situé entre 3,6% et 3,9%. Leur estimation est donc acceptable pour un assureur même si leur représentation graphique n'est pas parfaitement semblable à l'allure de la courbe du tête par tête.

Les méthodes 5 et 6 donnent les résultats les plus intéressants avec un écart au réel respectivement de 0,4% et 2,0%. Néanmoins, seule la numéro 5 a une représentation graphique identique à celle de la base non agrégée et ce pour un taux de compression de 98,1%. Cette stratégie paraît être un très bon choix.

Les méthodes 5 et 6 sont donc les plus précises. Toutefois, comme cela est visible dans la figure 3.34, le taux de compression de la technique 7 est de 96,9% ce qui est inférieur à celui de la numéro 5 donc une agrégation plus forte ne signifie pas des résultats plus éloignés de la réalité. De par cette étude, la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. Cependant, le choix de la technique d'agrégation doit se faire selon la précision et le temps dont l'assureur dispose. Par ailleurs, une base de donnée possédant des variables supplémentaires peut permettre d'établir d'autres méthodes d'agrégation.

4.3 Charge de sinistres

Après s'être intéressés à l'évolution des primes, il convient d'étudier l'évolution de la charge de sinistres. Ainsi, la figure 3.35 située à la page suivante, présente l'évolution de la charge de sinistres selon les années de projection selon les différentes méthodes d'agrégation vues précédemment.

Par la lecture du graphique, il est aisé de constater qu'à l'exception de la méthode 5, toutes les courbes des techniques de regroupement ont, de la même manière que précédemment, des allures identiques. Néanmoins, il est à constater que les représentations des stratégies 1 et 2 sont toujours en dessous de la courbe. Par hypothèse, les VAP de ces dernières devraient être plus éloignées de la réalité.

L'agrégation utilisant la variable *durée initiale du prêt* est une nouvelle fois la plus proche de la courbe représentative du tête par tête.

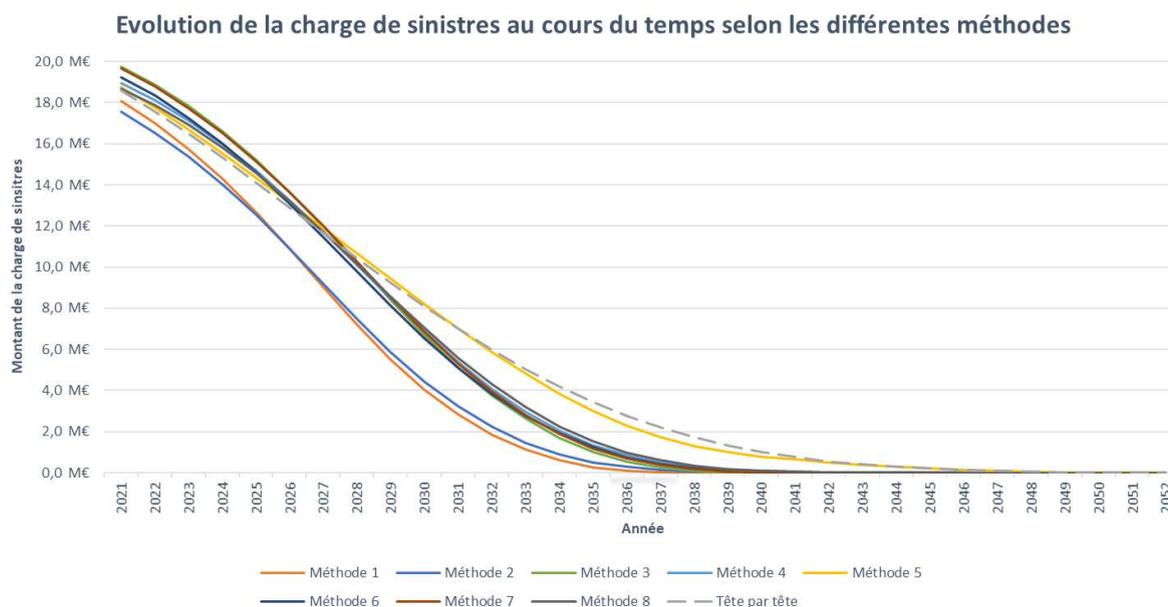


FIGURE 3.35 – Portefeuille 3 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d’agrégation

Afin de visualiser de manière plus détaillée l’écart existant entre la méthode réelle et les méthodes d’agrégation, la VAP actualisée est calculée avec une hypothèse de taux technique qui est de 0%, pour chaque méthode, les résultats ainsi que les écarts au calcul réel sont les suivants :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	171 764 397	121 338 799	122 938 552	154 395 790	153 186 667	170 557 559	150 972 995	155 723 126	153 800 877
Ecarts		-29,4%	-28,4%	-10,1%	-10,8%	-0,7%	-12,1%	-9,3%	-10,5%
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.36 – Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d’agrégation

A l’instar des résultats obtenus pour l’indicateur des primes, il apparaît de manière évidente que les techniques de regroupement 1, 2 peuvent être mises de côté au vu de leurs forts écarts avec la VAP réelle, plus de 28%. Cela confirme l’analyse graphique précédente.

Ensuite, les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8, en plus du fait que leurs représentations graphiques ne suivent pas la réalité, donnent des écarts de VAP de plus de 9% ce qui est trop important pour choisir l’une de ces stratégies.

