

Mémoire présenté le :

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

Par : Gnankou Boris BALE

Titre Applications des techniques Non-vie sur le périmètre Santé de Generali
VIE pour le calcul du SCR en Modèle interne

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

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

*Membre présents du jury de l'Institut
des Actuaires*

signature

Entreprise :

Nom : Generali Vie

Signature :

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom : DIOP

Signature : DIOP

Invité :

Nom :

Signature :

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

Signature du responsable entreprise

DIOP

Salimata DIOP

Signature du candidat

BALE

Boris BALE

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes ayant contribué à la réalisation, ou à l'encadrement de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement ma tutrice d'entreprise, Mme Salimata DIOP, pour son implication dans mes travaux de mémoire, son aide ainsi que sa disponibilité tout au long de mon mémoire, qui ont permis un bon encadrement et une bonne organisation générale.

Je tiens à remercier également M. Pierre BRESSON , manager de l'équipe des risques Non-Vie de Generali, pour le suivi et l'intérêt porté à mes travaux.

Je tiens aussi à remercier les équipes de modélisation des risques Vie et risques Non-Vie pour leurs explications et leurs aides qui ont été très importantes dans la rédaction de ce mémoire.

Je remercie M. Denys POMMERET, mon tuteur académique de l'ISFA, pour son suivi, ainsi que le temps qu'il a su m'accorder.

Je remercie enfin ma famille et mes proches pour leur soutien durant cette période et sans qui tout cela n'aurait pas été possible.

Note de confidentialité

Les données, études et résultats présentés dans ce mémoire, ont une grande valeur stratégique pour le groupe Generali et en particulier pour Generali VIE.

Pour ces raisons, un coefficient de proportionnalité a été appliqué aux chiffres de ce mémoire. Mais ces résultats reflètent les niveaux de variations observés.

Résumé

La réglementation Solvabilité 2 impose à chaque compagnie d'assurance d'estimer un capital de solvabilité requis ou encore un besoin en capital appelé couramment SCR leur permettant de pouvoir mener leurs activités. Ce capital est calculé par risque ou encore par LoB (line of business ou ligne d'activité). Son calcul diffère en fonction de si la compagnie possède un modèle interne ou effectue le calcul en utilisant la formule standard. Dans le cas d'un modèle interne, le processus de calcul de ce capital est assez long et requiert plusieurs logiciels internes à l'entreprise dont il est question. Ce processus passe par le calibrage de certains risques liés soit à l'assurance Vie ou à l'assurance Non-Vie et à des projections permettant d'avoir une meilleure estimation de ce capital. Certains risques sont modélisés avec des méthodes alliant une approche Vie et une approche Non-Vie. Ce qui est le cas du portefeuille de prévoyance chez Generali. Cependant certains de ces risques (de par leur nature) peuvent être modélisés en n'utilisant que des techniques Non-Vie. Ce nouveau moyen d'approche aura sans doute un impact sur le SCR et sur la marge pour risque. De plus une diminution du SCR sera bénéfique pour l'entreprise et permettra à celle-ci d'augmenter ses fonds propres.

L'objectif de ce mémoire est donc de remplacer l'approche hybride utilisée sur le portefeuille de la prévoyance par une approche essentiellement Non-Vie. Cette nouvelle approche ne sera appliquée que sur le risque Santé (risque lié aux frais de Santé) et les résultats obtenus seront comparés aux résultats obtenus par le biais de l'approche hybride sur l'année d'exercice 2021. Des tests de sensibilité sur différentes étapes du processus seront effectués en vue d'améliorer les résultats.

Mots clés : LoB, SCR, Prévoyance, Modèle interne, Formule standard, Assurance Vie, Assurance Non-Vie, Approche hybride.

Abstract

The Solvency 2 regulation requires each insurance company to estimate a solvency capital requirement or a capital requirement commonly referred to as SCR to enable them to conduct their business. This capital is calculated by risk or by LoB (line of business). Its calculation differs depending on whether the company has an internal model or calculates it using the standard formula. In the case of an internal model, the process of calculating this capital is quite long and requires several software programs internal to the company in question. This process involves the calibration of certain risks related to either Life or Non-Life insurance and projections to obtain a better estimate of this capital. Some risks are modeled with methods that combine a Life and a Non-Life approach. This is the case for the pension portfolio at Generali. However, some of these risks (by their nature) can be modeled using only Non-Life techniques. This new approach will undoubtedly have an impact on the SCR and on the risk margin. Moreover, a decrease in the SCR will be beneficial for the company and will allow it to increase its equity capital.

The objective of this thesis is to replace the hybrid approach used on the pension portfolio by an essentially Non-Life approach. This new approach will only be applied to the Health risk (risk linked to health expenses) and the results obtained will be compared to the results obtained using the hybrid approach for the 2021 financial year. Sensitivity tests on different steps of the process will be performed in order to improve the results.

Keywords : LoB, SCR, Protection, Internal model, standard formula, Life insurance, Non-Life insurance, Hybrid approach.

Note de synthèse

La branche Prévoyance est une branche prépondérante dans l'activité de Generali VIE. Proposant des garanties diverses et variées sur les risques de Mortalité, de Morbidité / Invalidité, de Décès et Santé, elle se veut rentable au titre de chacune d'elles. Ceci passe donc inévitablement par une connaissance pointue et approfondie du portefeuille, notamment de la sinistralité et des risques inhérents à celui-ci. En particulier l'assurance Santé a pendant de nombreuses années soulevé des questions de modélisation en raison même de sa nature. Pour respecter les exigences réglementaires, dont l'une des plus importantes, Solvabilité II, les entreprises mettent en place des processus de calibrage et de calcul des risques auxquels elles sont confrontées.

Ces processus s'articulent autour des méthode de gestion des risques qu'utilisent ces compagnies pour répondre à une exigence très importante de Solvabilité II qui est le calcul d'un montant de capital minimum à détenir pour que la probabilité de ruine économique à un horizon de 1 an de la compagnie d'assurance soit inférieure ou égale à 0.5% : le SCR. Ce montant doit être suivi tout au long d'un exercice. De plus il peut être calculé par le biais d'une formule Standard promulgué par la directive et commun à toutes les compagnies d'assurance ou par le biais d'un modèle interne(complet ou partiel) propre à l'entreprise et qui reflète au mieux l'exposition de l'entreprise aux différents risques qu'elle rencontre. Dans le cas de Generali, qui a opté pour un modèle interne complet, le SCR est calculé en projetant la distribution des Fonds Propres, ou du passif Best Estimate, à 1 an et s'illustre par la formule suivante :

$$SCR = FP_0 - q_{0,5\%}(D(1)FP_1) \quad (1)$$

Où $D(1)$ le facteur d'actualisation d'un an, $q_{0,5\%}$ le quantile à 0,5%, FP_1 correspond aux fonds propres projetés à un an et la formule est la suivante :

$$FP_1 = Actifs_1 - BE_1 - OBSI_1 \quad (2)$$

avec :

- $Actifs_1$ qui représente les actifs projetés à un an ou actifs stressés ;
- BE_1 qui représente le BE projeté à un an ou actifs stressés ;
- $OBSI_1$ les valeurs qui ne représentent ni l'actif ni le BE.

Ainsi Les techniques de calcul du SCR diffèrent selon les périmètres et les portefeuilles considérés. Ces techniques sont variées et allient parfois des techniques Vie et des techniques Non-Vie. Generali quant à elle, a fait le choix d'utiliser des techniques hybrides (Techniques regroupant des processus liés à l'assurance Vie et Non Vie) sur les différents risques de son portefeuille de Prévoyance et en particulier sur le risque Santé.

Le processus de calcul du SCR de Generali est détaillé par la figure suivante :

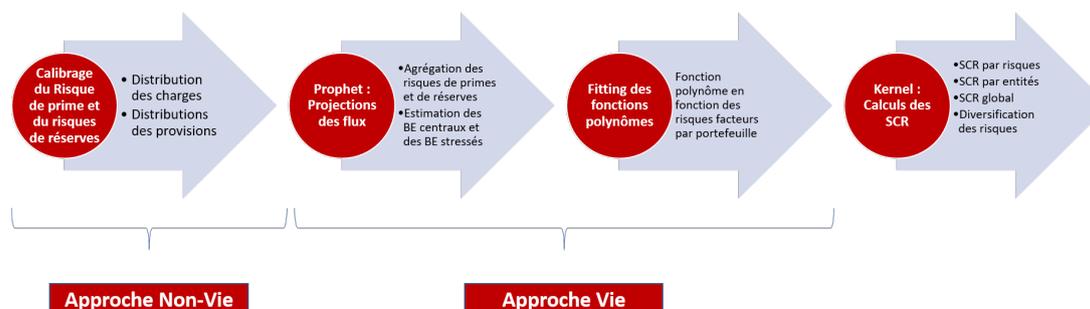


FIGURE 1 – Schématisation du processus de calcul du SCR

L'approche Non-Vie consiste dans un premier temps à déterminer les distributions des résultats techniques et de charges en vue de calibrer le risque de primes et le risque de réserves.

Le risque de prime est le risque relatif à une perte probable engendrée par une éventuelle inadéquation des hypothèses sous-jacentes à la tarification d'un produit d'assurance. Il est calibré sous IGLOO et son estimation se fait dans un premier temps par la calibration des sinistres attritionnels et importants par l'utilisation de plusieurs approches telles que l'approche par sévérité-fréquence moyenne, l'approche sévérité-fréquence individuelle ou encore l'approche par agrégation et dans un second temps de déterminer la distribution des résultats techniques bruts qui est explicité par la formule suivante :

$$RTB_i = P_{i,Brut} - X_{i,Brut} - Fa_i - Fg_i \quad (3)$$

avec

- RTB : le résultat technique brut du portefeuille.
- P_{Brut} : les primes brutes qui seront acquises par l'entreprise à l'année $t+1$ pour le portefeuille.
- X_{Brut} : Les sinistres survenus au cours de l'année $t+1$.
- Fa : les frais d'acquisition
- Fg : les frais généraux

Ce résultat permettra d'estimer un SCR de primes, donné par la formule ci-après :

$$SCR^{brut} = \mathbb{E}(RTB) - VaR_{0,5\%}(RTB) \quad (4)$$

Concernant le calibrage du risque de réserves, il se définit comme le risque de sous-évaluation des provisions techniques relatives aux sinistres survenus résultant d'une mauvaise estimation du montant des provisions pour sinistre. Son estimation est faite sous RESQ. Elle s'explique dans un premier temps par l'utilisation de modèles déterministes et stochastiques pour estimer les provisions à horizon un an. Par la suite ces provisions estimées permettent de déterminer la distribution de résultat du développement des sinistres (CDR - Claim Development Results) par le biais de la formule suivante :

$$C\hat{D}R = \hat{R}_t - \mathbf{P}_{t,t+1} - \hat{R}_{t+1} \quad (5)$$

Avec \hat{R}_t , l'estimation de la réserve pour sinistres à la date et $P_{t,t+1}$ le montant des paiements émis au cours de la période entre t et t+1 avec en gras les variables stochastiques.

De plus plusieurs approches sont envisagées pour l'estimation du CDR à savoir le Re-reserving et le modèle d'émergence.

Le risque de primes et le risque de réserves sont ensuite introduits dans Prophet pour être agrégés afin d'obtenir une projection du Best Estimate nécessaire au calcul du SCR final. Cependant une difficulté réside dans cette projection du fait que le BE soit calculé par son estimateur de Monte Carlo comme l'indique la formule ci dessous :

$$BE_{MC} = \frac{1}{N} \sum_1^N \left[\sum_{t>1} \frac{CF_{t,i}}{(1+r_t)^t} | Y_{t,i} \right] \quad (6)$$

Il nécessite donc la réalisation d'un grand nombre de simulations risque neutre. Plusieurs méthodes sont utilisées mais celle retenue est celle de Monte Carlo des moindres carrés ou encore LMSC (Least Squares Monte-Carlo).

De plus l'estimation du Best Estimate et sa valeur choquée passent par l'intermédiaire d'une fonction polynomiale ayant pour objectif de déterminer les variables qui expliquent au mieux le Best Estimate. Cette équation est donnée comme suite :

$$LPF = BEL_1 = f(BEL_0, [LifeUWRiskfactors], [FCriskfactors][SVAfactor]) \quad (7)$$

où

- BEL_1 correspond à la valeur choquée des engagements dans le cas des risques VIE.
- $f(\cdot)$, une fonction polynomiale utilisée pour approximer la valeur choquée des engagements de Vie,
- BEL_0 qui représente la valeur des engagements à la date 0.
- le vecteur [Life UW risk factors] est le vecteur de la valeur des facteurs de risque de souscription Vie ;
- le vecteur [Financial Credit risk factors] est le vecteur de la valeur des facteurs de risque financier et de crédit ;
- le vecteur [SVA factor] est la variation de l'ajustement de volatilité par rapport à son cas de base.

Le polynôme final est de la forme :

$$BEL_i = \alpha_i + \beta_j * RF_{i,j}^\alpha \quad (8)$$

avec

- RF, les différents facteurs de risques sélectionnés pour la LoB_i . Il fait aussi référence à des croisements entre facteurs de risques.
- α le degré d'un risque facteur donné

La dernière étape consiste à importer toutes ces valeurs dans le Kernel qui est un outil incorporé au modèle interne de Generali. Il permet de calculer les différents SCR par entité et par pays et de les agréger afin d'obtenir le SCR global.

Cette partie du processus, allant de la projection du BE à l'estimation de la fonction polynomiale, représente le coeur de l'approche Vie. Ainsi une approche totalement Non Vie aura pour but de supprimer cette partie et d'insérer dans le Kernel les distributions du risque de primes et du risque de réserves.

Le nouveau processus est alors donné par :

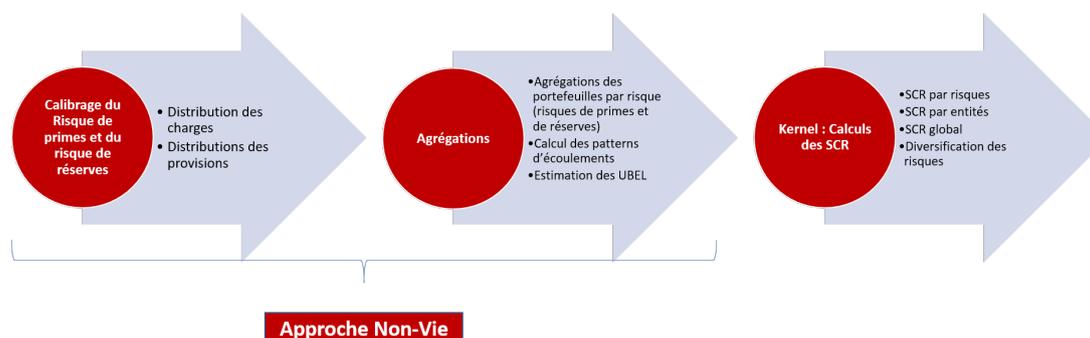


FIGURE 2 – Schématisation du processus de calcul du SCR

Cette méthode de calcul du SCR reste moins coûteuse en terme de temps et de logiciels utilisés. Cependant le but étant de réduire la valeur du SCR pour ainsi augmenter les fonds propres de la compagnie n'est pas atteint. En effet les résultats suivants le démontrent :

En vision Standalone

Risques financiers

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financial	2438,2	2437,7	0,5
Equity Price	825,9	825,9	0
Equity IV	40,3	40,3	0
Property Price	377,6	377,6	0
IR Yields	868,3	867,7	0,6
IR Volatility	131,9	131,9	0
Currency	185	185	0
Concentration	5,3	5,3	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	574,6	572,9	1,7
CS Widening	259,2	255,5	3,7
Crédit Default	232,9	232,9	0
CDL	72,4	74,3	-1,9
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 3 – Risques financiers et de crédit

Le SCR des risques financiers et de crédit restent assez semblables. De légères variations sont observées.

Risques Vies

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	880,9	773,1	107,8
MortCat	95,8	93,5	2,3
Mortality	90	92,1	-2,1
Longevity	138,1	138,1	0
Mobidity Disability	212,9	214	-1,1
Life Lapse	48,7	50	-1,3
Expense	186,8	186,8	0
Health Cat	0	0	0
Health Claims	109,1	0	109,1
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 4 – Risques Vie

Le SCR des risques vie diminuent de 107,8 millions. Cette variation importante s'explique par le fait que le risque Santé sorte du domaine des risques Vie (avec une valeur de 109,1 millions).

Risques Non Vie

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	20,4	-20,4
Pricing	0	2,6	-2,6
Reserve	0	17,8	-17,8

FIGURE 5 – Risques Non Vie

La méthode hybride ne prenant pas en compte ces risques, on a bien une valeur nulle sur ces risques. Cependant la nouvelle méthode permet de prendre en compte le risque de prime et le risque de réserve.

SCR Total en vision standalone

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	4076,1	3986,4	89,7
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	-2260,6	-2132,5	-128,1
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 6 – SCR total

Comme attendu, une baisse relativement importante de 90 millions environ est observée sur le SCR en utilisant une méthode totalement non vie. Cependant, le SCR diversifié ne suit pas la même tendance que le SCR standalone.

En vision diversifiée

Risques financiers

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financier	1367,1	1380,5	-13,4
Equity Price	658	664,2	-6,2
Equity IV	18,3	18,4	-0,1
Property Price	40,4	39,6	0,8
IR Yields	582,2	590,7	-8,5
IR Volatility	46,3	46,6	-0,3
Currency	13,6	12,6	1
Concentration	4,4	4,4	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	308,6	311,2	-2,6
CS Widening	108,5	107,8	0,7
Crédit Default	146,9	149	-2,1
CDL	43,1	44,2	-1,1
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 7 – Risques financiers

La diversification des risques financiers et de crédit est impactée par la méthode choisie et la nouvelle calibration semble être plus coûteuse.

Risques Vies

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	58,1	74,9	-16,8
MortCat	24,2	21,5	2,7
Mortality	3,5	3,3	0,2
Longevity	8,5	8,2	0,3
Mobidity Disability	79,2	77,4	1,8
Life Lapse	2,6	2,6	0
Expense	-34,5	-37	2,5
Health Cat	0	0	0
Health Claims	-24,9	0	-24,9
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 8 – Risques Vie

Le SCR Santé au sein des Risques Vie avait un effet de diversification négatif non négligeable.

Risques Non Vie

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	9	-9
Pricing	0	0,5	-0,5
Reserve	0	8,5	-8,5

FIGURE 9 – Risques Non Vie

les risques de primes et de réserves ont un effet de diversification positif. Ce qui rend cette méthode encore plus coûteuse en terme de SCR

SCR Total en vision diversifiée

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	1815,5	1854	-38,5
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	0		0
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 10 – SCR total

Le SCR final ou SCR diversifié est donc plus grand avec la nouvelle méthode. Cependant certains solutions sont envisageables pour espérer réduire ce SCR.

Ces tests de sensibilités consisteraient à estimer les meilleurs paramètres de calibration des risques au niveau de l'agrégation des portefeuilles santé par risque. Ces solutions s'apparentent à une meilleure estimation de la loi de corrélation utilisée pour l'agrégation et de meilleures valeurs valeurs de corrélation entre les portefeuilles qui seraient plus optimales.

Le tableau ci-dessous donnent les valeurs obtenues à l'issue de ces tests :

Variation de la loi des corrélations

Les corrélations de loi gaussienne sont les corrélations utilisées pour l'agrégation des portefeuilles. L'utilisation de cette loi reste une recommandation de Generali quant à ces données sur ce périmètre. Cependant d'autres lois peuvent être utilisées et les résultats sont soumis dans le tableau ci-dessous :

Etudes de sensibilités	Copule gaussienne	Copule de Student avec 4 degrés de liberté	Copule de Student avec 6 degrés de liberté	Delta Gaussienne vs Student (4)	Delta Gaussienne vs Student (6)
Risque de primes	2,6	2,2	2,6	0,417	-0,029
Risque de réserves	17,8	19,3	24,4	-1,459	-6,549
Risque Non Vie	20,4	21,5	27	-1,041	-6,578

FIGURE 11 – Tableau récapitulatif

les résultats montrent qu'il est donc judicieux de se tenir aux recommandations du groupe quant aux niveaux de corrélations entre les portefeuilles.

Variation des valeurs de corrélations

Generali préconise des valeurs corrélations nulles entre tous les portefeuilles. Cependant certains portefeuilles ayant des types d'assurés assez similaires pourraient se prêter à des valeurs de corrélations non nulles donc plus optimales.

Etudes de sensibilité	Corrélations nulles	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs et entre portefeuilles individuels	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs, entre portefeuilles individuels et -25% entre les portefeuilles collectifs et individuels	Delta Sensibilité 1	Delta Sensibilité 2
Risque de prime	2,6	2,7	2,6	0,056	0,018
Risque de réserves	17,8	24,7	24,1	6,893	6,273
Non Life UW	20,4	27,4	26,7	6,949	6,291

FIGURE 12 – Tableau récapitulatif

Il est donc judicieux de se tenir aux recommandations du groupe quant aux niveaux de corrélations entre les portefeuilles. Ces recommandations permettent de minimiser le SCR.

Executive summary

The Protection business is a major part in the activity of Generali VIE. Offering varied guarantees on the risks of Mortality, Morbidity/ Disability, Death and Health, it wants to be profitable for each of them. This inevitably requires a detailed and in-depth knowledge of the portfolio, in particular of its claims and risks. In particular Health Insurance has for many years raised modeling issues due to its very nature. In order to comply with regulatory requirements, one of the most important of which is Solvency II, companies implement risk calibration and risk calculation processes.

These processes revolve around the risk management methods used by these companies to meet an important Solvency II requirement which is the calculation of a minimum amount of capital to hold in order for the probability of economic ruin to occur over a period of one year of the insurance company is less than or equal to 0.5% : the SCR. This amount must be tracked throughout a fiscal year. it can be calculated by means of a Standard formula promulgated by the Directive and common to all insurance companies or by means of an internal model (complete or partial) specific to the company and which best reflects the company's exposure to the various risks it encounters. In the case of Generali, which has opted for a complete internal model, the SCR is calculated by projecting the distribution of Equity, or the Best Estimate liability, at 1 year and is illustrated by the following formula :

$$SCR = FP_0 - q_{0.5\%}(D(1)FP_1) \quad (9)$$

Where $D(1)$ the one-year discount factor, $q_{0.5\%}$ the 0.5% quantile, FP_1 is the one-year projected equity and the formula is as follows : :

$$FP_1 = Actifs_1 - BE_1 - OBSI_1 \quad (10)$$

with :

- $Actifs_1$ which represents the projected one-year or stressed assets;
- BE_1 which represents the projected one-year BE or stressed assets;
- $OBSI_1$ the values that do not represent the asset or the BE.

So the SCR calculation techniques differ according to the scopes and portfolios considered. These techniques are varied and sometimes combine Life and Non-Vie techniques.

Generali has chosen to use hybrid techniques (Techniques combining processes related to life and non-life insurance) on the various risks of its Provident portfolio and in particular on the Health risk.

The Generali SCR calculation process is detailed in the following figure :

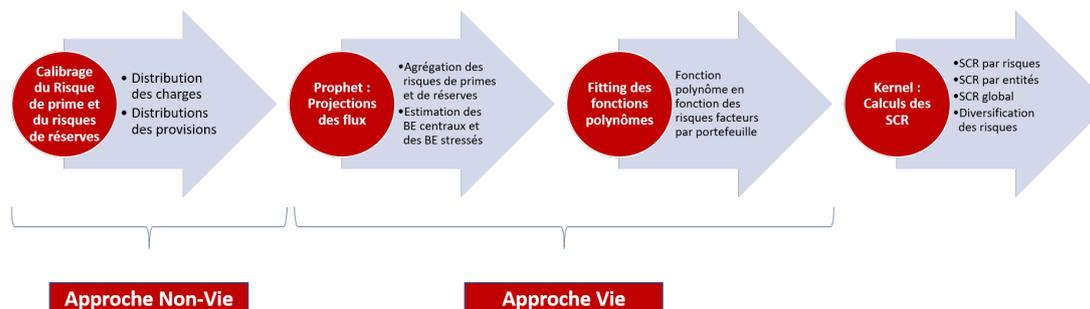


FIGURE 13 – Schématisation du processus de calcul du SCR

The Non-Life approach initially involves determining the distributions of technical and expense results in order to calibrate premium risk and reserve risk.

The premium risk is the risk relating to a probable loss caused by a possible inadequacy of assumptions underlying the pricing of an insurance product. It is calibrated under IGLOO and its estimation is initially done by the calibration of attritional and important losses by the use of several approaches such as the approach by severity-medium frequency, the approach severity-The following formula explains the distribution of the gross technical results :

$$RTB_i = P_{i,Brut} - X_{i,Brut} - Fa_i - Fg_i \quad (11)$$

with

- RTB : the gross technical result of the portfolio.
- P_{Gross} : the gross premiums that will be earned by the company in year $t+1$ for the portfolio.
- X_{Gross} : Claims incurred in year $t+1$.
- Fa : acquisition fees
- Fg : general expenses

This result will estimate a premium SCR, given by the following formula :

$$SCR^{brut} = \mathbb{E}(RTB) - VaR_{0,5\%}(RTB) \quad (12)$$

Regarding to the calibration of the reserve risk, it is defined as the risk of underevaluation of the technical provisions relating to claims arising from an incorrect estimation of the amount of claims provisions. His estimate is made under RESQ. It is first explained by

the use of deterministic and stochastic models to estimate the provisions over a one-year period. Subsequently, these estimated provisions make it possible to determine the distribution of the result of the development of claims (CDR - Claim Development Results) using the following formula :

$$CDR = \hat{R}_t - \mathbf{P}_{t,t+1} - \hat{R}_{t+1} \quad (13)$$

With \hat{R}_t , the estimate of the reserve for claims on the date and $P_{t,t+1}$ the amount of payments issued during the period between t and t+1 with the stochastic variables in bold.

In addition, several approaches are being considered for estimating the CDR , namely re-reserving and the emergence model.

The premium risk and the reserve risk are then entered into Prophet to be aggregated to obtain a projection of the best estimate needed to calculate the final SCR. However, one difficulty lies in this projection because the BE is calculated by its Monte Carlo estimator as indicated in the formula below :

$$BE_{MC} = \frac{1}{N} \sum_1^N \left[\sum_{t>1} \frac{CF_{t,i}}{(1+r_t)^t} | Y_{t,i} \right] \quad (14)$$

It requires a large number of neutral risk simulations. Several methods are used but the one used is LMSC (Least Squares Monte-Carlo).

In addition, the estimate of the Best Estimate and its shocked value pass through a polynomial function whose objective is to determine the variables that explain the Best Estimate. This equation is given as follows :

$$LPF = BEL_1 = f(BEL_0, [LifeUWRiskfactors], [FCriskfactors][SVAfactor]) \quad (15)$$

where

- BEL_1 corresponds to the shocked value of the commitments in the case of LIFE risks.
- $f(.)$, a polynomial function used to approximate the shocked value of Life commitments,
- BEL_0 which represents the value of the commitments on date 0.
- the vector [Life UW risk factors] is the vector of the value of the Life underwriting risk factors ;
- the vector [Financial Credit risk factors] is the vector of the value of financial and credit risk factors ;
- the vector [SVA factor] is the variation of the volatility adjustment compared to its base case.

The final polynomial is :

$$BEL_i = \alpha_i + \beta_j * RF_{i,j}^\alpha \quad (16)$$

with

- RF, the different risk factors selected for the LoB_i . It also refers to cross-references between risk factors.
- α the degree of a given risk factor.

The last step is to import all these values into the Kernel which is a tool embedded in the Generali internal model. It makes it possible to calculate the different SCRs by entity and by country and to aggregate them in order to obtain the overall SCR.

This part of the process, ranging from the projection of BE to the estimation of polynomial function, represents the core of the Life approach. A totally Non-Life approach will aim to remove this part and insert in the Kernel the distributions of premium risk and reserve risk.

The new process is then given by :

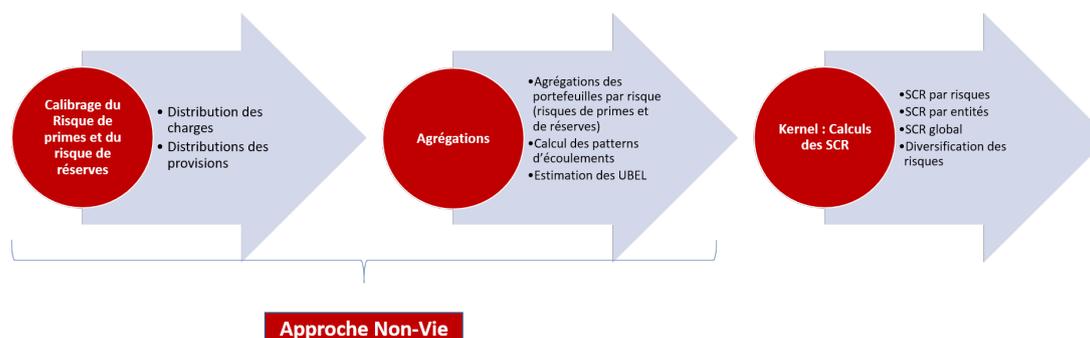


FIGURE 14 – the SCR calculation process

This method of calculating the SCR remains less costly in terms of time and software used. However, the aim is to reduce the value of the SCR in order to increase the company's own funds. Indeed, the following results demonstrate this :

In Standalone view

Financial risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financial	2438,2	2437,7	0,5
Equity Price	825,9	825,9	0
Equity IV	40,3	40,3	0
Property Price	377,6	377,6	0
IR Yields	868,3	867,7	0,6
IR Volatility	131,9	131,9	0
Currency	185	185	0
Concentration	5,3	5,3	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	574,6	572,9	1,7
CS Widening	259,2	255,5	3,7
Crédit Default	232,9	232,9	0
CDL	72,4	74,3	-1,9
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 15 – Financial and Credit risks

The SCR of financial and credit risks remain fairly similar. Slight variations are observed.

Life risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	880,9	773,1	107,8
MortCat	95,8	93,5	2,3
Mortality	90	92,1	-2,1
Longevity	138,1	138,1	0
Mobidity Disability	212,9	214	-1,1
Life Lapse	48,7	50	-1,3
Expense	186,8	186,8	0
Health Cat	0	0	0
Health Claims	109,1	0	109,1
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 16 – Life risks

The SCR of life risks decreased by 107.8 million. This significant variation is due to the fact that the Health risk is outside the scope of Life risks (with a value of 109.1 million).

Non Life risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	20,4	-20,4
Pricing	0	2,6	-2,6
Reserve	0	17,8	-17,8

FIGURE 17 – Non Life risks

The hybrid method does not take these risks into account, we do have a zero value on these risks. However, the new method allows premium and reserve risks to be taken into account.

SCR in standalone view

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	4076,1	3986,4	89,7
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	-2260,6	-2132,5	-128,1
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 18 – SCR total

As expected, a relatively large decrease of about 90 million is observed on the SCR using a totally non-life method. However, the diversified SCR does not follow the same trend as the standalone SCR.

in diversified view

Financial and Credit risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financial	1367,1	1380,5	-13,4
Equity Price	658	664,2	-6,2
Equity IV	18,3	18,4	-0,1
Property Price	40,4	39,6	0,8
IR Yields	582,2	590,7	-8,5
IR Volatility	46,3	46,6	-0,3
Currency	13,6	12,6	1
Concentration	4,4	4,4	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	308,6	311,2	-2,6
CS Widening	108,5	107,8	0,7
Crédit Default	146,9	149	-2,1
CDL	43,1	44,2	-1,1
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 19 – Financial and Credit risks

The diversification of financial and credit risks is impacted by the chosen method and the new calibration seems to be more costly.

Life risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	58,1	74,9	-16,8
MortCat	24,2	21,5	2,7
Mortality	3,5	3,3	0,2
Longevity	8,5	8,2	0,3
Mobidity Disability	79,2	77,4	1,8
Life Lapse	2,6	2,6	0
Expense	-34,5	-37	2,5
Health Cat	0	0	0
Health Claims	-24,9	0	-24,9
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 20 – Life risks

The Health SCR within Life Risks had a significant negative diversification effect.

Non Life risks

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	9	-9
Pricing	0	0,5	-0,5
Reserve	0	8,5	-8,5

FIGURE 21 – Non Life risks

The premium and reserve risks have a positive diversification effect. This makes this method even more expensive in terms of SCR.

SCR Total in diversified view

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	1815,5	1854	-38,5
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	0		0
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 22 – SCR total

The final SCR or diversified SCR is therefore larger with the new method. However, some solutions are possible to hope to reduce this SCR.

These sensitivity tests would consist in estimating the best risk calibration parameters at the level of aggregation of health portfolios by risk. These solutions are similar to a better estimation of the correlation law used for aggregation and better values of correlation values between portfolios that would be more optimal.

The table below shows the values obtained from these tests :

Variation in the correlations distributions

Gaussian distributions correlations are the correlations used for portfolio aggregation. The use of this distribution remains a recommendation of Generali regarding this data on this scope. However, other distributions may be used and the results are submitted in the table below :

Etudes de sensibilités	Copule gaussienne	Copule de Student avec 4 degrés de liberté	Copule de Student avec 6 degrés de liberté	Delta Gaussienne vs Student (4)	Delta Gaussienne vs Student (6)
Risque de primes	2,6	2,2	2,6	0,417	-0,029
Risque de réserves	17,8	19,3	24,4	-1,459	-6,549
Risque Non Vie	20,4	21,5	27	-1,041	-6,578

FIGURE 23 – summary table

the results show that it is therefore wise to stick to the group's recommendations regarding the levels of correlations between portfolios.

Variation in corrélation values

Generali recommends zero correlations between all portfolios. However, some portfolios with fairly similar types of policyholders could lend themselves to non-zero correlations and thus more optimal.

Etudes de sensibilité	Corrélations nulles	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs et entre portefeuilles individuels	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs, entre portefeuilles individuels et -25% entre les portefeuilles collectifs et individuels	Delta Sensibilité 1	Delta Sensibilité 2
Risque de prime	2,6	2,7	2,6	0,056	0,018
Risque de réserves	17,8	24,7	24,1	6,893	6,273
Non Life UW	20,4	27,4	26,7	6,949	6,291

FIGURE 24 – summary table

It is therefore wise to stick to the group's recommendations regarding the levels of correlations between portfolios. These recommendations minimize the SCR.

Table des matières

Remerciements	1
Note de confidentialité	2
Résumé	3
Abstract	4
Note de synthèse	5
Executive summary	13
Introduction	24
1 Contextualisation de l'étude et de la problématique	26
1.1 Présentation de la Prévoyance générale	26
1.1.1 la Sécurité sociale et ses différentes branches	26
1.1.2 Prévoyance complémentaire	30
1.1.3 Quelques lois réglementant le secteur de la Santé	33
1.1.4 Business Prévoyance chez Generali VIE	35
1.1.5 Réassurance	36
1.2 Cadre réglementaire de Solvabilité 2	36
1.2.1 Généralités sur la norme Solvabilité 2	36
1.2.2 Pilier I : exigences de capital	37
1.2.3 Provisions Techniques	38
1.2.4 Pilier 2 et Pilier 3	46
1.3 Problématique de l'étude	47

2	Présentation des techniques actuelles : Approche par des méthodes hybrides	48
2.1	Description des risques Vie chez Generali	48
2.1.1	Les facteurs de risque	49
2.1.2	Composantes du risque	49
2.1.3	Taxonomie des risques	50
2.1.4	Interactions entre risque et produit	50
2.2	Calibrage des risques du portefeuille Santé	51
2.2.1	Schématisation du processus	52
2.2.2	Présentation des produits des frais médicaux	52
2.2.3	Calibrage du risque de Santé	54
2.2.4	Calibrage du Risque de primes	55
2.2.5	Calibrage du Risque de réserves	64
2.3	Description du modèle F_PREV sous Prophet	81
2.3.1	Variables du modèle	81
2.3.2	Évolution des engagements de l'assureur	82
2.3.3	Compte de résultat	82
2.3.4	Prophet	83
2.4	Fonctions Polynomiales	85
2.4.1	Présentation de la notion de Fonctions Polynomiales	85
2.4.2	Fitting des fonctions polynomiales	87
2.4.3	Fitting de la fonction polynomiale sur la prévoyance	91
2.5	Calcul des SCR	97
2.5.1	Présentation du Kernel	97
2.5.2	SCR Generali Vie avant changement	102
2.5.3	Conclusion partielle	105
3	Approche par des méthodes non-vie	106
3.1	Modification du portefeuille de prévoyance et du processus de modélisation	106
3.1.1	Quelques chiffres	106
3.1.2	Modification du processus de calcul du SCR	108
3.2	Calibrage des risques	108
3.2.1	Au niveau des risques de souscription Vie	108
3.2.2	Au niveau des risques de souscription Non Vie	109
3.3	Fitting des fonctions polynomiales	110
3.3.1	Modification	110
3.3.2	Résultats	110
3.4	Calcul des SCR Generali Vie après changement	115
3.4.1	SCR - Vision Standalone	115
3.4.2	SCR - Vision Diversifiée	116
3.4.3	Comparaison des résultats	117
3.4.4	Conclusion Partielle	120
4	Études de sensibilités	121
4.1	Modification des copules de corrélations	121
4.1.1	Copules de student	122

4.1.2	Applications de la copule de Student à 6 degrés de liberté	122
4.1.3	Applications de la copule de Student à 4 degrés de liberté	122
4.1.4	Récapitulatif	123
4.2	Modifications des valeurs de corrélation	123
4.2.1	Cas du risque de prime	123
4.2.2	Cas du risque de Réserve	124
4.2.3	Récapitulatif	124
Conclusion		126
Bibliographie		128
Annexes		130
4.1	Portefeuilles collectifs	130
4.2	Portefeuilles individuels	135

Introduction

L'homme éprouve depuis toujours un besoin de sécurité. Qu'il soit question de santé ou autre, il a compris l'importance et les bienfaits de l'entraide. Il a oeuvré par tous les moyens à se prémunir des dangers qui peuvent l'affecter physiquement et mentalement. Un des moyens qui répond à cette prévention est l'assurance et en particulier l'assurance Santé. Basée sur un esprit de solidarité et de mutualisation entre assurés, l'assurance santé n'a cessé au fil des années de s'améliorer suivant le profil des assurés qu'elle couvrait. Plusieurs méthodes et techniques qui ont été conçues, se sont vues améliorées ou ont tout simplement arrêté d'être utilisées. Il faut aussi noter que le caractère d'inversion du cycle de production de l'assurance oblige les assureurs à faire des provisions techniques ou réserves pour respecter leurs engagements envers leurs assurés. De plus l'arrivée de la réglementation Solvabilité II depuis 2016 a contribué à améliorer davantage les techniques de modélisation et de provisionnement dans le secteur de l'assurance santé. C'est donc un secteur en constante évolution.

