



Mémoire présenté devant le jury de l'EURIA en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Actuaire EURIA  
et de l'admission à l'Institut des Actuaire

le 21 Septembre 2017

Par : Marlene Audrey GBADI  
Titre : Validation des Provisions Techniques Vie sous Solvabilité 2

Confidentialité : Oui

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

*Membre présent du jury de l'Institut  
des Actuaire :*

François LEPRINCE

Signature :

*Entreprise :*



*Membres présents du jury de l'EURIA :*

Daniel BOIVIN

Isabelle DEVINE

*Directeur de mémoire en entreprise :*

Regine ONOMO

Signature :

*Invité :*

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 :

Signature du candidat :

Secrétariat :

Bibliothèque :



# Résumé

Dans le cadre de son système de gestion des risques, chaque entreprise d'assurance et de réassurance procède à une évaluation interne de ses risques et de sa solvabilité. La mise en place de quatre fonctions clés (fonction de gestion des risques, fonction de conformité, fonction d'audit interne et fonction actuarielle) introduites par la directive 2009/138/CE dite "Solvabilité 2", vient renforcer la stratégie de contrôle des risques inhérents à l'ensemble des activités.

La fonction actuarielle, l'une des quatre fonctions clés, a entre autres pour tâche de superviser le calcul des provisions techniques.

La valeur des provisions techniques correspond à la somme d'une meilleure estimation du passif (Best Estimate of Liabilities ou BEL) et d'une marge pour risque (Risk Margin ou RM). Sous solvabilité 2, de même que les actifs sont évalués en valeur de marché, les provisions techniques y sont évaluées selon une approche économique.

Sur un portefeuille d'assurance vie composé principalement d'épargne et de retraite, les flux de passifs futurs liés aux options et garanties sont évalués sous certaines hypothèses à partir d'un modèle de projection.

A la question : Les provisions techniques évaluées sont-elles suffisantes ?

Ce mémoire répond en donnant des clés d'analyse.

La qualité de données, la construction et la validation des hypothèses, les variations des résultats d'une année à l'autre, les jugements d'experts réalisés ont été examinés. Aussi une comparaison des provisions techniques du marché de l'assurance vie a été réalisée afin de positionner le portefeuille étudié.

La fonction actuarielle peut procéder par la suite à la validation des provisions techniques en donnant une appréciation ou note à partir de critères, de clés d'analyse définies, par l'utilisation d'une technique statistique d'aide à la décision. Appelée analyse multicritère, la méthode permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères. Sur le portefeuille, plus la note obtenue par l'analyse multicritère se rapproche de la note maximale, moins le processus de validation des provisions techniques comporte d'anomalies.

**Mots clés :** Actuariat, Assurance Vie, Solvabilité 2, Fonction Actuarielle, Provisions Techniques, "BEL", "Best Estimate", Meilleure estimation, "Risk Margin", Marge pour risque, Qualité des données, Analyse de mouvements, Jugements d'experts, "Benchmarking", Analyse Multicritère, "Scoring", Aide à la décision

# Abstract

As part of its risk-management system, each insurance and reinsurance undertaking carries out an internal assessment of its risks and its solvency. This system includes implementation of four key functions (the risk-management function, the compliance function, the internal audit function and the actuarial function) introduced by directive 2009/138 / EC called "Solvency 2", aiming at reinforcing the risk control strategy inherent in all activities.

One of actuarial function's role is to oversee the calculation of technical provision. The value of technical provision corresponds to the sum of a Best Estimate of the Liability(BEL) and a Risk Margin. Under solvency 2, as well as assets are valued at market value, technical provisions are valued using an economic approach.

On a life insurance portfolio composed mainly of savings and retirement products, the futures liabilities cashflows related to options and guarantees are assessed under certain assumptions using a projection model.

To the question : Are the actuarial liabilities assessed appropriate ?

This thesis responds by providing analysis keys.

Data quality, construction and validation of assumptions, analysis of changes on results from one year to the next, expert judgments are examined. A comparison of technical provisions on life insurance market is also carried out to position the portfolio.

Actuarial function can then proceed to the validation of technical provisions by giving an appreciation or rating based on criteria, defined analysis keys, by using a method of decision support. Called multicriteria analysis, this method allows to choose between several solutions by decomposing a grid of analysis in several criteria. On the portfolio, the higher the score obtained by the multicriteria analysis, the less anomalous the technical provisions validation process.

**Keywords :** Actuarial science, Solvency 2, Life assurance, Actuarial function, Actuarial practice, Technical Provision, Best estimate, BEL, Risk margin, Data quality, Analysis of change, Benchmarking, Expert judgements, Multicriteria analysis, Scoring, Decision support

# SYNTHESE

**Mots clés :** Actuariat, Assurance Vie, Solvabilité 2, Fonction Actuarielle, Provisions Techniques, "BEL", "Best Estimate", Meilleure estimation, "Risk Margin", Marge pour risque, Qualité des données, Analyse de mouvements, Jugements d'experts, "Benchmarking", Analyse Multicritère, "Scoring", Aide à la décision

Pourquoi s'assurer que les provisions techniques sont suffisantes ?

L'activité d'assurance se déroulant selon un cycle inversé de production, le prix réel de la garantie payée à l'assuré n'est connu qu'au moment des prestations ou au terme des contrats. Les assureurs tarifient donc leurs produits sur la base de prévisions et d'hypothèses économiques et financières.

Une provision est l'évaluation des engagements de l'assureur. Sous la directive 2009/138/CE dite "Solvabilité 2", de même que les actifs sont évalués en valeur de marché, les provisions techniques doivent être évaluées selon une approche économique "Best Estimate" c'est-à-dire sans être sous-estimées ou sur-estimées. La mise en place de Solvabilité 2 pousse les assureurs à renforcer leur système de gestion de risque.

L'étude réalisée dans ce mémoire a pour objectif de donner des clés de validation des provisions techniques vie à la fonction actuarielle.

## DESCRIPTION ET RESULTATS DU PORTEFEUILLE

Le portefeuille étudié, divisé en trois entités, de la compagnie Aviva, est composé d'épargne individuelle et collective (dont la valeur est exprimée en Euros, en UC ou en Eurocroissance) ; de prévoyance vie, non vie et mixte (garanties liées aux décès, aux accidents, à la morbidité, à l'invalidité, aux maladies ou soins de longue durée) ; de rentes et de vie entière. L'étude sera principalement portée sur l'épargne individuelle qui est majoritaire dans le portefeuille.

En valeur comptable, les actifs en couverture de ce passif sont composés principalement d'obligations à 50%, d'actions à 21%, d'OPCVM à 20%, d'immobiliers à 5% et de monétaires à 4%.

L'assureur étant amené à déterminer en permanence les valeurs globales des flux futurs (primes, prestations, frais, revenus des actifs), vérifie donc au préalable la cohérence entre les caractéristiques du portefeuille et les méthodes de calcul des provisions techniques. Un modèle de projection de contrat d'assurance est un outil mathématique permettant à la compagnie de projeter sous certaines hypothèses (générateurs de scénarios économiques, lois de rachats, lois de mortalité, dépenses etc...), ses métriques économiques, son bilan et son compte de résultat, en estimant les flux futurs probables de trésorerie.

Sur le portefeuille, la quasi totalité des options et garanties (O&G) matérielles est modélisée (Soit environ 99,20% de la provision mathématique).

List of Options and Guarantees	Modelling			
	Option	Guarantee	Deterministic	Stochastic
Switch	x		x	x
Payments method	x		x	
Technical rates		x		x
Minimum guaranteed rate		x		x
Profit sharing rule		x		x
Ring-fenced fund		x		x
Bonuses' mechanism	x		x	x
Advance	x			x
Lapses / Transfer	x		x	x
Financial and management options	x		x	
Bonuses on death benefits		x	x	
Annuity conversion option	x		x	
Guaranteed annuity options	x		x	
Guaranteed minimum death benefits		x		GMDB Model
Renunciation option	x		x	
Protection guarantee		x	x	
Assistance guarantee		x	x	
Periodicity of payment : Protection / Wholelife	x		x	
Specific clause on protection		x	x	
Payment of the guaranteed capital in anticipation	x		x	
Multiplication of the sum insured		x	x	
Waiting period	x		x	
Debarment period	x		x	

FIGURE 1 – Liste des options et garanties modélisées

Les principaux indicateurs de solvabilité présentés ci-dessous sont obtenus à l'aide du modèle interne partiel de la compagnie :

Results ( EUR / 000 000s)	Entité 1	Entité 2	Entité 3
Eligible Own Funds	4 479	1 371	872
SCR	3 728	959	370
Cover ratio	120%	143%	236%
Market value of assets	51 892	28 779	14 043
Technical Provisions	50 086	28 092	14 151
Best estimate liabilities (BEL)	49 142	27 817	14 051
Risk Margin	944	275	100

FIGURE 2 – Indicateurs de solvabilité

La meilleure estimation des passifs ou BEL est calculée comme suit :

$$BEL = VA \text{ des Prestations} + VA \text{ des Frais et Commissions} - VA \text{ des Primes} - VA \text{ des Transferts} \\ + VA \text{ des Taxes sociales} + VA \text{ des éléments résiduels}$$

La marge de risque est calculée comme suit :

$$RM = E \left( COC * \sum \frac{SCR_i}{(1 + r_i)^i} \right)$$

Avec VA la valeur actualisée aux taux sans risque,  $SCR_i$  le SCR projeté à la date  $i$ ,  $r_i$  le taux d'actualisation à la date  $i$  et COC le coût du capital étant fixé à 6%.

Du fait de la complexité de la projection des SCR futurs, des approximations, des facteurs de risques ou "Driver" de SCR sont sélectionnés. Il s'agit soit des provisions mathématiques pour le risque opérationnel et le risque de dépenses, soit du BEL pour le reste des risques non-réplicables (longévité, mortalité, rachat, contrepartie) sur le portefeuille .

---

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

# ANALYSE ET SENSIBILITES

L'article 48 de la directive 2009/138/CE reprend le rôle de la fonction actuarielle .

1. Les entreprises d'assurance et de réassurance mettent en place une fonction actuarielle efficace afin de :
  - a) coordonner le calcul des provisions techniques ;
  - b) garantir le caractère approprié des méthodologies, des modèles sous-jacents et des hypothèses utilisés pour le calcul des provisions techniques ;
  - c) apprécier la suffisance et la qualité des données utilisées dans le calcul des provisions techniques ;
  - d) comparer les meilleures estimations aux observations empiriques ;
  - e) informer l'organe d'administration, de gestion ou de contrôle de la fiabilité et du caractère adéquat du calcul des provisions techniques ;
  - f) superviser le calcul des provisions techniques dans les cas visés à l'article 82 ;
  - g) émettre un avis sur la politique globale de souscription ;
  - h) émettre un avis sur l'adéquation des dispositions prises en matière de réassurance ; et
  - i) contribuer à la mise en oeuvre effective du système de gestion des risques visé à l'article 44, en particulier pour ce qui concerne la modélisation des risques sous-tendant le calcul des exigences de capital prévu au chapitre VI, sections 4 et 5, et pour ce qui concerne l'évaluation visée à l'article 45.

2. La fonction actuarielle est exercée par des personnes qui ont une connaissance des mathématiques actuarielles et financières à la mesure de la nature, de l'ampleur et de la complexité des risques inhérents à l'activité de l'entreprise d'assurance ou de réassurance et qui peuvent démontrer une expérience pertinente à la lumière des normes professionnelles et autres normes applicables.

Dans le cadre de ce mémoire, l'étude consistera en :

- o Une description du processus lié à la gouvernance de la qualité des données.

Une correspondance entre les contrôles réalisés par la compagnie et toutes les instructions en matière de qualité de données disponibles sur le marché, une appréciation des contrôles réalisés sur les données de passif et d'actif (Infocentre, Model-points, Hypothèses) mais également une appréciation des actions de chaque acteur de la gouvernance des données, sont requis pour une analyse complète. Un outil a été mis en place pour recenser ces points.

- o Une description des méthodologies de construction et de validation des hypothèses en lien avec le calcul des provisions techniques .

Sur le portefeuille, des techniques actuarielles de construction de loi sont utilisées. La définition du périmètre, les choix des variables d'intérêt, la segmentation, les choix d'estimateurs adaptés, sont faits à la suite d'études.

- Pour la mortalité, des tables d'expérience certifiées par un actuare sont préférées aux tables réglementaires quand le périmètre est important.
- Pour les lois de rachats, les taux bruts sont estimés à partir d'un historique important compris entre cinq et dix ans. Pour leur validation, il faut s'assurer que les données utilisées sont récentes et que le back-testing des lois, c'est-à-dire la comparaison des prestations d'expérience aux prestations prédites, est réalisé.
- Les générateurs de scénarios économiques quant à eux sont produits à l'aide de logiciels et de modèles de calibration sous licence de l'entreprise Moody's Analytics (MA) (anciennement Barrie & Hibbert) et leur validation est à la charge des équipes ESG de la compagnie.
- La stratégie de distribution de la participation aux bénéfices n'a pas été examiné dans l'étude.

- o Une analyse des variations des provisions techniques ainsi que des variables et des fonctionnalités clés du modèle.

En plus des explications et du calcul d'impacts liés aux changements (évolution du modèle, contribution des nouvelles affaires, mise à jour d'hypothèses etc...) d'une année à une autre des résultats, des chroniques issues des fonctionnalités ci-dessous sont analysées.

Functionality	Final Materiality
Market Assumptions - ESG - Interest rates	High
Market assumptions - ESG - Equity	High
Market assumptions - ESG - Property	High
Bonds	High
Equity	High
Mathematical reserves	High
Structural Lapse	High
Dynamic lapse	High
Guaranteed Rate	High
Market Rate	High
Profit sharing strategy	High
French reserves	High

FIGURE 3 – Fonctionnalités du modèle à matérialité élevée

Aussi l'analyse de la capacité d'absorption, de l'horizon de la projection, du nombre de simulations utilisées ainsi que du montant de la fuite du modèle permettent de juger de la pertinence des résultats.

o Une analyse et des sensibilités sur les jugements d'experts matériels liés au calcul des provisions techniques.

Sur le portefeuille, selon les experts, les jugements de matérialité élevée ont tous un niveau de confiance élevé. Cependant, une sensibilité réalisée sur les paramètres de la loi de rachats dynamiques montre que ceux-ci peuvent être améliorés. L'expert faisait en effet l'hypothèse que les paramètres fournis par QIS5<sup>1</sup> sur les rachats dynamiques étaient adéquats au portefeuille. Aussi, l'utilisation de la provision mathématique comme driver des dépenses pour le calcul de la marge de risque plutôt que du nombre de polices est préférée car la granularité du calcul ne permet pas de prendre en compte les spécificités de périmètres différents. Il en ressort que la validation par des études statistiques, par des back-testing ou par l'avis du management reposant sur des analyses étayées, est indispensable.

o Une comparaison des provisions techniques du marché des compagnies d'assurance françaises.