La technique 5 a une agrégation très précise, avec un écart de -0,7% avec le réel, une représentation graphique identique et un taux de compression de 98,1%, ce qui paraît être un très bon choix.

L’agrégation par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* est l’unique choix à retenir parmi ceux présentés pour le calcul de cet indicateur. Cependant, il existe une multitude de méthodes qui peuvent être mises en place. Par exemple, pour projeter de manière plus précise la charge de sinistres, agréger par types de contrats peut être une bonne solution si la base de données contient cette information.

4.4 Commissions

Il est intéressant d'étudier à présent l'évolution des commissions, elle est présentée selon les années de projection et les différentes méthodes vues précédemment.

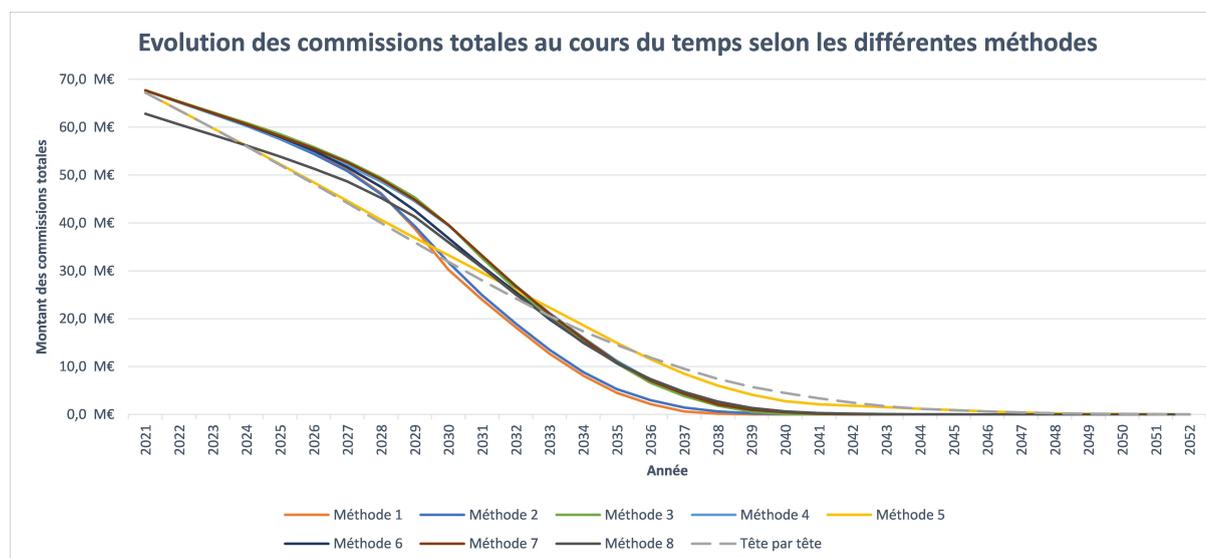


FIGURE 3.37 – Portefeuille 3 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation

Par analyse du graphique de la figure 3.37, il paraît évident que les allures des courbes sont semblables à celles obtenues précédemment dans le cas de l'évolution des primes. Toutes les méthodes, à l'exception de la numéro 5, donnent des résultats proches les uns des autres. Cependant, les courbes représentatives des techniques 1 et 2 ont un montant de commissions totales qui diminue plus rapidement que celui des autres méthodes. Certes, les courbes passent au-dessus puis en-dessous de la représentation des résultats réels. La courbe représentative de la méthode 5 suit à la perfection celle du résultat réel malgré son taux de compression de 98,1%.

Ces résultats graphiques proches de celui de l'indicateur des primes peuvent être expliqués par le fait que les commissions fixes se calculent en multipliant le montant des primes par un taux de commissions fixes déterminé. Or, les commissions totales sont calculées en sommant les commissions fixes et les commissions variables. Par ailleurs, on rappelle que les commissions variables sont de même obtenues en multipliant le montant des primes par un taux de commission variable établis selon un système dépendant du niveau de S/P de l'année.

Afin de visualiser de manière plus détaillée l'écart existant entre la méthode réelle et les stratégies d'agrégation, la VAP actualisée avec notre hypothèse de taux technique, qui est de 0%, est calculée pour chaque méthode. Ainsi, les résultats présentés sur la figure 3.38 sont obtenus, montrant les écarts avec le calcul réel.

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
VAP	654 020 415	606 527 263	613 026 254	677 562 744	678 774 750	656 691 844	666 959 865	679 475 465	633 406 868
Écarts		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.38 – Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation

Comme attendu, les résultats obtenus sont identiques à ceux calculés pour l'indicateur des primes, ce qui confirme notre analyse.

La conclusion est donc identique, de par cette étude la technique de regroupement numéro 5 reste la plus favorable. Cependant, cela dépend de la précision que l'on souhaite atteindre. De plus, il existe une multitude de méthodes comme celle-ci qui permettent une très bonne précision et un gain de temps considérable. L'objectif de cette étude est de montrer qu'il est possible d'en trouver donnant des résultats très proches de la réalité. Par ailleurs, l'analyse des techniques d'agrégation repose également sur d'autres indicateurs qu'il est nécessaire d'étudier.