Cependant l'assurance santé a toujours révélé certaines interrogations qui ne se posent pas dans les autres secteurs de l'assurance. En effet, portant sur la vie de l'individu (plus précisément l'état corporel et/ ou mental d'une personne), il va de soi que les actuaires utilisent alors des techniques d'assurance Vie aussi pour la tarification, le provisionnement ou encore le calcul des différents ratios exigés par la norme Solvabilité II. Néanmoins, chose est de constater que cela n'est pas toujours le cas car l'assurance santé présente aussi des aspects propres à l'assurance Non-Vie. Ce qui implique que certaines compagnies d'assurance utilisent des techniques d'assurance Non-Vie ou préfèrent scinder leurs portefeuilles et utiliser des méthodes hybrides entre l'assurance Vie et l'assurance Non-Vie. Ce qui implique aussi des changements au niveau du calcul des ratios de Solvabilité, chose que nous verrons plus en détail dans la suite de l'étude.

Generali VIE a plutôt opté jusqu'à maintenant pour une approche hybride sur son portefeuille d'assurance santé plus précisément sur le portefeuille concernant les Frais Médicaux. Mais depuis quelques années, cette approche est remise en question car les données semblent se prêter plus à une approche Non-Vie. Ce changement soulève alors plusieurs questions en particulier celles liées à une amélioration des ratios de solvabilité.

Dans ce mémoire, nous étudierons les techniques de calcul de SCR du portefeuille d'assurance santé, intitulé Medical Expenses et qui sera renommé par la suite en **Health**

Claims, de Generali Vie.

L'objectif de cette étude est de déterminer si le SCR, estimé par une approche Non-Vie, pourrait être plus précis que celui obtenu avec la méthode actuelle.

Après une première partie portant sur la présentation du cadre général et réglementaire de l'étude mettant ainsi en lumière la problématique qui s'en dégage, une seconde partie décrira de manière claire et précise l'approche par des méthodes hybrides actuellement utilisée par Generali Vie pour déterminer les ratios exigés par la norme Solvabilité II ainsi que les résultats obtenus sur l'exercice 2021.

Ensuite une troisième partie illustrera la méthodologie et l'application des techniques Non-Vie sur le portefeuille concerné. Une fois les résultats obtenus, ils seront comparés aux résultats actuels sur l'exercice 2021 dans l'optique de retenir la méthode définitive la plus appropriée.

Et enfin l'étude s'achèvera par l'application de tests de sensibilités sur les différents paramètres de la nouvelle approche utilisée en vue d'obtenir de meilleurs résultats sur les ratios de Solvabilité.

Contextualisation de l'étude et de la problématique

1.1 Présentation de la Prévoyance générale

"La prévoyance regroupe les différentes opérations ayant pour objet la couverture et la prévention du risque de décès, des risques portant atteinte à l'intégrité physique d'une personne ou des risques d'incapacité de travail, d'invalidité ou de chômage". D'un point de vue plus formel, la prévoyance consiste donc à se couvrir contre tous les aléas de la vie liés à la personne aussi bien à titre particulier que professionnel. En France, le régime de base de la sécurité sociale couvre une bonne partie de ces risques. Cependant dans le cas de certains actes médicaux, une partie des frais reste à la charge de l'assuré. Pour y remédier, les compagnies d'assurances proposent des solutions comme des compléments santé.

1.1.1 la Sécurité sociale et ses différentes branches

La Sécurité Sociale, à caractère universel et obligatoire, est née après la seconde guerre mondiale suite aux ordonnances des 4 et 19 octobre 1945 après la fusion de toutes les anciennes assurances (maladie, retraite...) pour garantir à chacun qu'en toutes circonstances, il disposera des moyens nécessaires pour assurer sa subsistance et celle de sa famille dans des conditions décentes. Pour atteindre ces objectifs elle s'est organisée en cinq branches autonomes les unes des autres et d'une branche de recouvrement :

- **La branche Accidents du travail/ Maladies professionnels (CNAM-AT)**
qui gère les risques professionnels auxquels sont confrontés les travailleurs.
- **La branche Maladie (CNAM Maladie)**
qui permet à chacun de se faire soigner selon ses besoins. Elle est aussi liée aux différents soins réguliers comme les soins dentaires, l'hospitalisation, l'optique, etc.
- **La branche Famille (CNAF)**
qui aide les familles dans leur vie quotidienne et développe la solidarité envers les personnes vulnérables.

- **La branche Retraite (CNAV)**
qui verse les pensions aux retraités de l'industrie, des services et du commerce. Elle suit les salariés tout au long de leur carrière et les aide à préparer leur retraite.
- **La branche autonomie (CNSA)**
qui verse les prestations aux personnes en perte d'autonomie et aux structures qui les accompagnent.
- **la branche recouvrement (Urssaf)**
qui, à la différence des autres, ne gère pas un risque mais collecte les cotisations et contributions sociales pour les redistribuer au bénéfice des autres branches.

La sécurité sociale est organisée sous cette forme depuis 1967 et l'histogramme donnant le poids relatif de chaque branche est représenté ci dessous :

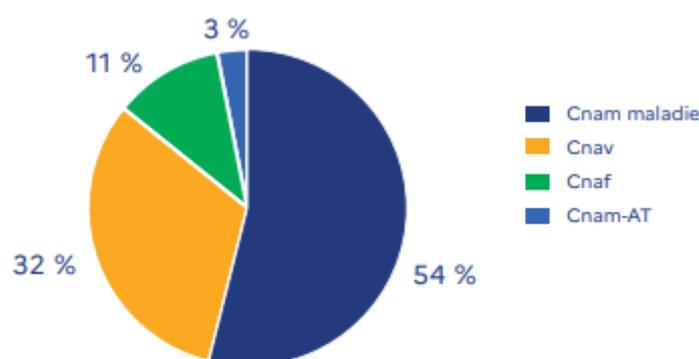


FIGURE 1.1 – Répartition, en capital, du poids des branches principales de la sécurité sociale

Source : Les chiffres clés de la Sécurité sociale, 2020

Le financement de la sécurité sociale est assuré par les cotisations sociales payées par les employeurs et les salariés, par la contribution sociale généralisée (CSG), ainsi que par diverses contributions et taxes. En termes de chiffres, elle compte environ 10,3 millions de comptes cotisants, 528 milliards de recettes en euros en 2020 et 391 milliards d'euros en ce qui concerne les produits consolidés du régime général.

Ce régime comprend plusieurs niveaux de garanties dont les principales sont l'assurance Maladie, l'assurance Invalidité et l'assurance Incapacité qui sont explicités ci-dessous :

L'assurance Maladie

Selon l'Article L321-1 du CSS, «L'assurance maladie comporte l'octroi d'indemnités journalières à l'assuré qui se trouve dans l'incapacité physique constatée par le médecin traitant, de continuer ou de reprendre le travail». De plus l'incapacité fait l'objet d'un arrêt de travail et ne présente que 3 sorties possibles : le rétablissement, le passage en invalidité

et le décès. L'incapacité dure au maximum 3 ans. Si l'assuré, Au-delà de ce délai, est incapable de reprendre une activité professionnelle, cette incapacité peut être transformée en invalidité, selon la décision de la sécurité sociale. Les prestations se font en espèces. L'ouverture des droits varie en fonction de la durée de l'arrêt de travail et de la situation. De plus, l'indemnité journalière est accordée à l'expiration d'un délai de carence de 3 jours (1 jour pour les fonctionnaires) et elle est due au titre de chaque jour, ouvrable ou non.

la garantie Décès

En se référant à l'article L361-1 du CSS, « La garantie Décès assure aux ayants droit de l'assuré le paiement d'un capital égal à un multiple du gain journalier de base(...) lorsque l'assuré, moins de trois mois avant son décès, exerçait une activité salariée(...) était titulaire d'une pension d'invalidité(...) ou d'une rente allouée en vertu de la législation sur les accidents du travail et maladies professionnelles(...) ou lorsqu'il bénéficiait, au moment de son décès, du maintien de ses droit ». En d'autres termes, elle est destinée à compenser la perte de ressources subie par la famille d'un salarié, consécutivement à sa disparition. Elle permet le versement d'un capital ou d'une rente au conjoint survivant et d'une rente éducation versée aux enfants à charge (jusqu'à la majorité ou jusqu'à la fin de leurs études - maximum 26 ans - si l'étudiant est fiscalement à charge).

En fonction des contrats, ce capital peut être majoré en cas de décès accidentel ou en fonction du nombre d'enfants à charge. Le versement d'un second capital ou d'une rente éducation supplémentaire peut être prévu en cas de décès simultané du conjoint (ou postérieur, mais découlant des suites du même accident).

Le contrat peut également comporter une allocation pour frais d'obsèques.

La garantie Accident du travail et Maladie Professionnelle

Selon l'article L411-1 du CSS, « un accident est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant, à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise. De plus, une maladie est présumée d'origine professionnelle toute maladie désignée dans un tableau de maladies professionnelles et contractée dans les conditions mentionnées à ce tableau».

Cette garantie offre donc des droits à l'assuré, en fonction de son état, qui peuvent être : une dégradation physique ou morale, une incapacité temporaire, une incapacité permanente ou encore le décès.

La garantie Invalidité

La sécurité sociale prévoit une prise en charge de l'invalidité lorsqu'un «assuré présente une invalidité réduisant dans des proportions déterminées sa capacité de travail ou de gain c'est à dire le mettant hors d'état de se procurer un salaire supérieur à une fraction de la rémunération soumise à cotisations et contributions sociales qu'il percevait dans la profession qu'il exerçait avant la date de l'interruption de travail suivie d'invalidité ou

la date de la constatation médicale de l'invalidité »¹. La garantie Invalidité garantit dès lors le montant d'une rente complémentaire à celle versée par la Sécurité sociale selon la catégorie d'invalidité. Ces catégories s'explicitent comme suite, en vue de la détermination du montant du montant :

- 1^{ère} catégorie : Elle comprend ceux qui sont capables d'exercer une activité rémunérée.
- 2^e catégorie : Elle comprend ceux qui sont absolument incapables d'exercer une profession quelconque.
- 3^e catégorie : Elle comprend ceux qui, étant absolument incapables d'exercer une profession sont, en outre, dans l'obligation d'avoir recours à l'assistance d'une tierce personne pour effectuer les actes ordinaires de la vie.

La garantie Invalidité, particulièrement en entreprise, intervient aussi en cas d'incapacité permanente due à un accident du travail ou une maladie professionnelle.

États d'un assuré

En résumant, un assuré au cours de sa vie, peut être confronté à plusieurs garanties en passant d'une à l'autre en fonction de certaines causes qui lui sont propres. Ces changements de garanties ou plus précisément d'états doivent pouvoir être modélisés. Il s'agit d'une modélisation de l'état de l'assuré qui se base sur des lois de passage d'un état à un autre. La valeur des flux est évaluée à partir des effectifs présents dans chacun des états à chaque date t (chaque pas de temps). Le schéma ci-dessous montre les différents états dans le cas de la prévoyance :

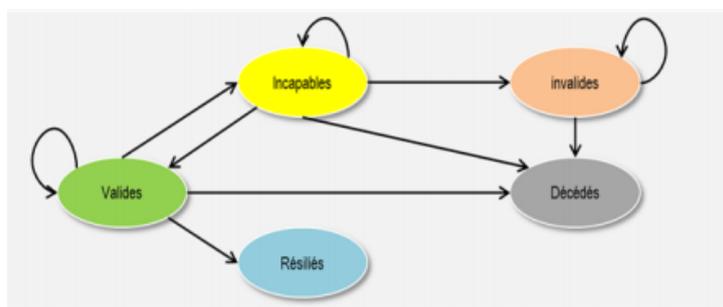


FIGURE 1.2 – Passage d'états des différentes garanties de prévoyance

Ces différents états sont modélisés avec des chaînes de Markov mais ne faisant pas l'objet de ce mémoire, nous ne détaillerons pas cette modélisation.

Types de prestations des différentes garanties

Le type de prestations varie d'une garantie à une autre. En général, ces prestations s'expriment soit en capital ou soit en rentes.

Dans le cas de l'invalidité et de l'incapacité, nous avons :

1. Article L341-1 du CSS

1. **Prestations en nature** : Remboursement de frais de soins du salarié et de ses bénéficiaires
2. **Prestations en espèces** : Indemnisation des arrêts de travail du salarié. Ces prestations s'évaluent soit en indemnités journalières soit en rentes d'invalidité

Il faut noter que dans le cas des garanties Incapacité et Invalidité, les prestations changent dès lors où l'assuré atteint l'âge de la retraite. Les prestations liées alors à sa retraite prennent le relais.

Dans le cas de la garantie Décès :

1. **Prestations en espèces ou capital décès** : Indemnisation du décès aux bénéficiaires du salarié.
2. **rentes de conjoint** Elles peuvent être temporaires ou viagères.
3. **rentes éducation** Elles sont temporaires.

Les limites de la sécurité sociale

Le régime obligatoire de la sécurité sociale, malgré son système très organisé, présente de nombreuses limites :

- Absence d'accord interprofessionnel en Prévoyance / Santé
- Pas d'obligation systématique dans les Conventions Collectives
- Avenir incertain pour les prestations du Régime Général
- Insuffisance des prestations servies (notamment pour les assurés aux revenus élevés en Accident de travail)

Le recours à la prévoyance complémentaire se révèle comme étant une solution à la majorité des limites de la Sécurité Sociale.

1.1.2 Prévoyance complémentaire

La Prévoyance complémentaire peut être divisée en deux parties :

- **La prévoyance** qui ne couvre que la partie liée aux pertes partielles ou totales de revenus.
- **La complémentaire santé** qui couvre quant à elle , la partie liée aux soins de santé. Communément appelé mutuelle santé, elle permet aussi de faire face aux dépenses de santé non prises en compte par la sécurité sociale .

Ces parties font principalement référence à des garanties et à des types de couvertures assez spécifiques.

La prévoyance

L'assurance prévoyance prémunit l'assuré contre les accidents de la vie entraînant trois risques majeurs : l'incapacité de travail, l'invalidité et le décès. De manière plus détaillée, elle fait principalement référence à des garanties spécifiques qui sont les suivantes :

- Capital décès
- Décès accidentel
- Double effet
- Incapacité
- Invalidité
- Rentes (éducation, conjoint)

D'autres garanties peuvent être associées à la prévoyance telles que :

- Frais d'obsèques
- Emprunteurs
- Perte d'emploi
- Dépendance

La complémentaire santé

Également appelée mutuelle ou assurance santé, la complémentaire santé vient compléter les garanties de base. Elle prend en charge, totalement ou partiellement, les actes non remboursés par la sécurité sociale et ceux qui le sont très faiblement, pour vous assurer une couverture plus optimale.

Ces contrats complémentaires santé offrent des garanties de remboursement des frais de soins et de biens médicaux qui varient selon les contrats proposés. Elles vont de la prise en charge du seul ticket modérateur au remboursement total ou partiel des frais laissés à la charge de l'assuré. Le ticket modérateur se définit comme la part restante entre le tarif conventionnel et le remboursement de la sécurité sociale. Ce remboursement de la sécurité sociale appelé communément La base de remboursement de la sécurité sociale (BRSS) correspond au tarif conventionnel mis en place par la sécurité sociale. C'est sur ce dernier qu'elle se base pour calculer le montant du remboursement qu'elle va verser aux patients.

L'organisme complémentaire interviendra alors pour prendre en charge le ticket modérateur laissé à la charge de l'assuré, ceci dans la limite prévue par son contrat. Cette répartition est nettement détaillée dans le tableau ci-dessous :

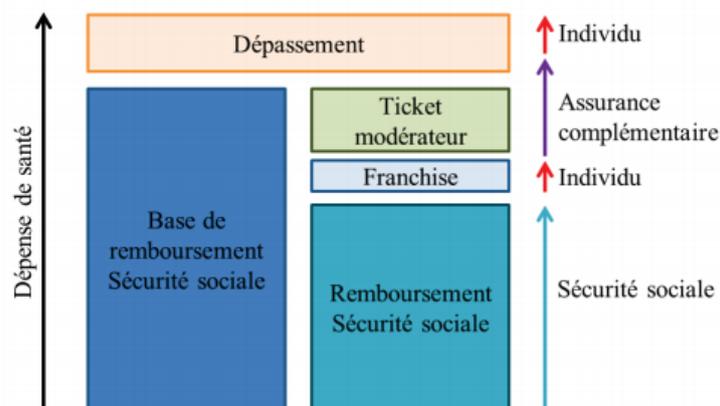


FIGURE 1.3 – Schéma de principe du remboursement des dépenses de santé.

Il peut également prendre en charge la participation forfaitaire de 24 € qui se substitue au ticket modérateur pour certains actes dont le tarif est supérieur ou égal à 120 €, ou ayant un coefficient supérieur ou égal à 60.

L'assurance santé garantit en général le remboursement de toute ou partie des frais pour la maladie, la maternité ou les accidents. On a entre autres :

- L'optique
- Les soins et prothèses dentaires
- La pharmacie
- Les frais d'hospitalisation
- Les consultations médicales
- les analyses biologiques
- Frais d'obsèques
- les actes médicaux (kinésithérapeutes, soins infirmiers, orthophonistes, etc.)
- le service du tiers payant
- les prothèses autres que dentaires (auditives, etc.)

Les types de contrats

On distingue pour ces deux couvertures des contrats collectifs ou individuels et obligatoires ou facultatifs. Les contrats collectifs s'adressent à tous les salariés ou à une catégorie objective d'entre eux, d'une entreprise ou d'un domaine professionnel sans aucun critère de discrimination. Concernant les contrats individuels, ils s'adressent principalement aux particuliers.

Les acteurs principaux

Trois types d'acteurs appelés aussi organismes assureurs se partagent le marché de la Prévoyance : les institutions de prévoyance, les sociétés d'assurance et les mutuelles. Notons que les Institutions de Prévoyance et les Mutuelles sont à but non lucratif, à

la différence des compagnies d'assurances qui doivent répondre aux exigences de leurs actionnaires et produire une rentabilité. Cette différenciation impacte la politique de gestion générale de l'entreprise et en particulier la Gestion Actif Passif.

Organisme	Mutuelles	Sociétés d'assurance	Institutions de Prévoyance
Code législatif de référence	Code de la Mutualité	Code des Assurances	Code de la Sécurité Sociale
But	Non lucratif	Lucratif	Non lucratif
Gouvernance	Assurés sociétaires	Actionnariat	Gestion paritaire par les partenaires sociaux (salariés/patronat)
Activité principale	Frais de santé	Tous les domaines	Prévoyance collective

TABLE 1.1 – Détails sur les acteurs principaux du marché de la Prévoyance.

A ces acteurs principaux s'ajoutent des acteurs secondaires tels que :

- Conseil
Les entreprises de conseil portent assistance à l'entreprise. Leurs domaines de compétences et d'interventions sont assez variés (Retraite, Prévoyance, Santé, Évaluation engagements sociaux, etc...).
- Courtiers
Ce sont des travailleurs indépendants qui à l'instar des agents généraux ne sont pas liés à une compagnie d'assurance. ils sont des intermédiaires entre l'entreprise et l'organisme assureur dans le cas d'un contrat collectif.
- Gestionnaires
Ils se divisent en deux sous groupes : les gestionnaires indépendants et les gestionnaires rattachés de près ou de loin à un cabinet de courtage. Ces entreprises ont pour mission principale la gestion administrative des contrats de Prévoyance, Santé, etc... Il est considéré comme une tierce partie.

1.1.3 Quelques lois réglementant le secteur de la Santé

Loi ANI

La loi **ANI**, Accord national interprofessionnel, vise à sécuriser l'emploi et les parcours professionnels, tout en garantissant la compétitivité des entreprises. Elle consacre de nouveaux droits pour les salariés et impose de nouvelles obligations pour les employeurs, dont la généralisation de la complémentaire santé à l'ensemble des salariés.

Cette mesure favorise une meilleure prise en charge des frais de santé pour tous les salariés.

Le caractère obligatoire de la couverture complémentaire santé assure à tous les salariés du secteur privé une prise en charge de qualité de ses frais de santé. Le financement des cotisations est assuré conjointement par l'employeur (50% minimum) et le salarié (50% maximum). Ainsi ces objectifs sont les suivants :

- Créer de nouveaux droits pour les salariés, notamment avec la mutuelle d'entreprise ;
- Informer les salariés sur les perspectives et les choix stratégiques de l'entreprise ;
- Aider les entreprises à sauvegarder les emplois en cas de difficultés ;
- Simplifier les procédures de contentieux judiciaire.

La réforme 100% Santé

Les prix et les prestations sont relativement élevés dans les secteurs de l'optique, du dentaire et l'audiologie, Ceci s'explique par le fait qu'ils soient librement fixés par les professionnels de santé et déconnectés des bases de remboursement de l'Assurance maladie. Conséquence : le niveau de dépenses est tel qu'il dissuade aujourd'hui certains citoyens de s'équiper ou de se soigner correctement. C'est pour y remédier qu'a été mis en place la réforme 100% Santé. Cette mesure donnera accès à des « paniers » de soins dentaires, optiques et auditifs de qualité, intégralement pris en charge par l'Assurance maladie et les complémentaires santé (ou mutuelles). Pour cela, les bases de remboursement de la Sécurité sociale vont progressivement évoluer et des prix limites de vente (PLV) seront mis en place, que les professionnels de santé concernés auront l'obligation de respecter. Tout souscripteur à un contrat complémentaire santé responsable y aura droit.

Loi Santé au travail

Adoptée le 2 août 2021 et entrée en vigueur le 1er avril 2022, cette réforme santé a pour objectif de renforcer la prévention en entreprise, de prévenir la désinsertion professionnelle et d'améliorer le suivi individuel et médical des salariés. Même si les mesures arriveront au fil des mois et des décrets, les 10 points essentiels à retenir dans le cadre de cette réforme sont les suivants.

- Les Services de Prévention et de Santé au travail Interentreprises(SSTI)
Ceux-ci changent de dénomination et deviennent des « Services de Prévention et de Santé au travail Interentreprises » (SPSTI). Ce changement de nom permet de renforcer la notion de prévention au sein des entreprises.
- DUERP(Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels)
La loi santé et sécurité au travail renforce le cadre administratif du DUERP, Document Unique d'Évaluation des Risques Professionnels qui répertorie l'ensemble des risques professionnels auxquels sont exposés les travailleurs et assure la traçabilité collective de ces expositions.
- La visite médicale de mi-carrière
Dès 45 ans, les salariés doivent désormais effectuer une visite médicale obligatoire afin de vérifier l'adéquation entre leur poste de travail et leur état de santé, en tenant compte des expositions aux facteurs de risques professionnels, auxquelles ils sont soumis.
- La visite de pré reprise à 30 jours
La visite médicale de pré-reprise jusqu'ici organisée au bout de 3 mois d'arrêt, peut

désormais être organisée avec le médecin du travail à l'initiative du salarié, du médecin traitant ou encore du médecin conseil de l'assurance Maladie.

- La visite de reprise à 60 jours
La visite de reprise obligatoire pour tout salarié absent pendant au moins 30 jours en cas d'accident ou de maladie non professionnel(le), s'applique désormais aux salariés en arrêt depuis plus de 60 jours.

- Le rendez-vous de liaison
Il s'agit d'un rendez-vous facultatif qui peut être organisé au bout de 30 jours d'arrêt à l'initiative du salarié ou de son employeur, en vue d'organiser la reprise dans les meilleures conditions.

- L'essai encadré
Ce dispositif permet à un(e) salarié(e) en arrêt de travail de tester sa capacité à reprendre son ancien poste ou encore, de tester un aménagement de poste ou un nouveau poste, tout en conservant ses indemnités journalières.

- La Convention de rééducation professionnelle en entreprise (CRPE)
Elle favorise le retour à l'emploi par la formation.

- La visite post-exposition pour remplacer la visite de fin de carrière
Cette visite concerne les employés bénéficiant d'un suivi individuel renforcé (SIR). Elle est organisée par le médecin du travail et permet ainsi d'établir un état des lieux des expositions du travailleur aux facteurs de risques professionnels pour un meilleur suivi post-exposition.

- Télé-consultation : des visites médicales à distance autorisées
Le médecin du travail, l'interne en médecine du travail ou l'infirmier sous l'autorité du médecin du travail, peuvent recourir à la télémédecine.

1.1.4 Business Prévoyance chez Generali VIE

Pour la suite de ce mémoire, nous nous intéresserons qu'à la prévoyance chez Generali VIE. En effet, le portefeuille de prévoyance appelé aussi **Protection Business** regroupe les garanties suivantes :

- Décès (Mortality)
- Incapacité (Morbidity)
- Invalidité (Morbidity)
- Frais médicaux (Medical Expenses)

il est important de noter que les garanties Incapacité et Invalidité dans le cas de Generali Vie font partir de la même garantie Morbidity.

A noter qu'un modèle de prévoyance, appelé **Modèle F_PREV**, a été développé pour modéliser les garanties du Business Protection commercialisées par Generali Vie sous Prophet. Mais nous expliciterons cet aspect par la suite.

Le portefeuille de Prévoyance se scinde en contrats individuels et collectifs. A ces contrats s'ajoutent les contrats d'issus de l'entité Klesia. Ces contrats, de par leurs natures collectives, seront dans le volet collectif du portefeuille.

1.1.5 Réassurance

La réassurance est une opération par laquelle un assureur fait garantir par un autre assureur (réassureur) tout ou partie des risques qu'il a lui-même couverts. Ces opérations se font par le biais de traités de réassurance qui peuvent être soit proportionnels (Quote part ou encore Excédent plein) soit non proportionnels (Excédent de sinistre, Stop Loss).

Dans le cas du portefeuille F_Prev , les garanties Mortality et Morbidity sont réassurées via des traités Quote-part et Excédents de sinistres (XS). Concernant la garantie Santé, elle est exclusivement réassurée par des traités Quote-part. Pour rappel, un traité Quote-part est un contrat de réassurance au prorata dans lequel le réassureur et l'assureur partagent les primes et les pertes selon un pourcentage fixe. Ce type de traité permet à un assureur de conserver une partie du risque et des primes tout en partageant le reste avec un réassureur jusqu'à une couverture maximale prédéterminée.

1.2 Cadre réglementaire de Solvabilité 2

1.2.1 Généralités sur la norme Solvabilité 2

La particularité de l'assurance est l'inversion du cycle de production. En effet une compagnie d'assurance perçoit des primes de ses assurés en vue d'indemniser des sinistres futurs. Son activité est ainsi fondée sur une anticipation des risques auxquels elle est exposée. Son coût de revient sur un contrat n'est donc pas connu lors de sa commercialisation. L'aléa est de ce fait omniprésent dans l'activité des assurances, impliquant ainsi des contrôles prudentiels et réglementaires de plus en plus exigeants vis à vis de la solvabilité de l'entreprise.

La solvabilité d'une compagnie d'assurance se définit comme sa capacité à faire face à ses engagements vis à vis de ses assurés. Ainsi une compagnie d'assurance est jugée insolvable dès lors que la valeur de ses actifs est inférieure à celle de ses engagements.

C'est dans cette optique de respect des engagements que la réglementation Solvabilité II a été mise en place. Votée en 2009 et appliquée depuis janvier 2016, elle a pour objectif :

- Améliorer de la protection des assurés
- Harmoniser les normes au niveau européen
- Rendre le marché plus compétitif

Pour se faire, elle s'appuie sur trois (3) piliers représentés par le schéma ci-dessous et qui seront explicités par la suite.

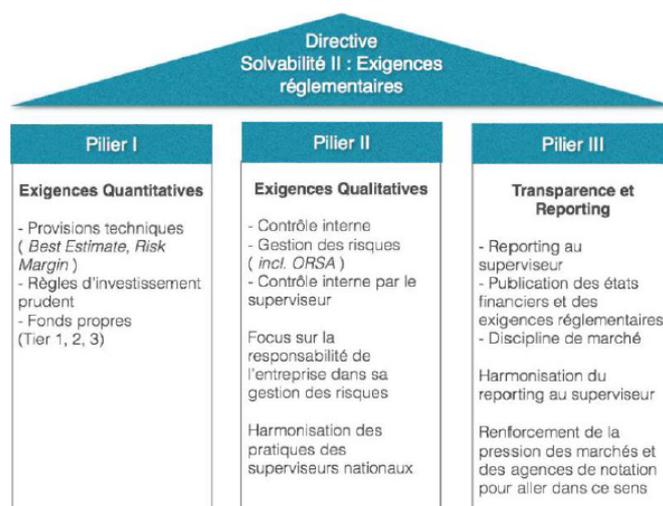


FIGURE 1.4 – Piliers de Solvabilité 2.

Vu l'avancée et la maturité de la réglementation, nous ferons un zoom détaillé sur le pilier I, en raison de son importance dans ce mémoire et nous présenterons de manière générale les piliers II et III.

1.2.2 Pilier I : exigences de capital

Pour mener à bien ses objectifs, la réglementation Solvabilité 2 à travers ce premier pilier s'appuie sur des exigences quantitatives qui régulent et posent des conditions sur le bilan économique de la compagnie d'assurance.

Le bilan Solvabilité 2 simplifié d'une compagnie d'assurance est représenté par la figure ci contre :

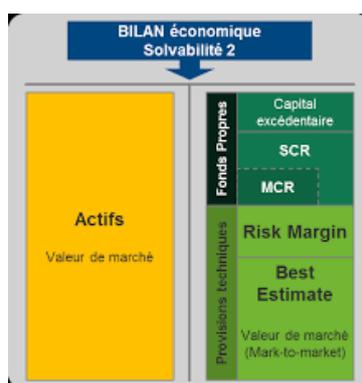


FIGURE 1.5 – Bilan d'une compagnie d'assurance.

Source : InsuranceSpeaker - Wavestone.

A la différence du bilan comptable, le bilan sous Solvabilité 2 comptabilise les actifs en valeurs de marché.

Les fonds propres

Les fonds propres, appelés aussi capitaux propres, sont les capitaux dont dispose l'entreprise. Ils ont été soit acquis par l'activité économique, soit apportés par les actionnaires. Les fonds propres correspondent en d'autres termes à la somme des fonds propres de base, qui se sont assimilés à l'excédent des actifs par rapport aux passifs et des fonds propres auxiliaires, qui quant à eux sont assimilables aux autres éléments hormis les fonds propres de base où l'assureur pourra en tirer partie pour couvrir ses pertes.

Ratios de Solvabilité : SCR et MCR

La directive définit deux exigences de capital : le capital de solvabilité requis et le minimum de capital requis.

i - Capital de solvabilité requis (Solvency Capital Requirement – SCR)

Avec l'introduction de Solvabilité 2, le principal indicateur de solvabilité d'un assureur est le Capital de Solvabilité Requis (SCR). Le SCR correspond, d'après l'article 101 de la directive 2009/138/CE, à la *Value-at-risk* à horizon un an des fonds propres d'une entreprise d'assurance ou de réassurance à un niveau de confiance de 99,5%. Il correspond au montant de fonds propres que doit détenir un assureur pour faire face à une ruine économique bicentenaire, à horizon 1 an. La ruine économique survient lorsque la valeur de marché des actifs est inférieure à la valeur des engagements.

Le calcul du SCR peut se faire, soit par une formule standard calibrée uniformément sur le marché européen, soit par un modèle interne développé par l'assureur et après autorisation du superviseur, soit par une combinaison de ces deux méthodes (dans le cas d'un modèle interne partiel). Ces trois points seront explicités plus en détails par la suite.

De plus la norme Solvabilité 2 impose un suivi régulier du SCR ainsi un recalcul immédiat en cas de déviation du profil de risque de l'entreprise. Un zoom sera fait sur les méthodes de calcul du SCR dans la suite de ce mémoire.

ii - Minimum de capital requis (Minimum Capital Requirement – MCR)

Le MCR est la seconde exigence de capital de la réglementation Solvabilité 2. Elle se définit comme le niveau minimal de fonds propres que l'organisme doit détenir en permanence, sous peine d'une action de l'autorité de contrôle. En d'autres termes, c'est le montant de capitaux propres minimal en dessous duquel les assurés seraient exposés à un niveau de risque inacceptable [EIOPA, 2016]. Le MCR est calculé à partir de formules distinguant les activités vie et non vie. Il ne peut être inférieur à 25% du SCR sans excéder 45% du SCR, et a un montant plancher minimum.

1.2.3 Provisions Techniques

Compte tenu de la particularité de l'assurance (inversion du cycle de production), l'assureur doit fixer sa prime avant de connaître le coût du sinistre qu'il devra indemniser.

Pour pouvoir faire face à ses engagements, celui-ci doit immobiliser des provisions en vue de rester solvable lors d'éventuelles réclamations.

Ces provisions se composent de la meilleure estimation (ou Best Estimate) et d'une marge pour risque (ou Risk Margin).

Best estimate(BE) et Undiscounted Best Estimate(UBEL)

Le Best Estimate (BE), appelé aussi Meilleure Estimation, est définie par l'article 77 de la directive comme "*la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs, compte tenu de la valeur temporelle de l'argent (valeur actuelle attendue des flux de trésorerie futurs), estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinents*[?].

Pour son estimation et son calcul, les compagnies se doivent de segmenter leurs engagements par lignes d'activités ou, en langage courant, Line of Business(LoB).

Une formule simplifiée est donnée par l'expression :

$$BE = \sum_{t \geq 1} \frac{CF_t}{(1 + r_t)^t}$$

avec

- CF_t : La somme des flux de trésorerie à la date t ;
- r_t : Le taux sans risque à la date d'échéance t ;

Les flux du Best Estimate tiennent donc compte de l'ensemble des flux de trésorerie des contrats existants :

- (+) Versements des prestations aux assurés ou à leurs bénéficiaires(rentes, indemnisation de sinistres, etc) ;
- (+) les frais de gestion et d'administration ;
- (-) le paiement des primes.

Dans le cas de l'assurance vie, l'assureur devrait également prendre en compte les options de contrat lors du calcul du BE et garanties financières comme la participation aux bénéfices ou encore le taux minimum garanti. Ces options introduisent alors de fortes interactions entre le passif et l'actif de l'assureur. Comme le stipule le code des assurances, les compagnies d'assurances doivent reverser au moins 85% des bénéfices financiers (obtenus grâce aux différents placements) et au moins 90% des services techniques aux assurés. Ainsi, l'assureur devra verser à l'assuré une participation aux bénéfices en cas de rendement. Ce qui réduira les revenus de la compagnie d'assurance. Cependant en cas de situation défavorable, les assureurs sont tenus de remplir leurs obligations en révalorisant les contrats au Taux Minimum Garanti (TMG) inscrit dans le contrat.

Compte tenu à ces interactions, le calcul du Best Estimate doit aussi être fait de manière stochastique afin de tenir compte des différentes options et garanties. Une formule, plus générale, énoncée ci-dessous permet de prendre en compte cet aspect :

$$BE_t = \mathbb{E}^Q \left[\sum_{i \geq t+1} \frac{CF_i * p_i}{(1 + r_i)^i} \mid Y_i \right]$$

où :

- CF_i : Les flux de trésorerie sortant à la date i avec la probabilité p_i ;
- r_t : Le taux sans risque à la date t ,
- Q la probabilité Risque neutre,
- Y_t les risques financiers en t .

une utilisation particulière du BE est le UBEL(Undiscounted Best Estimate Liabilities) qui correspond aux BE non actualisés. Ils servent pour le calcul des risques liés très souvent à la non vie.