A titre indicatif, les provisions techniques sont comparées à celle du marché de l'assurance. Un intervalle de confiance d'un ratio  $\frac{\text{Provisions Techniques(PT)}}{\text{Valeur de marché des actifs(VM)}}$  a été déterminé à partir de données de six compagnies d'assurance et de données d'une étude de l'ACPR présentant la situation des principaux organismes solos en France au quatrième trimestre 2016. La distribution des ratios obtenus est tracée dans la boîte à moustache ci-dessous. Les entités y sont également positionnées :

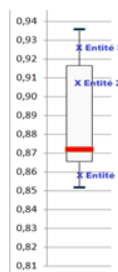


FIGURE 4 – Boîte à moustache du ratio PT/VM

Les 3 entités sont à l'intérieur de la distribution.

1. QIS 5 : Spécifications techniques qui ont permis une anticipation des travaux de mise en place des normes Solvabilité 2



# VALIDATION

Après s'être assurée que le calcul de provisions techniques satisfait aux exigences énoncées aux articles 75 à 86 de la directive 2009/138/CE, la fonction actuarielle peut donner une appréciation à partir d'un score. L'analyse multicritère permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères. Il s'agit d'une méthode d'aide à la décision passant par l'établissement d'un score. L'évaluation de dossiers de crédit par la Banque de France (Credit-men Américains) en est un domaine d'application.

Un critère est une fonction définie sur l'ensemble des actions représentant les préférences de l'utilisateur selon son point de vue.

$g : A \rightarrow X \subset \mathbb{R}$  qui permet, relativement à un point de vue donné et pour un acteur identifié, de comparer deux actions quelconque  $a$  et  $b$  :  $g(b) \geq g(a) \Rightarrow b$  "est au moins aussi bon que"  $a$ . Avec  $g$ , le critère à maximiser.

L'analyse multicritère nécessite une famille de critères  $g_1, \dots, g_p$  ( $p \geq 2$ ).

Il existe de nombreuses méthodes mathématiques d'analyse multicritère, mais celle utilisée dans l'étude est l'approche de l'agrégation en critère unique  $g(a, w) = f(g_1(a), \dots, g_p(a), w)$  où  $w$  paramètre(s) préférentiel(s) peut-être réalisée suivant différentes formules.

La méthode de la somme pondérée  $g(a) = \sum_{j=1}^p w_j * g_j(a)$  avec  $w_j > 0 (j = 1, \dots, p)$  (et  $\sum_{j=1}^p w_j = 1$ ) est connue de par son accessibilité mathématique.

Après identification des critères sur lesquels seront basés l'analyse, un poids est affecté à chaque critère selon son importance relative.

La fonction score, notée ici par la note pondérée  $N$  est du type :  $N = \sum_i a_i * R_i$

Avec  $R_i$  l'appréciation de chaque critère  $i$  et  $a_i$  le poids associé à chaque critère.

Plus le score ou la note  $N$  est élevé, plus les risques de défaillances sont faibles.

Sur le portefeuille, des critères de validation sont sélectionnés à partir de la réglementation et des analyses effectuées. Les analyses liées à la réglementation des taches de la fonctions actuarielle ou à une fonctionnalité critique et matérielle (Criticité) du calcul des PT ont des poids élevés. La tableau ci-dessous reprend les poids et le barème des appréciations

	Poids
Critères issus d'articles de la directive sur les provisions techniques ou du règlement délégué sur les taches de la fonction actuarielle	3 (Très significatif)
Critères liés aux fonctionnalités importantes du modèle et critères inspirés de la réglementation	2 (Significatif)
Autres Critères	1 (Peu significatif)

	Appréciation
Les tests n'ont pas relevé d'anomalies matérielles	2 (Bon)
Les tests ont révélé des anomalies moyennement matérielles	1 (Moyen)
Les tests ont révélé des anomalies matérielles	0 (Mauvais)

FIGURE 5 – Définition des poids et appréciations

Le tableau ci-dessous reprend les critères de validation, les poids et les appréciations pour chaque entité.

Critère	Poids	Entité 1	Entité 2	Entité 3	Justification
Modélisation des options & garanties. (Level 1 Article 79 et Level 2 Article 272)	3	2	2	2	Sur le portefeuille, le calcul des provisions techniques repose sur des techniques actuarielles pertinentes pour projeter des actifs et les flux de trésorerie des passifs, leurs interactions et les actions de gestion. Trois types de modèles de projection sont utilisés (déterministe, stochastique et un autre permettant le calcul de la GMDB - garantie minimale garantie de décès). La modélisation permet de refléter les principaux facteurs de risque du portefeuille soit liée aux risques de marché et soit liée aux options et garanties fournies aux assurés (TMG, GMDB, rachats, arbitrages et sorties en rente). 99,20% de la PM du portefeuille est modélisé.
Segmentation (Level 1 Article 80 et Level 2 Article 272)	3	1	1	1	Bien que la granularité de la projection semble adéquate pour refléter les principales caractéristiques de la projection, la granularité des QRT est limitée aux contrats Euro et UC. Cette segmentation ne répond complètement pas à l'exigence du règlement délégué, mais limite également la capacité d'effectuer une analyse pertinente des résultats (LOB, gamme de produits). Aussi pour l'outil de calcul de la marge de risque, augmenter la granularité permettra de mieux prendre en compte les spécificités des produits, notamment la protection ( Produits susceptibles d'utiliser un driver différent de celui des produits en Euro ). Cependant, les LOB non pris en compte ne sont pas très matérielles.
Qualité de données (Level 1 Article 82)	3	2	2	2	Sur le portefeuille, la politique de la qualité des données est mise en place. Un rapport sur l'évaluation de la qualité des données est publié annuellement par l'équipe chargée de la qualité des données. Il mentionne la criticité des données, les résultats des contrôles effectués et la liste des défaillances. Un outil mis en place permet de recenser l'appréciation de la Fonction Actuarielle sur les actions liées à la gouvernance des données, sur les sources et l'usage des données (infocentre, model-points, hypothèses techniques, ...) et sur la conformité des contrôles réalisés par rapport à la réglementation.
Construction d'hypothèses réalistes (Level 1 Article 77)	3	1	1	1	Sur le portefeuille, certaines hypothèses matérielles, par exemple les rachats n'ont pas été mis à jour depuis 2015. Pour rappel, dans Solvabilité 2, des informations plus récentes doivent être utilisées. Sinon des études doivent être réalisées pour soutenir que les lois sont toujours appropriées. L'analyse de mouvement ne met toutefois pas en évidence de dérive matérielle des hypothèses.
Analyse d'autres éléments pris en compte dans le calcul des PT (Level 1 Article 78)	3	1	1	1	Sur le portefeuille, la base de données utilisée pour dériver les hypothèses sur les dépenses n'est pas récente. Elle date de 2014 pour les trois entités. Des informations plus récentes doivent être utilisées. Sinon des études doivent être réalisées pour soutenir que la base de données 2014 est toujours appropriée pour les hypothèses de dépenses.
Comparaison avec les données tirées de l'expérience (Level 1 Article 83)	3	1	1	2	L'analyse pour détecter l'écart et pour assurer la cohérence des tables avec les données d'expérience n'a pas été correctement effectuée. Notamment sur l'entité 2 où pour la mortalité, les hypothèses ont été détériorées pour refléter le vieillissement de la population. En outre, bien que certifiée par un actuaire homologué pour une période de 5 ans, la table d'expérience utilisée sur l'entité 1 devrait faire l'objet d'une analyse de surveillance annuelle comme mentionné dans le rapport de certification. Pour l'entité 3, sur les rachats, la comparaison du réel et du prédit a été effectuée sur la base de deux années seulement d'observations.
Analyse des mouvements (Level 2 Article 272)	3	1	1	2	Les principales sources de variations sur le BEL comme: les changements de modèle, les changements d'hypothèses, la contribution des nouvelles affaires, les écarts d'expérience et tout autre élément matériel pour expliquer les changements dans les provisions techniques d'une année à l'autre sont examinées. Sur la marge de risque, la variation est due à la ligne "autre" qui n'est pas correctement explicitée pour les entités 1 et 2.
Analyse des fonctionnalités critiques du modèle	2	1	1	2	Des contrôles pour assurer la cohérence des flux de trésorerie, de l'allocation des actifs, de l'évolution des taux d'intérêts, des actions et immobiliers, de la stratégie de partage de bénéfice, des rachats dynamiques ont été réalisés à partir des sorties du modèle sur le scénario central déterministe pour l'entité 3. Une analyse de tous les scénarios stochastiques serait plus appropriée. Ces contrôles n'ont pas été réalisés pour les autres entités durant l'étude par manque de temps.
Analyse de la stabilité (Nombre de simulations)	2	2	2	2	Le processus de validation du modèle inclut une analyse de la stabilité des résultats produits par le modèle interne pour différents nombres de simulations parmi 5000. Le nombre de simulations retenues est de 3000 après analyse de la convergence des résultats.
Analyse de l'écart de convergence	1	1	2	2	Le Ratio Ecart de convergence /BEL est inférieur à 1% pour les trois entités. Cependant, celui de l'entité 1 est trois fois plus élevé que celui des autres. Une analyse plus approfondie devrait être réalisée.
Analyse de la capacité d'absorption	1	0	0	2	Le sens de variation des SCR brut et net d'effet absorption par la PB future est cohérent pour l'entité 3. Des contrôles similaires devraient être réalisés sur les autres entités.
Analyse des jugements d'experts	2	1	1	1	Bien que tous les jugements d'experts matériels aient un niveau de confiance élevé, la sensibilité sur les rachats dynamiques par exemple montre que des améliorations sont possibles. Aussi, les justifications sont généralement limitées, elles comprennent des raisons rationnelles mais devraient également comprendre une analyse quantitative, une évaluation de la matérialité et rendre transparentes les incertitudes liées aux hypothèses faites. En outre, certains jugements d'experts ne sont pas signalés dans le répertoire.
Analyse du ratio PT/VM	1	2	2	2	La boîte à moustache des ratios PT/VM du marché de l'assurance vie est tracée. Les ratios des entités 1, 2 et 3 sont bien compris entre le minimum et le maximum des ratios. Leurs ratios sont donc cohérents à ce qui est observable sur le marché.
<b>Total Appreciation*Poids</b>	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>49</b>	

FIGURE 6 – Appréciation des critères de chaque entité

Le score obtenu est par la suite comparé à la note maximale. Il en ressort que des actions pour améliorer les résultats doivent être mises en place surtout sur les entités 1 et 2, bien que les notes obtenues (respectivement 38 et 39 sur 60) sont assez bien.

Concernant la marge de risque, les contributions de chaque risque non-replicable peuvent être représentées comme ci-dessous :

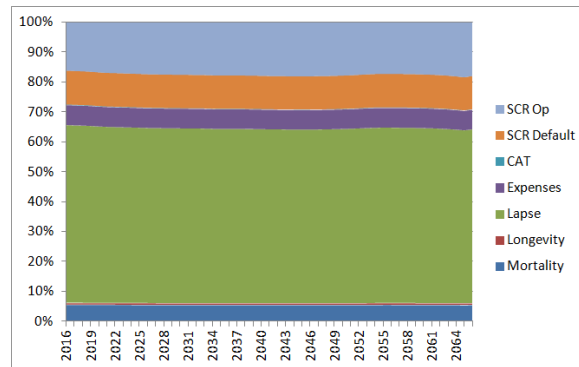


FIGURE 7 – Part de chaque risque dans le SCR projeté pour l’entité 3

Le BEL étant le driver du risque principal (risque de rachat), il en est déduit que la validation de la marge pour risque passe par la validation du BEL sur le portefeuille étudié.

Sachant que la marge pour risque est définie comme la valeur qu’il faut rajouter à la meilleure estimation de manière à garantir que la valeur des provisions techniques est équivalente au montant que les organismes d’assurance demanderaient pour reprendre et honorer les engagements, une autre approche de validation serait d’approximer le calcul des provisions techniques comme une VaR à 75% des flux de trésorerie futures actualisés<sup>2</sup>.

La marge pour risque peut donc être calculer comme :

$$VaR_{75\%}(\text{Flux de trésorerie futures probables actualisés}) - \text{Moyenne}(\text{Flux de trésorerie futures probables actualisés})$$

Le tableau ci-dessous présente la comparaison des deux méthodes de calcul de la marge pour risque.

Résultats (EURO / 000 000)	Marge pour risque Approche COC	Marge pour risque Approche VaR 75%
Entité 1	944	930
Entité 2	275	245

FIGURE 8 – Comparaison des résultats de marge pour risque de l’entité 1 et 2

Sur le portefeuille, les résultats des deux calculs de la marge pour risque sont assez similaires.

Bien que largement confortable avec le niveau des provisions techniques, des fonds propres et du ratio de solvabilité sur le portefeuille, les tests, sensibilités et analyses qui ont pu être effectués, ont relevé un nombre important de limites. La fonction actuarielle, au vu de tout ce qui précède, considère que le processus de validation des provisions techniques peut être amélioré sur le portefeuille par la correction des anomalies observées.

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

2. Approche utilisée avant QIS4. En effet, QIS4 abandonne l’évaluation des provisions techniques par la VaR 75% au profit de la méthode CoC

# SYNTHESIS

**Keywords :** Actuarial science, Solvency 2, Life assurance, Actuarial function, Actuarial practice, Technical Provision, Best estimate, BEL, Risk margin, Data quality, Analysis of change, Benchmarking, Expert judgements, Multicriteria analysis, Scoring, Decision support

Why ensure that technical provisions are appropriate?

Insurance activity is carried out according to an inverted cycle of production. The actual price of a guarantee paid to a policyholder is known only at maturity. Insurers price their products on the basis of forecasts and economic and financial assumptions.

A provision is an assessment of insurer's liabilities. Under directive 2009/138 / EC "Solvency 2", assets are only valued at their market value, technical provisions must be evaluated according to a "Best Estimate" economic approach, i.e. without being underestimated or overestimated. The implementation of Solvency 2 is pushing insurers to strengthen their risk management system.

This thesis aims to provide keys, for the validation of Life technical provisions, to actuarial function.

## PORTFOLIO DESCRIPTION AND RESULTS

The portfolio on this thesis, divided into three entities, from Aviva, is composed of individual and collective savings (whose value is expressed in Euros, UL or Euro-croissance); life, non-life and mixed general insurance (guarantees linked to deaths, accidents, morbidity, disability, illness or long-term care); annuities and whole life. The study will focus mainly on individual savings, which are the majority in the portfolio.

In book value, assets in the portfolio are composed mainly of 50% bonds, 21% equities, 20% UCITS, 5% property and 4% cash.

In the portfolio, almost all material options and guarantees (O & G) are modeled (ie approximately 99.20% of the mathematical reserve).

Insurer is required to determine, at all times, the values of future cash flows (premiums, benefits, expenses, income from assets). So, insurer must verify the coherence between characteristics of the portfolio and technical provisions's calculation. An projection model of insurance contract is a mathematical tool allowing the company to project under certain assumptions (economic generator scenarios, lapse rates, mortality rates, expenses, etc.), economic metrics, balance sheet and profit and loss account, by estimating future cash flows from contracts.