4.5 Best Estimate

Le Best Estimate du scénario central est calculé dans le cadre du sous-module Vie et du sous-module Santé SLT. Le BE total est obtenu en effectuant la somme des BE de ces sous-modules pour le réel et les méthodes d'agrégation :

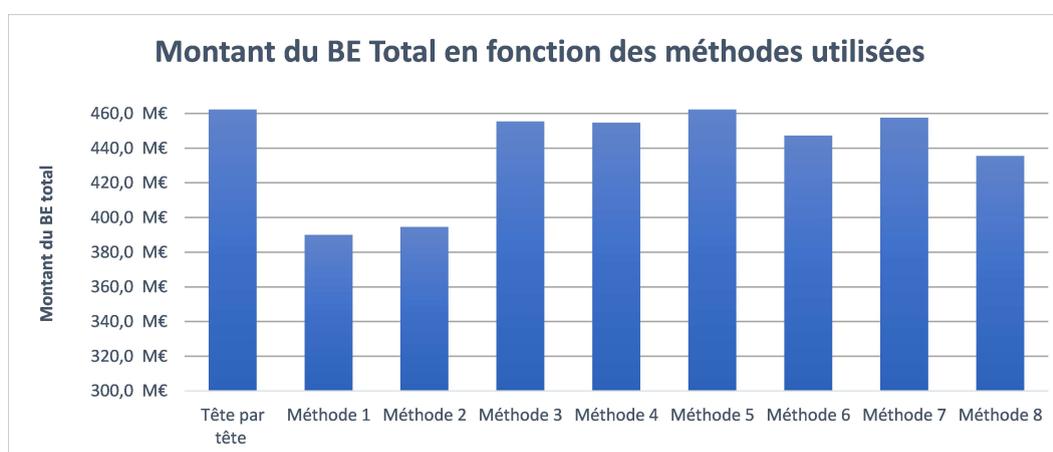


FIGURE 3.39 – Portefeuille 3 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

On constate graphiquement que les méthodes 1, 2, 6 et 8 donnent des résultats très éloignés du réel.

Cependant, les résultats des techniques de regroupement 3, 4, 5 et 7 sont graphiquement proches du tête par tête.

Afin d'avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d'agrégation sont relevés dans le tableau suivant :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
BE Total	462 336 860	390 053 625	394 592 689	455 437 772	454 732 180	462 353 303	447 218 054	457 643 211	435 495 789
Ecart		-15,6%	-14,7%	-1,5%	-1,6%	0,0%	-3,3%	-1,0%	-5,8%
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.40 – Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau appuie l'analyse graphique et identifie les méthodes 3, 4, 5 et 7 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants -1,5%, -1,6%, 0,0% et -1,0%. En effet, les méthodes 6 et 8 se sont révélées légèrement plus éloignées du tête par tête avec des écarts respectivement de 3,3% et 5,8%. Ces deux derniers résultats restent proches, mais cela dépend de la précision que recherche l'assureur. Par ailleurs, la méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel. Pour le Best Estimate total, les 6 techniques citées précédemment peuvent être des choix pertinents cela dépend de la précision et du temps dont dispose l'assureur. Toutes ces méthodes ayant un taux de compression supérieur à 93%, elles permettent un gain de temps certain.

4.6 SCR Vie

Comme annoncé précédemment, pour calculer le SCR_{Vie} les chocs à appliquer sont les suivants :

- Choc de mortalité;
- Choc de dépense;
- Choc de cessation;
- Choc de catastrophe (CAT).

Après avoir effectué ces calculs, voici les résultats obtenus selon les différentes méthodes, sous forme graphique :

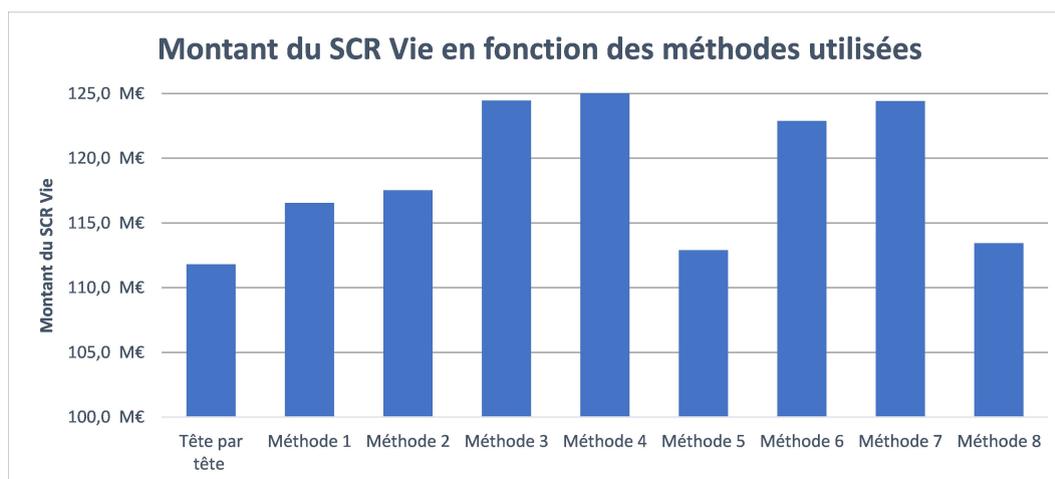


FIGURE 3.41 – Portefeuille 3 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

A l'inverse de ce qui a été vu lors du calcul de l'indicateur précédent, les méthodes 1, 2, 5 et 8 sont celles qui ne semblent pas être trop éloignées du tête par tête.