La marge pour risque

La marge pour risque peut se définir comme la part des provisions techniques représentative du coût en capital qu'engendre le portage des risques, étant donné la réglementation. Selon l'article 77 du paragraphe 3 de la directive Européenne 2009/138/CE, Elle est "calculée de manière à garantir que la valeur des provisions techniques est équivalente au montant que les entreprises d'assurance et de réassurance demanderaient pour reprendre et honorer les engagements d'assurance et de réassurance."

La formule de calcul se définit comme suite :

$$RM = CoC \cdot \sum_{t \geq 0} \mathbb{E}^{Q^f \otimes \mathbb{P}^a} \left(\frac{SCR_t}{(1 + r_{t+1})^{t+1}} \right)$$

avec :

- CoC : étant le coût du capital. D'après l'article 39 du règlement délégué 2015/35 de la commission, le taux du coût du capital visé à l'article 77, paragraphe 5, de la directive 2009/138/CE est égal à 6% ;
- $SCR(t)$: Le capital de solvabilité requis la date t ;
- \mathbb{P}^a : La probabilité historique de l'espace probabilisé $(\Omega^a, (F_t^a)_{t \geq 0}, \mathbb{P}^a)$. Elle caractérise le risque d'assurance ;
- Q^f : La probabilité risque neutre de l'espace probabilisé $(\Omega^f, (F_t^f)_{t \geq 0}, Q^f)$. Elle caractérise les risques financiers ;
- r_{t+1} : Le taux sans risque à la date d'échéance $t+1$.

Zoom sur le SCR

L'article 101 de la directive 2009/138/CE énonce que le SCR doit couvrir obligatoirement les risques suivants :

- Les risques de souscription en Vie,
- Les risques de souscription en Non-Vie,
- Les risques de souscription en Santé, qui sont des risques liés à la distribution des contrats d'assurances. L'assureur, au moment de la commercialisation du produit ne peut connaître l'état présent ou futur de l'assuré ou de la chose assurée. D'où l'importance d'une tarification adaptée , qui peut se définir comme le processus de mise en place d'un prix sur un produit d'assurance et d'un provisionnement précis. Ainsi, tarifier ou provisionner de manière inadéquate peut conduire au non-respect des engagements pris par l'assureur.
- Le risque de marché : Il se définit le risque de perte qui peut résulter des fluctuations des prix des instruments financiers qui composent un portefeuille. Il permet aussi de mesurer la sensibilité de l'actif et du passif aux changements de volatilité des instruments financiers en couverture des passifs
- Le risque de contrepartie : Il est étroitement lié au risque de défaut inattendu, ou de la dépréciation de la cote de crédit des contreparties de l'organisme assureur durant les douze mois à venir. Ce risque est aussi lié aux mécanismes de transfert/minimisation de risques qu'un assureur peut utiliser comme par exemple la réassurance ou la titrisation.

Au final ces risques servent au calcul du SCR, qu'importe la méthode utilisée(formule standard ou modèle interne), avec des modalités de calcul qui changent d'une méthode à une autre. Ces deux méthodes permettent donc d'estimer la valeur économique d'une compagnie d'assurance. Certaines hypothèses de calcul sont communes aux deux approches : *la continuité d'exploitation, la prise en compte de l'effet de diversification des risques due aux corrélations entre les risques, l'horizon temporelle d'une année.*

Formule Standard

La directive propose une formule standard, commune à chaque compagnie d'assurance, pour calculer le niveau de SCR. Le SCR en formule standard est calculé via une approche modulaire, comme indiqué par le schéma (Figure 1.6). L'organisme doit calculer la perte subie en cas d'événement défavorable lié à une trentaine de facteurs de risque. Pour tenir compte de la faible probabilité de réalisation simultanée de tous ces événements, la formule standard introduit des corrélations entre ces facteurs de risque et permet ainsi à l'organisme de constater des bénéfices de diversification entre les différents risques. Cette méthode contourne la projection du bilan économique car elle permet de calculer le capital requis via l'application de différents chocs bicentennaires au Best Estimate en $t = 0^+$. Cette approche s'effectue grâce à des hypothèses sur les corrélations *intra et inter risques*. La figure suivante présente tous les modules et sous-modules de risque auxquels pourrait être soumise une compagnie d'assurance.



FIGURE 1.6 – Modules de risque d’une compagnie d’assurance.

Une décomposition plus détaillée du SCR dans le cas de la formule standard pour les organismes santé est donnée par la figure suivante.

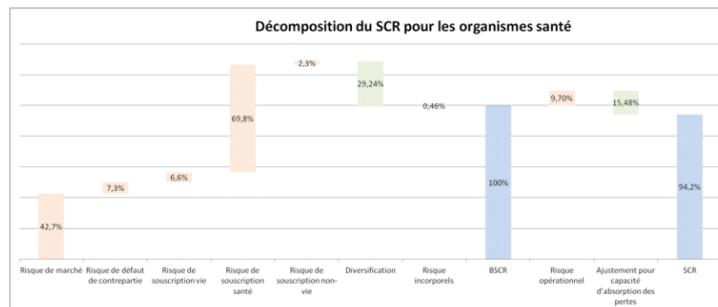


FIGURE 1.7 – Décomposition du SCR pour les organismes de santé.

L’approche par la Formule standard, dans un cas général, peut être décrite par trois étapes fondamentales :

- ❑ Étape 1 : Calcul du capital économique de chaque risque de base présenté sur la figure 5. Pour chaque risque de base, un choc sera appliqué et engendrera donc une consommation de capital. Cette consommation de capital constitue alors un capital au titre du risque concerné. Ces niveaux de chocs sont fixés dans le règlement délégué (UE) 2015/35.
- ❑ Étape 2 : Agrégation intra-modulaire. Les différents SCR des risques de base sont agrégés au sein de chaque module de risque via des matrices de corrélation calibrée par l’EIOPA.
- ❑ Étape 3 : Agrégation inter-modulaire. Les SCR de chaque module sont agrégés entre eux à l’aide d’une matrice de corrélation définie par le règlement délégué dans le but de calculer le **Basic Solvency Capital Requirement (BSCR)**.

En d'autres termes, pour obtenir le SCR global, il est nécessaire de s'intéresser aux différents SCR tel que, **SCR Health, SCR Life, SCR Non Life, SCR Default, SCR Market, SCR opérationnel et Adjustment**(Adj). Dans le cadre de ce mémoire, seul le SCR Vie sera explicité. Le SCR Vie est constitué des principales sous-modules de risques :

- ✓ Le risque de longévité : il prend en compte les pertes ou sinistres éventuels liés à un changement des taux de mortalité, c'est-à-dire lorsque ces taux subissent une baisse pouvant entraîner une augmentation des provisions techniques.
- ✓ Le risque de Mortalité : c'est le risque couvrant les pertes ou un changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance résultant de fluctuations affectant le niveau, l'évolution tendancielle ou la volatilité des taux de mortalité, lorsqu'une augmentation de ces taux entraîne une augmentation de la valeur des engagements d'assurance.
- ✓ Le risque de Rachat : il couvre les fluctuations liées aux taux de résiliation (partiel ou total). En d'autres termes c'est le risque de perte ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de changements dans le niveau ou la volatilité des taux de rachat, de résiliation, de renouvellement et de rachat des polices.
- ✓ Le risque de Morbidité : il prend en compte les pertes relatives ou résultant d'une variation des taux de morbidité et d'invalidité. Plusieurs chocs sont appliqués simultanément : une hausse de 35% des taux d'entrée en incapacité la première année, de 25% les années suivantes, et une baisse des taux de recouvrement de 20%.
- ✓ Le risque de Frais : il couvre les pertes résultant d'une augmentation des frais liés à la gestion des contrats. Le choc à effectuer est une combinaison de deux effets : une augmentation de 10% des frais, et une augmentation d'un point de pourcentage du taux d'inflation utilisé pour le calcul des provisions techniques. L'inflation n'ayant pas été modélisée dans cette étude, le deuxième effet ne sera pas pris en compte.
- ✓ Le risque de Révision : il couvre les pertes découlant d'un changement de la valeur des taux de révision applicables aux rentes, sous l'effet d'une évolution de l'environnement juridique ou de l'état de santé de la personne assurée.
- ✓ Le risque CAT : Il correspond au risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de l'incertitude significative des hypothèses de tarification et de provisionnement liées à des événements extrêmes ou irréguliers.
- ✓ Le risque Santé : Propre à Generali Vie, les facteurs de risque de santé couvrent les risques supplémentaires spécifiques aux activités de santé ou aux produits de santé offerts par les compagnies d'assurance vie ou santé, qui ne sont pas pris en compte par les facteurs de risque de morbidité/invalidité. ils peuvent être repartit en deux sous groupes : les sinistres santé qui sont le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de changements dans les sinistres santé et le risque de catastrophe sanitaire (Health CAT) qui est le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de l'incertitude significative des hypothèses de tarification et

de provisionnement liées à des événements extrêmes ou irréguliers pour les affaires d'assurance maladie (Health CAT).

Pour calculer le capital économique exigé par chaque sous-module de risque, la méthode plus détaillée est définie comme suite :

- Calcul de la Net asset Value(NAV) ² avec les paramètres du Best estimate appelé aussi scénario central ;
- Application d'un choc relatif au sous module de risque sur un ou plus paramètres ciblés ;
- Évaluation de la NAV avec les paramètres choqués ;
- Calcul de l'écart entre la NAV choquée et la NAV en scénario central pour estimer l'exigence en capital engendré par le sous module de risque concerné :

$$SCR_{sous-module} = NAV_{choque} - NAV_{central}$$

Une fois le SCR de chaque sous-module de risque estimé, une agrégation à l'aide d'une matrice de corrélation (explicitée ci-dessous) est réalisée afin d'obtenir le SCR Life

Intitulés	Mortalité	Longévité	Morbidité	Frais	Révision	Rachat	Catastrophe
Mortalité	1	-0.25	0.25	0.25	0	0	0.25
Longévité	-0.25	1	0	0.25	0.25	0.25	0
Morbidité	0.25	0	1	0.5	0	0	0.25
Frais	0.25	0.25	0.5	1	0.5	0.5	0.25
Révision	0	0.25	0	0.5	1	0	0
Rachat	0	0.25	0	0.5	0	1	0.25
Catastrophe	0.25	0	0.25	0.25	0	0.25	1

TABLE 1.2 – Matrice de corrélation des modules de risques vie

La formule est donnée par :

$$SCR_{Life} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{(i,j)} \cdot SCR_i \cdot SCR_j}$$

Avec

- $\sum_{i,j}$ représentant toutes les combinaisons possibles (i,j) des facteurs de risque du module Life figurant dans le tableau ci-dessus,
- $Corr_{(i,j)}$, le coefficient de corrélation pour les sous-modules i et j.
- SCR_i et SCR_j les exigences de capital des sous modules de risque i et j.

2. différence entre la valeur de l'actif et la valeur du passif

Une fois l'agrégation des sous-modules effectuée, il est nécessaire de faire l'agrégation des modules de risques qui donnerait la valeur du BSCR. Cette seconde agrégation est possible grâce au tableau suivant :

i \ j	Market	Default	Life	Health	Non-Life
Market	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Default	0.25	1	0.25	0.25	0.5
Life	0.25	0.25	1	0.25	0
Health	0.25	0.25	0.25	1	0
Non-Life	0.25	0.5	0	0	1

TABLE 1.3 – Matrice de corrélation des modules de risques vie

Le SCR final est donc donnée par la formule générale suivante :

$$SCR = BSCR + SCR_{op} + Ajustement$$

Le BSCR ou SCR_{base} , comme évoqué précédemment, représente l'agrégation des SCR des différents modules. La formule de calcul est donné par :

➔

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} \cdot \Phi_{i,j} \cdot SCR_i \cdot SCR_j} + SCR_{intangible}$$

où,

$\Phi_{i,j}$ qui représente la corrélation entre le modules de risques i et j et $SCR_{intangible}$ désigne le SCR pour le risque lié aux actifs incorporels

- ➔ SCR_{op} représente le besoin en capital pour couvrir le risque opérationnel
- ➔ $Ajustement$ représente l'ajustement calculé à partir du BSCR et qui prend en compte la capacité d'absorption par les impôts différés dans le temps et les provisions techniques.

Modèle Interne

La conception d'un modèle interne propre à une compagnie d'assurance est mise en oeuvre lorsqu'un assureur estime que la formule standard suggérée par le régulateur n'est pas assez adaptée à son profil de risque. Dans ce cas, il peut opter soit pour un modèle interne partiel ou total qui doit être par la suite approuvé et validé par l'autorité de contrôle en place.

- i - **Le Modèle Interne Partiel** Appelé aussi modèle modulaire, permet de déterminer pour chaque risque une charge en capital sur la base de chocs comme la formule standard. La nette différence avec la formule standard vient des sous-modules de risques utilisés qui donneront une meilleure représentation du profil de risque de l'assureur.

- ii - **Le Modèle Interne Complet** Utilisé un modèle interne complet revient à évaluer les impacts des risques dans leur globalité et non risque par risque. Il est alors primordial de modéliser les effets de diversifications des risques et d'élaborer des générateurs de scénarios économique. De plus les modèles internes devront utiliser dans le cas général, et sauf particularités à justifier, les techniques de simulations et de modélisations stochastiques. Ainsi le modèle interne est juste une traduction littérale et quantitative de la réalité des risques rencontrés par l'assureur susceptible de tenir compte de la volatilité des phénomènes étudiés

Bien que le calcul du SCR soit plus précis et plus proche du risque spécifique de l'assureur et par la même occasion du besoin de capital requis, sa conception peut se révéler complexe et très coûteuse. En effet elle demande un investissement humain et financier non négligeable. Ce qui pousse bon nombre d'assureurs à opter pour la formule standard ou un modèle interne partiel.

1.2.4 Pilier 2 et Pilier 3

Pilier 2 : Exigences qualitatives

A la différence des exigences quantitatives du Pilier 1, le Pilier 2 se caractérise plutôt par des exigences qualitatives à travers la mise en place de l'ORSA (Own Risk and Solvency Assessment) dont les objectifs sont de s'assurer que la compagnie soit bien gérée, bien capitalisée et qu'elle arrive à maîtriser et calculer ses risques. Pour mener à bien sa mission, qui est entre autres le renforcement de la gouvernance, elle s'appuie notamment sur quatre fonctions clés qui sont : **Actuariat, Gestion des Risques, Conformité, Audit interne.**

Ces quatre fonctions clés permettent de garantir le respect des exigences réglementaires (Conformité), de piloter le dispositif de gestion des risques, de garantir la fiabilité des provisions techniques et la maîtrise des risques de souscription (Fonction actuarielle) et enfin d'assurer la pertinence du dispositif (Audit interne).

Pilier 3 : Communication financière

Ce pilier a pour objectif de renforcer la transparence de l'entreprise aux yeux du régulateur et du grand public et harmoniser au niveau européen les informations publiées par les organismes d'assurance ainsi que celles remises aux superviseurs. Pour ce faire, la compagnie publie plusieurs rapports périodiques (trimestriel, semestriel ou annuel) sur la solvabilité et l'état financier de l'assureur dont certains sont a destination exclusive des autorités de contrôles et d'autres ouverts au grand public.

Les piliers 2 et 3 ne seront pas détaillés dans le cadre ce mémoire mais le lecteur intéressé pourra se référer à la Directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 [7] pour plus détails.

1.3 Problématique de l'étude

Comme énoncé plus haut, le portefeuille de prévoyance propre à Generali Vie comprend la garantie Frais Médicaux qui correspond aux différents contrats de mutuelles et santé que propose l'entreprise. Exceptionnellement chez Generali Vie, cette garantie est modélisée par des techniques hybrides entre la Vie et la Non-Vie. L'objectif de ce mémoire est donc de modéliser cette garantie avec des techniques exclusivement Non-vie pour harmoniser les méthodologies qui sont faites pour la modélisation de ce business au sein des entités groupe de Generali France.

Le portefeuille prévoyance sera, dans cette étude, scindé en deux parties. La première partie conservera toutes les garanties actuelles exceptée les Frais Médicaux et la seconde partie constituera une nouvelle ligne de business composée uniquement de la garantie Frais Médicaux.

Dans le chapitre suivant nous présenterons le processus et les méthodes de modélisation de la garantie Frais Médicaux en détaillant au maximum les calculs effectués.

Et ensuite nous effectuerons dans une troisième partie l'étude avec la nouvelle méthode à appliquer et nous analyserons les résultats obtenus.

Présentation des techniques actuelles : Approche par des méthodes hybrides

Cette seconde partie de l'étude aura pour objectif de détailler le processus de calcul du SCR santé mis en œuvre par l'entreprise. Elle reflète les calculs et résultats de l'entreprise sur l'exercice 2021.

Cette partie sera axée dans un premier temps sur la modélisation des facteurs de risques auxquels sont soumis ce portefeuille et plus précisément sur le calibrage du risque primes sous IGLOO et du risque de réserves sous RESQ. Dans un second temps cette partie explicitera la projection des flux passifs effectuée sous Prophet, permettant de calibrer une fonction polynomiale et d'estimer le Best Estimate en fonction des différents facteurs de risque. Enfin cette seconde partie de l'étude permettra de calculer et d'agrèger le SCR grâce au logiciel appelé le Kernel et mis en place par l'entreprise dans le cadre de son modèle interne.

Le but des ces différentes étapes sera de mieux appréhender le processus de calcul du SCR et de comprendre l'impact d'un changement du processus sur le SCR final de l'entreprise.

2.1 Description des risques Vie chez Generali

Cette partie aura pour but d'approfondir les différents risques présents dans le business de prévoyance.

Ces différents risques font parti des risques de souscription Vie qui sont intégrés dans le modèle interne partiel ("MIP") du groupe. Les exigences de capital pour les risques de souscription vie sont calculées comme la différence entre la meilleure estimation des engagements, "BEL" après stress et le BEL avant stress, où BEL est la valeur actuelle des flux de trésorerie nets futurs projetés sur la base d'hypothèses économiques et opérationnelles.

2.1.1 Les facteurs de risque

L'identification des risques de Generali passe par une sélection des facteurs de risque de souscription vie qui est effectuée sur la base du processus d'identification des risques. Pour être conforme à la "Politique de gestion des risques du Groupe" de Generali, le processus d'identification des risques est effectué au moins une fois par an et consiste à examiner les risques identifiés par l'entreprise afin de déterminer comment ils seront pris en compte lors de la modélisation du capital requis. Le processus d'identification des risques comprend la surveillance de l'identification de tous les risques et leur soumission à un processus de gestion des risques.

L'identification des risques est réalisée par les responsables des domaines opérationnels. Elle comprend aussi les principaux impacts que les risques/scénarios possibles peuvent avoir sur les dimensions de revenu et de liquidité, ainsi que sur la position de capital.

Les facteurs de risques, retenus par Generali, sont identifiés et classés dans la carte des risques du Groupe. Les facteurs de risque de l'assurance vie inclus dans la carte des risques du groupe sont

- Risque de longévité
- Risque de mortalité (comprenant le risque CAT de mortalité)
- Risque d'invalidité/morbidité
- Risque de déchéance
- Risque de dépenses, y compris la réserve de continuité
- Risque pour la santé (risque de CAT et de sinistres)

Lors du calibrage des scénarios de stress pour ces facteurs de risque, la même distribution de probabilité des facteurs opérationnels observés est supposée, comme déjà déterminée pour la définition des hypothèses de meilleure estimation, le cas échéant. Cela garantit la cohérence des hypothèses de meilleure estimation et des hypothèses de pires cas possibles. Les distributions de probabilité sont basées sur l'expérience des entités dans le but de mieux refléter les caractéristiques du portefeuille de l'entité.

Ces facteurs de risques sont utilisés dans le cadre du calibrage des polynômes.

2.1.2 Composantes du risque

Les facteurs de risque peuvent être déterminés ou affectés par

- **Volatilité** : qui se définit comme le risque que le nombre et les montants des sinistres payés au cours de l'année suivante soient différents de la valeur attendue en raison de la volatilité statistique naturelle, c'est-à-dire de la déviation des valeurs attendues au cours d'une année. De ce fait les deux éléments relativement importants sont : **le nombre de sinistres et la taille des sinistres**
- **Choc/catastrophe (CAT)** : se définit comme le risque que l'expérience sous-jacente subisse un choc inhabituel pendant une année (événement d'un an). Il peut être scinder en deux parties :

- **Le risque CAT local** : englobant les catastrophes naturelles ou évènements catastrophiques ou un évènement terroriste pouvant entraîner ainsi une augmentation soudaine de la morbidité ou de la mortalité.
- **Le risque CAT global** : incluant les événements externes provoquant une augmentation majeure et ponctuelle des taux d'incidence et de mortalité.
- **Niveau** : le risque de niveau ou risque de paramètre se définit comme le risque que les hypothèses de meilleure estimation ne reflètent pas le niveau réel d'un paramètre en raison d'une mauvaise estimation de la moyenne . Il est affecté par les deux éléments suivants :
 - **Une composante d'adéquation** : qui représente le risque que les données utilisées pour établir la meilleure estimation proviennent parfois d'activités ayant des caractéristiques différentes de celles qui sont évaluées, ou que les données utilisées pour établir les hypothèses soient incorrectes ou mal interprétées.
 - **Une composante de crédibilité** : représentant le risque que les hypothèses de meilleure estimation soient basées sur un nombre fini d'observations des données théoriquement correctes.
- **Tendance** : se définit comme le risque de mauvaise estimation de la tendance dans les hypothèses de meilleure estimation.

2.1.3 Taxonomie des risques

La taxonomie des risques de Generali est donnée par le tableau suivant :

		Composantes du risque			
		Niveau	Tendance	Volatilité	Choc/CAT
Facteurs de risque	Mortalité	✓	✓	✓	✓
	Longévité	✓	✓	✓	.*
	Handicap / Morbidité	✓	✓	✓	✓
	Lapse	✓	✓	✓	✓
	Dépenses ²	✓	✓	✓	.*
	Révision	✓	✓	✓	.*
	Santé	✓	✓	✓	✓

*Sans objet

FIGURE 2.1 – Taxonomie des risques de souscriptions Vie.

Source : Life Underwriting Risk methodology and calibration guidelines, Generali

Le tableau ci-dessus illustre un tableau générique de taxonomie des risques, qui comprend toutes les composantes et tous les facteurs de risque des risques de souscription en vie. Ce tableau est largement conforme au texte de Solvabilité 2.

il faut noter que dans le cas de Generali, le risque de **Révision** étant immatériel pour le groupe, il sera donc exclu de la taxonomie de l'entreprise.

2.1.4 Interactions entre risque et produit

Les contrats d'assurances sont repartis en plusieurs classes par les entités. Ces classes sont explicitées ci dessous :

- **Santé** : Ensemble des produits qui couvrent les frais médicaux. Cet ensemble comprend aussi les produits autonomes et les avenants ;
- **Accident et Invalidité** : Ensemble des produits qui couvrent la protection des revenus et l'indemnisation des travailleurs qu'il s'agisse d'avenants ou de produits autonomes.
- **Risque pur** : Ensemble des produits qui couvrent généralement le risque de décès, avec des éléments financiers négligeables.
- **Rente en phase de paiement** : Elles se définissent comme des rentes immédiates qui sont déjà en phase de paiement.
- **Rente en phase d'accumulation** : Elles se définissent comme des rentes différées qui sont encore en phase d'accumulation.
- **Capitalisation** : Ce sont des produits qui ne comportent qu'une composante d'épargne, basée sur des éléments financiers, et qui ne présentent pas de risque de mortalité.
- **Dotations et autres** : Ce sont des produits ayant une composante d'épargne prédominante pouvant être associés même à une composante de risque.

Ainsi pour chaque produit, les entités sont tenues de prendre en compte les interactions entre les risques et les produits. En particulier, ces produits interagissent avec les risques du business de prévoyance de la manière suivante :

- **Mortalité** : Il affecte tous les produits, où une augmentation des taux de mortalité a un impact négatif sur les flux de trésorerie attendus du passif.
- **Morbidité / Invalidité** : Elle affecte tous les produits pour lesquels une augmentation des taux de morbidité et d'invalidité a un impact négatif sur les flux de trésorerie attendus du passif.
- **Risque pour la santé** : lié aux risques liés aux indemnités et aux CAT sur la santé. Il touche tous les types de produits de santé concernés par les risques sanitaires, comme la gestion des sinistres et les événements extrêmes.

Les entités sont tenues de prendre en compte toute particularité de leurs propres produits et d'évaluer la pertinence de la table d'interaction.

La suite de l'étude sera essentiellement axée sur le risque Santé.

2.2 Calibrage des risques du portefeuille Santé

Ce chapitre aura pour objectif de schématiser le processus de calibrage des risques et de calcul du SCR sur le portefeuille de la prévoyance qui est actuellement mis en oeuvre par Generali.

L'approche utilisée par Generali Vie fait appel à la fois à des techniques vie et non vie.

Rappelons que la prévoyance englobe trois facteurs de risques (Mortalité, Morbidité/invalidité et Santé). Le processus permettant de calculer le SCR est commun aux trois risques.

2.2.1 Schématisation du processus

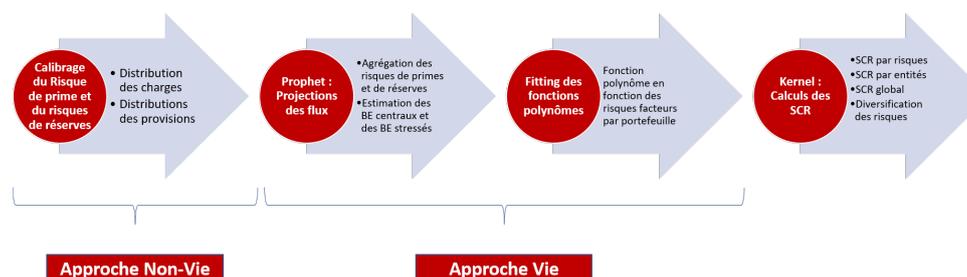


FIGURE 2.2 – Schématisation du processus de calcul du SCR

Ce processus alliant approche Vie et approche Non Vie représente l'approche hybride utilisée par Generali Vie pour déterminer le SCR des risques du portefeuille de la prévoyance et en déduire le SCR global.

La suite de l'étude mettra en lumière l'application de ce processus sur le périmètre de la santé.

2.2.2 Présentation des produits des frais médicaux

Chez Generali Vie, les données nécessaires pour le calibrage du business Prévoyance proviennent des équipes inventaires. Ces données sont stockées dans des fichiers Excel et réparties en deux périmètres : Collectif et Individuel. Elles correspondent essentiellement à des triangles de liquidation et de paiements donnant des chiffres relatifs aux :

- Cotisation émises
- Primes Acquisées Non Émises (PANE)
- Prestations ;
- Provisions dossier-dossier
- Provisions MDC(médicales)
- IBNR
- Charges totales
- Loss Ratio (S/P)¹

Traitement des données

Ces triangles sont développés sur 20 années. Dans le cas de l'exercice 2021 ces triangles sont donc développés de 2000 à 2021. La cohérence entre les données envoyées par l'inventaire à l'année n et celles envoyées en l'année n-1 est essentielle. Ceci passe par la détermination d'écarts entre les données de ces deux années sur chaque périmètre. Cette

1. Ratio Sinistres/Primes

analyse permet dans un premier temps de vérifier que d'une année à une autre, l'historique antérieure ait été conservé et dans un second temps, de détecter d'éventuelles erreurs dans les triangles mis à disposition.

Une fois cette analyse préliminaire effectuée en amont, ces données devront être agrégées par risque via une cartographie des risques. Ce mapping permet de regrouper, en un triangle de paiements global par risque, tous les triangles de paiement des différents produits du risque concerné et en faire de même pour les triangles de cotisations.

Une fois les triangles de cotisations et de paiements uniques par risque obtenus, ils seront utilisés pour déterminer le risque de primes sous **Igloo** et le risque de réserve sous **RESQ**.

Aperçu du portefeuille de Frais de Santé

Les frais de santé regroupent aussi bien des contrats collectifs que des contrats individuels. Le portefeuille des frais de santé se subdivisent comme suite :

Secteur d'activité	Description
Frais médicaux de groupe	
COLL_FM_>300 + 20/300	Assurance collective des frais médicaux pour les entreprises comptant entre 20 et 300 employés et plus de 300 employés.
COLL_FM_APGME	Assurance collective de frais médicaux pour Klesia APGME où Generali est le réassureur. Le portefeuille est composé d'un mélange de petites et grandes entreprises.
COLL_FM_SOFAXIS	Assurance collective de frais médicaux distribuée par le courtier Sofaxis aux collectivités locales (pour les pompiers par exemple).
COLL_FM_STANDARD + 1/20	Assurance collective des frais médicaux pour les entreprises de moins de 20 employés.
COLL_FM_CP	Assurance collective des frais médicaux pour les CP
COLL_FM_KMUT	Assurance collective des frais médicaux pour la KMUT
COLL_FM_KP	Assurance collective des frais médicaux pour le KP
COLL_FM_MCP	Assurance collective des frais médicaux pour le SRC
Dépenses médicales individuelles	
INDIV_FM_SANTE DP/DDP	Assurance individuelle de frais médicaux pour les contrats de protection individuelle.
INDIV_FM_SANTE DPRO	Assurance individuelle de frais médicaux pour le contrat de protection individuelle des travailleurs indépendants.

FIGURE 2.3 – Répartition des frais médicaux

Il est important de noter que les produits COLL_FM_CP, COLL_FM_KMUT, COLL_FM_KP, COLL_FM_MCP proviennent de Klésia qui se fait réassurer une partie de son portefeuille par Generali Vie.

Une répartition des primes acquises et des réserves pour les années 2021 et 2020 est présentée par branche d'activité dans le tableau ci-dessous (tous les montants sont en millions d'euros) :

Le portefeuille des frais de santé se subdivise comme suite :

Secteur d'activité	Primes (Mn€)		Réserves (Mn€)	
	2021	2020	2021	2020
Frais médicaux de groupe				
COLL_FM_>300 + 20/300	689,28	654,42	195,35	227,34
COLL_FM_SOFAXIS	0,20	2,06	3,73	4,81
COLL_FM_STANDARD + 1/20	162,92	164,39	38,16	52,51
COLL_FM_CP	35,63	35,63	18,68	18,68
COLL_FM_KMUT	266,20	266,20	441,02	441,02
COLL_FM_KP	99,35	99,35	71,54	71,54
COLL_FM_MCP	6,00	6,00	3,44	3,44
Dépenses médicales individuelles				
INDIV_FM_SANTE DP/DDP	131,76	97,68	15,03	11,72
INDIV_FM_SANTE DPRO	65,37	60,78	10,14	8,21

FIGURE 2.4 – Répartition des frais médicaux

Une fois le portefeuille présenté, la suite de l'étude décrira en détail le calibrage des différents risques appliqués sur le portefeuille de prévoyance. Il faut noter que ce processus fait intégralement partie du modèle interne de Generali.

Ce calibrage est la première étape du processus permettant le calcul du SCR au sein du groupe Generali. Nous nous concentrerons sur le calibrage du risque santé

2.2.3 Calibrage du risque de Santé

Le risque Santé se subdivise en deux parties :

Santé similaire à la technique de la vie

Pour l'activité technique santé similaire à l'activité vie, le risque de sinistres santé représente le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant des changements de l'inflation médicale. L'écart d'inflation médicale est défini comme la différence entre l'inflation médicale annuelle (c'est-à-dire l'augmentation annuelle des coûts des sinistres santé) et l'inflation annuelle des prix à la consommation (IPC). Pour les sinistres Santé (écart d'inflation médicale), le scénario le plus défavorable (et par conséquent la distribution complète des risques) doit être déterminé comme suit :

$$Niveau = \lambda_{99,5\%} * \frac{Std(TIM)}{\sqrt{n}} \quad (2.1)$$

avec

- $\lambda_{99,5\%}$ le quantile 99.5% de la distribution avec n-1 degré de liberté
- Std(Taux d'inflation médicale), l'écart type de l'écart du Taux d'Inflation Médicale.

Les tests statistiques tels que celui de **Jarque-Bera** sont nécessaires pour valider le risque de niveau sur la santé.

Santé Non similaire à la technique de la vie

Une distinction est faite entre les techniques vie et non vie en fonction de la nature des engagements (substance), qui ne correspond pas nécessairement à la forme juridique (forme) du contrat à l'origine de l'engagement. Il peut y avoir des cas où la forme juridique

de l'entité est la vie, mais où le calibrage du facteur de risque des sinistres santé est effectué en utilisant une approche non similaire à la vie, par exemple par une modélisation explicite de la tarification et du provisionnement.

Dans le cas où l'entité utilise l'approche du risque de primes et de réserves, les principales étapes de l'approche de calibration pour le risque santé doivent être les suivantes :

- Premièrement, les risques de prime et de réserves doivent être calibrés séparément pour chaque combinaison de produit et de prestation.
- Ensuite, es risques de prime et de réserves pour chaque combinaison de produit et de prestation doivent être agrégés, par exemple en utilisant une copule gaussienne.
- Enfin, le scénario de stress agrégé est utilisé pour calculer le ratio de perte choqué correspondant, qui est ensuite transmis au modèle de responsabilité.

Santé CAT

Le risque de CAT en matière de santé est représenté par le risque de pandémie extrême uniquement car on s'attend à ce que, en cas de survenance, une pandémie grave génère les pertes cumulées les plus élevées. Néanmoins, les entités devraient approuver la pertinence de cette approche et évaluer l'importance d'autres événements de stress en termes d'allégations de santé :

- Catastrophe naturelle, par exemple un tremblement de terre
- Événement terroriste
- Autres scénarios de concentration
- Catastrophe dans l'arène

L'impact d'une pandémie est double. En général, elle provoque à la fois une augmentation des taux de mortalité et de morbidité et une augmentation du taux de mortalité sur un an affecte l'assurance maladie

Dans le cas de Generali le risque de Santé CAT reste relativement faible sur le portefeuille considéré. Expliquer les détails lié à la modélisation de ce risque ne sera pas nécessaire dans le cadre de cette étude.

2.2.4 Calibrage du Risque de primes

Présentation et modélisation du risque de primes

Le risque de primes se définit comme le risque relatif à une perte probable engendrée par une éventuelle inadéquation des hypothèses sous-jacentes à la tarification d'un produit d'assurance. Ce risque est évalué à la fin d'une année d'exercice et correspond au risque que les primes acquises lors de l'exercice $t+1$ ne soient pas suffisantes pour faire face aux sinistres de l'année $t+1$. L'évaluation de ce risque est effectuée pour l'ensemble des branches d'activités du modèle interne telles que définies par la réglementation Solvabilité 2. Ces branches sont relatives à l'assurance IARD.

Le processus d'évaluation du risque de primes prend comme input les triangles de développement des sinistres (charges, paiements), hypothèses économiques de l'inflation,

hypothèses du plan (primes, S/P, Combined Ratio²), programme de réassurance et est effectué par un logiciel interne **IGLOO** s'articule comme suite :

- Déterminer les primes à l'ultime par survenance as-if
- Détermination des sinistres à l'ultime as-if
- Analyse statistique des sinistres encourus relatifs au périmètre concerné afin d'identifier les distributions de probabilité adéquates décrivant au mieux leur allure stochastique ;
- Calcul des loss ratios par survenance et analyse de tendance
- Choix d'une loi pour la distribution des loss ratios (moyenne et variance)
- Une approche basée sur la simulation de plusieurs scénarios afin d'obtenir une exigence de capital brut ;
- L'estimation des besoins de réassurance afin d'estimer au mieux le capital net.
- Une approche basée sur l'ajustement pour comparer les résultats de la vision à l'ultime avec ceux de la vision à un an.

La calibration de ce risque est effectuée par lignes de business et son évaluation peut être scindée en trois étapes : *la calibration, l'évaluation du SCR brut et l'évaluation du SCR net*. Compte tenu de l'objectif du mémoire, nous ne rappellerons que les grandes lignes de l'évaluation du risque de primes.

Paramétrage

l'objectif de cette partie est d'identifier les distributions de probabilités adéquates pour décrire les sinistres encourus. Les sinistres sont donc subdivisés en deux catégories : *les sinistres attritionnels et les sinistres importants* (considérés comme ceux dépassant un certain seuil). Ce seuil est évalué par l'entreprise sur la base des principes et des indications décrites dans les directives d'étalonnage. Suite à cette distinction, il est important de prendre ensuite en compte la valeur temporelle des sinistres passés en mettant en As-if les primes et les sinistres. Pour ce faire, ce procédé prendra en compte l'évolution de la population ainsi que l'inflation et certains paramètres socio-économiques dans l'évaluation de la sinistralité future.

Projection des sinistres à l'ultime

Une fois la mise en As if des sinistres et des primes effectuée, la suite du processus passe par la projection des sinistres encourus vers le coût ultime. Des distributions de probabilité appropriées sont ensuite introduites pour décrire correctement le comportement stochastique des sinistres encourus. La projection du coût ultime à l'aide des informations sur les sinistres à la fin de l'année t et le choix de distributions de probabilité appropriées permettent d'obtenir une approche basée sur la simulation pour l'estimation des sinistres encourus pendant l'année civile t+1. L'approche utilisée est une approche par *link ratio* qui est une généralisation de la méthode de Chain Ladder. Cette approche permet d'obtenir les coûts et les fréquences à l'ultime des portefeuilles d'assurances.