On the portfolio, virtually all material options and guarantees (O & G) are modeled (ie approximately 99.20% of mathematical reserves).

List of Options and Guarantees	Modelling			
	Option	Guarantee	Deterministic	Stochastic
Switch	x		x	x
Payments method	x		x	
Technical rates		x		x
Minimum guaranteed rate		x		x
Profit sharing rule		x		x
Ring-fenced fund		x		x
Bonuses' mechanism	x		x	x
Advance	x			x
Lapses / Transfer	x		x	x
Financial and management options	x		x	
Bonuses on death benefits		x	x	
Annuity conversion option	x		x	
Guaranteed annuity options	x		x	
Guaranteed minimum death benefits		x		GMDB Model
Renunciation option	x		x	
Protection guarantee		x	x	
Assistance guarantee		x	x	
Periodicity of payment : Protection / Wholelife	x		x	
Specific clause on protection		x	x	
Payment of the guaranteed capital in anticipation	x		x	
Multiplication of the sum insured		x	x	
Waiting period	x		x	
Debarment period	x		x	

FIGURE 9 – Modeled options and guarantees

Main solvency indicators presented below are obtained using the partial internal model of the company .

Results ( EUR / 000 000s)	Entité 1	Entité 2	Entité 3
Eligible Own Funds	4 479	1 371	872
SCR	3 728	959	370
Cover ratio	120%	143%	236%
Market value of assets	51 892	28 779	14 043
Technical Provisions	50 086	28 092	14 151
Best estimate liabilities (BEL)	49 142	27 817	14 051
Risk Margin	944	275	100

FIGURE 10 – solvency indicators

The formula used for BEL's calculation is :

$$BEL = DV \text{ Prestations} + DV \text{ Fees\&Commissions} - DV \text{ Premiums} - DV \text{ Transfer} \\ + DV \text{ Residual} + DV \text{ Social taxes}$$

The formula used for risk margin's calculation is :

$$RM = E \left( COC * \sum \frac{SCR_i}{(1 + r_i)^i} \right)$$

with  $DV$  discounted value,  $SCR_i$  The projected SCR at time  $i$ ,  $r_i$  The discount rate of time  $i$  and  $COC$  the cost of capital fixed at 6%.

The projection of future SCRs is complex. Due to this complexity, risk factors or SCR "Driver" are selected. On the portfolio, these are either mathematical reserves for operational risk and expense risk, or BEL for all other non-replicable risks.

# ANALYSIS AND SENSIBILITIES

Article 48 of directive 2009/138/CE state actuarial function 's role.

1. Insurance and reinsurance undertakings shall provide for an effective actuarial function to :
  - (a) coordinate the calculation of technical provisions ;
  - (b) ensure the appropriateness of the methodologies and underlying models used as well as the assumptions made in the calculation of technical provisions ;
  - (c) assess the sufficiency and quality of the data used in the calculation of technical provisions ;
  - (d) compare best estimates against experience ;
  - (e) inform the administrative, management or supervisory body of the reliability and adequacy of the calculation of technical provisions ;
  - (f) oversee the calculation of technical provisions in the cases set out in Article 82 ;
  - (g) express an opinion on the overall underwriting policy ;
  - (h) express an opinion on the adequacy of reinsurance arrangements ; and
  - (i) contribute to the effective implementation of the risk-management system referred to in Article 44, in particular with respect to the risk modelling underlying the calculation of the capital requirements set out in Chapter VI, Sections 4 and 5, and to the assessment referred to in Article 45.
2. The actuarial function shall be carried out by persons who have knowledge of actuarial and financial mathematics, commensurate with the nature, scale and complexity of the risks inherent in the business of the insurance or reinsurance undertaking, and who are able to demonstrate their relevant experience with applicable professional and other standards.

This thesis may cover :

O A description of the data quality governance process.

A tool, allowing to match the checks carried out in the company and all instructions available on the market related to data quality, allowing to appreciate checks on assets and liabilities data (Infocentre, Model-points, Assumptions) and allowing to appreciate actions of each actor in the governance of data, is set up.

O A description of construction and validation methods for assumptions related to technical provisions.

On the portfolio, actuarial techniques are used for modelling policyholder's behaviour. Definition of perimeter, choice of variables of explanatory and discriminatory variables, segmentation, choice of adapted estimators, are made as a result of studies.

- For mortality, experience tables certified by an actuary are preferred to the regulatory tables for material Perimeters.
  - For lapse rates, estimations are based on a significant history of between five and ten years.
- For their validation, it must be ensured that used data used are recent and back-testing is carried out.
- Economics assumptions are produced by economic scenarios generators, using software and licensed calibration models from Moody's Analytics(Formerly Barrie & Hibbert).Their validation is the responsibility of the ESG teams of the company.
  - The benefit-sharing strategy was not considered in this study.

O An analysis of changes and analysis of key variables and functionalities model.

In addition to calculation and explanation of impacts related to changes (model evolution, contribution of New business, updating of assumptions etc ...), from year to year on the results, functionalities below are analyzed.

Functionality	Final Materiality
Market Assumptions - ESG - Interest rates	High
Market assumptions - ESG - Equity	High
Market assumptions - ESG - Property	High
Bonds	High
Equity	High
Mathematical reserves	High
Structural Lapse	High
Dynamic lapse	High
Guaranteed Rate	High
Market Rate	High
Profit sharing strategy	High
French reserves	High

FIGURE 11 – fonctionnalités model with high materiality

Also to perform analysis of absorption capacity, of projection’s horizon, of simulations’s number and model’s leakage, prove the relevance of the results.

O An analysis and sensitivities on material expert judgments related to technical provisions.

On the portfolio, expert judgments with high materiality have a high level of confidence. However, a sensitivity realized on dynamic lapse rates’s parameters shows that improving is possible. Expert made the assumption that parameters provided by QIS5 on dynamic lapse are adequate to the portfolio. Also, to use of MR as a driver for risk margin calculation rather than the number of policies, is preferred. In fact, granularity of calculation does not consider specificities of each different perimeters. It emerges that validation by statistical methods is essential regardless of the level of confidence related to the expert judgment.

O A comparison of technical provisions on french insurance market.

A key for validating technical provisions would be to compare them to those of the insurance market.

A confidence interval for a ratio of  $\frac{\text{Technical Provisions (PT)}}{\text{Market Value of Assets (VM)}}$  was determined from data from six insurance companies and data from a study of the ACPR presenting the situation of the main solo organizations in France in the fourth quarter of 2016. The distribution of the ratios obtained is plotted in the box mustache below. The entities are also positioned there :

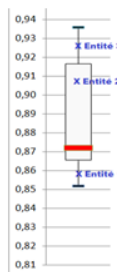


FIGURE 12 – box mustache of ratio PT/VM

The 3 entities are inside the distribution.

# VALIDATION

After ensuring that calculation of technical provisions meets the requirements set out in articles 75 to 86 of directive 2009/138 / EC, actuarial function may give an assessment based on a score.

The multicriteria analysis makes it possible to choose between several solutions by decomposing a grid of analysis in several criteria. It is a method of decision-making through the establishment of a score. Evaluation of credit files by "Banque de France" (Credit-men Americans) is an exemple of application's area.

A criterion is a function defined on set of actions, preferences of the user according to his point of view.

$g : A \rightarrow X \subset R$  Which allow, relative to a given point of view and for an identified actor, to compare any two actions a and b :  $g(b) \geq g(a) \Rightarrow b$  "is at least as good as" a. With g, criterion to be maximized.

Multi-criteria analysis requires a family of criteria  $g_1, \dots, g_p$  ( $p \geq 2$ ).

There are many mathematical methods of multicriteria analysis, but for this study, the single-criterion aggregation approach have been chosen :  $g(a, w) = f(g_1(a), \dots, g_p(a), w)$  Where w preferential parameter (s) can be realized according to different formulas.

The weighted sum method  $g(a) = \sum_{j=1}^p w_j * g_j(a)$  with  $w_j > 0, j = 1, \dots, p$  and  $\sum_{j=1}^p w_j = 1$  is known for its mathematical accessibility.

After identifying the criteria on which analysis will be based, a weight is assigned to each criterion according to its relative importance.

The score function, denoted here by the weighted score N, is of the type :  $N = \sum a_i * R_i$

with  $R_i$  The appreciation of each criterion i and  $a_i$  The weight associated with each criterion i.

The higher the score, the lower the risk of failure.

On the portfolio, validation criteria are selected on the basis of regulations and performed analysis. The weights in front of each criterion and the scale of assessments are :

Weight		Appreciation	
Criteria derived from articles of the directive or the delegated acts on the missions of the actuarial function	3	2	tests did not reveal any relevant anomalies
Criteria derived from articles of the directive or the delegated acts relied to the criticality	2	1	tests did reveal more or less relevant anomalies
Other criteria	1	0	tests did reveal relevant anomalies

FIGURE 13 – Definition of weights and appreciations



The table below shows validation criteria, weights and ratings for each entity.

Criteria	Weight	Entity 1	Entity 2	Entity 3	Justification
Valuation of financial guarantees and contractual options (Level 1 Article 79 et Level 2 Article 272)	3	2	2	2	The calculation of technical provisions on the portfolio is based on relevant actuarial techniques to project assets and cash flows of liabilities, their interactions and the management actions. Three types of projection models are used (deterministic, stochastic and another allowing the calculation of the GMD9 - minimum guarantee of death). Modeling reflects the main risk factors of the portfolio, related to market risks or related to options and guarantees provided to policyholders (MGR, GMD8, lapses, switches and annuities). 99,20% of the portfolio's MR is modeled.
Segmentation (Level 1 Article 80 et Level 2 Article 272)	3	1	1	1	Although the granularity of the projection seems adequate to reflect the main features, the granularity of QRT is limited to the Euro and UL contracts. This segmentation does not meet the requirement of the delegated acts, and also limits the ability to perform a relevant analysis of the results (LOB, product range). Also for the risk margin calculation tool, to increase the granularity, for example by specificities of products, could improve the results, in particular for protection (Protection's Products seems having a driver different from that to Euro's products). However, the LOBs not taken into account are not very material.
Data quality (Level 1 Article 82)	3	2	2	2	On the portfolio, the data quality policy is being implemented. A report on data quality assessment is published annually by the data quality team. It mentions the critical level of data, results of data checks and the list of default. A tool has been set up to identify the assessment of the Actuarial Function on actions linked to data governance, sources and use of data (Infocentre, model-points, technical assumptions, ...) and the conformity of data checks in relation to the regulation.
Relevant actuarial and statistical methods are used to design assumptions (Level 1 Article 77)	3	1	1	1	On the portfolio, some material assumptions, for example lapses rates have not been updated since 2015. As a reminder, in Solvency 2, more recent information has to be used. Otherwise studies must be carried out to argue that rates are always accurate.
Other elements to be taken into account in the calculation of TP (Level 1 Article 78)	3	1	1	1	On the portfolio, the database used to derive the cost assumptions, is not recent. It dates from 2014 on the three entities. For a more accurate view of costs, more recent information should be used. Otherwise studies must be carried out to maintain that the 2014 database is still appropriate for cost assumptions.
Comparison against experience (Level 1 Article 83)	3	1	1	2	The analysis to detect the deviation and to ensure the consistency of the tables with experience is not correctly performed. Especially on entity 2 where mortality assumptions have been deteriorated to reflect the aging population for planning purposes. Furthermore, the experience table used on entity 1 should be subject to an annual monitoring analysis as mentioned in the certification report, although certified by an actuary licensed for a period of 5 years. For entity 3, on the lapses, comparison of actual and predicted was made on the basis of only two years of observations.
Analysis of Changes (Level 2 Article 272)	3	1	1	2	The main sources of variation on the BEL such as: model changes, changes in assumptions, contribution of new business, experience variance and other material elements to explain changes in actuarial liabilities from year to year are analysed. However, the impacts are estimated from capital, and should be estimated on the basis of technical provisions. On the risk margin, the variance is due to the line "other" which is not correctly explained for the entities 1 and 2.
Analysis of critical functionalities	2	1	1	2	Data checks to ensure consistency in cash flows, asset allocation, changes in interest rates, stocks and real estate, profit sharing strategy, dynamic lapses have been achieved from outputs of the model on the deterministic central scenario for the entity 3. An analysis of all stochastic scenarios would be more appropriate. These checks were not carried out for the other entities during the study due to lack of time.
Analysis of stability (Number of simulations) (Level 2 Article 242)	2	2	2	2	Validation process includes the stability of the results produced by the internal model for different numbers of simulations among 5000. The number of simulations retained is 3000 after convergence analysis.
Analysis of leakage	1	1	2	2	The ratio leakage / BEL is less than 1% for the three entities. However, that of entity 1 is three times higher than that of the others. Further analysis should be carried out.
Analysis of loss absorption capacity	1	0	0	2	The direction of variation of SCR net and gross of loss absorbing capacity of technical provisions is consistent for the entity 3. Similar check data should be performed on other entities.
Analysis of expert judgement (Level 2 Article 2)	2	1	1	1	Although all material experts' judgements have a high level of confidence, sensitivity to dynamic lapses for example shows that improvements are possible. Thus, justifications are generally limited, they include rational reasons but should also include quantitative analysis, an assessment of materiality and transparency of the uncertainties linked to the assumptions made. In addition, some expert judgments are not reported in the expert judicial record.
Analysis of ratio (Technical Provisions / Market Value)	1	2	2	2	The mustache box of TP / MV ratios is plotted for companies in the life insurance market. The ratios of entities 1,2 and 3 are between the minimum and the maximum of the market. they are coherent.
<b>Total Appreciation*weight</b>	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>49</b>	

FIGURE 14 – Appreciations of each entity's criteria

Obtained scores are then compared to the maximum score.

It emerged that actions to improve results must be implemented especially on Entities 1 and 2, although obtained scores (respectively 38 and 39 out of 60) are fairly good.

Regarding the risk margin, contributions of each non-replicable risk can be represented as follows :

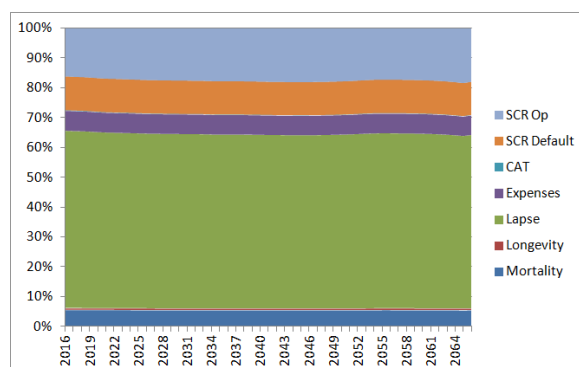


FIGURE 15 – Shares of each risk in the projected SCR for entity 3

As BEL is the main risk driver (due to lapse risk), it is deduced that validation of risk margin requires validation of BEL on the portfolio.