Afin d'avoir des résultats détaillés, les écarts entre le résultat réel et ceux obtenus par les différentes méthodes d'agrégation sont relevés dans le tableau suivant :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Vie	111 819 132	116 551 046	117 537 490	124 467 468	125 085 321	112 911 957	122 881 494	124 424 048	113 447 034
Ecarts		4,2%	5,1%	11,3%	11,9%	1,0%	9,9%	11,3%	1,5%
Variation temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.42 – Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau appuie l'analyse graphique et identifie les méthodes 1, 2, 5 et 8 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants 4,2%, 5,1%, 1,0% et 1,5%. En effet, les autres techniques d'agrégation sont plus éloignées du tête par tête avec une distance au réel de plus de 11%. Par ailleurs, la méthode 5 est celle qui a le résultat le plus proche du réel. Au vu des nombreux chocs à appliquer, les temps de calculs sont d'autant plus longs et donc l'agrégation des données est encore plus intéressante. Cependant, cela dépend de la précision que l'assureur souhaite atteindre, plusieurs stratégies peuvent être mises en place. Cette étude aspire à montrer qu'il est possible d'en trouver donnant des résultats très proches de la réalité.

4.7 SCR Santé

A l'image du SCR_{Vie} , le calcul du $SCR_{SanteSLT}$ nécessite l'application de chocs listés ci-après :

- Choc de mortalité;
- Choc de longévité;
- Choc d'invalidité-morbidité;
- Choc de dépense;
- Choc de cessation.

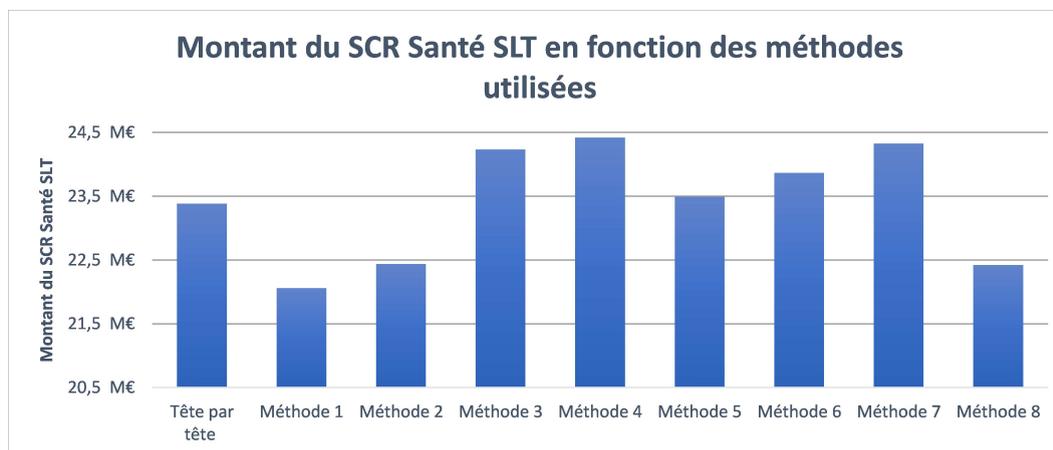


FIGURE 3.43 – Portefeuille 3 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées

La figure 3.43, représente les $SCR_{SanteSLT}$ obtenus pour la base réelle et les bases agrégées.

Les techniques de regroupement 5 et 6 sont les plus proches du SCR Santé SLT du tête par tête. Cependant, afin de confirmer cette analyse, les résultats sont détaillés dans le tableau suivant, les écarts avec la base non agrégée sont également renseignés :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
SCR Santé SLT	23 381 725	22 059 416	22 434 722	24 231 513	24 417 736	23 492 830	23 865 099	24 324 935	22 422 698
Écarts		-5,7%	-4,1%	3,6%	4,4%	0,5%	2,1%	4,0%	-4,1%
Variation des temps		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%

FIGURE 3.44 – Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation

Ce tableau confirme ce qui est ressorti de l'analyse graphique et identifie les méthodes 5 et 6 comme étant les plus proches du réel avec respectivement les écarts suivants 0,5% et 2,1%. En effet, les techniques restantes ont des écarts situés entre 4% et 6% ce qui est acceptable. Au vu des nombreux chocs à appliquer, les temps de calculs sont d'autant plus longs et donc l'agrégation des données est encore plus intéressante. Cependant, cela dépend de la précision que l'assureur souhaite atteindre, plusieurs stratégies peuvent être mises en place. Cette analyse vise à prouver qu'il est possible de trouver des techniques d'agrégation donnant des résultats très proches de la réalité, ce qui est le cas des trois stratégies de regroupement citées au début de ce paragraphe.