2. il correspond au $\frac{\text{Sinistres} + \text{frais}}{\text{Primes}}$, mesure de rentabilité utilisée par une compagnie d'assurance pour évaluer la qualité de ses opérations quotidiennes.

Calibrage des sinistres attritionnels

Plusieurs approches sont utilisées dans le cadre de la modélisation des sinistres attritionnels.

1. **Approche par sévérité x fréquence moyenne** Cette approche permet de décomposer la sinistralité suivant leur coût moyen annuel et leur fréquence annuelle. Elle se résume par l'équation suivante :

$$X = S * N \quad (2.2)$$

avec :

- X le montant global annuelle du sinistre
- S la sévérité annuelle moyenne des différents sinistres
- N la fréquence annuelle moyenne des sinistres

Ces différents paramètres sont estimés par le biais des principes du maximum de vraisemblance et de la méthode des moments, tant que cela reste possible. Les distributions adaptées pour estimer la gravité moyenne sont les distributions *Normale*, *Lognormale* et *Gamma*. Et dans le cas de la fréquence moyenne, les distributions *Poisson* et *Binomiale négative* sont plus appropriées. Les comparaisons entre les modèles théoriques et les distributions empiriques peuvent être effectuées à l'aide d'analyses numériques (la moyenne, le coefficient de variation et les percentiles sont pris en compte), de représentations graphiques (en considérant les fonctions de distribution cumulative et les QQ Plots).

2. **Approche sévérité-fréquence individuelle** Dans certains cas, l'analyse individuelle est recommandée. Ainsi pour chaque sinistre survenu au cours d'une période spécifiée, il convient d'examiner la structure d'évolution des montants payés et impayés. L'équation représentative est la suivante :

$$X = \sum_{i=0}^N S_i \quad (2.3)$$

avec :

- X le montant global annuelle du sinistre ;
- S_i le montant du i_{me} sinistre survenu durant l'année ;
- N, une variable aléatoire représentant le nombre de sinistres survenu durant cette année.

L'estimation des paramètres de cette approche, pour la fréquence et la sévérité individuelle, reste semblable à l'approche sévérité x fréquence moyenne.

3. **Approche par agrégation** Cette approche est utilisée dans le cas où aucune information distincte sur le nombre de sinistre n'est disponible. L'approche précédente fréquence-sévérité peut être remplacée par une approche agrégée, où seuls les montants des sinistres sont pris en compte. Comme dans les cas précédents, les sinistres payés, ou les sinistres encourus dans le cas où aucune séparation entre les sinistres payés et les sinistres en cours n'est disponible, sont gonflés, et la projection vers le coût ultime est effectuée au moyen de méthodes de ratio de liaison.

4. **Approche par Loss ratio** Dans le cas où les informations historiques sur les sinistres sont particulièrement peu fiables, aucune approche listée au dessus n'est envisageable. Par conséquent, une approche plus simple du rapport S/P peut être adoptée.

Il est important de choisir la méthode la plus appropriée à la compagnie et surtout aux types de données dont elle dispose.

Calibrage des sinistres importants

En ce qui concerne les sinistres graves, la méthode des triangles de liquidation n'est plus appropriée, car elle pourrait conduire à des évaluations inappropriées de la gravité habituelle très volatile. De plus, concernant la fréquence des sinistres, il n'y a pas de différence par rapport aux considérations discutées pour l'approche fréquence-sévérité individuelle appliquée aux sinistres attritionnels, tant pour la méthodologie de projection du nombre de sinistres que pour l'identification des distributions de probabilité appropriées. Pour les montants des sinistres, il faudrait d'examiner la structure d'évolution des montants payés et en suspens pour chaque sinistre survenu au cours d'une période de dix ans. L'ultime est ensuite évalué comme étant la somme pure des indemnités impayées et gonflées à la date d'évaluation. Aucune autre analyse actuarielle n'est nécessaire car une information granulaire sur chaque sinistre historique est disponible. Des modèles de probabilité doivent ensuite être sélectionnés pour modéliser la gravité des sinistres individuels. Les méthodologies pour estimer les paramètres des distributions et les méthodes pour comparer les distributions empiriques et théoriques ne diffèrent pas du cas précédent où la gravité attritionnelle était considérée. Néanmoins, une gamme plus large de distributions est appropriée pour modéliser la gravité des sinistres importants, à savoir : Pareto, Pareto généralisé, Lognormale tronquée à gauche, Gamma, Weibull, Burr et exponentielle, Lognormale décalée à droite, Gamma, Weibull et Burr et courbes d'exposition.

Calcul du SCR brut

Le calcul du SCR brut de prime est réalisé par le biais de l'évaluation du résultat technique au niveau de la compagnie. Pour rappel, les résultats techniques et financiers correspondent à la différence entre les revenus de l'assureur, principalement les primes et les produits financiers, et les charges constituées par les prestations et les différents frais de gestion et de commercialisation des contrats.

Ainsi le résultat technique brut au niveau de l'entreprise est déterminé par :

$$RTB_i = P_{i,Brut} - X_{i,Brut} - Fa_i - Fg_i \quad (2.4)$$

avec

- RTB_i : le résultat technique brut du portefeuille i.
- $P_{i,Brut}$: les primes brutes qui seront acquises par l'entreprise à l'année t+1 pour le portefeuille i.

- $X_{i,Brut}$: Les sinistres survenus au cours de l'année $t+1$.
- Fa_i : les frais d'acquisition, introduits en pourcentage des primes relatives au portefeuille.
- Fg_i : les frais généraux, introduits en pourcentage des primes relatives au portefeuille.

Les sinistres sont évalués pour des groupes de risques homogènes via une approche de Monte Carlo. Au sein de Generali, la distribution des sinistres est estimée en effectuant 50000 simulations de sinistres. Chaque sinistre étant tiré aléatoirement des distributions de probabilité préalablement identifiées selon l'une des approches présentées dans la sous-section 3.2.1.3.

Le SCR sur un portefeuille i peut être défini comme la différence entre l'espérance mathématique du résultat technique et la Value-at-Risk à 0.5% de la distribution de résultat technique du portefeuille i . l'équation est la suivante

$$SCR_i^{brut} = \mathbb{E}(RTB_i) - VaR_{0,5\%}(RTB_i) \quad (2.5)$$

En tenant compte de la formule précédente, on a

$$SCR_i^{brut} = VaR_{99,5\%}(X_{i,brut}) - \mathbb{E}(X_{i,brut}) \quad (2.6)$$

Modélisation du risque de primes sur les frais de santé

Données

Comme les triangles de sinistres importants ne sont pas disponibles pour tous les portefeuilles et qu'ils ne sont pas assez stables lorsqu'ils sont disponibles en raison du peu de sinistres importants historiques, Générali Vie a décidé de ne pas les modéliser séparément et de les garder inclus dans les informations sur les sinistres attritionnels. La modélisation se fait alors sur la base des triangles historiques agrégés (sinistres attritionnels + sinistres importants). les réserves sont aussi utilisées dans le cadre du calibrage du risque de primes. Les paiements de sinistres ainsi que les réserves pour sinistres sont basés sur les hypothèses suivantes :

- les sinistres payés et les réserves sont bruts de réassurance
- les frais de gestion des sinistres ne sont pas inclus dans les sinistres payés.
- Les engagements en matière de pensions de décès et les allocations mathématiques d'incapacité/invalidité sont calculés avec un taux de frais de gestion des sinistres de 3
- les subrogations sont intégrées dans les sinistres payés.

De plus, plusieurs indices d'inflation sont utilisés pour l'ajustement de l'inflation sur les primes. Dans le cas des frais médicaux, les indices utilisés sont *les salaires privés non agricoles*.

Pour chaque portefeuille de sinistres historiques, un indice est sélectionné pour projeter les montants historiques encourus à une valeur au 31/12/2021 (la date d'évaluation).

Pour chaque portefeuille, le taux d'inflation futur est calculé en utilisant une régression linéaire sur l'indice sous-jacent.

Modélisation

Les primes sont modélisées de manière déterministe et l'approche utilisée pour les sinistres attritionnels sera **une approche agrégée**. Concernant la projection de l'ajustement du triangle encouru et des valeurs ultimes des sinistres attritionnels, la méthode Chain-Ladder³ sera choisie pour projeter les montants des sinistres encourus ajustés à l'inflation. Des exclusions de facteurs de développement individuels sont nécessaires, si ceux-ci sont identifiés comme aberrants ou ne sont pas considérés comme représentatifs du portefeuille actuel. Ces exclusions se font assez souvent sur la base d'un jugement d'expert. Ensuite les facteurs Chain-Ladder calculés à la dernière diagonale du triangle des sinistres encourus pour obtenir les sinistres ultimes attritionnels projetés par année d'accident.

le modèle de paramétrage d'Igloo calcule le triangle des ratios de paiements cumulatifs en divisant chaque montant payé cumulatif par période d'origine et de développement par l'ultime sélectionné de la même période d'origine.

A partir de ce triangle de ratio cumulé, le modèle de paiement finalement sélectionné utilisé dans le modèle Brut est ensuite calculé comme la moyenne simple par période de développement. Un ratio de paiement de 100% est supposé pour la première année de développement après la dernière année de développement du triangle, car les valeurs engagées sont censées être suffisamment développées à la fin du triangle

De plus les fonctions de distributions de sinistres agrégés suivent des distributions Normal, Log-Normal ou Gamma. La sélection de la distribution des pertes agrégées des sinistres attritionnels est basée sur des statistiques numériques (p-value, comparaison des moments, comparaison des quantiles) ainsi que sur une analyse graphique (QQ plot, PP Plot, CDF Plot etc...). La fonction de distribution est alors définie par deux variables :

- La moyenne
- Le coefficient de variance(CoV)

Et les approches d'ajustement sont :

- Le maximum de vraisemblance
- La méthode des moments.

Résultats par portefeuille

La méthode agrégée sera choisie pour l'ensemble des portefeuilles qui vont suivre. De plus IGLOO effectue 50 000 simulations et une graine est fixée pour homogénéiser les simulations. Les résultats seront présentés par portefeuille.

1. COLL_FM_>300 + 20-300

Les facteurs de développements sont données par la figure suivante :

3. Cette méthode sera explicité à la section

Development Factors	dpr:1	dpr:2	dpr:3	dpr:4	dpr:5	dpr:6	dpr:7	dpr:8	dpr:9	dpr:10	dpr:11	dpr:12	dpr:13	dpr:14	dpr:15	dpr:16	dpr:17	dpr:18	dpr:19	dpr:20
2001	1.48041	1.00675	0.99887	0.99997	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2002	1.42205	1.01206	1.00067	1.00009	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2003	1.39154	1.01022	1.00018	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2004	1.39114	1.00830	1.00182	1.00001	1.00000	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2005	1.41078	1.01883	1.00056	0.99999	1.00001	1.00004	1.00000	1.00000	1.00000	1.00002	0.99998	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2006	1.58645	1.01061	1.00027	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2007	1.45178	1.00794	1.00113	0.99980	1.00000	1.00000	1.00001	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2008	1.42778	1.01116	0.99826	0.99992	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2009	1.46533	1.00488	1.00016	1.00005	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2010	1.42171	1.00920	1.00023	1.00005	1.00002	0.99999	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2011	1.43887	1.00810	1.00030	1.00004	1.00002	1.00001	1.00001	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2012	1.43287	1.00554	1.00027	1.00003	1.00004	1.00001	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2013	1.44674	1.00593	1.00013	1.00005	1.00003	1.00000	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2014	1.50892	1.00541	1.00005	1.00004	1.00002	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2015	1.45062	1.01017	1.00060	1.00004	1.00002	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2016	1.37782	1.00680	1.00018	1.00009	0.99998	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2017	1.51168	1.00660	1.00040	1.00002	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2018	1.42380	1.01063	1.00061	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2019	1.44885	1.00850	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2020	1.77230																			
2021																				

FIGURE 2.5 – Facteurs de développements

Factors Indicator	dpr:1	dpr:2	dpr:3	dpr:4	dpr:5	dpr:6	dpr:7	dpr:8	dpr:9	dpr:10	dpr:11	dpr:12	dpr:13	dpr:14	dpr:15	dpr:16	dpr:17	dpr:18	dpr:19	dpr:20
2001	<input type="checkbox"/>																			
2002	<input type="checkbox"/>																			
2003	<input type="checkbox"/>																			
2004	<input type="checkbox"/>																			
2005	<input type="checkbox"/>																			
2006	<input type="checkbox"/>																			
2007	<input type="checkbox"/>																			
2008	<input type="checkbox"/>																			
2009	<input type="checkbox"/>																			
2010	<input type="checkbox"/>																			
2011	<input type="checkbox"/>																			
2012	<input type="checkbox"/>																			
2013	<input type="checkbox"/>																			
2014	<input type="checkbox"/>																			
2015	<input type="checkbox"/>																			
2016	<input type="checkbox"/>																			
2017	<input type="checkbox"/>																			
2018	<input type="checkbox"/>																			
2019	<input type="checkbox"/>																			
2020	<input type="checkbox"/>																			
2021	<input type="checkbox"/>																			

FIGURE 2.6 – Sélection des facteurs de développement

L'année 2020 est exclu en raison du fait qu'elle soit atypique et non représentative des autres modèles de développement.

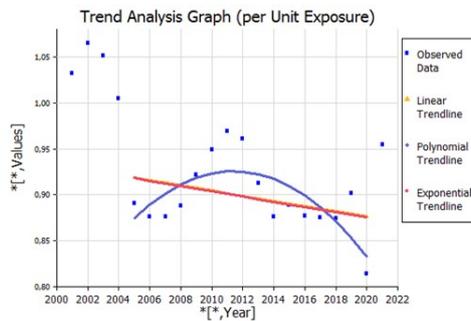


FIGURE 2.7 – Analyse de la tendance

Des valeurs aberrantes sont observées notamment sur les années 2001 à 2004 et les années 2020 et 2021. En effet les années 2001 à 2004 aux anciennes pratiques de règlement et de gestion des sinistres qui ont radicalement changé depuis 2004. En ce qui concerne l'année 2020, elle est atypique en raison de la pandémie Covid-19. L'année 2021 quant à elle, a donné lieu à un rattrapage des sinistres de 2020 par effet covid-19.

Le tableau des expositions est donné par la figure suivante :

Aggregate Claim Amounts (before Detrending)	Exposure	Value per Unit		Exclude from Detrending?
		Exposure	Exposure	
2001	153 900	149 062,45	1,0327881	<input checked="" type="checkbox"/>
2002	167 994	157 684,24	1,0023890	<input checked="" type="checkbox"/>
2003	222 878	211 876,74	1,0519127	<input checked="" type="checkbox"/>
2004	253 381	252 072,00	1,0051912	<input checked="" type="checkbox"/>
2005	292 039	327 744,21	0,8910562	<input type="checkbox"/>
2006	310 053	353 658,20	0,8767028	<input type="checkbox"/>
2007	332 269	378 978,68	0,8767476	<input type="checkbox"/>
2008	331 605	373 410,49	0,8880434	<input type="checkbox"/>
2009	336 236	364 557,08	0,9223055	<input type="checkbox"/>
2010	360 839	379 855,46	0,9499374	<input type="checkbox"/>
2011	426 889	440 085,64	0,9700131	<input type="checkbox"/>
2012	430 326	447 794,24	0,9669903	<input type="checkbox"/>
2013	380 425	416 573,28	0,9132246	<input type="checkbox"/>
2014	386 349	440 581,87	0,8769053	<input type="checkbox"/>
2015	432 701	486 617,19	0,8892023	<input type="checkbox"/>
2016	471 719	537 781,56	0,8771577	<input type="checkbox"/>
2017	496 835	567 088,55	0,8761107	<input type="checkbox"/>
2018	496 601	567 564,94	0,8769684	<input type="checkbox"/>
2019	511 322	589 099,33	0,9019233	<input type="checkbox"/>
2020	511 379	627 622,04	0,8147887	<input checked="" type="checkbox"/>
2021	613 743	642 516,11	0,9552173	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURE 2.8 – Valeurs des expositions

L'application des distributions donne les tableaux suivants :

Final Output Parameters				Chi-Squared Test Results			
	Mean per Unit Exposure	CoV	Log Likelihood	P-value	Statistic	Df	NumBills
Normal	0,901791	0,029042	-53,30	0,09	2,86	1,00	4,00
Lognormal ML	0,901786	0,028536	-150,46	0,24	2,83	2,00	5,00
Gamma ML	0,901791	0,028668	-164,33	0,09	2,83	1,00	4,00

FIGURE 2.9 – Résultats distributions

Les critères à regarder pour le choix des distributions (sans ordre) sont les suivants :

- log maximum de vraisemblance ;
- p-value avec un degré de liberté >1 ;
- l'espérance et la variance avec la distribution empirique ;
- la convergence au queue de distribution (avec le dernier quantile de la distribution choisie au dessus de celui de la distribution empirique)

;

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	90,18%
CoV	2,90%

FIGURE 2.10 – Distribution log-normale

2. COLL_FM_CP

Pour des raisons internes, les données sur les frais de santé provenant de Klésia pour l'année 2020 seront conservées pour la modélisation sur l'année 2021.

Les facteurs de développement de l'année 2010 sont exclus en raison d'un agrégat de demande. Et on exclut des facteurs de développement inférieurs à 2011 pour une meilleure modélisation.

Development Factors									
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9
2010	1,10347	1,00200	0,99994	1,00677	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2011	1,11224	1,00169	1,00001	0,99994	1,00006	1,00000	1,00000	1,00000	
2012	1,10841	1,00340	0,99991	0,99995	1,00000	1,00000	1,00000		
2013	1,11656	1,00308	1,00102	1,00011	1,00000	1,00000			
2014	1,11963	1,01200	1,00003	1,00004	1,00001				
2015	1,13315	1,00867	1,00039	1,00000					
2016	1,10654	1,01282	1,00007						
2017	1,19487	1,01172							
2018	1,15890								
2019									

FIGURE 2.11 – Facteurs de développements

Ratios Indicator									
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9
2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2011	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2012	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2013	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2014	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2016	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2017	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2018	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2019	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

FIGURE 2.12 – Sélection des facteurs de développement

la courbe des tendances confirme bien l'exclusion des valeurs énoncées au dessus.

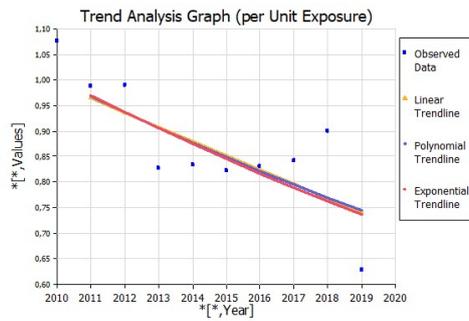


FIGURE 2.13 – Analyse de la tendance

Et la table des expositions nous donne :

	Aggregate Claim Amounts (before Detrending)	Exposure	Value per Unit Exposure	Exclude from Detrending?
2010	64 603	59 928,92	1,0779877	<input checked="" type="checkbox"/>
2011	66 761	67 483,27	0,9892965	<input type="checkbox"/>
2012	68 221	68 876,11	0,9904954	<input type="checkbox"/>
2013	65 396	79 000,56	0,8277867	<input type="checkbox"/>
2014	68 903	82 530,31	0,8348769	<input type="checkbox"/>
2015	78 716	95 690,56	0,8226150	<input type="checkbox"/>
2016	85 716	103 167,75	0,8308398	<input type="checkbox"/>
2017	84 904	100 737,48	0,8428278	<input type="checkbox"/>
2018	91 035	100 922,19	0,9020394	<input type="checkbox"/>
2019	93 717	148 887,37	0,6295338	<input type="checkbox"/>

FIGURE 2.14 – Valeurs des expositions

Le tableau des résultats données par le tableau suivant permet de choisir la distribution qui colle le mieux avec les données de ce portefeuille.

Final Output Parameters		Log Likelihood		Chi Squared Test Results			
	Mean per Unit Exposure	CoV		PValue	Statistic	DF	NumBins
Normal	0,830154	0,098997	-96,07		0,73	0,00	3,00
Lognormal ML	0,830689	0,104753	-88,27		0,38	0,00	3,00
Gamma ML	0,830155	0,102015	-96,26		0,62	0,00	3,00

FIGURE 2.15 – Résultats distribution

La log-Normale est la distribution qui se prête la mieux à nos données.

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	83,07%
CoV	10,47%

FIGURE 2.16 – Distribution log-normale

La modélisation et les résultats des autres portefeuilles seront mis en annexe de l'étude. Un tableau récapitulation est présenté ci-dessous :

LoB	Garantie	Moyenne de la distribution LR	CoV de la distribution LR	Distribution statistique sélectionnée Y2021	Primes 2021 (Min€)	SCR 99,5% Y2021 (Min€)
COLL_FM_>300 + 20/300	dépenses médicale	92,98%	2,83%	Normal	689,28	46,69
COLL_FM_SOFAXIS	Frais médicaux	25,90%	59,39%	Normal	0,2	0,08
COLL_FM_STANDARD + 1/20	Frais médicaux	93,28%	1,05%	Normal	162,92	4,11
CP	dépenses médicale	38,14%	15,79%	Lognormal	166,47	30,45
KMUT	Frais médicaux	37,95%	15,79%	Lognormal	346,59	204,61
KP	Frais médicaux	44,88%	15,79%	Lognormal	346,78	76,66
MCP	dépenses médicale	32,65%	15,79%	Normal	7,22	4,34
INDIV_FM_SANTE DP/DDP	Frais médicaux	51,66%	4,70%	Normal	131,76	8,23
INDIV_FM_SANTE DPRO	dépenses médicale	61,51%	2,25%	Normal	65,37	2,33

FIGURE 2.17 – Résumé du risque de primes sur le portefeuille Santé

Les résultats du calibrage du risque de primes des portefeuilles non évoqués ci-dessus seront mis en annexe.

2.2.5 Calibrage du Risque de réserves

En raison de son caractère particulier, qui est l'inversion de son cycle de production, la notion de réserve est très présente aux sein d'une compagnie d'assurance. En effet l'assureur se doit de faire des provisions ou des réserves dans le but de respecter ses engagements vis à vis de ses assurés. Cependant ces provisions ne sont que des estimations qui peuvent être proches ou éloignées des montants réels que l'assureur aura à indemniser. Il existe donc un risque que l'assureur fasse une mauvaise estimation de ses réserves.

Ainsi le risque de réserves se définit comme le risque de sous-évaluation des provisions techniques relatives aux sinistres survenus résultant d'une mauvaise estimation du montant des provisions pour sinistre mais aussi de l'écart entre l'estimation moyenne faite par l'assureur et le montant réel des sinistres que celui ci devra indemniser.

Jusqu'à la fin de l'exercice 2012, Generali Vie utilisait comme méthode de calcul de provisions la méthode de Merz-Wüthrich à un an. Depuis 2013, elle a opté pour la méthode du Bootstrap à un an.

Pour déterminer les réserves à horizon un an, les étapes sont les suivantes :

- Construction d'un modèle de provisionnement Mack avec l'information de sinistralité connue en année I.

- Alignement des provisions obtenues en moyenne avec les provisions Best Estimate de la finance.
- Simulation des règlements futurs à horizon 1 an (bootstrap).
- Re-construction d'un modèle de provisionnement, pour chaque simulation, cette fois-ci avec l'information de sinistralité connue en I+1 (re-reserving).
- Calcul du CDR pour chaque simulation.
- Calcul du SCR : centile -0,5% du CDR

Méthodes de provisionnement et modélisation du risque de réserves

Notations

Avant de décrire les différents modèles utilisés, il est essentiel de définir les différents termes qui seront importants pour la suite de l'étude. Dans le cas de l'indemnisation d'un sinistre, le processus peut s'avérer assez long. La clôture totale de ce sinistre peut mettre plusieurs années et son montant total d'indemnisations peut augmenter avec le temps. De manière usuelle, i sera défini comme l'année de survenance du sinistre et j le nombre d'années de développement. Ainsi le règlement des différents sinistres d'une compagnie peut être représenté sous la forme d'une table (mettre le numéro de la table)

Année d'origine	Délai de règlement						Année ultime = n + 3		
	0	1	...	j	...	J	J+1	J+2	J+3
0	$X_{0,0}$	$X_{0,1}$		$X_{0,j}$			$X_{0,J+1}$	...	$X_{0,J+3}$
1	$X_{1,0}$					$X_{1,j}$			
...									
i				$X_{i,j}$					
...							$X_{i,J+1}$	...	$X_{i,J+3}$
...									
l	$X_{l,0}$	$X_{l,1}$	...	$X_{l,j}$	...	$X_{l,J}$	$X_{l,J+1}$	...	$X_{l,J+3}$

FIGURE 2.18 – Exemple de triangles de développements.

Avec $X_{i,j}$ les paiements ou les charges correspondant à l'année d'origine i et de développement j . On définit le triangle des montants cumulés par

Année de survenance	Année de développement						Provisions
	0	1	...	j	...	n	
1	$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	.....	$C_{1,j}$	.....	$C_{1,n}$	$R_1 = 0$
2	$C_{2,0}$	$C_{2,1}$	.....	$C_{2,j}$	.....	$C_{2,n}$	R_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	$C_{i,0}$	$C_{i,1}$	.....	$C_{i,j}$	.....	$C_{i,n}$	R_i
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$C_{n,0}$	$C_{n,1}$	.....	$C_{n,j}$	.....	$C_{n,n}$	R_n

FIGURE 2.19 – Exemple de triangles montants cumulés.

où $C_{i,j}$ se calcule grâce à la formule suivante : $C_{i,j} = \sum_{k=0}^j X_{i,k}$.

A noter que les parties grisées sur les deux précédentes figures sont des valeurs estimées.

On définit :

- La charge sinistre $S_i = C_{i,n}, \forall i \in 1, \dots, n$ avec $S_0 = c_{0,n}$ qui est connue
- la provision par année d'origine $R_i = C_{i,n} - C_{i,n+1-i}, \forall i \in 1, \dots, n$ et la provision globale $R = \sum_{i=1}^n R_i$

L'objectif est d'obtenir la meilleure estimation possible à la clôture de l'année n .

Les modèles déterministes et stochastiques

. Ces modèles utilisent les triangles de liquidations.

1. Les modèles déterministes

- **Le modèle de Chain Ladder** : C'est le modèle déterministe le plus répandu et surtout le plus utilisé à Generali. Il se base sur le triangle de paiements ou de charges cumulées. Il permet d'estimer les sinistres survenus mais pas encore déclarés et de projeter des valeurs observées jusqu'à la fin de tout mouvement des sinistres(jusqu'à l'ultime).

Des hypothèses faites en amont sont essentielles pour son application. L'hypothèse principale repose sur le fait que les modèles d'évolution des pertes historiques sont indicatifs des modèles d'évolution des pertes futures. In fine, les provisions de sinistres sont déduites des ultimes et des valeurs observées. En d'autres termes,

$$\forall i, j \in 1 \dots n, C_{i,j+1} = f_j * C_{i,j} \quad (2.7)$$

où f_j représente les facteurs de développement et son estimateur, basé sur des données historiques, est égale à : $\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j}}$

Ainsi à partir des ultimes, le montant de réserves $\hat{R}_{i,n}^{CL}$, par année de survenance, est obtenu grâce à l'équation suivante :

$$\hat{R}_{i,n}^{CL} = \hat{C}_{i,n} - C_{i,n+1-i} \text{ avec } \hat{C}_{i,n} = \hat{f}_{n+1-i} * \dots * \hat{f}_{j-1} * C_{i,j} \quad (2.8)$$

- **La méthode de Bornhuetter-Ferguson** : Cette méthode est une alternative à celle de Chain Ladder. L'hypothèse principale pour cette méthode est relative à l'indépendance entre la provision à constituer et le dernier montant connu des charges.

Dans cette méthode Bornhuetter et Ferguson intègrent une estimation à priori des charges ultimes qui se définit comme

$$\hat{U}_i = \Phi_i * P_i \quad (2.9)$$

où

- P_i est le montant de primes relatif à l'année de survenance i ;
- Φ_i es le ratio S/P sur l'année de survenance i .

Ainsi la provision estimée par la méthode de Bornhuetter-Ferguson pour l'année de survenance i est donnée par :

$$\hat{R}_i = (1 - \hat{z}_{n+1-i}) * \hat{U}_i \quad (2.10)$$

avec \hat{z}_{n+1-i} , cadence de règlement cumulée après j années de développement. Elle est très souvent estimée par la méthode de Chain-Ladder.

- **Le modèle de *Benktander*** : Cette méthode propose une modification de la méthode précédente afin d'accroître le poids des données du triangles afin d'avoir de meilleures estimations. Cette méthode utilise donc, elle aussi, des estimateurs à priori.

Son estimateur de la charge ultime utilise celui de la méthode précédente et Son estimateur pour la provision résulte d'un mixte entre les provisions de Chain Ladder et de Bornhuetter- Ferguson.

L'inconvénient des méthodes étudiées ci-dessus est qu'elles ne permettent pas de déterminer les erreurs de prédictions.

2. *les modèles stochastiques*

Dans cette partie, seul le modèle de Mack sera abordé. En effet les modèles stochastiques ont été introduits pour pouvoir mesurer la volatilité des réserves. Dans le modèle de Chain Ladder vu précédemment, nous avons estimé les provisions sans utiliser de modèle stochastique. Cependant la mesure permettant de quantifier l'erreur d'estimation associé à un estimateur est *l'erreur quadratique moyenne* (en anglais, Mean Squared Error - MSE).

Le modèle de Mack est une version stochastique du modèle Chain-Ladder. La valeur des provisions estimé reste la même. Cependant, étant développé sous certaines hypothèses, il a été mis en place plusieurs tests pouvant valider ces hypothèses afin de pouvoir appliquer le modèle. De plus le **le test d'hypothèse d'indépendance de Mack** est le seul test utilisé dans ce calibrage et les différentes étapes de cette partie se basent sur le mémoire de [Bonney et Devictor, 2007].

Les différents modèles de SCR lifetime

Pour rappel, Le risque de réserves est lié à l'incertitude de l'écoulement de la réserve pour sinistres en suspens autour de sa valeur attendue sur un horizon d'un an. Il s'agit du risque que la réserve actuarielle ne soit pas suffisante pour couvrir toutes les obligations liées aux sinistres déclarés et aux sinistres IBNR⁴.

Ainsi selon le Modèle interne mis en place par Générali France, la charge de capital pour le risque de réserves est définie comme l'opposé de la valeur à risque de la distribution du résultat du développement des sinistres (CDR) à un niveau de confiance de 0,5%, où le CDR est défini comme la réserve d'ouverture moins les paiements de l'année suivante liés aux sinistres survenus avant la date d'évaluation moins la réserve de clôture liée aux mêmes sinistres.

4. Incurred But Not Reported

Pour obtenir cette distribution, la première étape consiste à dériver une distribution de réserve en appliquant l'une des trois méthodes suivantes : **Bootstrap du modèle de Poisson surdispersé, Bootstrap de Mack ou une méthode stochastique pratique**. Les deux premières sont basées sur l'amorçage d'une Méthode de Facteur de Développement (Development Factor Method-DFM) sous un certain ensemble d'hypothèses, la troisième est une méthode paramétrique qui doit être utilisée lorsque les données disponibles ne garantissent pas la stabilité d'une méthode Bootstrap.

La seconde étape consiste à appliquer une approche de *Re-reserving* ou une méthode de *Émergence pattern* afin d'obtenir la distribution du CDR ; cette étape permet de passer à vision horizon un an et d'être conforme aux exigences de la réglementation Solvabilité II.

La méthodologie présentée est développée avec **ResQ** qui es un outil développé par Willis Towers Watson pour calibrer les provisions et le risque de réserves.

Rappelons que Le bootstrap est une procédure de simulation qui génère, à partir d'un seul ensemble de données indépendantes et identiquement distribuées, un grand nombre de nouveaux échantillons, appelés "pseudo-données", par le biais d'un tirage aléatoire avec remplacement ("ré-échantillonnage"). En pratique, dans ce cas, en partant du triangle des paiements différentiels nets des sinistres extrêmement importants, l'objectif est d'obtenir un grand nombre d'estimations de réserves. La principale différence entre les méthodes proposées est la manière de ré-échantillonner les données afin d'obtenir les estimations des réserves.

Dans la suite de l'étude, nous présenterons les différentes méthodes de calcul du SCR sans pour autant rentrer dans les détails.

1. Bootstrap du modèle de Poisson sur-dispersé (ODP)

Ce modèle appartient à la famille des Modèles Linéaires Généralisés (GLM). Son hypothèse de base suggère que les paiements cumulés $S_{i,j}$ soient i.i.d (indépendants et identiquement distribués) et qu'ils suivent une distribution de Poisson sur-dispersée tel que :

$$\begin{aligned} S_{i,j} &\sim ODP(\mu_{i,j}, \phi_j) \\ \mu_{i,j} &= \mathbb{E}(S_{i,j})\phi_j = \mathbb{V}(S_{i,j})/\mu_{i,j} \\ \log(\mu_{i,j}) &= \delta_{i,j}\delta_{i,j} = C + a_i + b_j \end{aligned}$$

Avec :

- ϕ_j un paramètre supérieur à 1
- $\delta_{i,j}$, la composante systématique ;
- C une constante à déterminer ;
- a_i et b_j qui sont respectivement les années de survenances et de développement des sinistres.

Les hypothèses pour cette méthode restent les mêmes que celles du modèle de Chain Ladder vu précédemment. Le bootstrap ne pouvant pas être appliqué sur les paiements incrémentaux(car ceux ci ne sont pas identiquement distribués), il sera

appliqué aux résidus dans le but d'obtenir un nombre élevé de triangles de résidus simulés qui sont eux définis comme suite :

$$r_{i,j} = \sqrt{\frac{n}{n-p}} \left(\frac{S_{i,j} - \hat{S}_{i,j}}{\sqrt{\hat{\phi}_j \hat{S}_{i,j}}} \right) \quad (2.11)$$

avec p le nombre de paramètre du modèle, n le nombre de cellules du triangle, $S_{i,j}$ la prévision des paiements futures et $\hat{\phi}_j$ estimé avec la méthode χ^2 .

Au lieu de procéder à un simple bootstrap, il est possible de générer le triangle de pseudo-données selon une distribution de pseudo-données, choisie parmi les distributions normale, log-normale et gamma avec une moyenne et une variance bien déterminées.

Le modèle est ensuite réajusté sur chaque pseudo-triangle afin d'obtenir de nouvelles projections pour les paiements et réserves futurs.

Enfin, une variance de processus est ajoutée pour projeter le développement futur selon différentes options : pas de variance de processus, distribution normale, log-normale ou gamma.

2. Bootstrap du modèle de Mack

Tout comme le modèle bootstrap du modèle de Poisson surdispersé, ce modèle appartient aussi à la famille des GLM. Le modèle de Mack, comme vu précédemment, représente le fondement théorique des méthodes de réserve car les différents estimateurs sont sans biais. Ainsi le Bootstrap est effectué sur les résidus des facteurs de développement observés. Il permet d'obtenir des triangles simulés de ratios de pseudo-liens, à partir desquels, nous estimons les vecteurs de développement à appliquer aux triangles des paiements observés au moyen d'une méthode DFM définie sur le triangle payé historique. ce processus permet d'obtenir des valeurs possibles pour la réserve de sinistres. La formule des résidus est donnée comme suite :

$$\hat{r}_{i,j} = \frac{\sqrt{C_{i,j}}(f_{i,j} - \hat{f}_j)}{\sigma_j} \quad (2.12)$$

où σ_j représente la variance du triangle à la j^{me} année de développement.

Étant donnée l'obtention de résidus aléatoires, les pseudo ratios sont calculés en utilisant la formule des résidus. Selon une distribution choisie entre les distributions Normale, Log-Normale et Gamma de moyenne $\hat{f}_{i,j}$ et de variance $\sqrt{\frac{\sigma_j^2}{C_{i,j}}}$, il est possible d'estimer le pseudo rapport. Ensuite l'application du DFM basée sur les pseudo rations, permet de générer de nouvelles projections de réserves.

La distribution des réserves prédite estimée par Bootstrap devrait avoir pour moyenne la meilleure estimation des provisions calculées par les équipes de l'inventaire. En effet l'objectif étant de déterminer le risque de dérive des provisions du scénario centrale, il est donc nécessaire d'effectuer une mise à l'échelle afin que la distribution des réserves respecte ce scénario central.

3. Méthodes de mise à l'échelle ou Scaling

La distribution prédictive de la réserve, estimée avec le bootstrap, doit être mise à

l'échelle de façon à ce que sa moyenne coïncide avec le passif de meilleure estimation non actualisé (UBEL).