Given that the risk margin is defined as the value that must be added to the Best Estimate provisions to ensure that the value of technical provisions is equivalent to the amount that the insurance bodies would request to resume and honor the liabilities, another Approach would be to approximate the calculation of technical provisions as a 75% VaR of BELs. The risk margin can therefore be calculated as :

$$\text{Risk Margin} = \text{VaR}_{75\%}(\text{probable future cash flows}) - \text{Average}(\text{probable future cash flows})$$

The table below compares the two methods used to calculate the risk margin of entity 1 and 2.

Results (EURO / 000 000)	Risk margin (COC)	Risk margin (VaR 75%)
Entité 1	944	930
Entité 2	275	245

FIGURE 16 – results of risk margin for entity 1 and 2

On the portfolio, the results of the two calculations of the risk margin are quite similar.

Although there is a high degree of comfort on the portfolio with the level of technical provisions, own funds and solvency ratio, there are a number of limitations on tests, sensitivities and analyzes. The actuarial function concludes that validation's process of technical provisions needs to be improved on the portfolio, by correcting anomalies.

# Remerciements

"La reconnaissance est la mémoire du coeur".

C'est avec cette citation de **Hans Christian Andersen** que je tenais à adresser mes remerciements à :

- Serge DA MARIANA, responsable du service Fonction actuarielle de AVIVA France mais également ma tutrice de stage, Régine ONOMO, pour leur confiance.

«Merci de m'avoir donné la possibilité de développer mon esprit d'analyse et d'initiative. A travers vous, Je remercie l'ensemble des collaborateurs d' AVIVA .»

- L'ensemble des professeurs et du personnel du Master II Actuariat de l'EURIA, notamment, à Franck VERMET pour son accompagnement pédagogique et son implication dans ma recherche de stage et à Alexis MERX pour son encadrement et ses remarques pertinentes sur la rédaction de ce mémoire .

- Tous mes proches qui ont pris de leur temps pour relire et corriger mes écrits.

# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>I DESCRIPTION ET RESULTATS DU PORTEFEUILLE</b>	<b>11</b>
<b>1 CARTOGRAPHIE ET MODELISATION</b>	<b>13</b>
1.1 Cartographie du portefeuille . . . . .	13
1.2 Modèles de projection . . . . .	19
1.3 Passifs modélisés . . . . .	21
<b>2 PRODUCTION DES METRIQUES ECONOMIQUES</b>	<b>23</b>
2.1 Description du modèle interne . . . . .	23
2.2 Résultats du modèle . . . . .	24
<b>II ANALYSE ET SENSIBILITES</b>	<b>28</b>
<b>3 QUALITE DES DONNEES</b>	<b>30</b>
3.1 Politique relative à la qualité des données . . . . .	31
3.2 Contrôle de la qualité des données . . . . .	32
3.3 Gouvernance qualité des données . . . . .	35
<b>4 ANALYSES DES HYPOTHESES</b>	<b>37</b>
4.1 Hypothèses liées au passif . . . . .	37
4.2 Hypothèses liées aux futures décisions de gestion . . . . .	42
4.3 Hypothèses économiques . . . . .	44
<b>5 ANALYSE DES RESULTATS</b>	<b>48</b>
5.1 Analyse des mouvements . . . . .	48
5.2 Analyse de la modélisation . . . . .	50
5.3 Analyse de la capacité d'absorption des provisions techniques dans la formule standard . . . . .	57
5.4 Analyse de stabilité . . . . .	58
<b>6 ANALYSE D'IMPACT DES JUGEMENTS D'EXPERT</b>	<b>63</b>
6.1 Gouvernance des jugements d'experts matériels . . . . .	63
6.2 Sensibilités . . . . .	64
<b>7 COMPARAISON DES PROVISIONS TECHNIQUES DU MARCHE</b>	<b>67</b>
7.1 Données ACPR . . . . .	67
7.2 Données de compagnies . . . . .	68
7.3 Position du portefeuille . . . . .	68
<b>III VALIDATION</b>	<b>71</b>
<b>8 VALIDATION DES PT</b>	<b>73</b>
8.1 Article 75 à 86 de la Directive 2009/138/CE . . . . .	73
8.2 Calcul d'un score par l'analyse multicritère . . . . .	74
8.3 Autre approche de validation . . . . .	78

<b>9 LIMITES OU INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS DES PROVISIONS TECHNIQUES</b>	<b>80</b>
9.1 Les jugements d'experts . . . . .	80
9.2 Le Modèle de projection . . . . .	80
9.3 L'étude . . . . .	81
<b>CONCLUSION</b>	<b>84</b>
<b>10 ANNEXE</b>	<b>86</b>



# INTRODUCTION

La fonction actuarielle est définie dans la directive 2009/138/CE, comme une capacité administrative à remplir certaines tâches liées à la gouvernance. En effet, les États membres de l'Union Européenne signataires exigent des entreprises d'assurance et de réassurance qu'elles mettent en place un système de gouvernance efficace, qui garantisse une gestion saine et prudente de l'activité.

La fonction actuarielle d'une entreprise d'assurance et de réassurance a donc entre autres à sa charge de :

- Coordonner et superviser le calcul des provisions techniques ;
- Garantir le caractère approprié des méthodologies, des modèles sous-jacents et des hypothèses utilisés pour le calcul des provisions techniques ;
- Apprécier la suffisance et la qualité des données utilisées dans le calcul des provisions techniques ;
- Comparer les meilleures estimations aux observations empiriques ;
- Informer l'organe d'administration, de gestion ou de contrôle de la fiabilité et du caractère adéquat du calcul des provisions techniques ;
- Contribuer à la mise en œuvre effective du système de gestion des risques.

Ce mémoire, mené dans le cadre du Master II Actuariat de l'EURIA, s'inscrit dans la mise en place de la dite fonction actuarielle au sein de l'un des principaux assureurs vie et dommages en Europe, AVIVA. Ici, des clés de validation des provisions techniques vie sous solvabilité 2 seront apportées.





# CONTEXTE

L'activité d'assurance se déroule selon un cycle inversé de production. Le prix réel de la garantie payé à l'assuré n'étant connu qu'à l'échéance ou à la rupture des contrats, les assureurs tarifient leurs produits sur la base de prévisions et d'hypothèses économiques et financières. Ces prix sont donc très sensibles aux évolutions telles qu'une hausse de la sinistralité, une sous-tarification, un sous-provisionnement, ou encore des évolutions de taux. Une entreprise d'assurance est dite solvable si elle dispose d'un minimum de fonds propres pour faire face aux éventuelles situations défavorables.

Le problème de la solvabilité des compagnies d'assurance suscite beaucoup d'attentions et de nouvelles études, du fait des crises financières de ces dernières années. Pour maîtriser les risques auxquelles elles sont exposées et pour connaître la valeur réelle du risque porté par les entreprises, de nombreuses réformes ont été mises en place.

Solvabilité 2 est le nom donné au régime prudentiel qui s'impose depuis le 01/01/2016 aux entreprises d'assurance et de réassurance européennes. Dans la lignée de Bâle II pour les banques, son objectif est d'encourager les organismes à mieux connaître et à évaluer leurs risques notamment en adaptant les exigences réglementaires aux risques que les entreprises encourent dans leurs activités. Les exigences sont structurées en trois piliers :

Premier pilier : les exigences quantitatives, notamment en matière de fonds propres et de calculs des provisions techniques ;

Deuxième pilier : les exigences en matière d'organisation et de gouvernance des risques ;

Troisième pilier : les exigences en matière d'informations prudentielles et de publication.

Ces piliers sont complétés par un quatrième aspect que constitue le contrôle des groupes. Le contrôle des groupes va au-delà de la directive en vigueur concernant la surveillance complémentaire des organismes d'assurance faisant partie d'un groupe d'assurance.

Le principal objectif de la réglementation et du contrôle en matière d'assurance et de réassurance est de garantir la protection adéquate des preneurs et des bénéficiaires des contrats.

Ainsi, conformément aux dispositifs de l'article R 331-1 du code des assurances, les compagnies d'assurance sont contraintes de constituer des provisions techniques suffisantes pour le règlement intégral de leurs engagements vis-à-vis des assurés ou bénéficiaires des contrats.

Avant Solvabilité 2, les provisions techniques étaient calculées sous la base des réformes tel que Solvabilité 1 et IFRS.

Une provision est une évaluation des engagements de l'assureur.

Calculée comme la somme d'une meilleure estimation des flux de trésorerie futurs et d'une marge pour risque, la valeur des provisions techniques correspond au montant qu'une entreprise d'assurance ou de réassurance doit payer si elle transfère ses droits et obligations contractuels à une autre entreprise.<sup>3</sup>

Sous solvabilité 2, de même que les actifs sont évalués en valeur de marché, les provisions techniques y sont évaluées selon une approche économique.

Le régime de contrôle prévoit, d'une part, une exigence de capital sensible au risque, fondée sur un calcul prospectif et, d'autre part, un niveau minimum de sécurité en dessous duquel le montant des ressources financières ne devrait pas tomber.

## Fonction Actuarielle

Les articles 44, 46, 47 et 48 de la directive en vigueur entraînent la mise en place de quatre fonctions clés, à savoir une fonction de gestion des risques, une fonction de conformité, une fonction d'audit interne et une fonction actuarielle au sein des entreprises d'assurance.

---

3. Source : L335/6 de la Directive 2009/138/CE du parlement européen et du conseil du 25 novembre 2009.

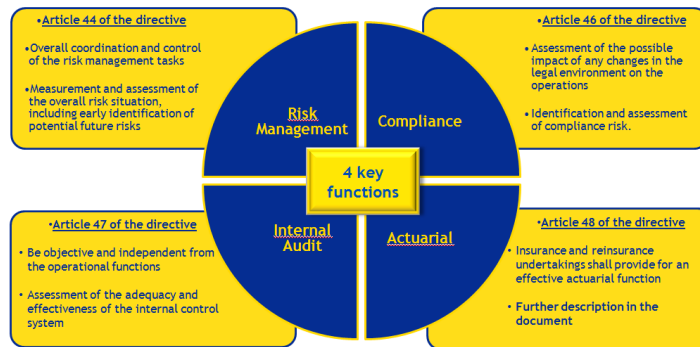


FIGURE 17 – Les quatre fonctions clés

Une enquête a été réalisée par le « Groupe de Travail Fonction Actuarielle » de l'Institut des Actuaire auprès des organismes d'assurance afin de préciser les grandes problématiques autour de la fonction actuarielle, d'établir un état des lieux des orientations prises par le marché et d'identifier les domaines d'investigation prioritaires. L'objectif plus détaillé étant la définition des tâches qui incombent à la fonction actuarielle, son rapport, sa mise en place opérationnelle et organisationnelle, et son intégration dans la gouvernance générale. Pour la majorité des organismes interrogés, la fonction actuarielle s'attribue un rôle de validation et de revue à défaut d'un rôle de production / vérification .

Selon les recommandations de l'Association Actuarielle Européenne (ESAP 2), la fonction actuarielle a un avis à émettre sur la souscription, la réassurance, la gestion des risques, la gouvernance, et sur les provisions techniques dans un rapport d'activité fourni au minimum annuellement au comité exécutif de la compagnie et disponible pour le régulateur. Le rôle clé de la fonction actuarielle est d'assurer une démarche cohérente et de créer le lien entre tous ces éléments. La fonction actuarielle est par ailleurs garante de la documentation et du suivi des plans d'actions suite aux recommandations qu'elle émet.

En ce qui concerne les provisions techniques, le rapport devrait intégrer les éléments suivants :

- Les procédures encadrant l'estimation des provisions techniques :
  - Couvrir et identifier toutes les approximations liés aux calculs ;
  - Déceler les sources et les degrés d'incertitude liés aux estimations du calcul ;
- La suffisance et qualité des données
- Les méthodes et modèles retenus
- Les hypothèses retenues et leurs justifications
- Les jugements d'experts et leurs justifications.
- L'analyse de l'évolution des provisions techniques par rapport à l'expérience.
- L'analyse de l'évolution des provisions techniques d'une année à l'autre
- L'analyse de sensibilité aux facteurs de risque :
  - Repérer les facteurs clés et le niveau de sensibilité aux risques sous-jacents.

## Provisions techniques

### Définition de la meilleure estimation du passif

Selon l'article 77 de la directive 2009/138/CE, la meilleure estimation du passif (ou Best Estimate of Liabilities ou BEL) correspond à 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

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

sans risque pertinents.

Elle est calculée brute de réassurance.

Sous forme mathématique, le BEL peut s'écrire :

$$BEL = E \left( \sum_i \frac{F_i}{(1+r_i)^i} \right)$$

Avec BEL la provision Best Estimate ;  $F_i$  le flux de trésorerie de la date  $i$  et  $r_i$  le taux d'actualisation de la date  $i$ .

Les Flux de trésorerie sont soit entrants( primes futures, créances au titre des sauvetages et des subrogations), soit sortants( règlements de sinistres, de rachats, de rentes ou de participations aux bénéfices, frais d'administration, de gestion de sinistres, de placements, commissions, taxes et les éléments résiduels à la fin de la projection).

$$\begin{aligned} F_i &= \text{Flux de trésorerie sortants}_i - \text{Flux de trésorerie entrants}_i \\ &= \text{Prestations}_i + \text{Frais}_i + \text{Taxes}_i + \text{Élément Résiduel}_i - \text{Primes}_i - \text{Montants recouvrables}_i \end{aligned}$$

## Définition de la marge de risque

La marge de risque (ou Risk Margin ou RM) correspond au montant à ajouter au BEL pour qu'un autre assureur accepte de reprendre le passif. Il s'agit du montant qui sert à dédommager le reprenneur d'avoir à immobiliser du capital pour supporter les engagements d'assurance qu'il va récupérer, et ce, jusqu'à leur extinction.

Selon l'article 37 du règlement délégué 2015/35 (UE), les capitaux à immobiliser tout au long de la durée de vie restante du passif correspondent aux SCR futurs générés par les engagements d'assurance si bien que la marge pour risque peut être définie par la formule suivante :

$$RM = E \left( COC * \sum_i \frac{SCR_i}{(1+r_i)^i} \right)$$

Avec RM la marge de risque ;  $SCR_i$  le SCR projeté à la date  $i$  ;  $r_i$  le taux d'actualisation de la date  $i$  et COC le coût du capital étant fixé à 6%.

## Provisions spécifiques à la réglementation française

D'une manière générale, le calcul du BEL en assurance vie doit simuler l'évolution des provisions comptabilisées sous le référentiel français (French GAAP) dès lors que celles-ci ont un impact sur la valeur actuelle des prestations et des frais futurs.

\* La provision pour risque d'exigibilité et la provision pour dépréciation durable

La provision pour risque d'exigibilité (PRE) est une provision qui vise par prudence à enregistrer des pertes potentielles sur les actions et l'immobilier globalement en moins-values. Cette provision est généralement prise en compte dans les modèles.