4.8 Conclusion

L'étude du portefeuille 3 qui est en run-off depuis 2012 et qui a la caractéristique de posséder 100% de contrats immobiliers, a permis de visualiser l'impact de l'agrégation des données sur les différents indicateurs sélectionnés préalablement et de mettre en évidence l'évolution de l'efficacité des méthodes lors du changement de caractéristiques de la base des contrats. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau de la figure suivante :

	Tête par tête	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 5	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	848	9 506	848	9 506	2 824	4 652	4 625	4 009
Temps	44h13	0h15	2h48	0h15	2h48	0h49	1h22	1h21	1h10
Taux de compression		99,4%	93,7%	99,4%	93,7%	98,1%	96,9%	96,9%	97,3%
Ecarts VAP Primes		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecarts VAP Chg. Sin.		-29,4%	-28,4%	-10,1%	-10,8%	-0,7%	-12,1%	-9,3%	-10,5%
Ecarts VAP Com. Tot.		-7,3%	-6,3%	3,6%	3,8%	0,4%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecarts BE Total		-15,6%	-14,7%	-1,5%	-1,6%	0,0%	-3,3%	-1,0%	-5,8%
Ecarts SCR Vie		4,2%	5,1%	11,3%	11,9%	1,0%	9,9%	11,3%	1,5%
Ecarts SCR Santé SLT		-5,7%	-4,1%	3,6%	4,4%	0,5%	2,1%	4,0%	-4,1%

FIGURE 3.45 – Portefeuille 3 : Tableau de synthèse des résultats

Tout d'abord, la méthode d'agrégation par pondération par le capital initial multiplié par la quotité (3 et 4) est meilleure que celle prenant la moyenne des sous-groupes (1 et 2).

A l'exception de la base agrégée par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* aucune autre stratégie ne ressort plus qu'une autre. Comme pour le portefeuille 2 et à l'inverse du premier, les résultats sont beaucoup plus proches du réel.

Ce qui est cohérent car comme expliqué précédemment, le portefeuille 1 possède des prêts à la consommation et immobiliers donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors de l'agrégation des données (sauf pour la méthode 5). A l'inverse, le portefeuille 2 est constitué uniquement de prêts immobiliers. Le portefeuille 3 est constitué de prêts immobiliers et est en run-off depuis 2012 donc l'écart entre les durées initiales des prêts est encore plus petit. Au vu de l'importance de la durée initiale du prêt dans les regroupements, il est évident que c'est ce qui implique que le portefeuille 3 donne de meilleurs résultats que le portefeuille 2 qui lui-même admet des écarts plus petits que le portefeuille 1.

Cependant, les techniques d'association 1 et 2, ne sont pour aucun indicateur, éloignées de moins de 3% du résultat réel.

	Tête par tête	Méthode 3	Méthode 4	Méthode 6	Méthode 7	Méthode 8
Nombre de lignes	150 000	848	9 506	4 652	4 625	4 009
Temps	44h13	0h15	2h48	1h22	1h21	1h10
Taux de compression		99,4%	93,7%	96,9%	96,9%	97,3%
Ecart VAP Primes		3,6%	3,8%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecart VAP Chg. Sin.		-10,1%	-10,8%	-12,1%	-9,3%	-10,5%
Ecart VAP Com. Tot.		3,6%	3,8%	2,0%	3,9%	-3,2%
Ecart BE Total		-1,5%	-1,6%	-3,3%	-1,0%	-5,8%
Ecart SCR Vie		11,3%	11,9%	9,9%	11,3%	1,5%
Ecart SCR Santé SLT		3,6%	4,4%	2,1%	4,0%	-4,1%

FIGURE 3.46 – Portefeuille 3 : Tableau de synthèse des résultats - Focus sur les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8

Par ailleurs, les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8 ne suivent pas graphiquement l'allure de la courbe réelle, néanmoins les VAP obtenues sont proches de celles du tête par tête pour certains indicateurs. La figure 3.46 se focalise sur ces techniques. Par analyse de ce tableau, il est remarquable que certaines des bases agrégées sont meilleures pour le calcul de certains indicateurs sans l'être pour tous. Par exemple, la technique incluant comme variables d'agrégation le *capital initial multiplié par la quantité* permet un calcul plus précis du Best Estimate total. Cependant, c'est la stratégie des variables d'agrégation *année de naissance, année de souscription et taux d'intérêt du prêt* qui se trouve obtenir le résultat le plus pertinent pour l' SCR_{Vie} . Pour le $SCR_{SantéSLT}$ il s'agit de la technique d'agrégation 6. Il en découle, là encore, que le choix de l'agrégation doit être fonction de l'indicateur que l'assureur souhaite calculer.

La figure 3.45, met en évidence la méthode 5 qui donne les meilleurs résultats avec des écarts inférieurs ou égaux à 0,7% pour tous les indicateurs. De plus, les analyses graphiques avaient prouvé auparavant qu'elle permettait d'obtenir une allure identique à la courbe réelle pour tous les calculs effectués. Elle prouve donc qu'il est possible avec un taux de compression d'environ 98% d'avoir une forte précision.

En conclusion, les méthodes d'agrégation ayant un taux de compression plus élevé ne donnent pas des résultats plus éloignés du réel. L'important est donc le choix de l'agrégation en fonction d'une part de la précision souhaitée mais aussi de l'indicateur que l'assureur cherche à calculer. Toutes les méthodes permettent de réduire de manière conséquente le temps de calculs, notamment, dans le cadre des réglementations imposées par "Solvabilité 2".

CONCLUSION

Dans le cadre de ce mémoire, une étude de l'impact de l'agrégation des données sur différents indicateurs (Commissions, BE, SCR, . . .) en assurance emprunteur a été réalisée.