Désignons par $R_{(i)}$, la réserve estimée à partir du i^{me} triangle de pseudo-données dérivé dans le bootstrap ($i=1,\dots,I$). Notons μ la moyenne et σ l'écart type de la variable avec :

$$\mu = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I R_{(i)} \sigma = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (R_{(i)} - \mu)^2} \quad (2.13)$$

On note aussi R la réserve cible ou encore le scénario central. Deux méthodes sont possibles :

- *La mise à l'échelle additive* : Elle consiste à déplacer les valeurs simulées en gardant l'écart type et les nouvelles valeurs de la réserve sont alors égales à :

$$\hat{R}^i = R^i - \mu + R \quad (2.14)$$

- *la mise à l'échelle multiplication* : Elle reste une méthode alternative à la méthode précédente et consiste à modifier la forme de la distribution tout en conservant le coefficient de variation

$$\hat{R}^i = \frac{R}{\mu} R^i \quad (2.15)$$

Cette mise à l'échelle sur les ultimes est aussi effectuée sur les développements projetés de manière pondérée.

4. La méthode stochastique pratique

ou encore Pratical Stochastic Method (PSM) est une approche paramétrique basée sur les étapes suivantes :

- Déterminez une distribution de probabilité représentant les résultats possibles des paiements futurs pour chaque période d'origine ;
- Déterminez la distribution de probabilité représentant les résultats possibles des paiements futurs pour le total sur toutes les périodes d'origine.

Elle représente une alternative à la méthode du Bootstrap lorsque celle-ci ne permet pas d'obtenir des résultats fiables, par exemple lorsque des informations historiques limitées sont disponibles, ou que les résidus ne répondent pas aux hypothèses théoriques des modèles Bootstrap, ou que l'hypothèse de similitude dans les développements des périodes d'origine échoue.

Tout comme les méthodes bootstrap, la méthode stochastique pratique est une technique de simulation, c'est-à-dire que des simulations de type Monte Carlo sont utilisées pour estimer la distribution empirique du passif des sinistres sous-jacents. La méthode stochastique pratique vise principalement à préserver la distribution globale du risque de réserves au niveau du portefeuille et de l'entité (c'est-à-dire le profil de risque) des distorsions et à garantir la solidité méthodologique pour tous

les types de portefeuilles, notamment dans les cas où la méthode bootstrap n'est pas applicable d'un point de vue théorique ou qu'une application conduirait à des résultats irréalisables. Pour pouvoir utiliser cette méthode, les données suivantes sont nécessaires :

- l'Undiscounted Best Estimate Liabilities (UBEL) pour chaque période d'origine ;
- Le schéma d'écoulement pour permettre la répartition des coûts futurs ;
- La matrice De corrélation entre les périodes d'origine, afin de déduire la réserve pour sinistres pour le portefeuille concerné ;
- La variabilité et forme des réserves pour chaque période d'origine, pour représenter l'incertitude de la distribution des réserves.

Cette méthode impacte les créances impayées, en les simulant, par période d'origine à partir de la distribution choisie, impose la dépendance entre les périodes d'origine, puis réaffecte aux flux trésorerie. Ce processus est à l'opposé de l'approche bootstrap où les flux trésorerie sont simulés puis agrégés pour obtenir les résultats par période d'origine. La simulation de la distribution de la période d'origine est effectuée avec une distribution de prévision (Normale, Log Normale ou Gamma) avec les deux premiers moments qui sont disponibles.

Rappelons que ces méthodes d'estimations du SCR de réserves sont effectuées sous RESQ et tiennent aussi compte de plusieurs jugements d'experts⁵. Le point suivant nous permettra de définir la notion de distribution du résultat du développement des sinistres (CDR - Claim Development Results)

CDR - Claim Development Results

Comme mentionné précédemment, sous Solvabilité II, le capital de solvabilité requis est déterminé, sur un horizon d'un an, à partir d'une distribution des actifs nets. Ceci est fait parce que le risque de réserves prend en compte l'incertitude qui peut survenir sur un horizon d'un an, plutôt que celle qui peut survenir jusqu'au règlement complet des sinistres. Les méthodes décrites ci-dessus ne sont pas compatibles avec cette structure puisqu'elles considèrent la variabilité pour tout le triangle d'écoulement des paiements futurs. Pour cette raison, la distribution du résultat du développement des sinistres (CDR) doit maintenant être considérée.

Le CDR est défini comme la réserve d'ouverture moins les paiements de l'année suivante moins la réserve de clôture et peut être défini par la formule suivante :

$$CDR = \hat{R}_t - \mathbf{P}_{t,t+1} - \hat{R}_{t+1} \quad (2.16)$$

Avec \hat{R}_t , l'estimation de la réserve pour sinistres à la date et $P_{t,t+1}$ le montant des paiements émis au cours de la période entre t et t+1. il est essentiel de noter que les variables en gras sont des variables stochastiques.

5. jugement fait par des actuaires seniors sur des situations précises

Pour estimer le CDR, deux approches sont envisagées : *le Re-reserving et Emergence Pattern*.

1. Le Re-reserving

Le but principal de la remise en réserve est d'avoir une vision à un an dans un bootstrap à horizon de vie en réajustant la méthode DFM sous-jacente au triangle étendu pour chaque simulation.

En repartant de la formule (2.11), l'objectif est d'évaluer les valeurs stochastiques de cette équation. À cette fin, les étapes suivantes sont appliquées à chacune des simulations :

- Les paiements futurs pour l'année suivante (i.e. la première diagonale) sont directement tirés de la procédure Bootstrap qui a été adoptée pour dériver la distribution de la réserve en vue sur $SCR_{Lifetime}$;
- Ces valeurs simulées sont ajoutées au triangle d'écoulement initial et permettent ainsi de créer un nouveau triangle avec une diagonale supplémentaire ;
- L'application de la méthode de développement des facteurs permet d'estimer tous les paiements futurs à partir de l'année $t+1$.
- Enfin, une estimation peut être faite pour la réserve au temps $t+1$.

2. Emergence Pattern

Le modèle d'émergence est une technique alternative applicable lorsque l'estimation de la distribution des réserves a été effectuée à l'aide d'une méthode stochastique pratique (PSM). N'étant pas la méthode utilisée pour calibrer le risque de réserves sur le modèle de prévoyance, nous ne la détaillerons pas.

Une fois les méthodes appropriées choisies et appliquées, le risque de primes et le risque de réserves sont introduits dans Prophet dans le but de les agréger. La partie suivante nous permettra ainsi d'analyser ce logiciel de projection et de mesurer son impact dans cette étude.

Modélisation du risque de réserves sur les frais de santé

Données

les données correspondent aux mêmes triangles de sinistres bruts historiques que ceux utilisés pour la calibration du risque de primes. L'historique des données sur les sinistres commence en 2001. Cependant, pour les produits lancés après 2001, l'historique des données de sinistres commence avec l'année inaugurale de chaque produit.

les hypothèses sur les sinistres sont les suivantes :

- Les sinistres payés sont bruts de réassurance
- Les frais de gestion des sinistres ne sont pas inclus dans les sinistres payés.
- Les subrogations sont intégrées dans les sinistres payés.

Contrairement au risque de primes, l'inflation n'est pas pris en compte.

Modélisation

1. *Vue de la durée de vie-Bootstrap*

Un DFM doit être sélectionné pour le processus Bootstrap. La sélection dépend de la taille des provisions pour sinistres en suspens. Afin d'estimer la volatilité du portefeuille, l'utilisation d'exclusions de facteurs de développement n'a été envisagée que dans certaines circonstances, pour réduire ou augmenter les paramètres de volatilité afin qu'ils soient conformes au portefeuille.

2. *Choix du modèle Bootstrap*

Le modèle Mack a été l'approche privilégiée. Cependant, une première recommandation du Groupe Generali est d'utiliser le modèle ODP. Mais une condition primordiale pour l'application de ce modèle est la nécessité que tous les valeurs incrémentales du triangles soient positives, sinon les valeurs incrémentales négatives ne sont pas pris en compte. De même, les facteurs de développement < 1 ne sont pas pris en compte dans les projections basées sur le modèle ODP.

3. *Analyse des résidus*

Une analyse appropriée des résidus de Mack est effectuée pour vérifier la validité des hypothèses de l'échelle de chaîne et pour identifier les valeurs aberrantes dans le triangle des ratios de liaison

4. *Mise à l'échelle*

Il existe une exigence naturelle pour aligner la moyenne des scénarios simulés dans le bootstrap sur l'UBEL. ResQ propose plusieurs méthodes :

L'échelonnement **additif**, recommandé par le groupe, est utilisé dans les situations suivantes :

- Lorsque les réserves obtenues par le DFM sont supérieures à l'UBEL, l'échelonnement multiplicatif n'étant plus adapté.
- Pour les années les plus anciennes de certains portefeuilles, où le volume de réserve DFM est proche de 0, la volatilité relative peut être extrêmement élevée, ce qui fait échouer l'échelonnement multiplicatif.

Néanmoins un échelonnement **multiplicatif** est utilisé lorsque :

- Pour la dernière année, qui est moins stable.
- Pour les années de survenance les plus récentes afin de tenir compte de l'évolution de la longue queue de développement ou de conserver une approche conservatrice lorsque la volatilité absolue ne semble pas suffisante.

5. **Vue d'ensemble sur un an - Re-reserving**

Alors que le risque d'évolution des sinistres sur un horizon de vie pour la plupart des portefeuilles de Generali Vie repose sur la technologie du bootstrap, le calcul

du risque de réserves sur un an, tel qu'exige Solvabilité II, suit une approche de "Re-reserving". Basée sur la distribution stochastique de l'évolution future des sinistres contenue dans le bootstrap, la ré-reserving est basé sur le principe de l'application de la même méthodologie de provisionnement que celle utilisée dans l'exercice de provisionnement actuel à la nouvelle expérience de perte disponible après un an.

Résultats par portefeuille

RESQ effectue 50 000 simulations et une graine est fixée pour homogénéiser les simulations.

1. $COLL_F M_{>300} + 20 - 300$

Tout comme le risque de primes, l'année 2020 est majoritairement exclu en raison de l'effet Covid-19. De plus . Tous les facteurs de développement entre 2001 et 2007, et le premier facteur de développement de 2016 sont exclus car ils ne sont pas considérés comme représentatifs du profil actuel des réserves dans le cas ce portefeuille

Accident Year	(1) 12-24	(2) 24-36	(3) 36-48	(4) 48-60	(5) 60-72	(6) 72-84	(7) 84-96	(8) 96-108	(9) 108-120	(10) 120-132	(11) 132-144	(12) 144-156	(13) 156-168	(14) 168-180	(15) 180-192	(16) 192-204	(17) 204-216	(18) 216-228	(19) 228-240	(20) 240-252	(21) 252-18	
2001	4.81427	4.80318	4.80884	4.80884	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2002	4.80920	4.81133	4.80027	4.80001	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2003	4.81140	4.81181	4.80043	4.80000	4.80001	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2004	4.80815	4.80894	4.80333	4.80001	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2005	4.80209	4.80244	4.80004	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2006	4.80102	4.81122	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2007	4.80884	4.80831	4.80129	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000	4.80000
2008	1.47149	1.51163	0.99002	1.00003	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2009	1.47179	1.50930	1.00006	1.00005	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2010	1.43482	1.50956	1.00025	1.00006	1.00001	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2011	1.44805	1.50818	1.00032	1.00004	1.00001	1.00001	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2012	1.44107	1.50576	1.00029	1.00003	1.00004	1.00001	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2013	1.45074	1.50812	1.00013	1.00009	1.00003	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2014	1.51427	1.50557	1.00005	1.00005	1.00002	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2015	1.49389	1.51045	1.00003	1.00005	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2016	4.80824	4.80956	1.00020	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2017	1.52235	1.50882	1.00042	1.00002	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2018	1.43323	1.51083	1.00003	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2019	1.45049	1.50872	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2020	4.80811																					
2021																						
Average Factors																						
1: Volume - 1	1.45049	1.50872	1.00003	1.00002	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2: Volume - 2	1.44218	1.50973	1.00003	1.00002	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
3: Volume - 3	1.44950	1.50880	1.00042	1.00002	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
4: Volume - 4	1.44843	1.50888	1.00047	1.00003	1.00001	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
5: Volume - 5	1.47322	1.50913	1.00040	1.00004	1.00002	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
6: Volume - all	1.46404	1.50822	1.00019	1.00004	1.00002	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
7: Vol = (3) - all	1.46430	1.50839	1.00029	1.00004	1.00002	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
8: Sample - all	1.46470	1.50816	1.00012	1.00004	1.00002	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
9: Lowest - all	1.43233	1.50500	0.99932	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
10: Highest - all	1.52235	1.51183	1.00003	1.00006	1.00004	1.00001	1.00001	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
11: User Entry	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
12: Prior Analysis	1.00000	1.00016	1.00013	1.00004	1.00002	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
Selected Estimate																						
Selected Value	1.45049	1.50872	1.00003	1.00004	1.00002	1.00000	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
Cumulative	1.47467	1.50848	1.00028	1.00007	1.00003	1.00001	1.00001	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000

FIGURE 2.20 – Triangles des facteurs de développements

Development Year	Initial Selection (1)	Include	Exponential Decay (2)	Inverse Power (3)	Power (4)	Weibull (5)	User Entry (6)	Prior Analysis (7)	Selected Estimate Number	Selected Value	Cumulative Value	Cumulative Percentage	Incremental Percentage
(1) 12-24	1,46404	Yes	1,15229	1,50325	1,14467	1,32329	1,00000	1,46404	1	1,46404	1,47647	67,73%	67,73%
(2) 24-36	1,00822	Yes	1,01138	1,00496	1,01057	1,02273	1,00000	1,00816	1	1,00822	1,00849	99,16%	31,43%
(3) 36-48	1,00019	Yes	1,00085	1,00033	1,00082	1,00111	1,00000	1,00013	1	1,00019	1,00026	99,97%	0,82%
(4) 48-60	1,00004	Yes	1,00006	1,00005	1,00006	1,00003	1,00000	1,00004	1	1,00004	1,00007	99,99%	0,02%
(5) 60-72	1,00002	Yes	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00002	1	1,00002	1,00003	100,00%	0,00%
(6) 72-84	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00001	100,00%	0,00%
(7) 84-96	1,00001	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00001	1	1,00001	1,00001	100,00%	0,00%
(8) 96-108	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(9) 108-120	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(10) 120-132	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(11) 132-144	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(12) 144-156	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(13) 156-168	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(14) 168-180	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(15) 180-192	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(16) 192-204	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(17) 204-216	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(18) 216-228	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(19) 228-240	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
(20) 240-252	1,00000	No	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
252 - Ult	1,00000		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%
Fit			OK	OK	OK	OK							
A			2,03714	0,50325	5,68034	1,40933							
B			-2,59351	-6,66563	0,07779	1,43339							
C				0,00000									
R-squared %			92,74%	98,96%	93,08%	94,05%							
Tail Pattern				X									
(21) 252-264	1,00000		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1	1,00000	1,00000	100,00%	0,00%

FIGURE 2.21 – Résumé et distribution de loi

Au regard du critère du R^2 , il convient de choisir la loi qui a le R^2 le plus élevé. La suite du calibrage impose de déterminer entre le modèle de Mack et celui de l'ODP celui qui correspond le mieux à nos données. Une comparaison des résultats des deux modèles est donnée dans le tableau suivant :

Model	OY Pre. Err. %	OY SCR
Mack	5,6	26
ODP	4,1	21

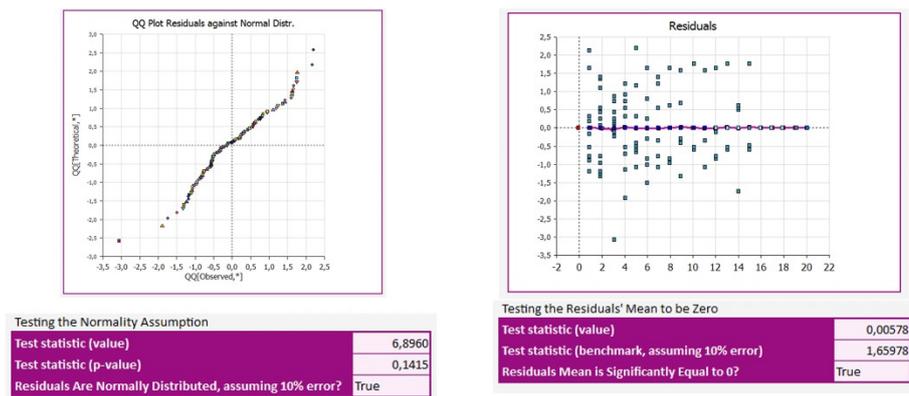
FIGURE 2.22 – Résultats modèles

La différence entre les deux modèles n'étant pas très significative, le modèle de Mack est retenu comme le recommande la méthodologie de l'entreprise.

En effet le choix du modèle ODP n'est pas possible si le triangle contient des valeurs négatives (valeurs résultant d'une surestimation des réserves prévues sur les années précédentes). Pour tenir compte de ces paiements incrémentaux négatifs, il est nécessaire d'adopter le modèle de Mack, car toutes les données du triangle d'écoulement, tant positives que négatives, sont utilisées. Les deux modèles ont un fondement statistique - alors que le modèle ODP est basé sur la théorie du GLM (Generalized Linear Model), le modèle de Mack fournit la base pour le calcul des facteurs de l'échelle de la chaîne en tant que moyenne pondérée par le volume des ratios des liens individuels.

Par la suite, l'analyse des résidus est à effectuer. Pour se faire, les hypothèses d'une moyenne nulle et d'une distribution normale des résidus avec une erreur de 10% sont testées . Il en ressort que les hypothèses ne sont pas rejetées.

Cette analyse est présentée par les figures suivantes :



(a) Test de normalité des résidus (b) Test de significativité des résidus

FIGURE 2.23 – Tests statistiques

Les tests de sensibilité pour la distribution de l'erreur de processus donnent les résultats suivants :

Process Variance	Lifetime View SCR	SCR to Basic %	One-Year View SCR	SCR to Basic %
Resampled	26	0,0%	26	0,0%
Normal	28	8,7%	28	9,7%
Log-Normal	29	10,4%	29	11,5%
Gamma	29	9,0%	28	9,7%

FIGURE 2.24 – Résultats tests de sensibilités

Puisque les tests statistiques rejettent l'hypothèse selon laquelle les résidus ont une distribution paramétrique, la méthode du ré-échantillonnage est sélectionnée.

une fois les tests de sensibilités effectués, la méthode pour l'échelonnement doit être déterminée. Ce choix est porté sur une mise à l'échelle additive pour les années allant jusqu'à 2019. Il s'explique par le fait que la volatilité absolue du bootstrap est toujours représentative des réserves mises à l'échelle. Pour l'année 2020, une mise à l'échelle multiplicative est appliquée, ce qui maintient la volatilité relative à la moyenne des réserves à un niveau stable.

Accident Year	Target Reserve	Scaling Method
2001	0	Additive
2002	0	Additive
2003	0	Additive
2004	0	Additive
2005	0	Additive
2006	0	Additive
2007	0	Additive
2008	0	Additive
2009	0	Additive
2010	0	Additive
2011	0	Additive
2012	0	Additive
2013	0	Additive
2014	0	Additive
2015	0	Additive
2016	60	Additive
2017	1	Additive
2018	6	Additive
2019	264	Additive
2020	4 767	Additive
2021	190 247	Multiplicative

FIGURE 2.25 – Résultats de mise à l'échelle

Afin de quantifier la stabilité de l'approche bootstrap et surtout juger de sa pertinence, une analyse du tableau suivant, montrant le SCR à l'ultime pour un nombre croissant de simulations, est optimale :

Number of Simulations	5 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
MY SCR	26	26	26	26	26	26	26
MY SCR to Basic %	-2,2%	-0,5%	0,5%	0,0%	-0,5%	-0,1%	0,0%

FIGURE 2.26 – Résultats SCR à l'ultime

Une fois la méthode du bootstrap achevée, la méthode de Re-reserving ou à vision horizon un an est étudiée.

Comme pour la méthode du bootstrap, les méthodes de mise à l'échelle sont aussi appliquées.

La mise à l'échelle additive est choisie par recommandation de l'entreprise pour préserver la volatilité absolue du résultat de l'évolution des sinistres.

Pour quantifier la stabilité de l'approche du Re-reserving, le tableau suivant montre le SCR à un an pour un nombre croissant de simulations :

Number of Simulations	5 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
OY SCR	26	26	26	26	26	26	26
OY SCR to Basic %	-0,8%	-0,2%	1,2%	0,0%	0,4%	0,5%	0,0%

FIGURE 2.27 – Résultats SCR à un an

Au final, comme le montre le modèle de développement de la meilleure estimation et la diminution rapide de la volatilité incrémentielle en termes de valeurs alpha de Mack, le développement à court terme de l'activité explique bien la faible réduction du risque lors du passage d'une vision pluriannuelle à une vision à un an.

Modélisons le risque de réserves sur un portefeuille individuel.

2. INDIV_FM_SANTE DP/DDP

Les années antérieures à 2009 sont exclues car une partie du produit n'était pas comptabilisée dans les réserves. Elles ne sont donc pas considérées comme représentatives du profil de réserve actuel. Concernant l'année de développement 2021, les facteurs de développement sur 2020 sont exclus en raison de la réforme 100% santé. Le triangle des facteurs de développement est le suivant :

Accident Year	(1) 12-24	(2) 24-36	(3) 36-48	(4) 48-60	(5) 60-72	(6) 72-84	(7) 84-96	(8) 96-108	(9) 108-120	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	252 - LH	
2001	1,52182	1,00121	1,00009	0,99992	1,00000	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2002	1,08142	1,00000	1,00004	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2003	1,10418	1,00005	1,00002	0,99976	0,99984	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2004	1,06130	0,99918	0,99916	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	0,99995	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2005	1,05152	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2006	1,02478	0,99984	1,00011	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2007	1,06094	1,00142	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2008	1,05417	0,99996	0,99999	1,00000	1,00001	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2009	1,12468	1,00298	1,00144	1,00029	1,00022	1,00014	1,00004	1,00004	1,00003	1,00005	1,00001	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2010	1,14178	1,00070	1,00113	1,00057	1,00024	1,00007	1,00010	1,00010	1,00002	1,00005	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2011	1,14977	1,00501	1,00236	1,00048	1,00073	1,00076	1,00072	1,00072	1,00070	1,00062	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2012	1,14884	1,00175	1,00066	1,00022	1,00013	1,00016	1,00014	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2013	1,14015	1,00490	1,00003	1,00022	1,00006	1,00003	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2014	1,14320	1,00316	1,00104	1,00047	1,00012	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2015	1,14481	1,00507	1,00106	1,00052	1,00002	1,00012	1,00007	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2016	1,15132	1,00324	1,00128	1,00012	1,00007	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2017	1,15281	1,00315	1,00041	1,00022	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2018	1,15170	1,00296	1,00090	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2019	1,17018	0,99894	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2020	0,94488	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2021																						
Average Factors																						
1. Volume - 1	1,17018	1,00296	1,00090	1,00022	1,00007	1,00012	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2. Volume - 2	1,18098	1,00336	1,00096	1,00071	1,00054	1,00036	1,00000	1,00001	1,00001	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
3. Volume - 3	1,15865	1,00332	1,00088	1,00031	1,00007	1,00005	1,00005	1,00004	1,00002	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
4. Volume - 4	1,15872	1,00285	1,00085	1,00036	1,00007	1,00008	1,00007	1,00002	1,00000	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
5. Volume - 5	1,15169	1,00367	1,00096	1,00032	1,00010	1,00007	1,00003	1,00003	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
6. Volume - all	1,14705	1,00424	1,00109	1,00036	1,00019	1,00010	1,00007	1,00003	1,00002	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
7. Vol = 0,3 - all	1,14854	1,00410	1,00102	1,00035	1,00013	1,00010	1,00006	1,00003	1,00003	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
8. Sample - all	1,14874	1,00415	1,00106	1,00035	1,00014	1,00010	1,00007	1,00003	1,00003	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
9. Lowest - all	1,12468	1,00315	1,00033	1,00012	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
10. Highest - all	1,17018	1,00370	1,00236	1,00057	1,00024	1,00016	1,00014	1,00010	1,00005	1,00001	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
11. User Entry	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
12. Prior Analysis	1,14835	1,00424	1,00110	1,00038	1,00015	1,00010	1,00006	1,00004	1,00000	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Selected Estimate																						
Selected Value	1,14531	1,00424	1,00109	1,00036	1,00019	1,00010	1,00007	1,00003	1,00002	1,00000	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
Cumulative	1,15232	1,00309	1,00184	1,00075	1,00058	1,00024	1,00014	1,00007	1,00004	1,00001	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

FIGURE 2.28 – Triangles des facteurs de développements

Dans le cadre du choix du modèle bootstrap, une comparaison entre l'ODP et le modèle Mack donne :

Model	OY Pre. Err. %	OY SCR
Mack	5,3	2
ODP	5,7	2

FIGURE 2.29 – Résultats modèles

Le modèle de Mack est alors choisi⁶. Un test de X^2 -Goodness-of-Fit montre que l'hypothèse d'une distribution normale des résidus doit être rejetée avec un niveau de confiance élevé, mais que l'hypothèse d'une moyenne nulle est acceptée. Ceci se justifie par les figures suivantes :

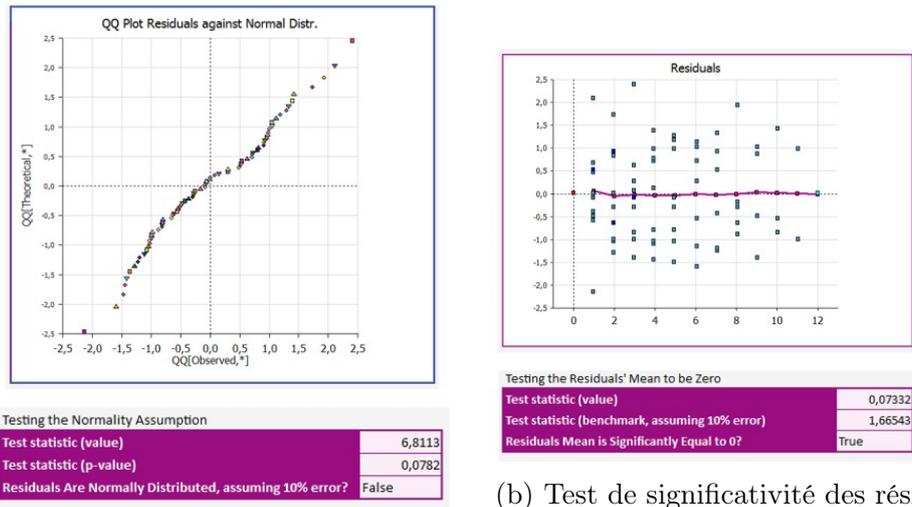


FIGURE 2.30 – Tests statistiques des résidus

Pour le Choix des distributions pour les pseudo-données et les prévisions, Les tests de sensibilité pour la distribution de l'erreur de processus donnent les résultats suivants :

Process Variance	Lifetime View SCR	SCR to Basic %	One-Year View SCR	SCR to Basic %
Resampled	2	0,0%	2	0,0%
Normal	2	2,1%	2	3,9%
Log-Normal	2	2,9%	2	4,9%
Gamma	2	5,7%	2	6,1%

FIGURE 2.31 – Résultats tests de sensibilités

L'impact de la distribution de l'erreur de processus est faible en termes absolus pour les deux SCR. Le ré-échantillonnage est sélectionné pour l'erreur de paramètre et l'erreur de processus⁷.

Ensuite L'échelonnement additif est conservé pour toutes les années, car la volatilité absolue du bootstrap est considérée comme représentative des réserves échelonnées.

6. sur recommandation de l'entreprise

7. Comme recommandé par l'entreprise dans ce cas

Accident Year	Target Reserve	Scaling Method
2001	0	Additive
2002	0	Additive
2003	0	Additive
2004	0	Additive
2005	0	Additive
2006	0	Additive
2007	234	Additive
2008	0	Additive
2009	2	Additive
2010	10	Additive
2011	0	Additive
2012	0	Additive
2013	44	Additive
2014	70	Additive
2015	0	Additive
2016	0	Additive
2017	0	Additive
2018	0	Additive
2019	155	Additive
2020	1 473	Additive
2021	13 038	Additive

FIGURE 2.32 – Résultats de mise à l'échelle

Enfin afin de quantifier la stabilité de l'approche bootstrap, le tableau suivant montre le SCR à l'ultime pour un nombre croissant de simulations :

Number of Simulations	5 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
MY SCR	2	2	2	2	2	2	2
MY SCR to Basic %	3,6%	-0,1%	0,7%	-0,1%	3,3%	1,5%	0,0%

FIGURE 2.33 – Résultats SCR à l'ultime

Passons à l'approche du Re-reserving, une mise à l'échelle une fois de plus additive est choisie pour préserver la volatilité absolue du résultat de l'évolution des sinistres. Afin de quantifier la stabilité de cette approche, le tableau suivant montre le SCR à un an pour un nombre croissant de simulations :

Number of Simulations	5 000	10 000	15 000	20 000	30 000	40 000	50 000
OY SCR	2	2	2	2	2	2	2
OY SCR to Basic %	3,3%	0,5%	0,7%	0,1%	1,8%	1,4%	0,0%

FIGURE 2.34 – Résultats SCR à un an

Comme le portefeuille précédent, le développement à court terme de l'activité explique bien la faible réduction du risque lors du passage d'une vision pluriannuelle à une vision à un an.

Un résumé des résultats de calibrage du risque de réserves sur ce portefeuille est donné par le tableau ci-dessous :

UBEL	<u>Life time</u> view prediction error %	MY SCR	One Year view prediction error %	OY SCR	OY SCR on UBEL
15	5,3	2	5,3	2	13,0%

FIGURE 2.35 – Résultat finale Risque de réserves

Les résultats du calibrage du risque de réserves des portefeuilles non évoqués ci-dessus seront mis en annexe.

2.3 Description du modèle F_PREV sous Prophet

Comme énoncé dans la première partie, ce modèle de prévoyance permet de modéliser le portefeuille des garanties décès, frais médicaux et Morbidité / Invalidité commercialisé par Generali Vie. De plus il permet de modéliser à la fois les contrats de prévoyance individuelles et collectives.

Le modèle F_PREV a une structure de temporaire décès, dont le résultat technique est modélisé sous forme de ratio sinistres sur primes, appelé Loss Ratio.

2.3.1 Variables du modèle

Les variables du modèle sont renseignées dans un Model Point Files. Un Model Point Files peut être décrit comme une photographie du stock de contrats d'une entreprise à un instant t dans le temps.

Ces variables sont les suivantes :

1. $SPCODE$: Il correspond a un code générique attribué aux différents produits ;
2. AGE_AT_ENTRY : Elle correspond a l'âge de l'assuré à la souscription ;
3. $DURATIONIF_M$: qui correspond à l'ancienneté de la police. Cette ancienneté s'exprime en mois ;
4. $IC_RATE_PC_MP$: qui correspond au taux de commission d'acquisition. Il est exprimé en pourcentage de la prime ;
5. $RC_RATE_PC_MP$: qui correspond au taux de commission annuelle. Il est exprimé en pourcentage de la prime ;
6. POL_TERM_Y : cette variable correspond au terme contractuel ;
7. $INIT_POLS_IF$: : cette variable correspond au nombre de police ;
8. $ANNUAL_PREM$: qui correspond à la prime annuelle par police

A ces variables s'ajoutent plusieurs autres variables qui ne pourront pas être explicitées dans cette étude pour cause de confidentialité.

2.3.2 Évolution des engagements de l'assureur

Provisions Mathématiques

Parmi les trois garanties du portefeuille F_PREV , seule la garantie Morbidité/ Invalidité fait l'objet d'une modélisation des provisions mathématiques. Le montant de ces provisions est calculé grâce à un coefficient appliqué aux primes.

Participations aux bénéfices

Elle est modélisée en pourcentage des primes. Le calcul du taux de Participation au Bénéfice sur primes est calculé par l'inventaire collectif. Il correspond au montant de PB versé rapporté au montant des primes. Les hypothèses de taux de PB sur primes ont été considérées constantes tout au long de la projection. Le montant de la participation est fonction du taux de participation et du taux de PB sur prime. La participation aux bénéfices apparaît dans le résultat avant impôt.

2.3.3 Compte de résultat

Résultat technique

Il est calculé à partir de la somme des primes et de la participation aux bénéfices à laquelle les prestations sont soustraites.

Résultat financier

Les charges financières sont nulles. Le résultat financier est obtenu positivement par calcul des produits financiers. Ceux-ci sont calculés par application du taux de rendement financiers aux provisions mathématiques ajustées par les flux (primes diminuées des sinistres et des frais).

Concernant les garanties décès et frais médicaux, le taux de rendement est égal au taux de rendement des actifs. Pour la garantie incapacité / invalidité, le taux de rendement est égal au taux de rendement des actifs, net du taux technique.

Résultat administratif

Les produits administratifs sont nuls. Le résultat administratif est obtenu négativement par calcul des charges administratives. Les frais et les commissions sont exprimés en pourcentage des primes sur le modèle prévoyance.

Résultat total

Le résultat brut est la somme du résultat technique, du résultat administratif et du résultat financier. Le résultat net est la somme du résultat brut et du coût de la réassurance

2.3.4 Prophet

Présentation de l'outil

Prophet est un outil de projection de flux d'assurances. Il se subdivise en deux modèles :

- un premier modèle appelé Prophet Passif qui permet d'effectuer la modélisation déterministe.
- une second modèle nommée Prophet ALS qui permet d'effectuer la modélisation stochastique.

Il s'inscrit dans le processus de détermination du SCR, dans le cas de notre étude sur le périmètre des risques VIE, du modèle interne de Générali France. De plus, Prophet permet de projeter l'ensemble des flux de l'entreprise sur un horizon de 60 ans suivant différents scénarios économiques. Prophet permet donc de :

- Calculer les capitaux requis de solvabilité II ;
- Calculer les Fair-Values en IRFS 17⁸
- Calculer les valeurs MCEV⁹ NBVA¹⁰
- Calculer les allocations (SAA¹¹)

Notons aussi qu'il existe trois approches dans le processus Prophet : **L'approche interne, l'approche externe et l'approche par Flexing**. L'approche par flexing sera la seule approche qui sera détaillée car Generali a opté pour celle-ci dans le cadre de ses projections sous Prophet.

L'approche par Flexing :

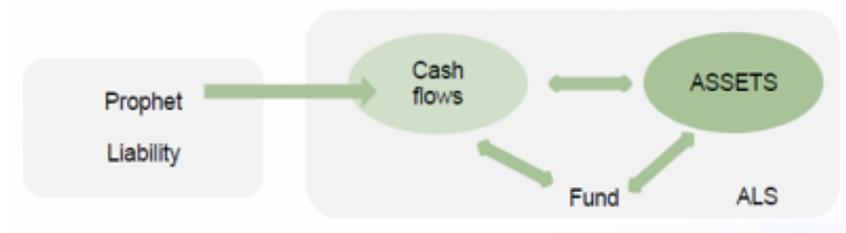


FIGURE 2.36 – Approche par flexing

Le flexing est une technique introduite pour accélérer les calculs. De loin la méthode la plus rapide utilisée par tous les grands acteurs de la place, le flexing consiste à projeter les engagements de l'assureur (passifs) dans un modèle déterministe différent du modèle

8. IFRS 17 est une norme internationale d'information financière publiée par l'International Accounting Standards Board en mai 2017. Elle remplacera IFRS 4 sur la comptabilisation des contrats d'assurance et entrera en vigueur le 1er janvier 2023.

9. Markert Consistency Embedded Value : Elle représente une mesure de la valeur économique des activités de l'assurance sur la base d'une évaluation en juste valeur de l'actif et du passif

10. New Business Values Assets : Elle fait référence aux affaires nouvelles de l'entreprise.

11. Strategie d'allocation des actifs

de projection des actifs. Les principaux résultats de ce modèle déterministe sont ensuite intégrés dans le modèle ALM afin de prendre en compte les interactions actif/passif. Le principe du flexing est le suivant :

- Pour chaque groupe homogène de passif (TMG ¹², clauses de PB, réseau de commercialisation), une table de cash-flow est générée par un modèle classique de projection des passifs (Prophet passif) ;
- Ces cash-flows sont simulés sans PB et sont ajustés (“flexés”) dans ALS avec des ratios pour prendre en compte la participation aux bénéficiaires et les sorties calculés dans ALS ;
- La justesse des résultats est assurée par l’emploi d’une “pro-ratisation” adéquate (cette méthode marche aussi pour des produits de prévoyance ou des rentes ; en revanche, pour des produits plus compliqués, cette méthode peut être mise en défaut)

Fonctionnement de l’outil Prophet - Prophet Passif

L’environnement de travail est constitué d’un ensemble d’objets essentiels à la projection des flux.

- Les librairies
Elles contiennent les variables, les indicateurs et les définitions des formules de projections ;
- Les produits
Ils contiennent les différents calculs spécifiés par les entités ;
- Les accumulations
Elles permettent d’agréger les résultats de différents produits ;
- Les structures
Elles permettent de lister les produits et les accumulations à lancer ;
- Les tables
Elles contiennent les données/hypothèses utilisées dans les calculs ;
- Model Point Files (MPF)
Ils contiennent les données des polices d’assurance ;
- Les Run settings
Elles permettent de définir les tables à utiliser et la structure à faire tourner.