La PRE doit être nettiée du montant de provision pour dépréciation durable (PDD) qui se calcule ligne à ligne, et qui correspond à la part des moins-values dont l'entreprise estime qu'elles ont de fortes chances de perdurer. Ces provisions sont généralement prises en compte dans les modèles et font l'objet d'une affectation au BEL et la réserve de réconciliation en fin de projection.

\* La provision pour aléas financiers

L'article A.331-2 du code des assurances énonce que, lorsqu'à l'inventaire, le taux de rendement réel d'une société d'assurance vie diminué de 20 % est inférieur au montant des intérêts techniques et de la participation aux bénéfices contractuellement garantie, la société doit constituer une provision pour aléas financiers (PAF). Le montant de cette provision est la différence (si elle est positive) entre les provisions mathématiques recalculées avec le taux de rendement réel des actifs diminués et les provisions mathématiques à l'inventaire.

\* La provision pour égalisation

La provision pour égalisation est constituée pour faire face aux évolutions de la sinistralité. Elle sert pour les risques

de nature catastrophique ou pour les contrats décès de groupe.

**\* La réserve de capitalisation**

L'article R.333-1 du code des assurances prévoit qu'en cas de vente d'un actif, un versement ou un prélèvement est effectué sur la réserve de capitalisation. Le montant de ce versement ou de ce prélèvement est calculé de manière à ce que le taux actuariel du titre après versement ou prélèvement soit égal au taux actuariel à l'achat. Cela revient soit à verser dans la réserve de capitalisation un montant égal à la différence entre le prix de vente et la valeur nette comptable de l'obligation, soit à prélever à la réserve de capitalisation (dans la mesure où elle n'est pas épuisée) un montant égal à la différence entre la valeur nette comptable de l'obligation et le prix de vente. Cette provision est généralement prise en compte dans les modèles et fait l'objet d'une affectation à la réserve de réconciliation en fin de projection.

**\* La provision globale de gestion**

Cette provision est destinée à couvrir les charges futures de gestion non couvertes par ailleurs. Son montant s'établit à partir d'un compte prévisionnel de charges et de produits sur un ensemble homogène de contrats selon des règles détaillées à l'article A.33111 du code des assurances. Pour chaque ensemble homogène de contrats, le montant de la provision est égal à la valeur actuelle des charges de gestion futures diminuée de la valeur actuelle des ressources futures issues des contrats.

**\* La provision pour participation aux bénéfices ou provision pour participation aux excédents**

Les assureurs vie ont la possibilité de ne pas distribuer immédiatement la participation aux bénéfices prévue par la législation. Ils disposent pour ce faire d'un délai de huit ans. Au lieu de la redistribuer immédiatement, l'assureur peut donc la provisionner dans un compte appelé "provision pour participation aux bénéfices". Cette provision est généralement prise en compte dans les modèles et fait l'objet d'une affectation au BEL en fin de projection.

## Bilan comptable sous Solvabilité 2

La directive 2009/138/CE se base sur la construction d'un bilan économique, dont le capital requis est déterminé par projection des différents postes du bilan.

Les actifs sont valorisés au montant pour lequel ils pourraient être échangés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions de concurrence normales, entre des parties informées et consentantes ;

Les passifs sont valorisés au montant pour lequel ils pourraient être transférés ou réglés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions de concurrence normales, entre des parties informées et consentantes.

La valeur de l'actif et la valeur du passif doivent être évalués de manière "Market Consistent" avec absence d'opportunité d'arbitrage.

Sous solvabilité 2, la bilan de la compagnie se présente comme ci dessous :

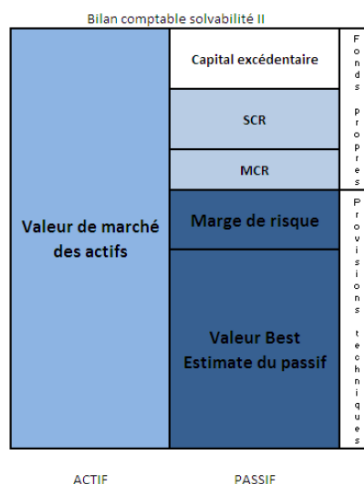


FIGURE 18 – Bilan comptable sous Solvabilité 2

Le bilan d'une entreprise est la photographie du patrimoine de l'entreprise à une date donnée.

- L'actif correspond à l'ensemble des biens (incorporels, mobiliers, immobiliers) de l'entreprise.
- Le passif correspond à l'ensemble des dettes soit vis-à-vis des actionnaires ou des membres fondateurs par la partie des fonds propres, soit vis-à-vis des assurés par la partie provisions.

Les fonds propres d'une société représentent la richesse accumulée par cette dernière c'est à dire l'investissement initial des actionnaires auquel s'ajoute la somme des résultats comptables enregistrés entre la date de création et la date d'évaluation.

Cependant pour calculer la valeur d'une société, l'Embedded Value, il convient d'ajouter la richesse passée à la richesse future. L'Embedded Value correspond à la valeur des intérêts de l'actionnaire d'une compagnie d'assurance. L'approche Market Consistent repose sur un principe de cohérence avec les marchés financiers.

la Market Consistent Embedded Value (MCEV) est la somme de :

- o la Value of Inforce (VIF) : Il s'agit de la valeur générée par le stock de contrats.
- o du Capital Requis : le montant de capital que l'assureur est obligé de mettre de coté en permanence pour exercer son activité.
- o du free surplus : Il s'agit de la différence entre l'actif net réévalué et le capital requis. Ce montant pourrait être retiré de la compagnie par l'actionnaire à tout moment.

La valeur du portefeuille en stock (Value of Inforce ou VIF) correspond à la somme de :

- o la PVFP( Present Value of Future Profits) : Il s'agit de la valeur actuelle des profits futurs générés par le portefeuille de contrats calculée dans un scénario déterministe sans prime de risque.
- o la TVFOG : il s'agit de la valeur temps des options et garanties financières(Rachat, TMG,...)
- o la CRNHR (Cost of Residual Non Hedgeable Risk) : il s'agit du coût des risques résiduels non couvrables. C'est l'équivalent de la TVFOG mais pour les risques non couvrables (Mortalité, longévité,...).
- o la CoC ou FCRC (Frictional Cost of Required Capital) : il s'agit du coût de blocage du capital requis.

La valeur de portefeuille est donc la valeur actuelle des résultats futurs générés par le portefeuille de contrats en stock à la date de valorisation . Les résultats futurs sont obtenus en utilisant des modèles actuariels de projection (MoSes, Prophet, Excel, ...). Ces modèles projettent le compte de résultat de la compagnie d'assurance.

Pour une EV traditionnelle, le taux d'actualisation est le taux avec lequel les flux futurs projetés sont actualisés dans les modèles actuariels, pour obtenir la valeur de portefeuille (taux unique pour toute la durée de la projection). Ce taux est interprété comme étant le rendement que l'actionnaire requiert du fait de l'investissement risqué dans la compagnie d'assurance.

Taux d'actualisation = taux sans risque + prime de risque

- o Taux sans risque = TEC10, TME, ...
- o Prime de risque déterminée de manière relativement discrétionnaire.

Dans un univers « Market consistent » ou «risque neutre», l'actionnaire requiert un taux de rendement égal au taux sans risque, contrairement à un univers « Monde-Réel », dans lequel une prime de risque est ajoutée au taux sans Risque.

Aussi, un nouveau bilan market consistent, tel qu'il peut être construit par un modèle de projection de contrats d'assurance, est défini. L'actif du bilan est constitué par l'actif du portefeuille de contrats, tandis que le passif est constitué par la provision Best Estimate et la Present Value of Future Profits du portefeuille.

Le bilan à l'équilibre donne :



FIGURE 19 – Le bilan à l'équilibre

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

Avec pour équation à l'équilibre :  $VM_0 = BEL + PVFP$   
-  $VM_0$  : la valeur de marché initiale de l'actif du portefeuille ;  
- BEL : la provision Best Estimate du portefeuille ;  
PVFP : la valeur actuelle des profits futurs générés par le portefeuille.

## Capital Requis

Sous la précédente réforme Solvabilité 1, dans le cas de l'assurance vie épargne/retraite par exemple, l'exigence de marge correspond simplement à 4% des PM en Euros et à 1% des PM en UC et ce, indépendamment des garanties accordées aux assurés, des types de placements effectués et des risques liés. L'exigence de marge de solvabilité était calculée de façon simpliste et forfaitaire. L'approche Solvabilité 2 rompt radicalement avec cette approche.

Solvabilité 2 introduit avec le SCR (capital de solvabilité requis), une approche qui vise à s'adapter au profil de risque spécifique de chaque société d'assurance. Le but n'est plus de surestimer les provisions techniques pour être plus prudent, mais plutôt de quantifier les risques possibles dans une autre notion.

Le capital de solvabilité requis est calibré de manière à garantir que tous les risques quantifiables auxquels l'entreprise d'assurance ou de réassurance est exposée soient pris en considération. Il correspond à la Value-at-Risk ou VaR des fonds propres de base de l'entreprise d'assurance ou de réassurance, avec un niveau de confiance de 99,5 % à horizon 1 an. C'est-à-dire, le montant de fonds propres économiques que doit disposer la compagnie d'assurance pour être sûr à 99,5% de ne pas être ruiné dans 1 an ( au plus une faillite tous les 200 ans), soit  $P(NAV_1 < 0) \leq 0,5\%$  Où  $P$  est la probabilité du monde réel.

Le SCR correspond donc à une variation des fonds propres ou de NAV (Net Asset Value ou actif net), à la pire perte possible sur un an au seuil de risque 0,5% .

On peut montrer que :  $SCR = NAV_0 - P(0,1) * q_{0,5\%}(NAV_1)$

où :

- $NAV_0$  : fonds propres économiques en  $t=0$  .
- $NAV_1$  : Distribution des fonds propres économiques en  $t=1$ .
- $P(0,1)$  : Facteur d'actualisation (prix d'un zéro-coupon 1 an).
- $q_{0,5\%}(NAV_1)$  : le quantile 0,5% de la distribution des fonds propres économiques à  $t= 1$ .

## Modèle interne

Le capital requis repose sur la notion de distribution de fonds propres économiques à un an. Or pour la plupart des portefeuilles d'assurance vie, il est délicat d'obtenir cette distribution compte tenu de la complexité des liens de dépendance entre l'actif et le passif qui découlent des mécanismes de participation aux bénéfices et des comportements de rachats dynamiques des assurés. Les liens de dépendance entre l'actif et le passif ne permettent pas une mise en œuvre de type « formules fermées ». Il est donc nécessaire de recourir à des méthodes de type Monte Carlo pour estimer la valeur économique des passifs et des fonds propres en fin de première année.

La distribution des fonds propres à un an doit être basée sur les évolutions possibles futures des marchés financiers. Sont donc simulées toutes les possibles réalisations défavorables des risques.

Les facteurs de risque sont projetés statistiquement avec des simulations primaires de nombre  $P$  et, à ce titre, n'ont de sens que sous la probabilité historique. Ces simulations servant à déterminer un quantile d'ordre élevé, il faut que  $P$  soit suffisamment grand pour assurer la convergence du quantile empirique vers le quantile théorique.

Les simulations secondaires de nombre  $N$ , quant à elles, doivent permettre de donner une valeur de marché aux engagements. Un des moyens d'y parvenir est de déterminer une espérance sous la probabilité risque neutre. La convergence de la moyenne empirique vers l'espérance étant plus rapide que la convergence d'un quantile extrême, il faut que  $N$  soit plus faible que  $P$ .

Par le biais d'un modèle interne, des simulations « monde-réel » sur la première année ( simulations primaires) sont effectuées. Puis à l'issue de chacune de ces simulations, des simulations secondaires sont effectuées afin de déterminer les fonds propres économiques de la compagnie. Les simulations secondaires ayant pour vocation de « pricer » les éléments du bilan, celles-ci doivent nécessairement être « market-consistent » ; le plus souvent il s'agit de simulations « risque-neutre ». <sup>4</sup>

Un modèle interne permet donc d'intégrer l'ensemble des risques de la compagnie afin de calculer la distribution de NAV à horizon 1 an. Une distribution de bilans économiques en fin de première année est ainsi obtenue. L'agrégation

4. Source : Laurent Devineau / Alexandre Boumezoued, Modélisation et agrégation des risques, Cours EURIA 2016-2017

des risques est effectuée « automatiquement » au sein du modèle .

Cette mise en œuvre peut s'illustrer à l'aide du schéma suivant :

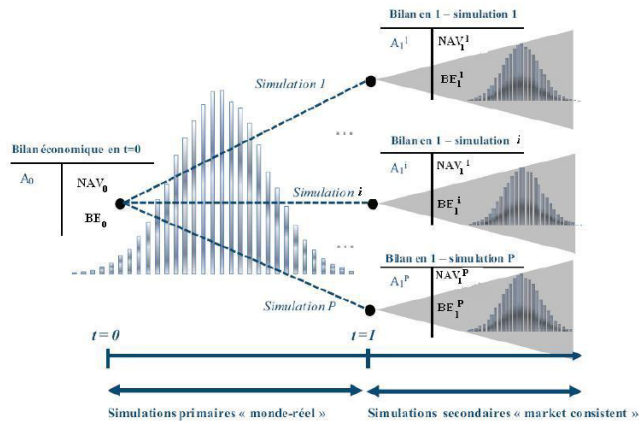


FIGURE 20 – Projection du bilan économique

Le capital requis est estimé à partir du quantile à 0,5% de la distribution des fonds propres obtenus. Par exemple pour un modèle basé sur 5000 simulations primaires, le quantile à 0,5% correspond à la 25 ième « pire valeur » de la NAV(1).

## Formule Standard

Le capital requis doit pouvoir couvrir les pertes liées à la réalisation des risques.

Le calcul du SCR nécessite l'évaluation du bilan avant et après un choc. Le choc correspond à une réalisation défavorable des risques (Par exemple, une baisse de la mortalité de 20%).

Le SCR au titre d'un choc est égal à la partie positive de la variation des fonds propres ou de la NAV.

Selon la formule standard, le calcul du SCR s'organise en différents modules :

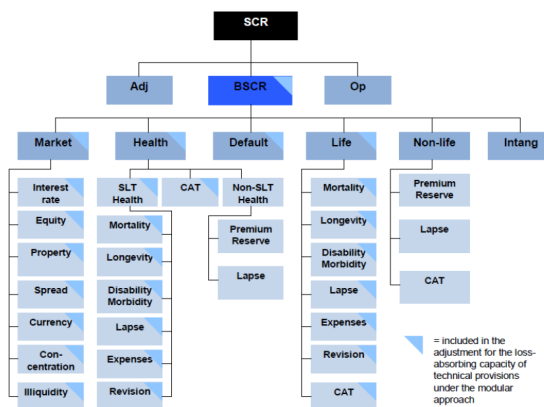


FIGURE 21 – Modules de risque suivant la formule standard

ADJ (Ajustements) : prend en compte des pertes futures qui seront compensées par la réduction des impôts différés à payer et par la réduction de la participation aux bénéfices futurs à distribuer aux assurés.