L'objectif était d'étudier différentes méthodes d'agrégation afin de montrer, d'une part, l'importance de l'agrégation des données en termes de gain de temps. En effet, les durées de calculs sont de plus en plus importantes notamment avec :

- L'augmentation de la taille des bases de données ;
- Les nombreux scénarios nécessitant d'être calculés afin de respecter les directives de "Solvabilité 2".

D'autre part, il était impératif que les techniques de regroupement choisies soient judicieuses afin d'avoir des résultats pertinents et donnant une précision proche de celle attendue par un assureur sur les indicateurs qu'il souhaite calculer et donc ayant de faibles écarts avec le résultat réel.

Afin de répondre à cette problématique, plusieurs portefeuilles ont été simulés à partir de contrats réels. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Portefeuille 1 : Un portefeuille à maturité composé à 20% de contrats emprunteurs à la consommation et à 80% de contrats immobiliers ;
- Portefeuille 2 : Un portefeuille à maturité composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers ;
- Portefeuille 3 : Un portefeuille en run-off depuis 2012 composé à 100% de contrats emprunteurs immobiliers.

Les bases ont ensuite été agrégées grâce à des méthodes d'agrégation qui sont résumées à la page suivante dans le tableau de la figure 3.47.

Enfin, pour mesurer l'impact de l'agrégation des données et pour comparer entre elles les techniques de regroupement, les indicateurs suivants ont été calculés :

- Primes ;
- Charges de sinistres ;
- Commissions ;
- BE ;
- SCR Vie ;
- SCR Santé.

Plusieurs résultats sont ressortis de cette étude. Tout d'abord, la méthode d'agrégation par pondération par le capital initial multiplié par la quotité (3 et 4) est meilleure que celle prenant la moyenne des sous-groupes (1 et 2) et ce peu importe les caractéristiques des contrats.

Ensuite, l'agrégation par les variables *année de naissance*, *année de souscription* et *durée initiale du prêt* (5) donne les meilleurs résultats avec des écarts au réel inférieurs ou égaux à 1% et ce pour tous les portefeuilles et pour tous les indicateurs. De plus, les analyses graphiques ont prouvé auparavant qu'elle permettait d'obtenir une allure identique à la courbe réelle pour tous les calculs effectués. Elle prouve donc qu'il est possible avec un taux de compression de plus de 97% d'avoir une très bonne précision.

	Date de naissance	Date de souscription	Durée initiale du prêt	Capital initial x quotité (Cixqte)	Taux d'intérêt	Taux de cotisation
Méthode 1	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 2	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne
Méthode 3	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 4	Agrégée par le mois et l'année de naissance	Agrégée par le mois et l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 5	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Agrégée par la durée initiale du prêt	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 6	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le capital initial multiplié par la quotité	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte
Méthode 7	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Agrégée par le taux de cotisation
Méthode 8	Agrégée par l'année de naissance	Agrégée par l'année de souscription	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte	Calculée par moyenne	Agrégée par le taux d'intérêt	Calculée par moyenne pondérée par le Cixqte

FIGURE 3.47 – Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation

A l'exception de cette méthode, aucune autre stratégie ne ressort plus qu'une autre. Or, cette dernière a un taux de compression plus élevé que les techniques d'association 2, 4, 6, 7 et 8. Il ressort de cela que d'avoir un nombre de *model points* plus réduit ne signifie pas que les résultats seront moins proches de la réalité.

D'après l'étude effectuée précédemment, il est remarquable que certaines des bases agrégées sont meilleures pour le calcul de certains indicateurs sans l'être pour tous. Par exemple pour le portefeuille 3, la technique incluant comme variables d'agrégation le *taux de cotisation* (7) permet un calcul plus précis du Best Estimate total. Cependant, c'est la stratégie des variables d'agrégations *année de naissance*, *année de souscription* et *taux d'intérêt du prêt* (8) qui se trouve obtenir le résultat le plus pertinent pour l' SCR_{Vie} . Pour le $SCR_{SanteSLT}$ il s'agit de la technique d'agrégation 6. Il en découle, là encore, que le choix de l'agrégation doit être fonction de l'indicateur que l'assureur souhaite calculer

De plus, l'adéquation d'une agrégation peut varier selon le portefeuille simulé utilisé. Par exemple, la méthode 8 qui utilise comme variable d'agrégation le *taux d'intérêt du prêt* donne de moins bons résultats pour les portefeuilles 1 et 2 que pour le portefeuille 3. En effet, l'écart de VAP pour le calcul des primes est respectivement, de -33,6%, -8,8% et -3,2%. Le portefeuille 1 possède des prêts à la consommation et immobiliers donc avec des durées de prêts très différentes qui peuvent être regroupées ensemble lors de l'agrégation par le taux d'intérêt. A l'inverse, le portefeuille 2 ne possède pas de prêts de courtes durées car il est constitué uniquement de prêts immobiliers. Le portefeuille 3 est

constitué de prêts immobiliers et est en run-off depuis 2012 donc l'écart entre les durées initiales des prêts qui le compose est encore plus petit. Au vu de l'importance de la durée initiale du prêt dans les regroupements, il est évident que c'est ce qui implique que pour la méthode 8 le portefeuille 3 donne de meilleurs résultats que le portefeuille 2 qui lui-même admet des écarts plus petits que pour le portefeuille 1.