La structure de Prophet est donnée par la figure suivantes :

12. Taux Minimum Garanti

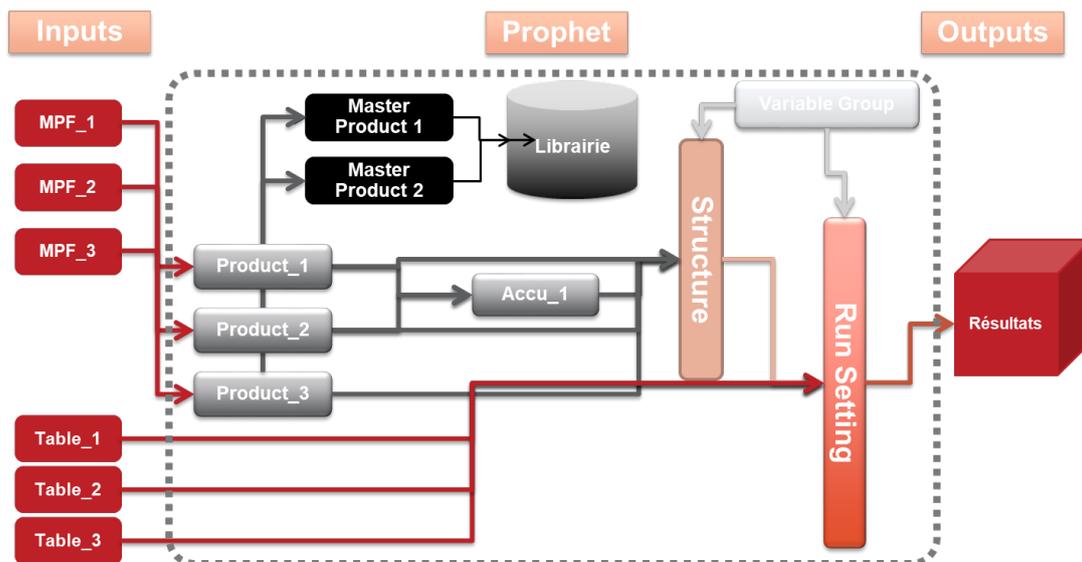


FIGURE 2.37 – Structure de Prophet

Les résultats obtenus sont ensuite utilisés pour les modélisations sous Prophet ALS.

Mécanismes de modélisation de Prophet ALS

La modélisation sous Prophet ALS tient compte principalement des interactions actifs-passifs (document en annexe). Elle se base sur la revalorisation de la participation au bénéfice, les rachats dynamiques et les valorisation des actifs. Cette modélisation est effectué en utilisant une approche de *flexing*.

Par la suite, les données de frais de santé ne seront plus modélisées dans Prophet. Ce changement représente l'objet central de cette étude. En effet le calibrage passera directement du calibrage sous RESQ et IGLOO au calibrage sous le Kernel.

Cependant dans le cas actuel du calibrage, Prophet demeure une étape essentielle dans le calibrage du modèle F_PREV dans le cas du périmètre des risques vie étant donné que ces outputs représentent les inputs du Kernel. Cependant, hormis ces inputs provenant de Prophet, le Kernel a aussi besoin des différents polynômes ajustés sur le modèle concerné.

2.4 Fonctions Polynomiales

2.4.1 Présentation de la notion de Fonctions Polynomiales

Les Fonctions Polynomiales ou encore LPF (Liabilities Proxy Functions) sont des fonctions de facteurs de risques nécessaires au calibrage d'un portefeuille. Ces fonctions sont exprimées en fonction des risques de marché, des risques de souscription Vie et des facteurs d'ajustements stochastiques de la volatilité. Ils permettent de déterminer les variables qui expliquent au mieux le Best Estimate. L'équation est donnée comme suite :

$$LPF = BEL_1 = f(BEL_0, [LifeUWriskfactors], [FCriskfactors][SVAfactor]) \quad (2.17)$$

où

- BEL_1 correspond à la valeur choquée des engagements dans le cas des risques VIE.
- $f(.)$, une fonction polynomiale utilisée pour approximer la valeur choquée des engagements de Vie,
- BEL_0 qui représente la valeur des engagements à la date 0.
- le vecteur [Life UW risk factors] est le vecteur de la valeur des facteurs de risque de souscription Vie ;
- le vecteur [Financial Credit risk factors] est le vecteur de la valeur des facteurs de risque financier et de crédit ;
- le vecteur [SVA factor] est la variation de l'ajustement de volatilité par rapport à son cas de base (ajustement de volatilité stochastique - ajustement de volatilité déterministe) ou encore dVA .

Les facteurs de risque de souscription Vie restent les mêmes que ceux définis dans la partie 1 de l'étude. Concernant les facteurs de risque financier et de crédit, ils sont définis comme suite :

- Risque de taux d'intérêt PC1, PC2 et PC3 où les "PC1,PC2,PC3" sont les composantes principales de la courbe de rendement de la monnaie nationale dans le cadre du scénario de stress. De plus ils correspondent au niveau de la pente et de la courbure de la courbe des taux ;
- Risque de l'immobilier qui se matérialise dans le scénario de stress (Property) . ;
- Risque lié aux actions qui se matérialise dans le scénario de stress (Equity). ;
- Risque de crédit qui représente l'écart de crédit et le risque de défaut dans le cadre du scénario de stress ;
- Volatilité des actions (options implicites) ($EQIV$) ;
- Volatilité des taux d'intérêt (swaption implicite) ($IRIV$) .

Pour le facteur d'ajustement de volatilité ou facteur dVA , il est utilisé comme régresseur pour définir les polynômes avec un changement de VA ¹³ par rapport à sa valeur de base ($dVA = VA$ stochastique - VA déterministe) et dépend du niveau des spreads de crédit. Il a un impact direct sur l'évaluation du passif et elle est modélisée dans les résultats GSE¹⁴.

13. Volatility adjustment

14. Générateurs de scénarios économiques

2.4.2 Fitting des fonctions polynomiales

Présentation des différentes lignes de business

Il est important de noter que plusieurs LOB sont décrites ou impactées par ces polynômes :

1. **Saving** : Contient les activités traditionnelles d'épargne. Peut également inclure la composante traditionnelle des produits hybrides, généralement sans interaction dynamique entre la composante traditionnelle et la composante en unités de compte.
2. **Protection** : ou encore la LoB *Prévoyance*, elle contient des produits de protection, typiquement affectés par une composante de risque démographique/biométrique.
3. **Retraite traditionnelle (PENTR)** : Contient des produits ou des composants de retraite, dont les caractéristiques sont généralement liées à l'activité dite traditionnelle.
4. **Retraite en UC**¹⁵ (**PENUN**) : Contient des produits ou des composants de retraite, dont les caractéristiques sont généralement liées à des activités en unité de compte.
5. **Épargne en UC (UL)** : Contient les activités en unités de compte d'épargne.
6. **Rentes non vie (NLA)** : Contient le secteur des rentes non-vie.

Le fitting des polynômes consiste à sélectionner les facteurs de risques pouvant impacter le BE des différentes LoB ainsi qu'à déterminer les coefficients permettant d'être le plus précis possible.

Les différentes approches pour la projection du BE

Generali a opté, pour le calcul du SCR lié aux risques auxquels elle est soumise, pour l'approche suivante. Son SCR est calculé en modèle interne.

$$SCR = FP_0 - q_{0,5\%}(D(1)FP_1) \quad (2.18)$$

Où $D(1)$ le facteur d'actualisation d'un an et FP_1 correspond aux fonds propres projetés à un an et la formule est la suivante :

$$FP_1 = Actifs_1 - BE_1 - OBSI_1 \quad (2.19)$$

avec :

- $Actifs_1$ qui représente les actifs projetés à un an ou actifs stressés ;
- BE_1 qui représente le BE projeté à un an ou actifs stressés ;
- $OBSI_1$ les valeurs qui ne représentent ni l'actif ni le BE.

Notre objectif est donc de projeter la valeur du BE en utilisant l'approche la plus optimale possible. Cependant une difficulté réside dans cette projection du fait que le BE soit calculé par son estimateur de Monte Carlo comme l'indique la formule ci dessous :

15. Unité de compte

$$BE_{MC} = \frac{1}{N} \sum_1^N \left[\sum_{t>1} \frac{CF_{t,i}}{(1+r_t)^t} | Y_{t,i} \right] \quad (2.20)$$

Il nécessite donc la réalisation d'un grand nombre de simulations risque neutre.

Cette section permettra de présenter les différentes techniques permettant de projeter le Best Estimate.

Simulations dans les simulations

Il est primordial de projeter toute la distribution du BE stressé qui représente environ 100.000 scénarios de stress monde réel. A chacune de ces simulations est appliquée un niveau de choc et permet de calculer le BE stressé. Cependant ce BE stressé est le résultat de 1000 simulations de Monte Carlo. Au final la projection, la valeur du BE projeté à un an sera le résultat de 100.000 * 1000 simulations. Ce qui se révèle être assez énorme en terme de temps de calcul. Cette approche est schématisée comme suite :

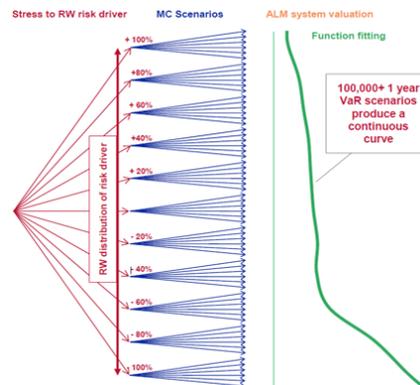


FIGURE 2.38 – Simulations dans les simulations

Curve fitting

Cette méthode se fait sur la base du choix d'un nombre restreint de scénarios de stress monde réel. Ce choix est fait par jugement d'experts. A la suite de ce choix, 1000 simulations de Monte Carlo sont réalisés pour le calcul du Best Estimate. Ces points de BE obtenus sont ensuite interpolés pour obtenir une fonction paramétrique du BE et pouvoir évaluer la distribution complète du BE sur un ensemble plus grand de scénario de stress. Cette méthode est résumée à travers la figure suivante :

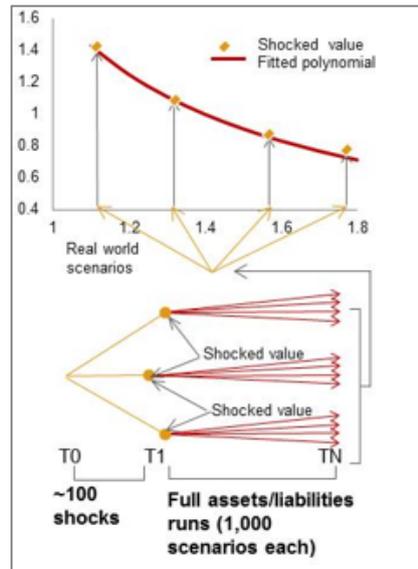


FIGURE 2.39 – curve fitting

Monte Carlo des moindres carrés ou LMSC (Least Squares Monte-Carlo)

Dans chaque scénario de monde réel (25.000 simulations) , le Best Estimate stressé est calculé par la moyenne de deux simulations de Monte Carlo. Ensuite à partir de ces BE approchés, une régression est effectuée pour obtenir une fonction paramétrique du BE en fonction des facteurs de risques. Cette fonction paramétrique sera ensuite appliquée à un plus grand nombre de scénarios choqués pour obtenir la distribution complète du BE stressé.

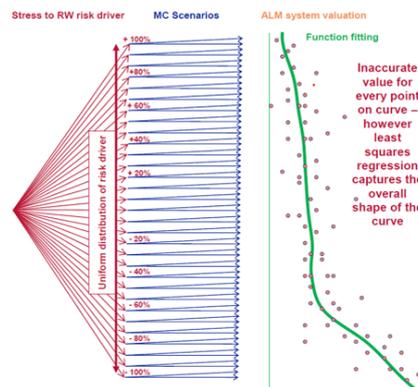


FIGURE 2.40 – Méthode LMSC

L'approche simulations dans simulations se révèle être très coûteuse en temps de calcul et l'approche curve fitting, étant basée principalement sur des jugements d'expert, se révèle peu fiable. Ainsi la méthode LMSC est donc celle utilisée par Generali vie dans le processus d'ajustement de ces fonctions polynomiales, sera détaillé dans les sections suivantes.

Dans la section suivante, nous ferons un focus sur la méthode LMSC.

Méthode LMSC

Cette méthode consiste à effectuer un grand nombre de simulations stressées du monde réel, chacune de ces simulations stressées servant de base à un petit nombre de simulations (risques neutre ou scénario central). Ces scénarios sont utilisés pour évaluer les actifs et les passifs dans le cadre de chaque scénario stressé. Chaque scénario stressé contient des valeurs simulées pour tous les facteurs de risque du monde réel que la fonction polynôme doit contenir, c'est-à-dire que des contraintes multivariées sont effectuées.

La méthode LMSC peut être appliquée pour créer une fonction de polynôme permettant de refléter la valeur du passif.

Même si cette méthode réduit le nombre d'exécutions (runs) requises par rapport à une méthode de Monte Carlo simple, elle nécessite toujours un nombre significativement plus élevé de projections de modèle à exécuter par rapport aux autres processus d'évaluation au sein du Groupe. Les étapes sont détaillées ci dessous :

i .Création des scénarios d'ajustement :

Cette étape consiste à décider des facteurs de risque à modéliser (risques de marché et risques de souscriptions). Dans le monde réel, la valeur du passif sera fonction d'un très grand nombre de variables. Cependant, pour l'évaluation, il est courant d'appliquer une certaine réduction de la dimension des risques.

Les scénarios d'ajustement sont utilisés pour créer des évaluations approximatives du passif qui seront utilisées pour ajuster la fonction polynomiale à la valeur réelle du passif. Pour construire ces scénarios d'ajustements, on crée un ensemble de scénarios stressés uniformément distribués. Chaque scénario représente un changement aléatoire de la valeur de chacun des facteurs de risque de passif choisis sur un horizon d'un an. Un grand nombre de ces positions stressées sont créées pour obtenir les scénarios d'ajustement stressés. Une fois ces positions d'ajustement stressées créées, le générateur de scénarios économiques neutres au risque est calibré en utilisant les facteurs de risque stressés. Pour chacune des positions d'ajustement, le générateur de scénarios économiques neutres vis-à-vis du risque est exécuté pour produire un petit nombre de scénarios, appelés scénarios d'ajustement centrales.

ii .Évaluation du passif :

Le passif est évalué pour chaque contrainte d'ajustement stressée. L'évaluation du passif est effectuée dans les modèles d'évaluation du passif de Generali. Pour chaque stress d'ajustement, la valeur du passif est déterminée comme la valeur moyenne des scénarios centraux.

iii Régression sur les valeurs du passif pour obtenir la fonction polynomiale :

Un algorithme de régression itérative des moindres carrés est utilisé pour construire une fonction polynomiale du passif qui enregistre la façon dont la valeur du passif réagit aux changements des facteurs de risque sous-jacents.

iv .Validation de la fonction proxy :

Pour valider les fonctions polynomiales, elles sont testées sur un certain nombre de scénarios de validation, générés de manière cohérente avec la définition des facteurs de risque dans les scénarios stressés.

Validation de la fonction polynomiales

Le polynôme final est de la forme

$$BEL_i = \alpha_i + \beta_j * RF_{i,j}^\alpha \quad (2.21)$$

avec

- RF, les différents facteurs de risques sélectionnés pour la LoB_i . Il fait aussi référence à des croisements entre facteurs de risques.
- α le degré d'un risque facteur donné

il faut noter au final que le fitting de la fonction polynôme utilise les informations telles que le BE brut, le BE cédé(réassurance cédée et réassurance nette), les provisions pour garanties plancher brutes ainsi que la valeur nette du marché. Ces informations sont fournies par LoB. De plus plusieurs critères comme le critère d'information AIC¹⁶ ou le critère du R^2 influencent le fitting de la fonction polynôme.

Une fois la meilleure fonction polynôme obtenue, celle-ci servira d'input pour le Kernel.

2.4.3 Fitting de la fonction polynomiale sur la prévoyance

Polynômes retenus sur l'exercice

Dans le cas du portefeuille de prévoyance, la méthode de fitting des polynômes a permis de déterminer les facteurs de risques qui ont un impact significatif sur ce portefeuille. Il faut aussi noter que le portefeuille est scindé en 3 :

- La partie brute : Valeurs des données brutes avant application de la réassurance
- la partie cédée interne : C'est l'application de la réassurance proposée par le groupe sur l'entité de Generali
- La partie cédée externe : C'est l'application de la réassurance proposée par des réassureurs externes

La fonction polynôme retenue est la même pour les trois branches. Elle ne se différencie qu'au niveau de la valeur des intercepts. la fonction est alors donnée par :

$$BEL_i = intercept_i + \beta_1 * X_{PC1} + \beta_2 * X_{PC2} + \beta_3 * X_{PC3} + \beta_4 * X_{Rachat} + \beta_5 * X_{Mortalite} + \beta_6 * X_{Morta_CAT} + \beta_7 * X_{Morbidity} + \beta_8 * X_{Frais} + \beta_9 * X_{Sante} + \beta_{10} * X_{dVA} + \epsilon$$

La section suivante justifiera le choix de ces facteurs de risque pour le portefeuille de prévoyance.

16. Le critère AIC permet de mesurer la qualité d'un modèle statistique

Résultats du fitting de la fonction polynôme sur la prévoyance

Pour les résultats, nous nous intéresserons qu'aux données brutes. Ces résultats donnent la variation entre le BE choqué et le BE central en fonction du quantile retenu.

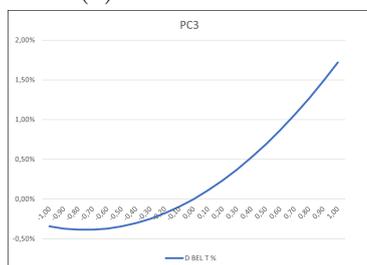
1. PC1, PC2, PC3 et dVA



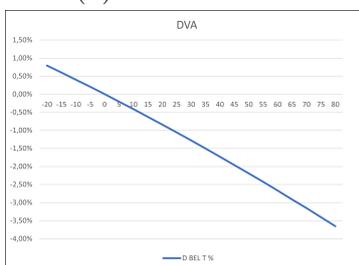
(a) Bel en fonction de PC1



(b) Bel en fonction de PC2



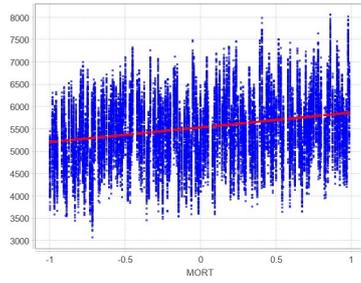
(c) Bel en fonction de PC3



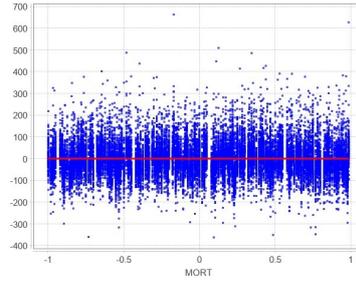
(d) Bel en fonction de dVA

La valeur du BEL varie lorsque la valeur de PC1, PC2 ou PC3 varie. Cela montre l'impact de ces facteurs de risques sur la valeur du BEL. Il en est de même pour le risque facteur dVA. Cependant nous allons concentrer l'interprétation sur les risques de souscription vie.

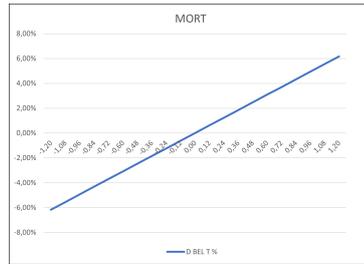
2. Mortalité



(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



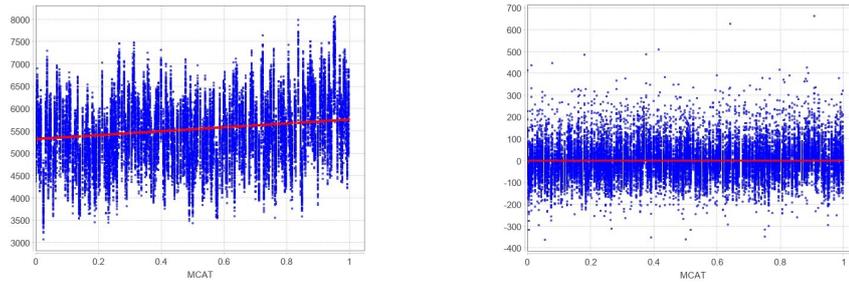
(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

FIGURE 2.42 – BEL en fonction du facteur de risque Mortalité

Le facteur de risque Mortalité a un impact significatif sur le BEL, donc sur le capital de solvabilité requis, comme le montre le graphique (c). Pour rappel, le SCR est égal au BEL stressé moins le BEL central (risque neutre). En effet plus le quantile augmente plus nous tendons vers les évènements extrêmes et donc le SCR croit par la même occasion.

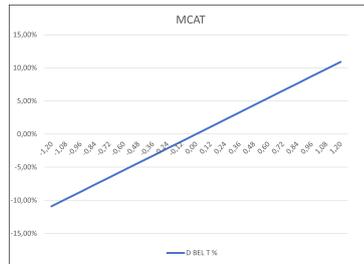
Cet impact se traduit par une augmentation du BEL brut lorsque le risque facteur augmente (graphique (a)). Le graphique (b) montre que les données semblent homoscedastiques, la différence entre la valeur observée et la valeur prédite étant dispersée de manière aléatoire autour de l'axe des x. En outre, les résidus répondent aux exigences de moyenne nulle (ligne rouge) et de symétrie locale.

3. Mortalité CAT



(a) BEL en fonction du quantile

(b) Les résidus

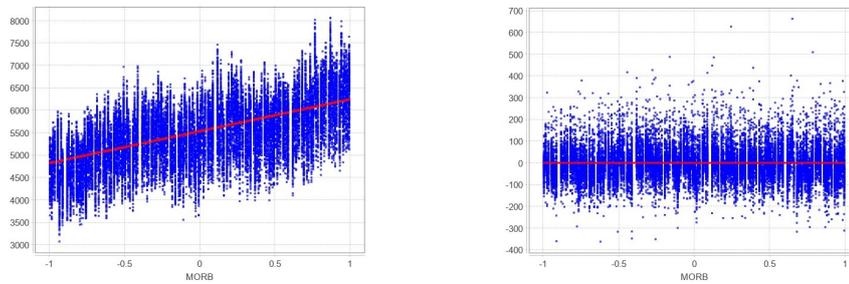


(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

FIGURE 2.43 – BEL en fonction du facteur de risque Mortalité CAT

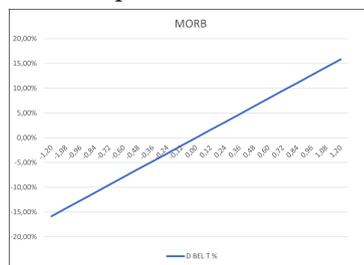
La variation du BEL et du SCR en fonction de la mortalité CAT suit la même tendance que celle en fonction de la mortalité.

4. Morbidité



(a) BEL en fonction du quantile

(b) Les résidus

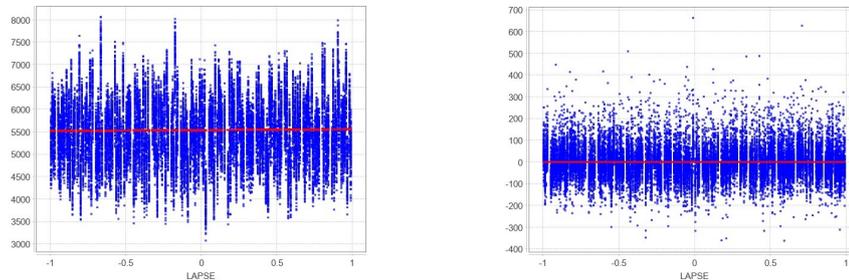


(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

FIGURE 2.44 – BEL en fonction du facteur de risque de Morbidité

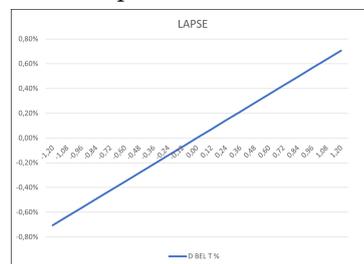
La variation du BEL et du SCR en fonction de la morbidité suivent la même tendance que celle en fonction de la mortalité.

5. Rachats



(a) BEL en fonction du quantile

(b) Les résidus

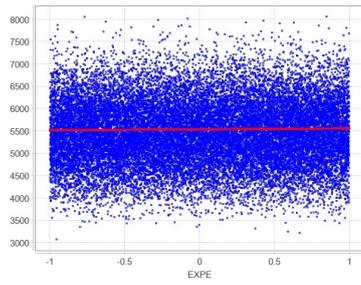


(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

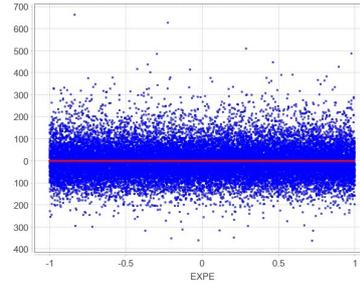
FIGURE 2.45 – BEL en fonction du facteur de risque Rachat

Contrairement aux facteurs de risques précédents, les rachats impactent très légèrement la prévoyance et une augmentation du quantile implique une légère augmentation du SCR. Les résidus restent homoscédastiques et centrés.

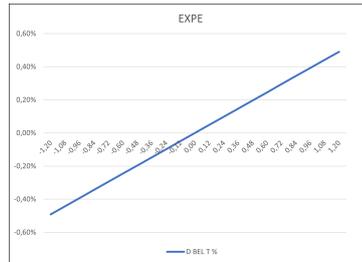
6. Frais



(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus

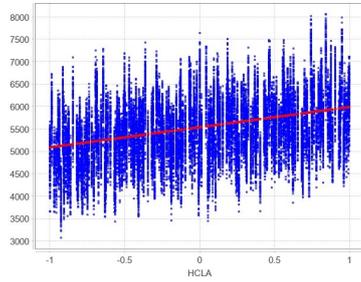


(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

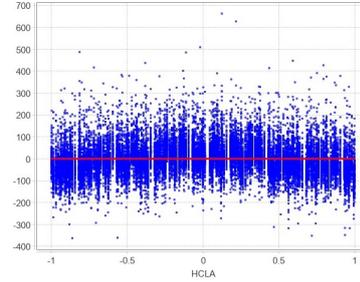
FIGURE 2.46 – BEL en fonction du facteur de risque de Frais

L'impact du facteur de risque de frais reste semblable à celui de la mortalité.

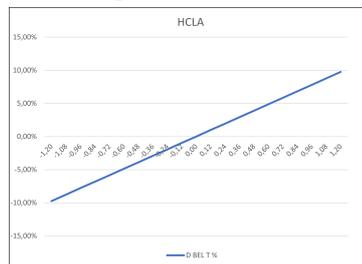
7. Santé



(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



(c) Différence entre BEL stressé et BEL central

FIGURE 2.47 – BEL en fonction du facteur de risque de Santé

L'impact du facteur de risque de Santé reste semblable à celui de la mortalité.

8. Crédit

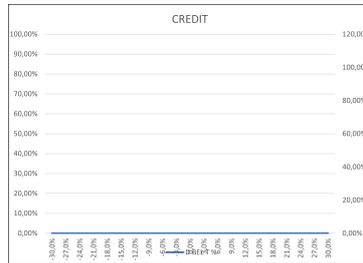


FIGURE 2.48 – Évolution du Bel en fonction du risque facteur Crédit

La figure ci-dessus montre que le risque de crédit n'a pas d'impact sur le BEL dans le cas de la prévoyance.

Au final, le polynôme choisi représente bien le BEL et le SCR dans le cas du portefeuille de prévoyance.

la section suivante présentera brièvement le Kernel ainsi que les résultats sur le SCR et la marge pour risque sur la prévoyance

2.5 Calcul des SCR

Pour rappel, une formule simple du calcul du SCR pour un portefeuille i est :

$$SCR_i = BEL_i^{stress} - BEL_i^{central} \quad (2.22)$$

Il est calculé via un outil de simulation et d'agrégation nommé le Kernel et qui sera présenté par la suite.

2.5.1 Présentation du Kernel

Rappelons que la mesure interne du capital économique de Generali est définie comme la variation sur un an des fonds propres de base (Basic Own Funds - BOF). Cette mesure est calculée à partir de la prévision complète de la distribution des probabilités des changements à un an des fonds propres de solvabilité II du groupe. Ce calcul peut être illustré par la figure ci dessous :

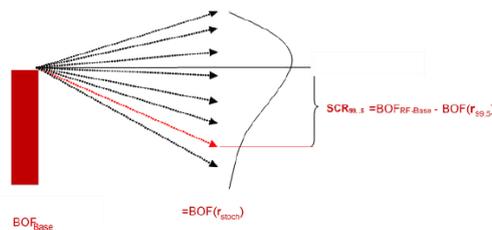


FIGURE 2.49 – Représentation du calcul stochastique du SCR à 1 an

Le Kernel est donc un outil incorporé au modèle interne de Generali qui permet de calculer les différents SCR par entité et par pays. Ensuite ces SCR sont agrégés, via une matrice de corrélation, pour déterminer un SCR global.

Les différentes phases permettant d'obtenir ce SCR sont les suivantes :

- La modélisation des risques ;
- La modélisation des pertes ;
- Les simulations et l'agrégation.

Ces phases seront détaillées dans la suite de l'étude.

La modélisation des risques

La phase de modélisation des risques comporte trois étapes principales :

Identification des risques

Cette étape consiste à identifier tous les risques matériels quantifiables qui peuvent avoir un impact sur le bilan de Generali sur une période d'un an. Ces risques représenteront les facteurs de risques qui devront être modélisés.

Calibrage des facteurs de risque

Cette étape aboutit à des hypothèses de distribution des risques pour tous les facteurs de risque. Il s'agit de distributions stochastiques qui décrivent l'évolution sur un an de chaque facteur de risque modélisé ; par exemple, une distribution stochastique décrivant l'évolution du prix des actions entre aujourd'hui et dans un an.

Calibrage des dépendances

Les principaux résultats de cette étape sont la matrice de corrélation et les paramètres de copule qui déterminent la structure de dépendance entre tous les facteurs de risque.

1. **Choix de la copule** : La copule choisie peut être une copule gaussienne, une copule de student ou une copule de student individuelle.
2. **Matrice de corrélation** : Elle spécifie la corrélation entre tous les facteurs de risque. Deux types de corrélations sont utilisées :
 - **Corrélation de Kendall Tau** : Elle prend en compte le nombre de paires concordantes et discordantes. Elle donne une mesure qui peut être très différente des corrélations linéaires ou normales effectives.
 - **Coefficient de Spearman, ou "rho de Spearman"** : Le coefficient de Spearman est obtenu en remplaçant d'abord les valeurs des facteurs de risque par leurs rangs, puis en prenant les corrélations linéaires (alias rho de Pearson) entre les rangs.
3. **Paramètres des degrés de liberté**. Ils déterminent l'importance de la dépendance de la queue de la distribution. Ils ne sont pas nécessaires si une copule gaussienne est utilisée.

La modélisation des pertes

Il est nécessaire par la suite de convertir la distribution des facteurs de risque en une distribution des pertes. Un bilan stochastique à un an est d'abord généré dans tous les scénarios stochastiques, puis un calcul des pertes et des exigences de capital à partir de ce bilan stochastique est réalisé.

Ce calcul est réalisé grâce aux fonctions polynomiales étudiées au chapitre 4. En effet elles permettent de convertir les valeurs des facteurs de risque en valeurs de bilan, pour chaque poste de bilan dans chaque secteur d'activité de chaque entité dans la hiérarchie modélisée. Ceci est possible car ces fonctions permettent de calculer la valeur optimale du BEL qui représente une variable importante dans le calcul du SCR.

Différentes méthodes sont utilisés en fonction de la nature des facteurs de risques :

- Pour les facteurs de risques Non-Vie, une combinaison de facteurs de risque empiriques et une fonction d'ajustement de courbe analytique sont utilisées pour permettre aux résultats du modèle d'évaluation Non-Vie à l'échelle du groupe d'être fidèlement reproduits.
- Pour les facteurs de risques vie, les fonctions polynomiales utilisent l'approche dite des moindres carrés et de Monte-Carlo (LSMC) comme expliqué dans le chapitre 4. Cette approche est conçue pour aider à résoudre le temps d'exécution de la méthode des simulations dans des simulations de la simulation du passif. Pour résoudre ce problème, dans le cadre de l'approche LSMC, un plus grand nombre de contraintes stressées du monde réel (par exemple 50 000) sont exécutées par les outils actuariels avec un ensemble beaucoup plus petit (par exemple 2^{10}) de scénarios neutres au risque central.
- Pour les facteurs de risques financiers, des fonctions de substitution sont produites en utilisant une approche de régression des moindres carrés pour ajuster des fonctions polynomiales obtenues après l'application d'un modèle dédié à cet effet.

Simulations et Agrégations

Le but de l'utilisation du Kernel réside dans cette phase. En effet les deux sections évoquées précédemment sont réalisées en dehors du Kernel.

Les différentes étapes sont les suivantes :

Simulation de la distribution stochastique des facteurs de risque

Cette étape implique la construction d'un "ensemble de scénarios de facteurs de risque" contenant une représentation de la distribution multivariée complète de tous les risques auxquels le Groupe Generali est confronté.

Les étapes de la simulation des facteurs de risques sont résumées ci après :

1. Plusieurs scénarios d'un an sont générés à l'aide du générateur de nombres aléatoires choisi. Cela produit des variables aléatoires à partir d'une distribution Uniforme $[0,1]$. Si 500 000 scénarios sont nécessaires, cela se traduit par la production d'une

matrice "500 000 par n" (où n est le nombre de facteurs de risque) de nombres quasi-aléatoires non corrélés.

2. Les n variables aléatoires de chaque scénario sont ensuite transformées à l'aide de la transformation de Copule appropriée. Les transformations requises ici comprennent l'application d'une décomposition de Cholesky à la matrice de corrélation souhaitée, ce qui explique pourquoi une méga-matrice est nécessaire à ce stade. La copule impose la structure de dépendance souhaitée aux échantillons, ce qui permet de produire l'ensemble de scénarios de facteurs de risque, dans lequel tous les facteurs de risque ont une distribution normale [0,1] et reflètent la structure de dépendance pertinente entre les risques.
3. Les scénarios de stress sont convertis en distributions marginales pertinentes en inversant la distribution normale [0,1] ci-dessus, puis en appliquant la fonction de transformation marginale inverse $F^{-1}(X)$ pour la distribution marginale choisie.
4. Enfin, les paramètres de report et de sensibilité sont appliqués pour produire des ensembles de scénarios de facteurs de risque pouvant être utilisés à la date de report ou dans les sensibilités automatisées.

Ces étapes permettent d'aboutir à la construction d'un "ensemble de scénarios de facteurs de risque" contenant une représentation de la distribution multivariée complète de tous les risques auxquels le groupe Generali est confronté.

Par la suite, il est nécessaire de convertir la distribution stochastique complète des facteurs de risque en une distribution des pertes. Cette conversion est réalisée en produisant d'abord un bilan stochastique à un an, puis en calculant les pertes et les exigences de capital à partir de ce bilan stochastique.

Simulation du bilan stochastique

Dans cette étape, les fonctions d'ajustement de courbe sont utilisées pour convertir la distribution stochastique des facteurs de risque en une distribution stochastique des éléments du bilan.

Agrégation du capital

Une fois que les composants stochastiques du bilan sont disponibles, il est nécessaire de les combiner à travers tous les risques et entités pertinents pour produire les exigences de capital par risque, par ligne d'activité (LOB), par poste de bilan et par entité, pour toutes les entités du groupe Generali. Au cours de cette étape, les provisions pour propriété, conversion de devises, impôts et réassurance sont incluses, afin de produire les exigences de capitaux autonomes par risque et par entité.

Le SCR autonome d'une entité juridique dans Business View est le capital requis calculé pour cette entité, donné par la $VaR_{0,005}$ des pertes de l'entité, en tenant compte des pertes, sur une base de transparence totale, de toutes les participations de l'entité.

1. Calcul du SCR par entité

Les étapes suivantes résument comment le bilan stochastique est construit pour n'importe quelle entité choisie et comment il est utilisé pour calculer le SCR de cette entité. Le calcul du SCR autonome comprend donc les étapes suivantes :

- Sélectionnez l'entité d'intérêt, et identifier toutes les sous-entités, lignes de business, les types d'activités et de risques qui composent l'entité ;
- Calculer les fonds propres de base de l'entité dans tous les scénarios, y compris les scénarios de base. Dans cette étape, nous tenons compte de la conversion des devises et des pourcentages de propriété, et nous introduisons les paramètres de reconduction du "multiplicateur de la fonction de perte " ;
- Calculer les pertes dans tous les scénarios, et calculer le SCR stochastique comme le 99,5^{ème} quantile de ces pertes.