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

BSCR : Capital de Solvabilité Requis de Base  
 SCR<sub>op</sub> : Capital requis au titre du risque opérationnel  
 SCR<sub>mkt</sub> : Capital requis au titre du risque de marché  
 SCR<sub>def</sub> : Capital requis au titre du risque de crédit  
 SCR<sub>life</sub> : Capital requis au titre du risque souscription-vie  
 SCR<sub>nl</sub> : Capital requis au titre du risque souscription non-vie  
 SCR<sub>health</sub> : Capital requis au titre du risque souscription santé  
 SCR<sub>Intang</sub> : Capital requis au titre du risque des actifs incorporels

Chaque capital de solvabilité requis au titre d'un module de risque est calculé à partir des sous-modules de risques qu'il englobe et d'une matrice de corrélation. (Voir 10)

$$BSCR = \sqrt{\sum_{ij} Corr_{ij} * SCR_i * SCR_j} + SCR_{intang}$$

Selon l'article 87 du règlement délégué 2015/35,  $SCR = BSCR - ADJ + SCR_{op}$

Le capital de solvabilité requis au titre des sous-modules du SCR peut être évalué suivant l'une des trois méthodes suivantes :

— la méthode des chocs adverses :

Cette méthode concerne les sous-modules du risque de marché et la plupart des sous-modules du risque de souscription-vie. Ces chocs portent sur des hypothèses de la provision Best Estimate. Une évaluation du bilan avant et après le choc est effectuée.

Le SCR au titre de ce choc est égal à la partie positive de la variation des fonds propres ou de la NAV avant et après choc ;

$$\begin{aligned}
 SCR &= (\Delta NAV)^+ \\
 &= ((A_0 - BEL_0) + (A_{0choc} - BEL_{0choc}))^+ \\
 &= (\Delta A - \Delta BEL)^+
 \end{aligned}$$

— la méthode de test de scénario :

La méthode de test de scénario consiste à soumettre le bilan à un scénario catastrophe. Il concerne les risques catastrophe des modules souscription vie et souscription non-vie.

— la méthode factorielle.

La méthode factorielle est utilisée pour le calcul du SCR Opérationnel, du SCR Défaut et du SCR risque de Primes et de Réserves du module de souscription non-vie. Elle consiste à appliquer un facteur à une caractéristique du portefeuille afin d'obtenir le besoin de solvabilité requis.

Dans ce mémoire, l'accent est mis sur les risques liés au module souscription vie et marché et qui entrent en compte dans le calcul des provisions techniques. Ils seront explicités par la suite.



Première partie

**DESCRIPTION ET RESULTATS DU  
PORTEFEUILLE**

# Introduction de la partie

Les options sont des instruments financiers, dont le détenteur a le droit ( sans obligation) d'acheter ou de vendre un actif financier sous-jacent dans des conditions prédéfinies (date/période et prix d'exercice). Pour en évaluer les prix, des processus complexes, qui nécessitent le recours à des techniques de modélisation stochastiques en général, sont mis en place.

En assurance vie, les contrats contiennent très souvent des options et des garanties, qui présentent beaucoup de similitudes aux options "Call" et "Put". Toutes ces garanties et ces droits accordés aux souscripteurs présentent un risque important pour l'assureur, d'autant plus que souvent leurs valeurs ne sont pas prises en compte dans les provisions mathématiques du contrat.

Selon solvabilité 2, l'évaluation des engagements de l'assureur devra se faire en valeur de marché et donc refléter tous les coûts potentiels liés aux contrats. Il s'agit de prendre en compte donc de revoir la prise en compte des garanties et des options dans le calcul des provisions techniques .

Ainsi, l'ACPR attend que le rapport de la fonction actuarielle mette en évidence les points sensibles de la modélisation, explicite les points spécifiques à l'organisme et éclaire les instances sur les incertitudes sur la modélisation et / ou les données en entrée.<sup>5</sup>

Pour ce faire, la fonction actuarielle commence la production de son rapport par une identification minutieuse et exhaustive du portefeuille, de ses caractéristiques, des hypothèses de modélisation, des modèles de projection utilisés et des résultats obtenus.

---

5. Source : IA, compte rendu réunion du 13 mars 2015

# Chapitre 1

## CARTOGRAPHIE ET MODELISATION

L'assurance est, par définition, un système qui permet de prémunir un individu ou une entreprise contre les conséquences financières et économiques liées à la survenance d'un risque ou événement aléatoire particulier. Les directives communautaires européennes distinguent deux types d'assurances :

- Les assurances "Non Vie" (habitation, biens, responsabilité civile, santé etc...);
- Les assurances "Vie" (vie, décès, épargne, retraite, etc...).

La vocation d'origine de l'assurance vie est de garantir le versement d'une certaine somme d'argent (capital ou rente) lorsque survient un événement lié à l'assuré : son décès ou sa survie. L'assurance en cas de décès dite « assurance décès » verse le capital ou la rente en cas de décès et l'assurance en cas de vie verse un capital ou une rente uniquement en cas de vie à échéance du contrat .<sup>1</sup>

Ce qui communément est appelé « assurance vie » en France est un contrat d'assurance décès (capital versé en cas de décès avant le terme du contrat) avec "contre-assurance", c'est-à-dire le remboursement des primes versées pendant la durée du contrat en cas de vie de l'assuré au terme du contrat, et éventuellement majoré des intérêts techniques prévus dans le contrat.

### 1.1 Cartographie du portefeuille

Dès son article 2 de la directive 2009/138/CE définie les différents types de contrats d'un portefeuille vie :

- Epargne individuelle :

o Les contrats d'assurance vie munis des garanties suivantes : Le capital placé est garanti. Il ne peut donc qu'augmenter (Effet cliquet).

Un taux d'intérêt minimum est garanti (TMG).

Une participation aux bénéfices du capital investi sur un fonds dont la valeur est en euros.

La possibilité d'investir sur des supports en unités de compte (dans le cas des contrats multisupports).

La possibilité de racheter totalement ou partiellement.

La prestation en cas de décès du montant de la valeur de rachat.

La possibilité d'effectuer des arbitrages entre supports (dans le cas des contrats multisupports).

L'option de sortie en rente viagère (sous conditions).

La garantie du cumul des primes investies nettes des rachats en cas de décès (garantie plancher) .

o Les contrats de capitalisation : ces contrats sont munis des mêmes garanties que les contrats d'assurance vie à l'exception des garanties en cas de décès (ils entrent dans la succession).

o Les opérations comportant la constitution d'associations réunissant des adhérents en vue de capitaliser en commun leurs cotisations et de répartir ensuite l'avoir ainsi constitué soit entre les survivants, soit entre les ayants droit des décédés (opérations tontinières);

o Les contrats à fiscalité particulière (PEP, PEA, DSK) : ces contrats présentent des restrictions supplémentaires en échange d'une fiscalité avantageuse. De plus, ils offrent la possibilité d'un transfert vers un autre assureur sans perte de l'antériorité fiscale. D'autre part, les PEP bénéficient d'une garantie plancher à tout moment.

o Les contrats d'épargne-retraite (PERP, Madelin) : Ces contrats n'offrent pas de possibilité de rachat et leur sortie en cas de vie se fait obligatoirement en rente viagère au moment du départ à la retraite (sauf cas exceptionnels). Ils offrent également une possibilité de transfert sans perte de l'antériorité fiscale. De plus, sur les contrats PERP, il n'y a réglementairement pas de taux de minimum garanti.

---

1. Source : Pierre Petauton, Théorie et pratique de l'assurance vie

- Epargne collective :

o Les contrats de type Article 83 : Il s'agit de contrats à fonds individualisés. Ces contrats présentent les mêmes caractéristiques que les contrats d'épargne-retraite individuels décrits ci-dessus (avec transfert individuel ou collectif).

o Les contrats de type Article 82 : Il s'agit également de contrats à fonds individualisés. Les caractéristiques de ces contrats se rapprochent de ceux des contrats d'assurance vie individuels décrits ci-dessus avec possibilité de transfert vers un autre assureur (individuellement ou collectivement).

o Les contrats de type Article 39 : Il s'agit de contrats à fonds collectifs d'épargne-retraite à prestations définies détenus par les entreprises au bénéfice de leurs salariés qui proposent les garanties suivantes : fonds en euros avec effet cliquet, TMG et participation aux bénéfices, supports en unités de compte, possibilité de réaliser des arbitrages entre les différents supports, possibilité de servir une rente viagère aux salariés lors de leur départ à la retraite, possibilité de réaliser un transfert vers un autre assureur.

o Les contrats IFC/IL : Il s'agit également de contrats à fonds collectifs. Ces contrats sont détenus par les entreprises et utilisables en cas de paiement d'indemnités de fin de carrière ou d'indemnités de licenciement selon le cas et bénéficiant également des garanties suivantes : fonds en euros avec effet cliquet, TMG et participation aux bénéfices, supports en unités de compte, possibilité de réaliser des arbitrages entre les différents supports, possibilité de réaliser un transfert vers un autre assureur.

- Rentes :

o La grande majorité des rentes sont des rentes viagères simples ou réversibles.

o Il existe aussi, de façon minoritaire, des rentes par palier et des rentes à annuités garanties.

o Les rentes bénéficient également d'une revalorisation annuelle (participation aux bénéfices).

- Prévoyance :

o L'assurance des emprunteurs.

o La prévoyance collective.

o La prévoyance individuelle essentiellement des produits temporaires décès, protection du compte, dépendance et indemnité santé.

- Assurance-maladie permanentes, non résiliables.

- Les assurances «atteintes corporelles y compris l'incapacité de travail professionnel», les assurances «décès à la suite d'accident» et les assurances «invalidité à la suite d'accident ou de maladie».

- Assurance «nuptialité».

- Assurance «natalité».

### 1.1.1 Passif

Les produits du portefeuille étudié sont répartis dans les familles suivantes :

- Epargne individuelle et collective

- Prévoyance vie, non vie et mixte(garanties liées aux décès, accidents, morbidité, invalidité, maladies ou soins de longue durée)

- Rentes

- Vie entière.

Le graphe ci-dessous reprend les familles de produits du portefeuille étudié et leurs contributions :

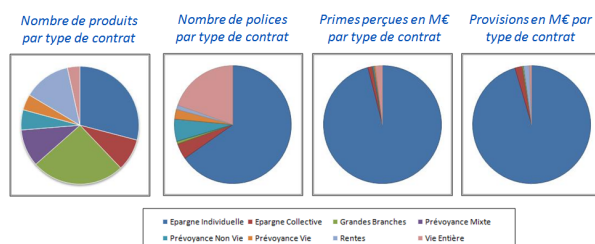


FIGURE 1.1 – Contributions par Type de produits

Une diversité des produits proposés est constatée bien que l'épargne individuelle soit la famille de produit la plus importante. Son importance est observée aussi bien dans le montant de provisions mathématiques (PM) que dans le montant de primes.

Il est à noter que le produit le plus important du portefeuille est issu d'AFER (Association Française d'Epargne et de Retraite).

Le portefeuille peut être divisé en trois entités.

- L'entité 1 est une société mixte distribuant principalement des produits d'épargne et retraite, et de prévoyance, agréée pour délivrer, en tant qu'entreprise mixte d'assurance, des garanties complémentaires maladie et accident. Les lignes d'activités peuvent être réparties en épargne et retraite Euro, épargne et retraite UC, prévoyance Vie, prévoyance Non Vie (hors dépendance), dépendance et en rentes d'invalidité.

- L'entité 2 co-assure, à 50% avec l'entité 1, le contrat AFER, qui constitue l'intégralité de ses encours.

AFER a servi un taux de rémunération pour le fonds garanti de 2.65% en 2016, contre 0.75% pour le livret A (moyenne annuelle).

L'encaissement des primes AFER est réparti entre le fonds garanti pour 83%, les unités de compte pour 16% et le fonds Euro-croissance pour 1%.

les lignes d'activités peuvent être réparties en épargne et retraite Euros (incluant le support Euro-croissance) et en épargne et retraite UC.

- L'entité 3 est détenue à 50% par l'entité 1. Les produits vendus sont classés dans les familles de produits épargne individuelle et collective (où la valeur est exprimée en euros, en UC ou en Euro-croissance), prévoyance vie et non vie (assurant des garanties pour décès, accident, morbidité, invalidité, maladie ou soins de longue durée), les rentes et les contrats Vie entière.

Un processus solide est mis en place pour inventorier les diverses options et garanties, selon les étapes suivantes :  
o une cartographie des risques identifiant toutes les caractéristiques relatives aux produits commercialisés est réalisée ;  
o ces caractéristiques sont ensuite analysées et toutes les options et garanties clés qui y sont associées.

Les options et garanties ci-dessous relevées ont des impacts matériels sur le portefeuille étudié :

- Le taux d'intérêt minimum garanti (TMG) / taux technique
- La participation aux bénéfices
- Les rachats / transferts
- Les options financières ou de gestion
- La revalorisation sur les prestations en cas de décès
- Les garanties prévoyance (Décès, morbidité, invalidité)
- Les frais d'acquisitions et de gestion
- Les arbitrages
- Les fonds cantonnés

Le tableau ci-dessous reprend la contribution de chaque option et garantie clé dans le portefeuille :

Options et garanties	Versements Réguliers / Programmés	Rachat	Arbitrages	Renonciation	Garantie Plancher	Sortie en rente facultative ou obligatoire	options financières	Cantonement de fonds	Valorisations Euros	Valorisations UC	Clause de PB	TMG	Frais de gestion
% de PM total	96%	94%	72%	95%	65%	94%	71%	74%	94%	73%	98%	95%	93%

FIGURE 1.2 – Pourcentage de chaque option et garantie clé dans la PM

### 1.1.2 Actifs

De manière générale, il existe une classification des actifs en différentes catégories : actions, obligations, monétaires... Toutefois, ces produits peuvent faire l'objet d'une classification plus détaillée :

- Les produits de taux :

- o Les produits monétaires (Livret A, Certificat de dépôt, Bon du Trésor, Billet de trésorerie)
- o Les produits obligataires (Obligation à taux fixe comme les OAT ou les obligations d'entreprise, Obligation indexée comme les OAT i, Obligation convertible)

- Les produits actions :

- o Les actions, titres de propriété
- o Les produits dérivés (futures, options, warrants)
- o Les devises

- Les actifs physiques :

- o L'immobilier
- o Les matières premières

Et dans une moindre mesure, les OPCVM qui peuvent être considérés comme une catégorie distincte bien que leur classification devrait se faire selon les produits dans lesquels ils sont investis.

Chacun de ces actifs dispose de son propre risque et horizon d'investissement optimal.

L'article 276 de la directive 2009/138/CE mentionne que toute entreprise d'assurance doit tenir un registre spécial des actifs représentant les provisions techniques calculées et placées conformément au droit de l'État membre d'origine. Pour l'ensemble du portefeuille d'actifs, les entreprises d'assurance et de réassurance ne peuvent investir que dans des actifs et instruments présentant des risques qu'elles peuvent identifier, mesurer, suivre, gérer, contrôler et déclarer de manière adéquate selon l'article 132 de la même directive.