En outre, les analyses graphiques ont montré que la plupart des représentations des méthodes d'agrégation ne suivaient pas l'allure de la courbe réelle. La VAP était certes très proche pour certaines techniques de regroupement si l'assureur veut un résultat pour une année de projection précise. Cela peut également faire évoluer la décision sur la stratégie à choisir.

Le sujet se trouve essentiellement sur le choix de l'agrégation en fonction d'une part de la précision souhaitée mais aussi de ce que cherche à calculer l'assureur.

Néanmoins, un gain de temps conséquent peut être fait, essentiellement, lors de l'application des différents chocs pour le calcul du SCR dans le cadre des réglementations imposées par "Solvabilité 2". En effet, ces calculs impliquent un temps de calcul 9 fois supérieur. Il est alors incontestable que dans ce contexte, la recherche d'une méthode d'agrégation efficace peut s'avérer essentielle.

Attention, ces résultats ne peuvent être généralisés sans une étude plus approfondie du portefeuille de travail. En effet, la réalisation de ce mémoire repose sur certaines hypothèses de simplification et sur un choix non exhaustif d'indicateurs. De plus, seuls trois portefeuilles spécifiques ont été analysés ici. Par ailleurs, l'objectif étant d'analyser l'impact général de l'agrégation des données, les méthodes appliquées ont été choisies aléatoirement et sont relatives aux données traitées. En perspective d'une généralisation, il pourrait être pertinent d'effectuer des tests préalables, afin de sélectionner les méthodes d'agrégation. Enfin, aucune variable qualitative n'a été utilisée dans les agrégations effectuées, cela aurait pu mener à une analyse différente.

Bibliographie

- [1] ACPR. <https://acpr.banque-france.fr/>.
- [2] Actélior. Rapport : Bilan de l'assurance emprunteur. *Comité Consultatif du Secteur Financier*, 2020.
- [3] C.KAULT. *Cours sur Solvabilité 2*. ISUP, 2020-2021.
- [4] C.MOREAU. *Assurance emprunteur : Analyse de l'impact de la nouvelle réglementation Solvabilité II*. 2012.
- [5] D.ATTIAS. *Assurance Emprunteur : L'impact de Solvabilité 2 sur le partage de la valeur avec l'apporteur*. 2016.
- [6] Fédération Française de l'Assurance. *L'assurance française - données clés 2019*. 2020.
- [7] L'Argus de l'assurance. <https://www.argusdelassurance.com/>.
- [8] M.D'HEM D.ECHEVIN, O.SANSON. *Comprendre et conseiller l'assurance emprunteur*. L'Argus de l'assurance, 2019.
- [9] Institut des Actuaire. <http://www.ressources-actuarielles.net/memoires>.
- [10] EIOPA. <https://www.eiopa.europa.eu/>.
- [11] G.DE MACEDO. *Comptabilité des assurances*. ISUP, 2019-2020.
- [12] M.GAROTIN. *MCEV*. ISUP, 2020-2021.
- [13] N.CHANNOUF. *Modélisation et optimisation d'un centre d'appels téléphoniques : étude du processus d'arrivée*. 2008.
- [14] S.PRIMEL. *Tarifification, Rentabilité et Impacts de Solvabilité II sur les contrats Emprunteur - Application aux garanties Décès et Incapacité*. 2012.

ANNEXES

Matrice de corrélation des sous-modules du SRC

	Mortalité	Longévité	Invalidité / Morbidité	Dépense	Révision	Cessation	CAT
Mortalité	1	-0,25	0,5	0,25	0	0	0
Longévité	-0,25	1	0	0,25	0,25	0,25	0
Invalidité / Morbidité	0,5	0	1	0,5	0	0	0
Dépense	0,25	0,25	0,5	1	0,25	0,5	0
Révision	0	0,25	0	0,25	1	0	0
Cessation	0	0,25	0	0,5	0	1	0
CAT	0	0	0	0	0	0	1

FIGURE 3.48 – Matrice de corrélation des différents sous-modules du module Vie

	Mortalité	Longévité	Invalidité / Morbidité	Dépense	Révision	Cessation
Mortalité	1	-0,25	0,25	0,25	0	0
Longévité	-0,25	1	0	0,25	0,25	0,25
Invalidité / Morbidité	0,25	0	1	0,5	0	0
Dépense	0,25	0,25	0,5	1	0,5	0,5
Révision	0	0,25	0	0,5	1	0
Cessation	0	0,25	0	0,5	0	1

FIGURE 3.49 – Matrice de corrélation des différents sous-modules du module Santé SLT