2. Sensibilités

Après avoir produit l'ensemble des résultats du capital de fin d'année, il existe plusieurs raisons pour lesquelles il peut être envisagé d'estimer la valeur du capital dans d'autres conditions, sans effectuer un recalibrage complet de tous les facteurs de risque et des fonctions d'ajustement de la courbe. Ces raisons sont les suivantes :

- Réalisation de scénarios "*what if*", afin d'estimer ce que serait la position du capital dans un certain nombre de situations de stress hypothétiques.
- Projection de la valeur du capital, à des fins stratégiques ou de planification.
- Fournir une vue actualisée du bilan entre les dates d'étalonnage.

Notons que le calcul des impôts et l'application de la réassurance de l'entité concernée font partie intégrante du processus de calcul du SCR.

Finalement, le SCR du groupe Generali est calculé comme le 99,5^{me} quantile des pertes stochastiques totales calculées sur toutes les entités qui composent le groupe.

Deux remarques sont importantes à retenir :

- Le SCR du Groupe est inférieur à la somme des SCR des entités juridiques, car les pertes au sein des différentes entités comptables ne sont pas totalement corrélées. Cette différence est le "*bénéfice de diversification inter-entités*" du Groupe.
- Le SCR du Groupe est inférieur à la somme des SCR par risque, car les pertes par risque ne sont pas totalement corrélées. Cette différence est le "*bénéfice de diversification inter-risques*".

Attribution du capital et Calcul du SCR diversifié

En raison des effets de diversification, les résultats des capitaux autonomes ne sont pas additifs, que ce soit par risque, par LOB ou par entité. Par exemple :

- ◇ La somme de tous les risques du capital autonome par risque d'une entité sera supérieure au capital autonome de l'entité.

- ◇ La somme sur les LOBs du capital autonome par LOB d'une entité sera supérieure au capital autonome de l'entité.
- ◇ Pour un certain nombre d'utilisations de la gestion des risques et du capital, il est nécessaire de produire une attribution additive du capital d'une entité aux risques et aux LOBs qui composent l'entité. Dans le noyau de calcul, nous utilisons l'approche de l'"attribution d'Euler" à cette fin.

Trois types de diversifications sont pris en compte.

La diversification intra-risque : Cette diversification tient compte de la matrice de corrélation des facteurs de risques. Elle permet de déterminer la corrélation entre deux ou plusieurs facteurs de risques. Cette diversification permet de compenser les diminutions de SCR entre risques.

La diversification intra-LOB : Elle tient compte des corrélations ou interactions entre les différentes LoB.

La diversification intra-entité : Elle tient compte des corrélations ou interactions entre les différentes entités de Generali.

Après avoir défini de manière assez détaillée le calcul du SCR sous le Kernel, les résultats seront présentés dans la section suivantes.

2.5.2 SCR Generali Vie avant changement

Les résultats qui seront présentés ci-dessous ne sont pas les résultats officiels de l'entreprise en raison d'un soucis de confidentialité mais ils reflètent au mieux les résultats réellement obtenus. Ces résultats permettront de mieux percevoir l'impact du changement de méthodes sur le SCR.

Comme évoqué dans les sections précédentes, une corrélation est appliquée par portefeuille entre le risque de primes et le risque de réserves. Elle est nécessaire pour agréger le risque de primes et le risque de réserves avant l'étape de Prophet. Une recommandation du groupe fixe cette corrélation à 50% entre ces deux risques. Une copule gaussienne est utilisée pour cette corrélation.

De plus comme indiqué dans la section 5.1, il existe deux types de visions de calcul du SCR. Une vision dite *Standalone* où la somme du SCR de chaque risque est effectuée sans tenir compte de la diversification entre les risques et une vision diversifiée.

Les résultats seront présentés en millions d'euros.

SCR - Vision Standalone

Pour rappel, la vision Standalone est la vision de calcul du SCR dans laquelle les effets de diversification entre les différents risques ne sont pas pris en compte.

Risques financiers

Financial	2 438,2	Credit	574,6
Equity Price	825,9	CS Widening	259,2
Equity IV	40,3	Credit Default	232,9
Property Price	377,6	CDL	72,4
IR Yields	868,3	Credit Cross Term*	10,1
IR Volatility	131,9		
Currency	185,0		
Concentration	5,3		
Financial Cross term*	3,8		

FIGURE 2.50 – Résultats Standalone sur les risques financiers

Le SCR sur les risques financiers a un poids important dans le SCR global.

Risques de souscription Vie

Life UW	880,9
MortCat	95,8
Mortality	90,0
Longevity	138,1
Morbidity Disability	212,9
Life Lapse	48,7
Expense	186,8
Health Cat	-
Health Claims	109,1
Life Cross Term*	- 0,4

FIGURE 2.51 – Résultats Standalone sur les risques de souscription Vie

Le risque santé (Health Claims) a une valeur en SCR relativement significative dans le SCR des risques de souscription Vie. De plus, une diminution de 0,4 Millions est obtenu grâce à l'effet croisé des risques de souscription Vie.

Risques de souscription Non Vie

Non Life UW	-
Pricing	-
Reserve	-

FIGURE 2.52 – Résultats Standalone sur les risques de souscription Non-Vie

Comme attendu, les risques de primes et de réserves sur la méthode actuelle sont nuls. Ceci s'explique par le fait que malgré leur importance dans le processus, ceux ci sont agrégés dans le but de déterminer les BE sous Prophet. De plus ils ne constituent pas des données en entrée du Kernel.

SCR total

SCR as SUM	4 076,1
Cross Terms	- 27,6
Diversification Benefit	-2 260,6
SCR	1 787,9

FIGURE 2.53 – SCR total

SCR - Vision Diversifiée

Pour rappel, la vision Diversifiée est la vision de calcul du SCR dans laquelle les effets de diversification entre les différents risques sont pris en compte.

Risques financiers

Financial	1 367,1	Credit	308,6
Equity Price	658,0	CS Widening	108,5
Equity IV	18,3	Credit Default	146,9
Property Price	40,4	CDL	43,1
IR Yields	582,2	Credit Cross Term*	10,1
IR Volatility	46,3		
Currency	13,6		
Concentration	4,4		
Financial Cross term*	3,8		

FIGURE 2.54 – Résultats actuels sur les risques financiers en vision diversifiée

Le SCR des risques financiers en vision diversifiée est nettement plus bas que le SCR en vision standalone. Ceci est dû au fait que les différents sous risques se compensent entre eux par effet de diversification.

Risques de souscription Vie

Life UW	58,1
MortCat	24,2
Mortality	3,5
Longevity	8,5
Morbidity Disability	79,2
Life Lapse	2,6
Expense	- 34,5
Health Cat	-
Health Claims	- 24,9
Life Cross Term*	- 0,4

FIGURE 2.55 – Résultats actuels sur les risques Vie en vision diversifiée

A l'image de la diminution du SCR sur les risques financiers, le SCR sur les risques vie subit aussi une nette réduction due à l'effet de diversification. De plus certains SCR, ceux des risques Expenses et Health Claims, agissent d'une manière négative sur le SCR.

Le SCR sur les risques Non Vie restent toujours à 0.

SCR total

Le SCR total obtenu par la somme des SCR permet de retrouver directement le SCR de la figure 5.5

SCR as SUM	1 815,5
Cross Terms	- 27,6
Diversification Benefit	0,0
SCR	1 787,9

FIGURE 2.56 – SCR total

Ce SCR total reste le SCR pré-taxe. En effet certaines taxes et frais sont rajoutés à ce SCR obtenu pour obtenir le SCR global exigé par l'entreprise. Mais le calcul de ce SCR ne fait pas parti de notre étude car les changements apportés n'impactent en aucun cas cette partie des calculs.

2.5.3 Conclusion partielle

Cette partie a permis de présenter les résultats obtenus sur l'exercice 2021 avec les méthodes hybrides utilisées par Generali VIE pour calibrer ces risques VIE et calculer son SCR total en tenant compte des visions standalone et diversifiée. De plus cette étude a aussi permis de montrer la place importante des fonctions polynomiales dans le processus de calcul du SCR.

La suite de l'étude aura pour but de mettre en application la nouvelle méthode que voudra appliquer l'entreprise, de présenter sa méthodologie et ces différences vis à vis des techniques actuelles et de comparer ces résultats à ceux obtenus lors de l'exercice 2021.

Approche par des méthodes non-vie

Après avoir présenté dans la partie précédente, les résultats obtenus à l'aide de la méthode hybride (Techniques Vie et Non-Vie) qui est la méthode de référence qu'utilise l'entreprise , cette troisième partie aura pour but d'utiliser une nouvelle approche entièrement basée sur des techniques Non-Vie.

Dans un premier temps, cette partie mettra en lumière la modification subie par le portefeuille Prévoyance. Dans un second temps, elle permettra de comprendre les nouvelles étapes du processus de calcul du SCR Santé. Ces étapes concernent un changement de la nomenclature du portefeuille de prévoyance ainsi qu'une nouvelle approche pour le calibrage du risque de primes et du risque de réserves. L'impact de ce nouveau processus sur la fonction polynomiale ainsi que sur les différents facteurs de risque sera explicité. Et enfin cette troisième partie de l'étude permettra de comparer les nouvelles valeurs du SCR par risque et du SCR global à celles obtenues sur l'exercice 2021.

Les formules de calcul des SCR par risques et du SCR global (vision standalone et diversifiée) utilisées seront les mêmes que celles développées au préalable par l'entreprise et utilisées dans la partie 2.

3.1 Modification du portefeuille de prévoyance et du processus de modélisation

Pour rappel, le but de cette étude est de retirer le business de la santé du portefeuille de la prévoyance et d'en faire une nouvelle LoB.

Cette nouvelle LoB sera nommée *Health Claims* et sera modélisée indépendamment du portefeuille de prévoyance.

3.1.1 Quelques chiffres

Les figures suivantes donnent une idée de la répartition des produits contenus dans le portefeuille prévoyance.

Une répartition des primes récoltées à partir des contrats du portefeuille de prévoyance sur les années 2021 et 2020 est donné par les figures suivantes :

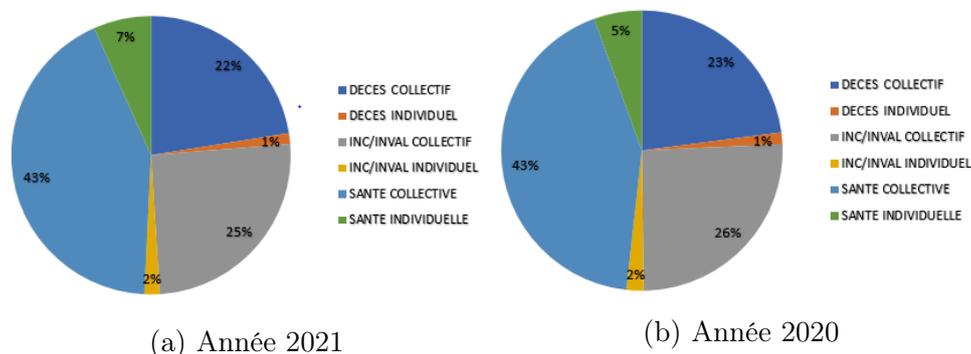


FIGURE 3.1 – Répartition des primes sur la prévoyance

Le business de la Santé représente près de 50% des primes totales en 2021 et 48% des primes totales récoltées en 2020. Ce qui représente un chiffre assez significatif et montre l'impact de la santé sur le total des primes de ce portefeuille.

En ce qui concerne les réserves, une répartition est donnée par les figures suivantes :

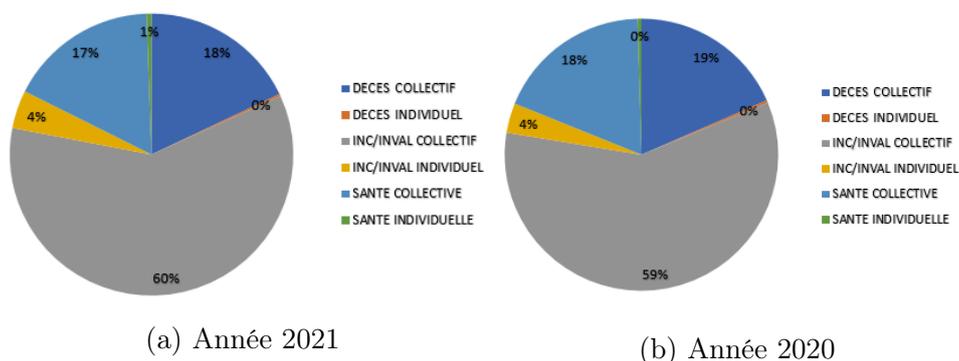


FIGURE 3.2 – Répartition des réserves sur la prévoyance

Contrairement aux primes, les réserves sont surtout impactées par l'Incapacité/Invalidité collective avec 60% en 2021 et 59% en 2020. Cela s'explique par le fait que l'INC/INV est un risque qui perdure dans le temps et qui demande des indemnisations longues et importantes.

En termes de chiffres, la scission du portefeuille donne :

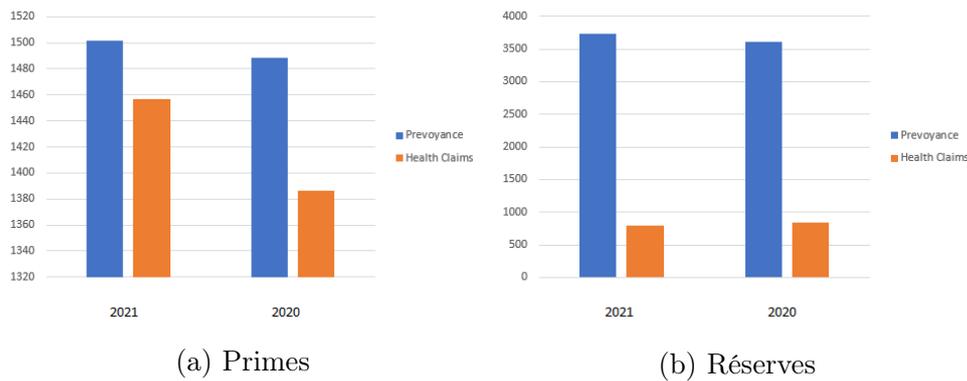


FIGURE 3.3 – Nouvelles valeurs LoB

3.1.2 Modification du processus de calcul du SCR

Le changement le plus significatif dans cette nouvelle approche est la suppression de l'étape Prophet comme le montre la figure ci-dessous.

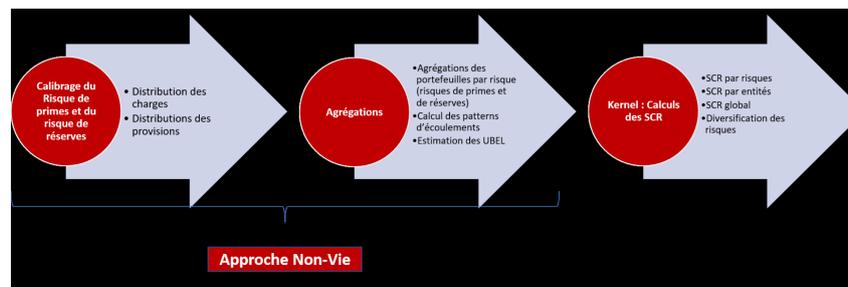


FIGURE 3.4 – Figure : Approche Non-Vie

Ces changements seront exposés dans les sections suivantes et les résultats seront présentes et comparés aux anciens résultats par la suite.

3.2 Calibrage des risques

Cette section aura pour but de présenter les changements qui surviennent lors du calibrage des différents risques impactant les LoB *Prévoyance* et *Health Claims*.

3.2.1 Au niveau des risques de souscription Vie

Le calibrage des risques de souscriptions vie propres à la prévoyance, à savoir :

- Mortalité
- Morbidité/invalidité

ne changera pas.

Ils seront calculés comme énoncé dans la partie II de l'étude.

3.2.2 Au niveau des risques de souscription Non Vie

Risque de prime et risque de réserve

Le calibrage des risques de primes et de réserves ne changera pas. Ils seront calibrés avec les mêmes procédés que ceux utilisés dans le cas de la méthode hybride.

Agrégation des portefeuilles

Un des principaux changements se situe à ce niveau. En effet, dans le processus impliquant les méthodes hybrides, les risques de primes et de réserves étaient agrégés par produit sous Prophet. Une corrélation était alors appliquée pour l'agrégation de ces deux risques. Cette corrélation est réalisée par l'intermédiaire d'une copule gaussienne appliquée sur les distributions de primes et de réserves. Le choix de cette copule résulte à la fois d'un meilleur fitting entre cette copule, nos données et une recommandation faite par le groupe Generali.

Avec la nouvelle méthode, l'agrégation ne sera plus faite au niveau des risques mais au niveau des portefeuilles de la branche santé. Cependant l'estimation de la corrélation optimale entre ces différents portefeuilles est requise.

De plus dans le cas de l'approche Non-Vie, deux nouvelles valeurs seront prises en compte : **les UBEL** et **les patterns**¹.

En effet les UBEL seront priorisés à la place du BEL. Ils sont plus représentatifs de la valeurs des provisions à la date considérée car ils ne tiennent pas compte des effets d'actualisation.

Dans le cadre de notre étude, le tableau de corrélation est le suivant :

PORTEFEUILLES	INDIV_FM_SAN TE DP/DDP	INDIV_FM_SAN TE DPRO	COLL_FM_>300 + 20/300	COLL_FM_SOFAXIS	COLL_FM_STAN DARD + 1/20	COLL_FM_CP	COLL_FM_KMUT	COLL_FM_KP	COLL_FM_MCP
INDIV_FM_SANTE DP/DDP	1	0	0	0	0	0	0	0	0
INDIV_FM_SANTE DPRO	0	1	0	0	0	0	0	0	0
COLL_FM_>300 + 20/300	0	0	1	0	0	0	0	0	0
COLL_FM_SOFAXIS	0	0	0	1	0	0	0	0	0
COLL_FM_STANDARD + 1/20	0	0	0	0	1	0	0	0	0
COLL_FM_CP	0	0	0	0	0	1	0	0	0
COLL_FM_KMUT	0	0	0	0	0	0	1	0	0
COLL_FM_KP	0	0	0	0	0	0	0	1	0
COLL_FM_MCP	0	0	0	0	0	0	0	0	1

FIGURE 3.5 – Corrélations recommandées par Generali

Une fois les différentes corrélations appliquées entre chaque portefeuille et la copule adéquate choisie, le calibrage des risques de primes et de réserves est effectué comme énoncé dans la partie 1 de l'étude.

Les nouvelles valeurs du SCR de prime et de réserves seront présentées directement dans les parties suivantes.

1. Ils se définissent comme le pourcentage de l'écoulement des réserves ou des primes sur les années à venir

3.3 Fitting des fonctions polynomiales

3.3.1 Modification

L'approche non Vie ne prend pas en compte l'utilisation des fonctions polynomiales. Cependant le vecteur des facteurs de risques utilisé pour le fitting des fonctions polynomiales sur la prévoyance a été modifié. En effet ayant retiré le risque santé de la prévoyance et par la même occasion des risques de souscription vie, il ne sera plus considéré comme un facteur de risque qui pourrait impacter le BEL de la prévoyance. Ce changement entraînera des modifications de la valeur des autres facteurs de risques. Les risques financiers seront les risques les moins impactés du fait de la nature relativement court du risque Santé.

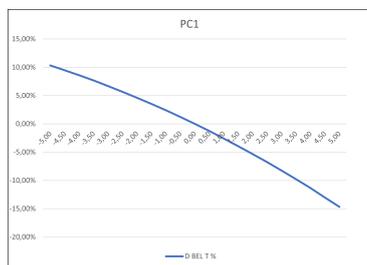
La nouvelle fonction polynomiale s'exprime comme suite :

$$BEL_i = intercept_i + \beta_1 * X_{PC1} + \beta_2 * X_{PC2} + \beta_3 * X_{PC3} + \beta_4 * X_{Rachat} + \beta_5 * X_{Mortalite} + \beta_6 * X_{Morta_CAT} + \beta_7 * X_{Morbidity} + \beta_8 * X_{Frais} + \beta_9 * X_{dVA} + \epsilon$$

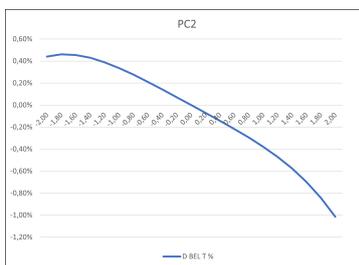
3.3.2 Résultats

Nous nous intéresserons qu'aux données brutes car presque le même impact est observé sur les données cédées.

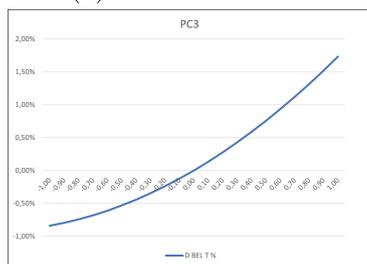
1. PC1, PC2, PC3 et dVA



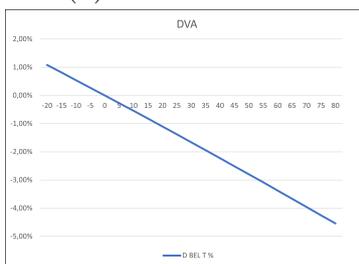
(a) BEL en fonction de PC1



(b) BEL en fonction de PC2



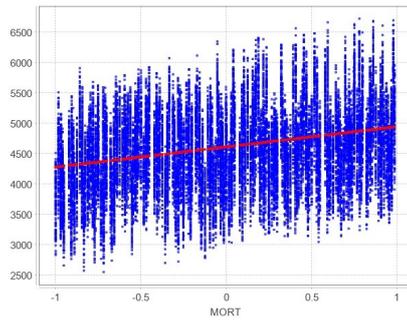
(c)



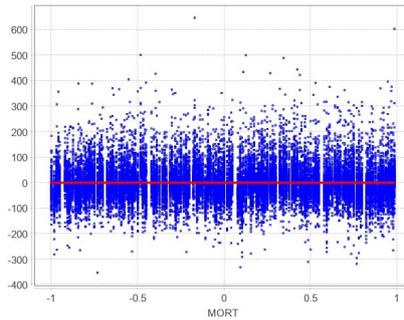
(d) Bel en fonction de dVA

Comme attendu, les facteurs de risques financiers ont encore un impact sur le BEL donc sur le SCR. En effet les courbes ci-dessus présentent la variation du SCR en fonction du quantile. les variations entre cette méthode et la méthode hybride sont assez significatives. La baisse non significative est due à l'interaction presque négligeable qui existe entre le risque Santé et les risques Financiers du fait de la durée relativement courte des contrats du portefeuille santé.

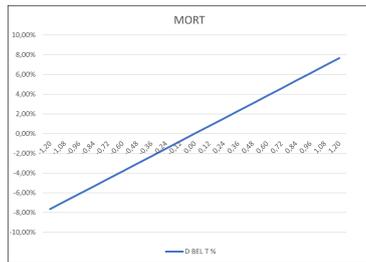
2. Mortalité



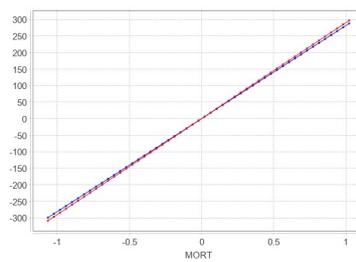
(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



(c) Différence BEL stressé et BEL central

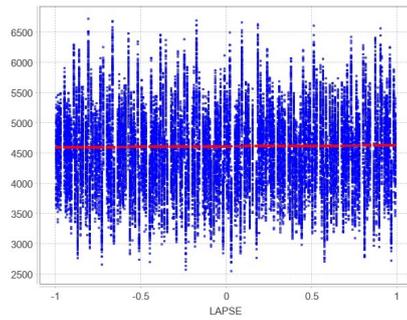


(d) Approche hybride vs approche Non-Vie

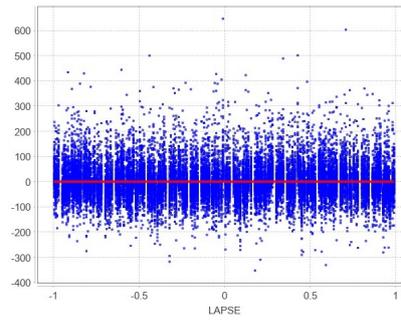
Comme vu lors de la méthode hybride, le facteur de risque Mortalité a aussi un impact significatif sur le BEL, donc sur le capital de solvabilité requis, comme le montre le graphique (c). En effet plus le quantile augmente plus nous tendons vers les événements extrêmes et donc le SCR croit par la même occasion. Cet impact se traduit par une augmentation du BEL brut lorsque le risque facteur augmente (graphique (a)). Le graphique (b) montre que les données semblent homoscédastiques, la différence entre la valeur observée et la valeur prédite étant dispersée de manière aléatoire autour de l'axe des abscisses. En outre, les résidus répondent aux exigences de moyenne nulle (ligne rouge) et de symétrie locale.

De plus le graphique (d) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les SCR obtenus par la méthode hybride et la méthode purement Non-Vie. Cette indifférence est due à l'absence de corrélation entre le risque de Mortalité et le risque Santé. Une suppression du risque de santé du portefeuille n'implique donc pas un changement de l'impact du risque de Mortalité sur le SCR.

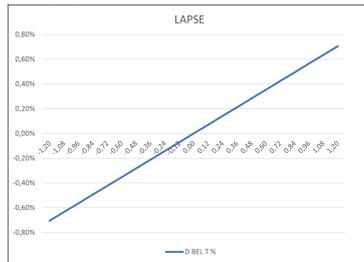
3. Rachat



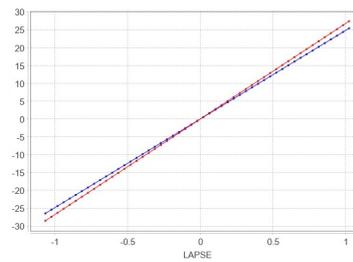
(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



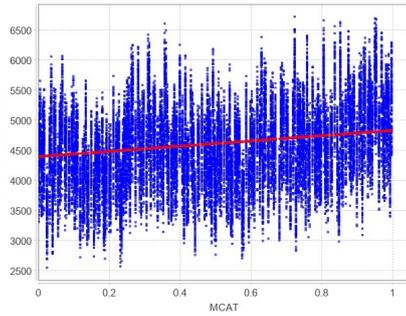
(c) Différence BEL stressé et BEL central



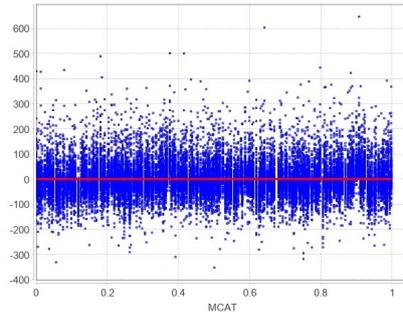
(d) Approche hybride vs approche Non-Vie

le facteur de risque Rachat a aussi un impact assez relatif sur le BEL, donc sur le capital de solvabilité requis, comme le montre le graphique (c). En effet plus le quantile augmente plus nous tendons vers les événements extrêmes. le SCR croit faiblement et reste presque constant. Cet impact s'observe sur le graphique (a). Le graphique (b) montre que les données semblent homoscédastiques, la différence entre la valeur observée et la valeur prédite étant dispersée de manière aléatoire autour de l'axe des abscisses. Le graphique (d) montre qu'il y a une légère différence significative aux niveaux des valeurs extrêmes entre les SCR obtenus par la méthode hybrides et la méthode purement Non-Vie.

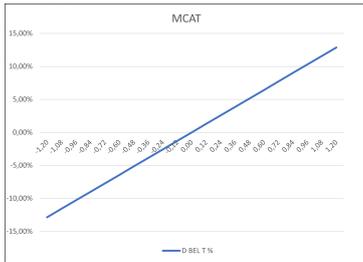
4. Mortalité CAT



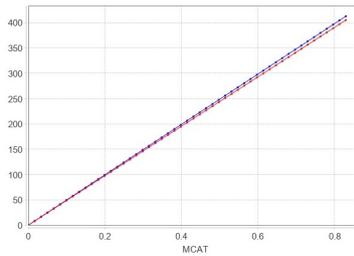
(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



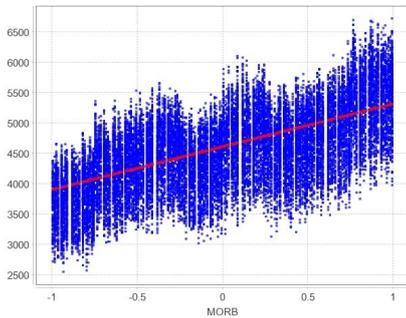
(c) Différence BEL stressé et BEL central



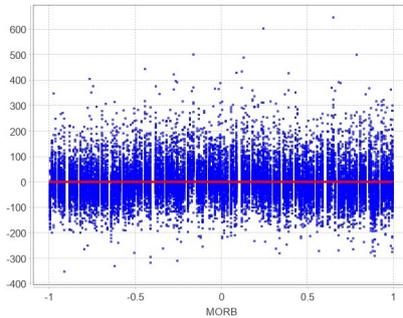
(d) Approche hybride vs approche Non-Vie

L'analyse du facteur de risque de Mortalité CAT reste la même que celle sur la mortalité.

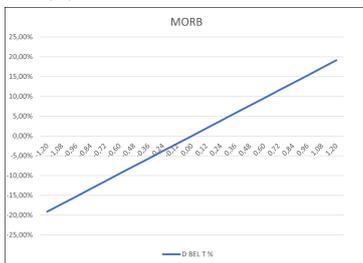
5. Morbidité



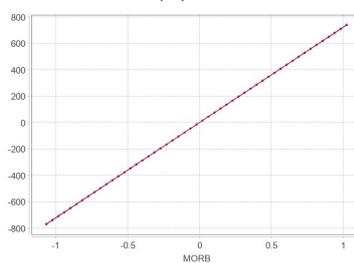
(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



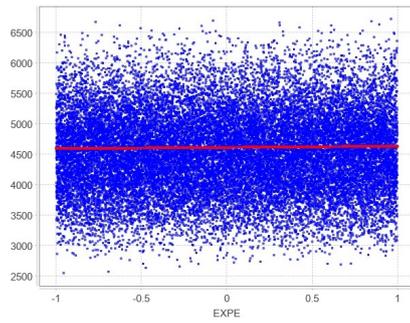
(c) Différence BEL stressé et BEL central



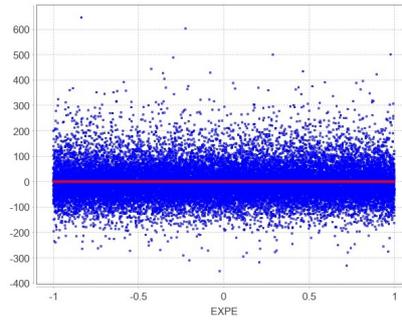
(d) Approche hybride vs approche Non-Vie

L'utilisation des techniques non-vie présente des résultats semblables entre les facteurs de risques de Morbidité et de Mortalité.

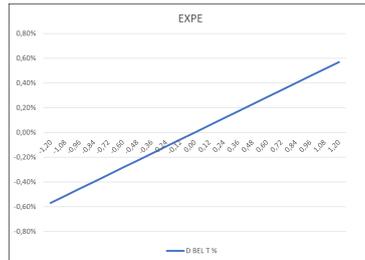
6. Frais



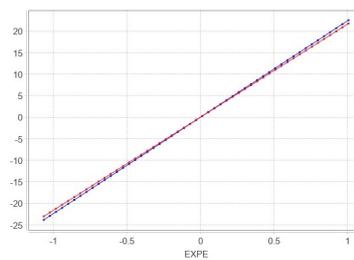
(a) BEL en fonction du quantile



(b) Les résidus



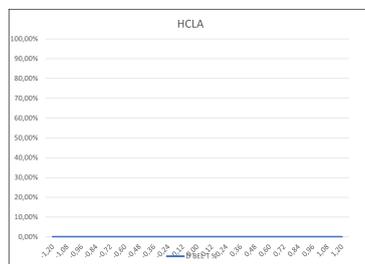
(c) Différence BEL stressé et BEL central



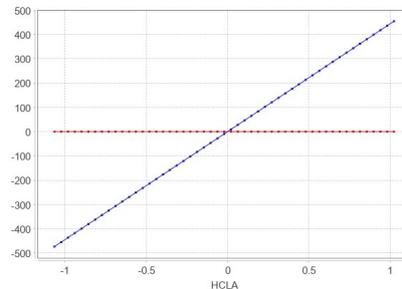
(d) Approche hybride vs approche Non-Vie

Concernant ce facteur de risque, son impact reste semblable aux résultats observés lors de l'utilisation des techniques hybrides. Ceci se traduit au travers du graphique (d).

7. Santé



(a) Différence BEL stressé et BEL central



(b) Approche hybride vs approche Non-Vie

Comme attendu, le BEL ne dépend plus du facteur de risque de Santé. De plus la différence entre les deux techniques est bien mise en valeur par le graphique (b).

3.4 Calcul des SCR Generali Vie après changement

3.4.1 SCR - Vision Standalone

Risques financiers

Financial	2 437,7	Credit	572,9
Equity Price	825,9	CS Widening	255,5
Equity IV	40,3	Credit Default	232,9
Property Price	377,6	CDL	74,3
IR Yields	867,7	Credit Cross Term*	10,2
IR Volatility	131,9		
Currency	185,0		
Concentration	5,3		
Financial Cross term*	3,9		

FIGURE 3.13 – Résultats Standalone sur les risques financiers

Le SCR sur les risques Financiers garde, comme avec la méthode précédente, un poids important dans le SCR global.

Risques de souscription Vie

Life UW	773,1
MortCat	93,5
Mortality	92,1
Longevity	138,1
Morbidity Disability	214,0
Life Lapse	50,0
Expense	186,5
Health Cat	-
Health Claims	-
Life Cross Term*	- 1,1

FIGURE 3.14 – Résultats Standalone sur les risques de souscription Vie

Comme attendu le risque Health Claims est bel et bien nul. Ce qui reste en adéquation avec la méthode utilisée.

Risques de souscription Non Vie

Non Life UW	20,4
Pricing	2,6
Reserve	17,8

FIGURE 3.15 – Résultats Standalone sur les risques de souscription Non-Vie

Les risques de primes et de réserves découlant de la nouvelle méthode sont non nuls. En effet, l'application des techniques non vie a pour objectif de déterminer les SCR liés à ces deux risques.

SCR total

SCR as SUM	3 986,4
Cross Terms	- 31,1
Diversification Benefit	- 2 132,5
SCR	1 822,9

FIGURE 3.16 – SCR total

Le SCR total représente la somme des différents SCR par facteurs de risques.

3.4.2 SCR - Vision Diversifiée

Risques financiers

Financial	1 380,5	Credit	311,2
Equity Price	664,2	CS Widening	107,8
Equity IV	18,4	Credit Default	149,0
Property Price	39,6	CDL	44,2
IR Yields	590,7	Credit Cross Term*	10,2
IR Volatility	46,6		
Currency	12,6		
Concentration	4,4		
Financial Cross term*	3,9		

FIGURE 3.17 – Résultats actuels sur les risques financiers en vision diversifiée

Le SCR des risques financiers en vision diversifiée est nettement plus bas que le SCR en vision standalone.

Risques de souscription Vie

Life UW	74,9
MortCat	21,5
Mortality	3,3
Longevity	8,2
Morbidity Disability	77,4
Life Lapse	2,6
Expense	- 37,0
Health Cat	-
Health Claims	-
Life Cross Term*	- 1,1

FIGURE 3.18 – Résultats actuels sur les risques Vie en vision diversifiée

A l'image de la diminution du SCR sur les risques financiers, le SCR sur les risques vie subit aussi une nette réduction due à l'effet de diversification.

Risques de souscription Non Vie

Non Life UW	9,0
Pricing	0,5
Reserve	8,5

FIGURE 3.19 – Résultats actuels sur les risques Non Vie en vision diversifiée

Le SCR sur les risques Non Vie subissent aussi un effet de diversification.

SCR total

Le SCR total obtenu par la somme des SCR permet de retrouver directement le SCR de la figure 5.5 .

SCR as SUM	1 854,0
Cross Terms	- 31,1
Diversification Benefit	0,0
SCR	1 822,9

FIGURE 3.20 – SCR total

Pour rappel, ce SCR total reste le SCR pré-taxe.

3.4.3 Comparaison des résultats

En vision Standalone

Risques financiers

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financial	2438,2	2437,7	0,5
Equity Price	825,9	825,9	0
Equity IV	40,3	40,3	0
Property Price	377,6	377,6	0
IR Yields	868,3	867,7	0,6
IR Volatility	131,9	131,9	0
Currency	185	185	0
Concentration	5,3	5,3	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	574,6	572,9	1,7
CS Widening	259,2	255,5	3,7
Crédit Default	232,9	232,9	0
CDL	72,4	74,3	-1,9
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 3.21 – Risques financiers et de crédit

Une légère baisse de 0,5 millions est observée sur les risques financiers. De plus une légère baisse de 1,7 millions est aussi observée sur les risque de Crédit. Cette légère variation s'explique par le fait que le risque Santé, étant un risque assez court, n'a pas d'impact significatif sur les risques financiers et de crédit qui ont eux des durées assez longues.