Le portefeuille étudié est composé d'obligations (taux fixe, taux variable à court et à long terme), d'actions, d'OPCVM, d'immobiliers, de monétaires, et aussi de contrats Hedge funds Futures, Caps et Floor qui ne sont pas modélisés.

Ci-dessous l'asset mix en valeur comptable :

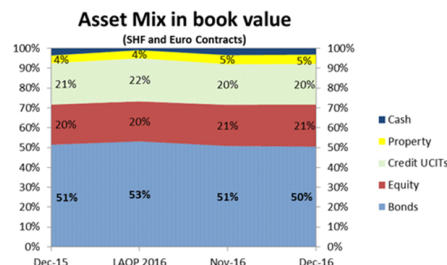


FIGURE 1.3 – Pourcentage des classes actifs de fin 2015 à fin 2016

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

Le portefeuille est donc principalement composé d'obligations. Bien que l'investissement en obligations soit considéré comme l'un des plus sûrs, surtout si l'on conserve les titres jusqu'à l'échéance, il comporte des risques liés aux caractéristiques propres de chaque type d'obligation (Risque de défaut, risque de liquidité et risque de taux). Plus généralement, les facteurs de risques sont liés à la volatilité des marchés financiers et à la dépréciation sur le portefeuille étudié, c'est-à-dire à la valeur de marché de l'actif, à la valeur comptable de l'actif, au gain et perte en capital non réalisé et à l'allocation d'actifs .

### 1.1.3 Hypothèses

Le calcul des provisions techniques requiert la définition d'hypothèses liées aux comportements des assurés ( lois de rachat/transfert, de mortalité, d'arbitrage, de réductions, de sinistralité, de sortie en rente, de rachats dynamiques , d'arbitrages dynamiques...), liées aux scénarios économiques qui reflètent les évolutions des marchés financiers, liées aux actions de gestion (arbre de décision des revalorisations, stratégies d'investissement, ...) et liées à la réassurance.

Les principales hypothèses ci-dessous sont liées au portefeuille étudié :

- Les **rachats et transferts** sont basés sur la moyenne des données d'expérience et sont définis par entité, par type de produits, par chaîne de distribution et par type (Total, partiel, Euro/UC), fonction de l'ancienneté.
- Les **rachats dynamiques** dépendent de la différence entre le taux crédité et le taux de revalorisation attendu par l'assuré. Les paramètres sont les mêmes que ceux définis par le QIS 5 (Quantitative Impact Study).
- Les **taux de mortalité** sont fonction de l'entité. Ils sont soit basés sur une table réglementaire ajustée d'un pourcentage, soit sur une table d'expérience certifiée par un actuaire.
- Les **frais d'acquisition et de gestion** sont exprimés par entité, par groupe de produits et par réseau de distribution, comme un pourcentage des encours pour l'épargne et en coût unitaire pour la prévoyance. Les taux d'inflation sont appliqués en coût unitaire et sont issus des scénarios économiques.
- Les **commissions d'acquisition, de renouvellement et les rétrocessions** sont exprimés en pourcentage des produits financiers et correspondent aux taux contractuels.
- Les **taux de réduction** sont définis par entité, par groupe de produit et par réseau de distribution. Ils sont fonction de l'ancienneté .
- Les **avances** sont prises en compte à travers les taux de rachats structurels et sont définies comme la moyenne des taux observés sur les cinq dernières années en pourcentages de PM.
- Les **taux de sinistralité** sur le périmètre prévoyance sont définis par entité et par groupe de produits. La calibration est basée sur la moyenne des données d'expérience et d'approximation faites à partir de jugements d'experts.
- Les **taux de sorties en rente** sont exprimés comme un pourcentage des encours par entité et par groupe de produits. Les paramètres comme l'âge de liquidation et le taux de réversion sont aussi à définir.
- Concernant les **arbitrages**, les hypothèses ne sont pas définies à partir des données du portefeuille.
- Le **taux d'imposition** est le même pour toutes les entités.
- Le **générateur de scénarios économiques** est utilisé pour évaluer les options et garanties. Les évolutions sur les marchés financiers sont modélisées en utilisant les modèles stochastiques. Les hypothèses techniques sont actualisées avec la courbe des taux swaps publiée par l'Autorité de contrôle européenne des assurances et des pensions professionnelles (AEAPP ou EIOPA) et incluant des taux de crédit (-10bps en fin 2016) et un ajustement de volatilité (+13bps en fin 2016). La courbe des taux d'intérêt sans risque converge vers un taux forward ultime à 4.2%. Les lignes d'activité ne sont pas éligibles aux "matching adjustments" du fait de l'activité rentes qui a une duration d'actifs plus élevée.
- La **stratégie d'investissement** du portefeuille reflète entre autre que l'allocation des actifs suit une cible définie comme une répartition de la valeur comptable observée à la date de clôture et que la compagnie achète des actifs en accord avec la duration et la convexité.
- La **stratégie de revalorisation** a été définie pour refléter les pratiques actuelles de gestion qui recherchent le taux crédité le plus objectif et compétitif pour les assurés. Un arbre de décision est défini par entité et par groupe de produits.

## 1.1.4 Risques liés au portefeuille

De manière générale, la cotation des risques inhérents aux produits d'assurance vie est la suivante :

Poids du produit	Général	Longévité	Mortalité	Morbidité	Chutes	Renonciation	Arbitrage	Garantis de taux	Garantie Plancher	Arbitrage à cours
0	Absence d'impact car le risque n'existe pas pour le produit concerné	- Epargne sans garantie de table de mortalité - Prévoyance	- Rentes	- Epargne - Rentes	- Rentes	- Rentes	- Prévoyance - Rentes - Epargne - Monosupport	- Produits sans garantie de taux (par ex: Prévoyance, Epargne exclusivement UC)	- Rentes - Prévoyance - Epargne sans garantie plancher	- Autres produits (Prévoyance, Rentes, Epargne Collective, Autres Epargne Individuelle)
1	< 1% du portefeuille Global Impact faible (Impact résiduel sur le capital économique)				- Epargne Collective			Taux compris entre 0 et 1 %	- Epargne avec garantie plancher tarifiée a posteriori	
2	entre 1% et 10% du portefeuille Global Impact modéré (Impact éventuel limité sur le capital économique)	- Rentes	- Epargne		- Prévoyance	- Epargne - Prévoyance	- Epargne Collective - Epargne Individuelle	Taux compris entre 1% et 2,5 %	- Epargne avec garantie plancher révisible annuellement et tarifiée a priori	
3	>10% du portefeuille Global Impact élevé (Impact potentiel significatif sur le capital économique)	- Epargne avec garantie de table de mortalité	- Prévoyance	- Prévoyance avec garantie incapacité/invalidité/dépendance	- Epargne Individuelle		- Epargne Collective - Epargne Individuelle	Taux > 2,5 %	- Epargne avec garantie plancher non révisible	- Certains produits d'Epargne Individuelle

FIGURE 1.4 – cotation des risques inhérents aux produits

A partir des options, des garanties et des hypothèses du portefeuille, ci-dessous les définitions des risques quantifiables auxquels il est exposé. Ces définitions sont issues de l'article 105 de la directive 2009/138/CE.

Le module «risque de souscription en vie» reflète le risque découlant des engagements d'assurance vie, compte tenu des périls couverts et des procédés appliqués dans l'exercice de cette activité.

\*Risque de Longévité : le risque de perte, ou de 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 baisse de ces taux entraîne une augmentation de la valeur des engagements d'assurance. Il désigne le risque que les assurés vivent plus longtemps que prévu au moment du calcul de la tarification du produit ou plus longtemps que prévu par la table de mortalité utilisée pour le provisionnement, en raison de l'amélioration future de l'espérance de vie. Ce risque est susceptible de se matérialiser pour les rentes (perte de mortalité car inférieure à l'attendu) mais également pour les contrats d'épargne offrant une garantie de table de mortalité pour la rente servie au terme.

\*Risque de Mortalité : le risque de perte, ou de 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. Il désigne le risque que l'incidence des sinistres pour cause de décès dépasse le nombre ou le montant pris en compte dans la base de calcul de la tarification du produit. Ce risque est susceptible de se matérialiser pour les produits prévoyance.

\*Risque de Morbidité : le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de fluctuations affectant le niveau, l'évolution tendancielle ou la volatilité des taux d'invalidité, de maladie et de morbidité. Il désigne le risque que l'incidence des sinistres pour cause de maladie, incapacité, invalidité, dépendance, etc... dépasse le nombre ou le montant pris en compte dans la base de calcul de la tarification du produit.

\*Risque de Chutes : le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de fluctuations affectant le niveau ou la volatilité des taux de transfert, d'échéance, de renouvellement et de rachat des polices. Il désigne le risque qu'un souscripteur résilie, réduise, transfère ou rachète ses polices dans une proportion plus importante ou de manière anticipée par rapport aux prévisions entraînant des pertes liées aux dépenses engagées, des pertes de profits futurs et un risque de réputation lié à la mauvaise qualité des pratiques de vente et de service aux clients.

Le risque de rachat représente la deuxième exposition au risque la plus importante en France.

\*Risque de dépenses : le risque de perte, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de fluctuations affectant le niveau, l'évolution tendancielle ou la volatilité des dépenses encourues pour la gestion des contrats.

\*Risque de catastrophe : risque de perte ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant de l'incertitude importante liée aux événements extrêmes ou irréguliers qui pèse sur les hypothèses retenues en matière de prix et de provisionnement. Il est provoqué par un unique événement ou une série d'événements de



grande(s) magnitude(s).

Le module «risque de marché» reflète le risque lié au niveau ou à la volatilité de la valeur de marché des instruments financiers ayant un impact sur la valeur des actifs et des passifs de l'entreprise concernée. Il reflète toute inadéquation structurelle entre les actifs et les passifs, en particulier au regard de leur durée. Il est calculé comme résultant de la combinaison des exigences de capital applicables aux sous-modules liées respectivement à la sensibilité aux changements affectant la courbe des taux d'intérêt ou la volatilité des taux d'intérêt, affectant le niveau ou la volatilité de la valeur de marché des actions, affectant le niveau ou la volatilité de la valeur de marché des actifs immobiliers, affectant le niveau ou la volatilité des marges («spreads») de crédit par rapport à la courbe des taux d'intérêt sans risque, et affectant le niveau ou la volatilité des taux de change.

Les principaux risques pour chaque entité sont les suivants :

- Pour l'entité 1, le risque de rachat est très important, suivis par le niveau des taux d'intérêt.
- De même Pour l'entité 2, bien que le risque de rachat et le risque de niveau de taux d'intérêt soient comparables.
- Pour l'entité 3, le risque de rachat et le risque de crédit financier sont les plus critiques.

## 1.2 Modèles de projection

Un modèle de projection de contrat d'assurance est un outil mathématique permettant à la compagnie d'assurance de projeter sous certaines hypothèses, certains choix de modélisations et simplifications, son bilan et son compte de résultat en estimant les flux futurs probables de trésorerie relatifs à un contrat.

L'assureur est amené à déterminer, en permanence, les valeurs globales des flux futurs (les primes, les prestations et les frais, les revenus du portefeuille d'actifs).

Au sein de ce processus, plusieurs modèles de projection sont utilisés :

- Les modèles déterministes qui permettent de calculer le déroulement des flux de passif en prenant en compte les garanties des contrats ;
- Le modèle GMDB (Guaranteed Minimum Death Benefits) qui permet de calculer le montant des garanties plancher économiques ;
- Le modèle stochastique qui permet de prendre en compte l'impact sur la compagnie de l'environnement économique et des options contractuelles offertes aux assurés.

Les options et garanties insensibles à l'environnement économique sont donc prises en compte dans les modèles de projection déterministes. Tandis que les options et garanties sensibles à l'environnement économique sont pris en compte dans les modèles de projection stochastiques sur la base de simulation monte carlo. Le modèle de projection stochastique ALM reflète donc l'interaction actif-passif et a pour données d'entrée les flux de passifs projetés dans le modèle déterministe.

### 1.2.1 Modèles déterministes

Dérouler les flux de passif (épargne, vie entière, prévoyance et retraite) revient à modéliser d'une part la perception des primes et d'autre part le paiement des prestations, commissions, frais et avances relatives aux contrats souscrits par les assurés.

Les modèles dit « déterministes » permettent de générer des chroniques de cash-flow nécessaires au recalcul du profit (chroniques des primes, prestations, chargements, commissions) aux éventuels taux garantis (ex :taux intérêts techniques, TMG, TPG...).

Selon l'article 80 de la directive 2009/138/CE, lorsqu'elles calculent leurs provisions techniques, les entreprises d'assurance et de réassurance segmentent leurs engagements d'assurance et de réassurance en groupes de risques homogènes et, au minimum, par lignes d'activité. Dans le même sens, l'article 35 du règlement délégué (UE) 2015/35 détaille que les projections des flux de trésorerie utilisées dans le calcul des meilleures estimations concernant les engagements d'assurance vie sont effectuées séparément pour chaque contrat. Lorsqu'un calcul distinct pour chaque contrat représente une charge indue pour l'entreprise d'assurance ou de réassurance, celle-ci peut regrouper les contrats pour effectuer les projections, à condition de satisfaire à l'ensemble des exigences suivantes :

- o il n'y a pas de différences significatives dans la nature et la complexité des risques sous-jacents aux contrats faisant partie d'un même groupe ;
- o le regroupement de contrats ne crée pas une image faussée des risques sous-jacents aux contrats et n'introduit pas

de biais dans leurs coûts ;

o il est probable que le regroupement de contrats produise approximativement les mêmes résultats pour le calcul de la meilleure estimation qu'un calcul contrat par contrat, en particulier pour ce qui concerne les garanties financières et les options contractuelles prévues par les contrats.

Les données de passifs sont donc regroupées en groupes homogènes appelés Model-points pour réduire le temps d'exécution du modèle. L'agrégation est généralement basée sur des caractéristiques similaires comme le TMG, l'âge, l'ancienneté, les taux de chargement etc...

Aussi, le modèle de projection nécessite que les valeurs de bilan initiales des actifs et des passifs soient égales afin de refléter la réalité du bilan comptable de la compagnie. Le principe du flexing permet de s'en assurer.

## Principe du flexing

Le flexing est utilisé pour prendre en compte l'impact lié à l'utilisation de scénarios stochastiques sur les flux déterministes de passif, l'impact de l'environnement économique via la performance et la volatilité des actifs, l'impact de la participation aux bénéfices discrétionnaire et du comportement dynamique des assurés.

En effet, lorsqu'une partie des contrats n'est pas prise en compte dans la modélisation, et afin de refléter la réalité du bilan comptable de la compagnie, des opérations de réalignement actif-passif en fin de période sont réalisées.

Le processus de calage permet d'assurer la cohérence entre les modèles de projections déterministes et le modèle de projection stochastique.

Les flux déterministes produits en sortie des modèles de projections déterministes sont adaptés afin de minimiser les écarts de flexing.