GLOSSAIRE

AT : Arrêt de travail

AERAS : Assurer et Emprunter avec un Risque Aggravé

AVQ : Actes de la vie quotidienne

BE : Best Estimate

BIC : Critère d'information bayésienne

CI : Capital Initial

CRD : Capital Restant Dû

DC : Décès

EPV : Expected Present Value

IPP : Invalidité permanente et partielle

IPT : Invalidité permanente et totale

ITT : Incapacité temporaire de travail

NAV : Net Asset Value

PE : Perte d'emploi

PTIA : Perte totale et irréversible d'autonomie

PRC : Provision pour Risques Croissants

SCR : Solvency Capital Requirement

SLT : Similaire à la vie

TSCA : Taxe spéciale sur les conventions d'assurances

VAP : Valeur actuelle probable

VBA : Visual Basic for Applications

Table des figures

1.1	Les différentes garanties concernant l'invalidité	24
1.2	Le fonctionnement des contrats de groupe	25
1.3	Le fonctionnement des contrats individuels	26
1.4	Le mécanisme de commercialisation des contrats en assurance emprunteur	26
1.5	Évolution des cotisations sur la période de 2010 à 2019 (Source : FFA)	28
1.6	Répartition des ventes par type de prêts en assurance emprunteur de 2010 à 2019 (Source : FFA)	29
1.7	Répartition des ventes par types de contrats de 2017 à 2019 en assurance emprunteur (Source : "Bilan de l'assurance emprunteur" de 2020 par Actélior pour le CCSF)	32
1.8	Les trois piliers de Solvabilité 1	33
1.9	Les trois piliers Solvabilité 2	35
1.10	Le pilier 1 : les exigences quantitatives	35
1.11	Les composantes du SCR selon ses différents modules	36
1.12	Les composantes de SCR spécifiques à l'assurance emprunteur	37
2.1	Matrice de corrélation choisie pour la simulation des portefeuilles	41
2.2	Distributions des variables utilisées pour la simulation des 3 portefeuilles	43
2.3	Principales statistiques des variables des 3 portefeuilles	44
2.4	Extrait d'une base d'un portefeuille avant agrégation	44
2.5	Méthode 1 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	45
2.6	Méthode 2 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	46
2.7	Méthode 3 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	46
2.8	Méthode 4 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	47
2.9	Méthode 5 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	48
2.10	Méthode 6 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	48
2.11	Méthode 7 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	49
2.12	Méthode 8 : Tableau répertoriant le nombre de lignes avant et après l'agrégation des portefeuilles	49
2.13	Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation	50
2.14	Exemple du début du portefeuille 1 agrégé par la méthode 1	51
2.15	Illustration des états et des possibilités de passage pour un assuré	53
2.16	Évolution de la différence des VAP pour un contrat d'une durée de 15 ans tarifé en pourcentage du CI	54
2.17	Évolution de la différence des VAP pour un contrat d'une durée de 15 ans tarifé en pourcentage du CRD	54
2.18	Compte de résultat du portefeuille 1 agrégé par la méthode 1 pour les 5 prochaines années	56

3.1	Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation	61
3.2	Portefeuille 1 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes d'agrégation	62
3.3	Portefeuille 1 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	63
3.4	Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation	64
3.5	Portefeuille 1 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	65
3.6	Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d'agrégation	65
3.7	Portefeuille 1 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	66
3.8	Portefeuille 1 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation	66
3.9	Portefeuille 1 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	67
3.10	Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	67
3.11	Portefeuille 1 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	68
3.12	Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	68
3.13	Portefeuille 1 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	69
3.14	Portefeuille 1 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	69
3.15	Portefeuille 1 : Tableau de synthèse des résultats	70
3.16	Portefeuille 1 : Tableau de synthèse des résultats, focus sur les méthodes 3, 4 et 6	70
3.17	Portefeuille 2 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes	72
3.18	Portefeuille 2 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	72
3.19	Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation	73
3.20	Portefeuille 2 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	74
3.21	Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d'agrégation	75
3.22	Portefeuille 2 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	75
3.23	Portefeuille 2 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation	76
3.24	Portefeuille 2 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	77
3.25	Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	77

3.26	Portefeuille 2 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	78
3.27	Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	78
3.28	Portefeuille 2 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	79
3.29	Portefeuille 2 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	79
3.30	Portefeuille 2 : Tableau de synthèse des résultats	79
3.31	Portefeuille 2 : Tableau de synthèse des résultats - Focus sur les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8	80
3.32	Portefeuille 3 : Tableau comparant les temps de calculs pour les différentes méthodes	81
3.33	Portefeuille 3 : Évolution des primes en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	82
3.34	Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des primes du calcul réel et la VAP des primes obtenue par les méthodes d'agrégation	83
3.35	Portefeuille 3 : Évolution de la charge de sinistres en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	84
3.36	Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP de la charge de sinistres du calcul réel et la VAP de la charge de sinistres obtenue par les méthodes d'agrégation .	84
3.37	Portefeuille 3 : Évolution des commissions totales en fonction du temps selon les différentes méthodes d'agrégation	85
3.38	Portefeuille 3 : Tableau comparant les écarts entre la VAP des commissions totales du calcul réel et la VAP des commissions totales obtenue par les méthodes d'agrégation .	85
3.39	Portefeuille 3 : Montant du BE Total en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	86
3.40	Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du BE total obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	86
3.41	Portefeuille 3 : Montant du SCR Vie en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	87
3.42	Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du SCR Vie obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	87
3.43	Portefeuille 3 : Montant du SCR Santé SLT en fonction des différentes méthodes d'agrégation utilisées	88
3.44	Portefeuille 3 : Tableau comparant le résultat du SCR Santé SLT obtenu par un calcul "tête par tête" et ceux obtenus par méthodes d'agrégation	88
3.45	Portefeuille 3 : Tableau de synthèse des résultats	89
3.46	Portefeuille 3 : Tableau de synthèse des résultats - Focus sur les méthodes 3, 4, 6, 7 et 8	90
3.47	Tableau de synthèse des méthodes d'agrégation	92
3.48	Matrice de corrélation des différents sous-modules du module Vie	95
3.49	Matrice de corrélation des différents sous-modules du module Santé SLT	95