Risques Vies

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	880,9	773,1	107,8
MortCat	95,8	93,5	2,3
Mortality	90	92,1	-2,1
Longevity	138,1	138,1	0
Morbidity Disability	212,9	214	-1,1
Life Lapse	48,7	50	-1,3
Expense	186,8	186,8	0
Health Cat	0	0	0
Health Claims	109,1	0	109,1
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 3.22 – Risques Vie

Le SCR des risques vie diminuent de 107,8 millions. Cette variation importante s'explique par le fait que d'une part le risque Santé sorte du domaine des risques Vie (avec une valeur de 109,1 millions). Néanmoins de légères augmentations sont observées sur les risques de Mortalité, Morbidité et Rachats. Les valeurs des risques de longévité et de frais restent inchangées.

Risques Non Vie

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	20,4	-20,4
Pricing	0	2,6	-2,6
Reserve	0	17,8	-17,8

FIGURE 3.23 – Risques Non Vie

Dans le cas de Generali Vie, seuls le risque de primes et le risque de réserves sont pris en compte dans le cas des risques non vie. La méthode hybride ne prenant pas en compte ces risques, on a bien une valeur nulle sur ces risques. Cependant la nouvelle méthode permet de prendre en compte le risque de primes et le risque de réserves à hauteur respectivement de 2,6 millions et 17,8 millions. Le SCR sur la totalité des risques non vie reste relativement moins élevée que le SCR Santé à lui tout seul.

SCR Total en vision standalone

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	4076,1	3986,4	89,7
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	-2260,6	-2132,5	-128,1
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 3.24 – SCR total

Comme attendu, une baisse relativement importante de 90 millions environ est observée sur le SCR en utilisant une méthode totalement non vie. Cependant, le SCR diversifié ne suit pas la même tendance que le SCR stand-alone. Les résultats des risques en vision diversifiée permettront de comprendre cette incohérence.

En vision diversifiée

Risques financiers

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Financial	1367,1	1380,5	-13,4
Equity Price	658	664,2	-6,2
Equity IV	18,3	18,4	-0,1
Property Price	40,4	39,6	0,8
IR Yields	582,2	590,7	-8,5
IR Volatility	46,3	46,6	-0,3
Currency	13,6	12,6	1
Concentration	4,4	4,4	0
Financial Cross term*	3,8	3,9	-0,1
Crédit	308,6	311,2	-2,6
CS Widening	108,5	107,8	0,7
Crédit Default	146,9	149	-2,1
CDL	43,1	44,2	-1,1
Crédit Cross Term*	10,1	10,2	-0,1

FIGURE 3.25 – Risques financiers

Une hausse de 13,4 millions est observée sur les risques financiers et une hausse de 2,6 millions sur les risques de Crédit. Ces hausses s'expliquent par le fait que ces risques se diversifient mieux en présence du risque santé. Ainsi leur SCR est plus réduit avec la méthode hybride. Cette observation permet d'expliquer une part de la non cohérence de la tendance entre le SCR stand-alone et le SCR diversifié.

Risques Vies

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Life UW	58,1	74,9	-16,8
MortCat	24,2	21,5	2,7
Mortality	3,5	3,3	0,2
Longevity	8,5	8,2	0,3
Mobidity Disability	79,2	77,4	1,8
Life Lapse	2,6	2,6	0
Expense	-34,5	-37	2,5
Health Cat	0	0	0
Health Claims	-24,9	0	-24,9
Life Cross Term*	-0,4	-1,1	0,7

FIGURE 3.26 – Risques Vie

Le SCR des risques vie augmente de 16,8 millions. Cette augmentation s'explique par le fait que le risque Santé avait un impact de diversification négatif, ce qui permettait de baisser le SCR sur l'ensemble des risques Vie.

Risques Non Vie

Facteurs de risques	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
Non Life UW	0	9	-9
Pricing	0	0,5	-0,5
Reserve	0	8,5	-8,5

FIGURE 3.27 – Risques Non Vie

Comme attendu les risques de primes et de réserves ont un impact de diversification non négligeables. Cet impact étant positif, il augmente alors le SCR diversifié obtenu avec la méthode hybride.

SCR Total en vision diversifiée

Intitulés	Méthodes hybrides	Méthodes Non Vie	Delta
SCR as SUM	1815,5	1854	-38,5
Cross Terms	-27,6	-31,1	3,5
Diversification Benefit	0		0
SCR	1787,9	1822,9	-35

FIGURE 3.28 – SCR total

3.4.4 Conclusion Partielle

Au regard des résultats précédents, le retrait de la LoB **Health Claim** du portefeuille de prévoyance a un impact sur les fonctions polynomiales et par le même effet sur la valeur du BEL et du SCR. Par contre il impacte assez légèrement les facteurs de risque du portefeuille de prévoyance ainsi que tous les autres facteurs

Études de sensibilités

La partie précédente a mis en lumière l'application de méthodes purement Non Vie sur le risque santé compris initialement dans le portefeuille Prévoyance. Les paramètres de calibrage ont été choisis en raison d'une meilleure adaptation aux données utilisées. Une bonne majorité de ces choix découlent aussi des recommandations du Groupe.

Cependant, ces recommandations peuvent ne pas être optimales pour la nouvelle configuration adoptée par le portefeuille.

Le but de cette partie est de modifier certains paramètres de calibrage et de comparer les résultats obtenus aux résultats précédents.

Pour se faire, des études de sensibilité seront effectuées sur le calibrage des risques de primes et de réserves. En effet, d'une part, une modification de la copule de corrélation entre les portefeuilles santé aura un impact direct sur le SCR. Et d'autre part, un changement des niveaux de corrélation entre les différents portefeuilles impactera aussi directement le SCR de ces risques.

Ces études de sensibilités ne pouvaient pas être envisagées avec la méthode hybride en raison du processus de calibrage.

Dans cette partie, seuls les SCR des risques de primes et de réserves seront étudiés car ils auront un impact proportionnel sur le SCR total (en vision standalone et en vision diversifiée). De plus nous n'aborderons pas l'aspect théorique des éléments utilisés dans cette partie.

4.1 Modification des copules de corrélations

Comme mentionné ci-dessus, le but de cette section sera d'étudier le SCR du risque de prime et celui du risque de réserves en cas de changement de la copule de corrélation entre les portefeuilles santé. La copule utilisée actuellement est la copule gaussienne. L'intérêt de cette copule réside dans le fait qu'elle est sous-jacente à la distribution normale multivariée. En effet, modéliser les structures de dépendance d'un échantillon par une copule

gaussienne est cohérent avec la mesure de cette dépendance par le coefficient de corrélation linéaire. Cependant la copule gaussienne n'est pas du tout adaptée à la modélisation de risque prenant des valeurs extrêmes car les événements extrêmes des variables jointes par ce type de copule sont considérés comme indépendants. D'autres copules telles que la copule de student permettent de palier à ce problème.

4.1.1 Copules de student

La copule de Student ou copule T est la copule sous-jacente à une distribution multivariée de Student. Sa structure de dépendance capte les dépendances extrêmes positives et négatives. Elle est construite de la même manière que la copule gaussienne mais à partir de la distribution de Student centrée réduite.

Dans le cas d'un portefeuille comportant des catastrophes, celles-ci dépendent de la dépendance de queue du copule. Les copules Gaussiennes et Student sont très différents du point de vue de cette dépendance. En effet il y a indépendance des valeurs extrêmes pour le copule Normale tandis que la Student présente une forte dépendance de queue.

De plus contrairement à la copule gaussienne qui ne prend que la matrice de corrélation comme seul paramètre, la copule de student prend quant à elle deux paramètres : la matrice de corrélation et le degré de liberté. Elle laisse donc plus de choix quant aux tests de sensibilités pour de meilleures modélisations.

4.1.2 Applications de la copule de Student à 6 degrés de liberté

L'application d'une copule de Student à 6 degrés de liberté donne les valeurs de SCR suivantes :

1. Au niveau du risque de prime : L'utilisation d'une copule de Student à 6 degrés de liberté donne **un SCR de prime de 2,6 millions**. Il n'y a pas de différence entre la copule de Student à 6 degrés de liberté et la copule gaussienne.
2. Au niveau du risque de réserves : L'utilisation d'une copule de Student à 6 degrés de liberté donne **un SCR de prime de 24,4 millions**. Le SCR de base augmente donc de 6 millions avec l'application de cette copule.

Ainsi pour cette nouvelle copule, le SCR Non Vie augmente de 6,5 millions. Elle augmente considérablement le SCR de réserves et n'a presque aucun impact sur le SCR de primes. Il est donc préférable de s'en tenir aux recommandations de l'entreprise

4.1.3 Applications de la copule de Student à 4 degrés de liberté

L'application d'une copule de Student à 4 degrés de liberté donne les valeurs de SCR suivantes :

1. Au niveau du risque de prime : L'utilisation d'une copule de Student à 4 degrés de liberté donne **un SCR de prime de 2,2 millions**. Ce nouveau SCR permet donc **une réduction du SCR de prime de 0,4 millions**. Ainsi ce surplus de SCR pourra augmenter les fonds propres de l'entreprise.

2. Au niveau du risque de réserves : L'utilisation d'une copule de Student à 4 degrés de liberté donne **un SCR de prime de 19,3 millions**. Le SCR de base augmente donc de 1,4 millions.

Pour cette nouvelle copule, le SCR Non-Vie augmente de 1,041 millions. Il est donc préférable de s'en tenir aux recommandations de l'entreprise.

4.1.4 Récapitulatif

Le tableau suivant donne un récapitulatif des valeurs obtenues sur les SCR de primes et de réserves en fonction des études de sensibilité faites sur les lois de corrélations pouvant être appliquées aux différents portefeuilles

Etudes de sensibilités	Copule gaussienne	Copule de Student avec 4 degrés de liberté	Copule de Student avec 6 degrés de liberté	Delta Gaussienne vs Student (4)	Delta Gaussienne vs Student (6)
Risque de primes	2,6	2,2	2,6	0,417	-0,029
Risque de réserves	17,8	19,3	24,4	-1,459	-6,549
Risque Non Vie	20,4	21,5	27	-1,041	-6,578

FIGURE 4.1 – Tableau récapitulatif

De légères variations sont observées sur le SCR du risque de primes. Cependant le SCR du risque de réserves augmente considérablement, d'environ 6 millions, dans le cas de la loi de student. Cette augmentation impacte directement le SCR après diversification mais d'une valeur inférieure que celle observée en vision standalone. De plus, le SCR semble augmenter avec le nombre de degré de liberté.

Il est donc judicieux de se tenir aux recommandations du groupe quant aux niveaux de corrélations entre les portefeuilles. Ces recommandations permettent de minimiser le SCR.

4.2 Modifications des valeurs de corrélation

Comme recommandé par le groupe, la corrélation entre les portefeuilles se fera par l'utilisation de la copule de loi normale. Cependant les corrélations entre les différents portefeuilles restent nulles dans un premier temps. Le but de cette partie est d'essayer de déterminer les valeurs de corrélations les plus représentatives du business de Generali.

La modification de ces valeurs impactera le résultat technique dans le cas du risque de prime et le CDR dans le cas du risque de réserves. Ce qui impactera directement les différents SCR et donc le SCR total.

4.2.1 Cas du risque de prime

Une corrélation de 25% est appliquée entre les différents portefeuilles collectifs et il en est de même pour les portefeuilles individuels. Cependant il n'y aura pas de corrélations

entre les portefeuilles individuels et les portefeuilles collectifs. Le nouveau SCR de prime obtenu est égale à 2,76 millions contre 2,64 avec une corrélation nulle entre les différents portefeuilles. Cette nouvelle corrélation augmente donc le SCR d'environ 0,1 millions. De plus appliquer une telle corrélation reste assez contraignante pour le calibrage même du risque de prime.

La seconde corrélation appliquée est de considérer une corrélation de 25% entre les portefeuilles collectifs et en faire de même pour les portefeuilles individuels. De plus, appliquer une corrélation de -25% entre les portefeuilles collectifs et les portefeuilles individuels. Le nouveau SCR de prime obtenu est égale à 2,59 millions contre 2,64 avec une corrélation nulle entre les différents portefeuilles. Cette valeur reste la valeur la moins élevée du SCR obtenue lors de l'étude de sensibilité sur les corrélation. Cependant, son application officielle demande d'autres études de sensibilités qui ne seront pas décrites dans ce mémoire en raison de leur champs d'action.

4.2.2 Cas du risque de Réserve

Les mêmes études de sensibilité, appliquées dans le cas du risque de prime, seront aussi appliquées dans le cas du risque de réserve.

Une corrélation de 25% est appliquée entre les différents portefeuilles collectifs et portefeuilles individuels. Cependant il n'y aura pas de corrélations entre les portefeuilles individuels et les portefeuilles collectifs. Le nouveau SCR de prime obtenu est égale à 24,69 millions contre 17,8 avec une corrélation nulle entre les différents portefeuilles. Cette nouvelle corrélation augmente donc le SCR d'environ 7 millions.

La seconde corrélation à appliquer est de considérer une corrélation de 25% pour deux portefeuilles collectifs et en faire de même pour deux portefeuilles individuels. De plus, appliquer une corrélation de -25% sur l'interaction entre un portefeuille individuelle et un portefeuille collectif. Le nouveau SCR de prime obtenu est égale à 24,07 millions contre 7,8 avec une corrélation nulle entre les différents portefeuilles.

Ces deux études montrent qu'une augmentation des valeurs de corrélation impacte fortement le risque de réserves.

4.2.3 Récapitulatif

Le tableau suivant donne un récapitulatif des valeurs obtenues sur les SCR de primes et de réserves en fonction des études de sensibilité faites sur les corrélation entre les différents portefeuilles

Etudes de sensibilité	Corrélations nulles	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs et entre portefeuilles individuels	Corrélations de 25% entre Portefeuilles collectifs, entre portefeuilles individuels et -25% entre les portefeuilles collectifs et individuels	Delta Sensibilité 1	Delta Sensibilité 2
Risque de prime	2,6	2,7	2,6	0,056	0,018
Risque de réserves	17,8	24,7	24,1	6,893	6,273
Non Life UW	20,4	27,4	26,7	6,949	6,291

FIGURE 4.2 – Tableau récapitulatif

De légères variations sont observées sur le SCR du risque de primes. Cependant le SCR du risque de réserves augmente considérablement, d'environ 6 millions. Cette augmentation impacte directement le SCR après diversification mais d'une valeur inférieure que celle observée en vision standalone.

Il est donc judicieux de se tenir aux recommandations du groupe quant aux niveaux de corrélations entre les portefeuilles.

Conclusion

Les compagnies d'assurance sont confrontées à des réglementations de plus en plus strictes et précises. C'est le cas du pilier 1 de Solvabilité 2 qui impose aux compagnies une exigence de capital requis. Réduire ce capital exigé dans la mesure de la réglementation permet aux compagnies d'augmenter leurs fonds propres et dans la même mesure leur capacité d'investissement. En plus de ces réglementations, l'évolution du marché pousse ces compagnies à adopter de nouvelles méthodes de calibrages pour une partie ou l'entièreté des risques de certains de leurs portefeuilles

C'est dans cette optique que cette étude visant à scinder le risque santé (renommé en Health Claims) du portefeuille de la prévoyance a été menée. En effet cette scission répondait à certaines exigences portant sur la nature même du risque Santé.

Le but de l'étude était de comparer l'impact entre la méthode hybride, méthode associant des techniques vies et des techniques non vies et qui est utilisée actuellement au sein de la compagnie sur le portefeuille Prévoyance, et une méthode totalement non vie appliquée uniquement sur le risque santé.

Plusieurs changements au niveau du calibrage des risques sont observés et certaines étapes de projections sont supprimées.

L'analyse des résultats finaux a reflété une légère diminution du SCR en vision standalone et une augmentation assez significative du SCR en vision diversifiée. Cette augmentation est nettement due aux effets de diversifications des différents risques entre eux. En effet, le risque santé avait, avec la méthode hybride, un effet de diversification négatif qui réduisait le SCR total. Une fois la nouvelle méthode appliquée le risque santé laisse la place aux risques de primes et de réserves qui ont eux des effets de diversifications positifs. Cette nouvelle méthode semble alors ne pas être optimale du point de vue du SCR mais elle permet de mieux refléter l'impact du risque santé sur le business de l'entreprise.

Les études de sensibilités menées et qui avaient pour but de réduire de manière optimale le SCR avec cette nouvelle méthode reflètent de légères variations à la baisse sur le SCR de primes mais à la hausse sur le SCR de réserves. Il semble alors idéal de suivre les recommandations de l'entreprise quant aux choix des copules de corrélations et leurs valeurs entre les différents portefeuilles.

Hormis son impact sur le SCR, le changement du calcul du SCR santé impacte aussi la

valeur de la marge pour risque. Cet impact est dû à la nature du risque santé qui diffère de celle des risques de primes et de réserves. Mais cette section n'a pas été détaillée dans ce mémoire.

Il est possible aussi d'appliquer cette étude aux autres risques du portefeuille de prévoyance à savoir les risques de Mortalité et de Morbidité / Invalidité car leurs données ont la même structure que le risque Santé. L'étude appliquée sur ces risques pourraient révéler des axes d'amélioration sur l'étude du risque Santé et ainsi atteindre une valeur de SCR plus optimale.

Bibliographie

- [1] Generali Guidelines, *Life Underwriting Risk methodology and calibration*
- [2] Directives Solvency II, *Directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (solvabilité II)*, 2017, **Espace Economique Européen**
- [3] [Merz et Wüthrich, 2008], *Modelling The Claims Development Result For Solvency Purposes*. **Merz, M. et Wüthrich, M.** (2008).
- [4] Documentation OPTIMIND, *Solvabilité II et les modèles internes*. pages 03-06.
- [5] Mémoire d'Actuaire, *Recherche de l'allocation optimale sous Solvabilité II en Prévoyance*, 2021, **SUPARDI Yanri**
- [6] [CARNOT, 2018], *Modélisation et inclusion du jugement d'expert dans le risque de réserve à 1 an*, « Actuary-in-the-box », **CARNOT, S.** (2018).
- [7] [Charpentier et Denuit, 2005], *Mathématiques de l'assurance non-vie - tome 2. Economica*. **Charpentier, A. et Denuit, M.** (2005).
- [8] Generali Guidelines, *Internal Model LSMC methodology*
- [9] [EIOPA, 2016] EIOPA (2016). Directive solvabilité 2.
- [10] Mémoire d'Actuaire, *Provisionnement Best Estimate et étude de la sinistralité d'un portefeuille de Prévoyance et Santé individuelles, dans le cadre de Solvabilité II*, 2016, **Romain SIDDI**
- [11] Mémoire d'Actuaire, *Application de la méthode de munich-Ladder au calcul de SCR de réserve en modèle interne*, 2020, **Mathieu ETTIEN**
- [12] Generali Guidelines, *Reserving Risk Methodology*.
- [13] [Bonnefoy et Devictor, 2007], *Calcul stochastique de provisions techniques d'assurance non-vie*. **Bonnefoy, C. et Devictor, B.** (2007).
- [14] Support d'enseignement, *Les chiffres et les principes de la prévoyance et de la complémentaire santé*, 2021-2022, **Anne Marion**

- [15] [Hastings, 1970], *Monte carlo sampling methods using markov chains and their applications*, 1970, **Hastings**. *Biometrika*, 57(1) :97–109.
- [16] Generali Guidelines, *LSMC Liability Proxy Function Generation*, 2021.
- [17] *Loi santé travail*, 2017, <https://www.capemploi-50.com/actualites/nouvelle-loi-%C2%AB-sante-au-travail-%C2%BB-10-mesures-a-retenir-pour-2022.html>
- [18] *An Introduction to the Bootstrap*, Springer US, 1993, **Efron and Tibshirani**.
- [19] Mémoire d'Actuaire, *Optimisation de l'étape de régression de l'approche LSMC pour le calcul d'un proxy du Best Estimate dans un modèle interne*, 2021, **Marine Cheret**
- [20] Support d'enseignement, *Protection sociale*, 2020-2021, **Mylène FAVRE-BEGUET**

Annexes

4.1 Portefeuilles collectifs

1. COLL_FM_SOFAXIS

Development Factors																				
	dpr: 1	dpr: 2	dpr: 3	dpr: 4	dpr: 5	dpr: 6	dpr: 7	dpr: 8	dpr: 9	dpr: 10	dpr: 11	dpr: 12	dpr: 13	dpr: 14	dpr: 15	dpr: 16	dpr: 17	dpr: 18	dpr: 19	dpr: 20
2001	1,616	1,058	1,039	1,039	1,001	1,019	0,990	1,002	0,998	0,996	1,003	1,003	0,995	1,005	1,002	1,000	1,001	1,005	1,003	0,994
2002	1,778	1,074	1,055	1,005	1,025	0,990	1,003	1,006	1,005	1,000	0,999	1,002	1,000	1,000	1,003	1,005	1,006	1,000	1,003	
2003	1,916	1,172	1,011	1,049	1,003	0,984	1,005	0,997	0,997	1,004	0,986	1,000	1,003	1,002	1,000	1,003	1,006	1,000	1,003	
2004	2,111	1,020	1,031	0,988	0,995	1,011	1,026	1,005	0,964	1,004	1,009	1,012	1,007	1,000	1,010	1,038	0,997			
2005	1,304	1,073	0,999	0,974	0,995	1,015	1,016	1,024	0,982	1,012	1,004	1,003	1,011	0,996	0,998	1,003				
2006	1,114	1,031	1,040	1,041	0,993	1,020	1,000	1,002	0,984	1,009	1,008	1,017	1,007	0,996	1,014					
2007	2,019	1,028	0,745	0,971	1,015	1,006	0,971	1,006	1,001	1,000	1,005	1,000	0,996	1,015						
2008	1,435	0,988	1,028	1,023	1,005	0,992	1,016	0,984	1,009	1,018	1,005	1,013	0,990							
2009	1,407	1,164	0,998	0,935	0,974	1,011	0,998	1,009	1,004	0,996	0,999	1,029								
2010	3,096	0,701	1,004	0,970	1,019	1,003	1,001	0,997	1,009	1,004	0,987									
2011	1,416	0,954	0,955	1,022	0,981	1,017	1,002	1,025	0,997	1,002										
2012	1,384	0,934	1,044	0,909	0,988	0,997	1,032	0,979	1,009											
2013	1,372	1,115	0,986	1,001	0,983	1,003	1,007	1,022												
2014	1,429	0,931	0,957	1,010	0,998	0,982	0,997													
2015	1,329	0,965	0,992	0,988	0,975	0,999														
2016	1,919	0,932	0,905	0,978	1,000															
2017	1,401	0,996	0,881	1,016																
2018	1,504	0,873	0,889																	
2019	1,615	0,895																		
2020	0,958																			
2021																				

FIGURE 4.3 – Modélisation risque de primes

Ratios Indicator																				
	dpr: 1	dpr: 2	dpr: 3	dpr: 4	dpr: 5	dpr: 6	dpr: 7	dpr: 8	dpr: 9	dpr: 10	dpr: 11	dpr: 12	dpr: 13	dpr: 14	dpr: 15	dpr: 16	dpr: 17	dpr: 18	dpr: 19	dpr: 20
2001	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
2002	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
2003	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
2004	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2005	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2006	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2007	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2008	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2009	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2011	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2012	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2013	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2014	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2015	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2016	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2017	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2018	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2019	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2020	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2021	<input type="checkbox"/>																			

FIGURE 4.4 – Modélisation risque de primes

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	23,77%
CoV	19,79%

FIGURE 4.5 – Modélisation risque de primes

2. COLL_FM_STANDARD + 1/20

Development Factors																				
	dpc: 1	dpc: 2	dpc: 3	dpc: 4	dpc: 5	dpc: 6	dpc: 7	dpc: 8	dpc: 9	dpc: 10	dpc: 11	dpc: 12	dpc: 13	dpc: 14	dpc: 15	dpc: 16	dpc: 17	dpc: 18	dpc: 19	dpc: 20
2001	1,40174	1,00915	1,00006	1,00000	1,00002	1,00011	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2002	1,37785	1,00639	1,00105	1,00001	1,00006	1,00007	1,00001	1,00000	0,99997	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2003	1,36708	1,00919	1,00000	1,00000	1,00002	1,00003	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2004	1,36263	1,03110	1,00012	1,00007	1,00001	1,00000	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2005	1,37593	1,00940	1,00023	1,00004	1,00000	1,00019	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2006	1,36741	1,01210	1,00037	1,00004	1,00151	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2007	1,36968	1,01007	1,00067	0,99725	1,00000	0,99938	1,00062	0,99939	1,00033	0,99967	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2008	1,35227	1,01182	0,98404	1,00001	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2009	1,34442	1,00623	1,00065	1,00021	1,00000	1,00000	0,99999	1,00000	1,00000	1,00001	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2010	1,63388	1,00784	1,00139	1,00005	1,00014	1,00001	1,00008	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2011	1,34739	1,01039	0,99985	1,00071	1,00019	1,00001	1,00003	1,00001	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2012	1,35233	1,00829	1,00088	1,00021	1,00010	1,00005	1,00001	1,00005	1,00002	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2013	1,33577	1,00601	1,00092	1,00013	1,00005	1,00001	1,00000	0,99999	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2014	1,39566	1,02357	0,98916	1,00027	1,00000	1,00003	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2015	1,36507	1,01073	1,00139	1,00011	1,00017	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2016	1,36885	0,99786	1,00112	1,00072	1,00024	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2017	1,15194	1,00491	1,00108	1,02061	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2018	1,13971	1,00918	1,00126	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2019	1,16060	1,01747	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2020	1,51920	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2021	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	#####	1,00000	#####	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

FIGURE 4.6 – Modélisation risque de primes

Ration Indicator																				
	dpc: 1	dpc: 2	dpc: 3	dpc: 4	dpc: 5	dpc: 6	dpc: 7	dpc: 8	dpc: 9	dpc: 10	dpc: 11	dpc: 12	dpc: 13	dpc: 14	dpc: 15	dpc: 16	dpc: 17	dpc: 18	dpc: 19	dpc: 20
2001	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2002	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2003	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2004	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2005	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2006	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2007	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2008	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2009	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2010	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2011	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2012	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2013	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2014	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2015	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2016	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2017	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2018	<input checked="" type="checkbox"/>																			
2019	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2020	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2021	<input type="checkbox"/>																			

FIGURE 4.7 – Modélisation risque de primes

Final Output Parameters			Log Likelihood		Chi-Squared Test Results			
	Mean per Unit Exposure	CoV			PValue	Statistic	DF	NumBins
Normal	0,905846	0,010508		-7,38	0,00	-2,00	1,00	1,00
Lognormal ML	0,905846	0,010511		-31,30	0,00	-2,00	1,00	1,00
Gamma ML	0,905842	0,010846		-34,98	0,00	-2,00	1,00	1,00

FIGURE 4.8 – Modélisation risque de primes

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	90,58%
CoV	1,05%

FIGURE 4.9 – Modélisation risque de primes

3. COLL_FM_KP

Development Factors									
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9
2010	1,130	1,006	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2011	1,103	1,005	1,000	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	
2012	1,190	1,006	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
2013	1,160	1,011	1,000	1,000	1,000	1,000			
2014	1,212	1,014	1,001	1,000	1,000				
2015	1,162	1,012	1,000	1,002					
2016	1,279	1,014	1,001						
2017	1,460	1,022							
2018	1,395								
2019									

FIGURE 4.10 – Modélisation risque de primes

Ratios Indicator									
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9
2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2011	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
2012	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2013	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2014	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
2015	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2016	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
2017	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
2018	<input checked="" type="checkbox"/>								
2019									

FIGURE 4.11 – Modélisation risque de primes

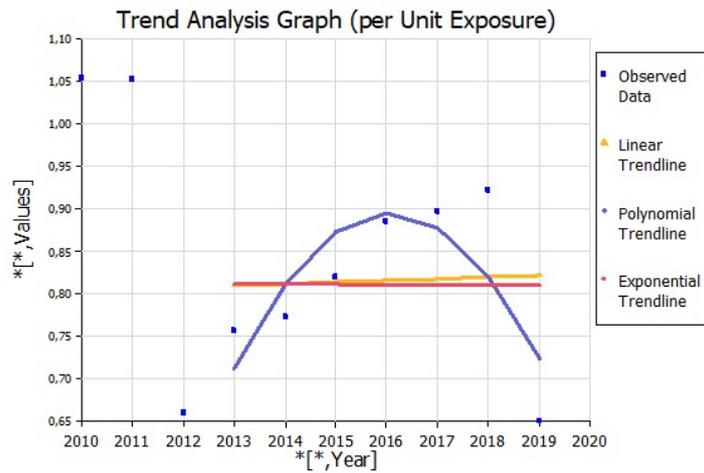


FIGURE 4.12 – Modélisation risque de primes

Final Output Parameters			Log Likelihood	Chi-Squared Test Results			
	Mean per Unit Exposure	CoV		PValue	Statistic	DF	NumBins
Normal	0,805975	0,177656	-31,48		1,04	0,00	3,00
Lognormal ML	0,806252	0,185114	-76,23	0,25	1,33	1,00	4,00
Gamma ML	0,805975	0,181844	-82,52	0,27	1,24	1,00	4,00

FIGURE 4.13 – Modélisation risque de primes

4. COLL_FM_KMUT

Development Factors									
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9
2010	1,12556	1,00528	1,00015	0,99998	0,99983	1,00000	1,00007	1,00020	0,99993
2011	1,12807	1,00314	0,99993	0,99960	1,00032	1,00014	1,00001	0,99991	
2012	1,15260	1,00696	0,99957	1,00058	1,00029	0,99981	0,99997		
2013	1,23534	1,00790	1,00204	1,00074	1,00002	1,00018			
2014	1,13979	1,00479	1,00044	1,00023	1,00010				
2015	1,15094	1,00526	1,00050	1,00021					
2016	1,11691	1,00493	1,00055						
2017	1,12609	1,00402							
2018	1,11538								
2019									

FIGURE 4.14 – Modélisation risque de primes

Ratios Indicator										
	dp: 1	dp: 2	dp: 3	dp: 4	dp: 5	dp: 6	dp: 7	dp: 8	dp: 9	
2010	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2011	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
2012	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
2013	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
2014	<input checked="" type="checkbox"/>									
2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
2016	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>							
2017	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								
2018	<input checked="" type="checkbox"/>									
2019										

FIGURE 4.15 – Modélisation risque de primes

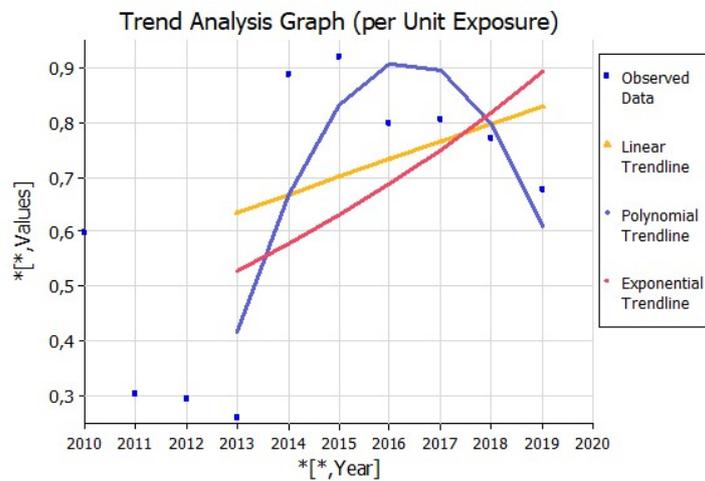


FIGURE 4.16 – Modélisation risque de primes

Final Output Parameters			Log Likelihood	Chi-Squared Test Results			
	Mean per Unit Exposure	CoV		PValue	Statistic	DF	NumBins
Normal	0,771270	0,191433	-34,76		0,05	0,00	3,00
Lognormal ML	0,775920	0,284609	-80,85		3,94	0,00	3,00
Lognormal MoM	0,732668	0,280251	-108,65	0,08	3,11	1,00	3,00
Gamma ML	0,771270	0,242976	-86,54		3,25	0,00	3,00
Gamma MoM	0,732668	0,280251	-98,61	0,10	2,70	1,00	3,00

FIGURE 4.17 – Modélisation risque de primes

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	77,59%
CoV	28,46%

FIGURE 4.18 – Modélisation risque de primes

4.2 Portefeuilles individuels

INDIV_FM_SANTE DPRO

Development Factors																
	dp:1	dp:2	dp:3	dp:4	dp:5	dp:6	dp:7	dp:8	dp:9	dp:10	dp:11	dp:12	dp:13	dp:14	dp:15	dp:16
2005	1,05283	1,00038	0,99993	0,99999	0,99995	1,00000	1,00000	1,00000	1,00084	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,01879	0,98074	1,00000
2006	1,07754	1,00392	1,00175	1,00110	1,00113	1,00079	1,00058	1,00132	1,00089	1,00024	1,00017	1,00022	1,00000	1,01882	0,98094	
2007	1,05608	1,00011	1,00000	1,00000	0,99972	0,99935	1,00086	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,02003		
2008	1,05695	1,00048	1,00010	1,00000	0,99993	1,00044	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			
2009	1,21605	1,00683	1,00058	1,00014	1,00013	1,00002	1,00000	1,00001	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000			
2010	1,21549	1,00647	1,00042	1,00034	1,00008	1,00001	1,00002	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000				
2011	1,22238	1,00708	1,00048	1,00033	1,00015	1,00003	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000						
2012	1,20110	1,00642	1,00027	1,00012	1,00013	1,00000	1,00003	1,00000	1,00000							
2013	1,19520	1,00540	1,00025	1,00021	1,00002	1,00006	1,00001	1,00000								
2014	1,20254	1,00649	1,00044	1,00013	0,99905	1,00000	1,00000									
2015	1,19747	1,01124	1,00051	1,00007	1,00001	1,00018										
2016	1,19975	1,00806	0,99970	1,00004	1,00004											
2017	1,19691	1,00065	1,00026	1,00003												
2018	1,18279	1,00433	1,00024													
2019	1,18546	0,98596														
2020	1,25728															
2021																

FIGURE 4.19 – Modélisation risque de primes

Ratios Indicator																
	dp:1	dp:2	dp:3	dp:4	dp:5	dp:6	dp:7	dp:8	dp:9	dp:10	dp:11	dp:12	dp:13	dp:14	dp:15	dp:16
2005	<input type="checkbox"/>															
2006	<input type="checkbox"/>															
2007	<input type="checkbox"/>															
2008	<input checked="" type="checkbox"/>															
2009	<input checked="" type="checkbox"/>															
2010	<input checked="" type="checkbox"/>															
2011	<input checked="" type="checkbox"/>															
2012	<input checked="" type="checkbox"/>															
2013	<input checked="" type="checkbox"/>															
2014	<input checked="" type="checkbox"/>															
2015	<input checked="" type="checkbox"/>															
2016	<input checked="" type="checkbox"/>															
2017	<input checked="" type="checkbox"/>															
2018	<input checked="" type="checkbox"/>															
2019	<input checked="" type="checkbox"/>															
2020	<input type="checkbox"/>															
2021	<input type="checkbox"/>															

FIGURE 4.20 – Modélisation risque de primes

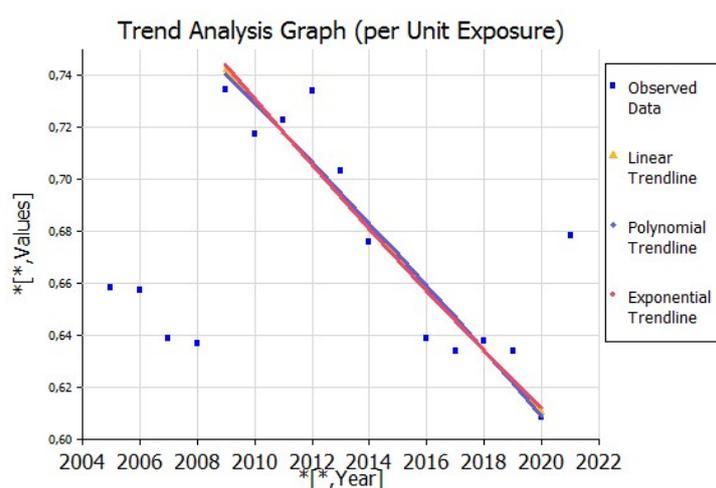


FIGURE 4.21 – Modélisation risque de primes

Final Output Parameters			Log Likelihood	
	Mean per Unit Exposure	CoV		
Normal	0,598452	0,022549		-20,88
Lognormal ML	0,598452	0,022416		-18,22
Gamma ML	0,598452	0,022434		-19,28

Chi-Squared Test Results			
PValue	Statistic	DF	NumBins
0,33	0,94	1,00	4,00
0,34	0,93	1,00	4,00
0,33	0,93	1,00	4,00

FIGURE 4.22 – Modélisation risque de primes

Chiffres	Valeurs (par unité d'exposition)
Moyenne	59,85%
CoV	2,25%

FIGURE 4.23 – Modélisation risque de primes