Les modèles déterministes sont basés sur différents types de sous-modèles pour refléter les caractéristiques des contrats :

- Epargne ;
- Vie entière / prévoyance ;
- Rentes .

### 1.2.2 Modèles GMDB

La garantie plancher est modélisée au sein d'un modèle dédié, appelé « modèle GMDB ».

La garantie plancher permet au bénéficiaire du contrat, en cas de décès de l'assuré avant le terme de la garantie, de percevoir à minima le cumul des primes investies, nettes de rachats éventuels et de chargements (capital garanti).

La valeur de la garantie plancher est calculée comme la différence entre le montant versé à l'assuré en cas de décès et le montant de chargement au titre de la garantie plancher.

Ce montant est calculé à la date d'arrêt et ne fait pas l'objet d'une projection selon un jugement d'expert sur le portefeuille.

La modélisation de la garantie plancher repose sur la considération que l'assuré dispose d'une option de vente d'un put européen possédant les caractéristiques suivantes :

- Strike : capital garanti ;
- Date d'échéance : date de survenance du décès de l'assuré ;
- Sous-jacent : provisions mathématiques UC du contrat.

Le modèle de Black-Scholes est utilisé pour évaluer le prix de cette option.

### 1.2.3 Modèles Stochastiques

Un modèle stochastique est utilisé pour estimer les montants nécessaires aux calculs des indicateurs clés comme la VIF, le BEL, la valeur de marché des actifs ( fonds des assurés et fonds des actionnaires) en utilisant 3000 simulations. Les entrées du modèle sont de cinq natures :

- Données de contrôle (tables assurant le contrôle du modèle c'est-à-dire le pas de temps de la projection, l'activation de certaines parties du code modèle etc...);
- Hypothèses nécessaires au fonctionnement du modèle (à la PB discrétionnaire, relatives aux pools les niveaux d'agrégation correspondants aux cantons de gestion, etc...);
- Données d'actif;
- Flux de passif;
- Scénarios économiques.

Le graphe ci-dessous illustre la séquence des opérations effectuées durant une projection :

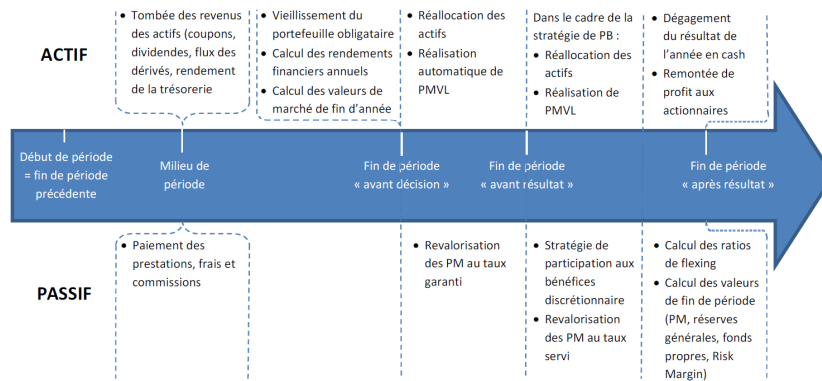


FIGURE 1.5 – Déroulement Actif/Passif

Sur l'axe des passifs, les primes sont collectées et les prestations ainsi que les frais et commissions sont payés. Sur l'axe des actifs, les flux liés aux actifs investis sont reçus (remboursement de nominal, coupon, dividende, etc...). Les interactions entre l'actif et les passifs sont prises en compte à la fin de chaque période. Les stratégies d'allocation d'actif et de revalorisation sont aussi effectuées. Les provisions générales (RC, PRE et PPE ou PPB) sont recalculées suivant les stratégies d'allocation d'actif. Les résultats sont calculés en fin de chaque période et remontés aux actionnaires.

A la fin des projections, tous les actifs du portefeuille sont vendus. Les produits financiers obtenus sont intégrés et pris en compte dans la participation aux bénéficiaires. Les provisions générales résiduelles sont supposées appartenir aux assureurs et sont enregistrées dans les gains (ou pertes).

Le modèle de projection stochastique permet de calculer le montant de profit de la compagnie.

$$\text{Profit} = \text{Primes} - \text{Prestations} - \text{Frais} - \text{Commissions} + \text{Production financière comptable} - \Delta PM - \Delta RC - \Delta PRE - \Delta PPE + \text{transfert} - \text{taxes}$$

### 1.3 Passifs modélisés

A partir de la cartographie des risques réalisée, la modélisation des options et garanties suit le processus ci-dessous :

- chaque caractéristique relative aux produits est classée soit dans les options soit dans les garanties ;
- chaque option et garantie est modélisée soit selon le modèle GMDB, soit dans le modèle déterministe soit dans le modèle stochastique en fonction de sa sensibilité à la conjoncture économique.

Le graphe ci-dessous reprend la liste des options et garanties modélisées :

List of Options and Guarantees	Option		Modelling	
	Option	Guarantee	Deterministic	Stochastic
Switch	x		x	x
Payments method	x		x	
Technical rates		x		x
Minimum guaranteed rate		x		x
Profit sharing rule		x		x
Ring-fenced fund		x		x
Bonuses' mechanism	x		x	x
Advance	x			x
Lapses / Transfer	x		x	x
Financial and management options	x		x	
Bonuses on death benefits		x	x	
Annuity conversion option	x		x	
Guaranteed annuity options	x		x	
Guaranteed minimum death benefits		x		GMDB Model
Renunciation option	x		x	
Protection guarantee		x	x	
Assistance guarantee		x	x	
Periodicity of payment : Protection / Wholelife	x		x	
Specific clause on protection		x	x	
Payment of the guaranteed capital in anticipation	x		x	
Multiplication of the sum insured		x	x	
Waiting period	x		x	
Debarment period	x		x	

FIGURE 1.6 – Liste des options et garanties modélisées

La quasi-totalité des O&G du portefeuille est modélisée. Soit environ 99,20% de la PM. La faible part du périmètre non modélisé est essentiellement liée aux produits de prévoyance. Le poids de cette activité dans le portefeuille étant peu significatif, des approximations hors modèle sont utilisées.

Le graphe ci-dessous fait une comparaison du nombre de produits modélisés et non modélisés :

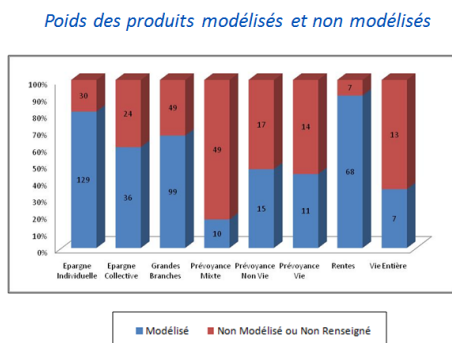


FIGURE 1.7 – Part du nombre de produits non modélisés par type de produit

Cependant, un système de mise à jour ou de revue du processus de modélisation des options et garanties est à prévoir.

# Chapitre 2

## PRODUCTION DES METRIQUES ECONOMIQUES

### 2.1 Description du modèle interne

Les compagnies d'assurance ont eu la possibilité de se porter candidates auprès des régulateurs pour l'utilisation d'un modèle interne (MI). Le choix d'un modèle interne plutôt que la formule standard s'explique par la volonté de prendre en compte les spécificités propres à la compagnie en matière de risques et pour des raisons de flexibilité méthodologique.

Le modèle interne peut désigner l'ensemble des éléments et processus conduisant à la production des métriques économiques ( Available Economic Capital (AEC), Solvency Capital Requirement (SCR), Surplus) mais également la gouvernance et l'utilisation qui en est faite en tant qu'outil d'aide à la prise de décision.

Le modèle interne cumule l'impact de tous les risques matériels auxquels le portefeuille est significativement exposé et calcule une exigence de capital de 1 sur 200 sur un horizon de 1 an.

Ce capital représente la perte qui peut être enregistrée suite à la survenance d'un événement ayant une probabilité de 1 sur 200 de se réaliser au cours de l'année à venir.

Le modèle exige que les risques soient identifiés, que la distribution de chaque risque ainsi que les dépendances entre ces risques soient calibrées. Le modèle a également la capacité de capturer l'impact des risques aussi bien individuellement qu'en agrégé sur le bilan.

Le modèle interne est composé de plusieurs modules clés. Le but étant d'identifier les expositions aux risques, de les modéliser, de les choquer suivant des données de calibration, de les agréger, d'obtenir le capital requis et de les reporter de façon réglementaire pour pouvoir gérer le profil de risque.

Le schéma ci-dessous présente synthétiquement ces différents modules :

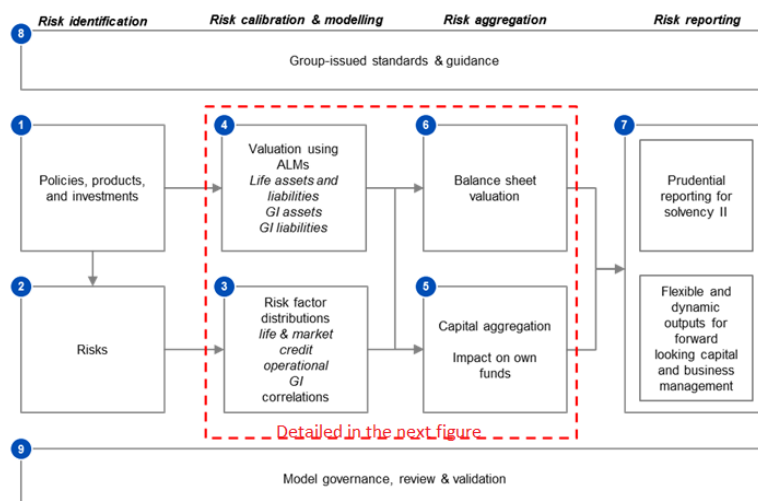


FIGURE 2.1 – Composantes du modèle interne

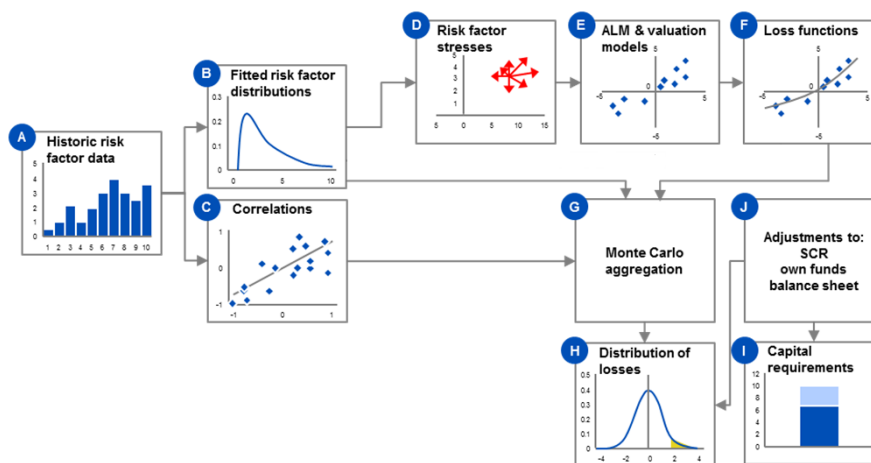


FIGURE 2.2 – Focus sur la calibration, la modélisation et l’agrégation des risques

Un processus est mis en place pour tester le modèle. Il consiste à refaire les principaux calculs du modèle Prophet dans Excel et à comparer les variables ainsi calculées avec les résultats issus de Prophet. Dû aux contraintes stochastiques (grand nombre et complexité des scénarios, interactions entre les actifs et les passifs), tous les calculs du modèle Prophet ALS ne peuvent être répétés dans Excel. Seules les modules principaux du modèle ont été testées.

Dans la compagnie étudié, un modèle interne partiel, défini comme utilisant une combinaison d’approches de modèle interne et de formule standard pour calculer les besoins en capital de solvabilité est mis en place. Cela signifie en pratique que certaines entités mettent en œuvre le modèle interne pour tous les éléments de leur calcul de besoins en capital, tandis que d’autres ne mettent en œuvre le modèle interne que pour certains éléments du calcul; tous les risques importants et quantifiables figurent dans la portée du modèle interne. Compte tenu de la structure multi-entité du groupe et de la taille variable des entités, le modèle interne partiel a été conçu pour modéliser avec précision les exigences de fonds propres des profils de risque de nature, d’échelle, ou de complexité distincte de celle autorisée dans le calcul de la formule standard.

## 2.2 Résultats du modèle

Les indicateurs clés du modèle sont les suivants :

### BEL

Le BEL est calculé dans le modèle de projection de deux manières, donnant lieu à deux indicateurs :

- le BEL indirect, utilisé dans la suite du processus :  $BEL(\text{entité}) = PHF(\text{entité}) - VIF(\text{entité})$
- le BEL direct, qui permet le calcul de l’écart de convergence mais n’est pas utilisé par la suite du processus :

$$BEL(\text{entité}) = Prestations(\text{entité}) + Frais\& Commissions(\text{entité}) - Primes(\text{entité}) - Transfert(\text{entité}) + Taxes sociales(\text{entité}) + MVrésiduelle(\text{entité})$$

avec  $MVrésiduelle(\text{entité})$ , la market value résiduelle déflaté.

Il est à noter que les cash flows utilisés pour le calcul du BEL sont considérés comme ayant lieu :

- soit au milieu de la période, pour les prestations, les commissions, les frais et les primes ;
- soit à la fin de la période, pour les taxes, les taxes sociales et les transferts.

---

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

Le PHF ou Valeur du Policy Holder Fund (valeur de marché de l'actif du fonds des assurés à la date de début de projection) est calculée au niveau des pools<sup>1</sup> et agrégée au niveau entité, uniquement à partir de variables issues du modèle de projection stochastique. Aucun ajustement n'est réalisé.

Pour les fonds Euro,  $PHF_{Euro}(\text{pool}) = \text{Valeur de marché des actifs}_{t=0}(\text{pool}) + \text{Dépot}_{t=0}(\text{pool})$

Avec  $\text{Dépot}_{t=0}$  le dépôt au titre des contrats de réassurance et de coassurance par pool à la date de début de la projection.

Pour les fonds UC,  $PHF_{UC}(\text{pool}) = \text{Provisions mathématiques UC}_{t=0}(\text{pool})$ .

Le SHF ou Valeur du Share Holder Fund (valeur de marché de l'actif du fonds des actionnaires à la date de début de projection) est définie comme :

$SHF(\text{entité}) = \text{Valeur de marché des actifs}_{t=0}(\text{entité}) - \text{Variation initiale du cash du SHF}(\text{entité})$

La VIF est calculée selon deux méthodes en fonction des scénarios considérés : stress classique (basé sur les résultats du modèle de projection stochastique) et stress externe (basé sur les résultats centraux du modèle de projection stochastique, impacté par une perte issue de données externes au modèle).

La VIF EURO est définie par la formule ci-dessous<sup>2</sup> :

$VIF(\text{entité}) = \text{Production financière RC}(\text{entité}) + \text{Production financière PRE}(\text{entité}) + \text{Ajustement externe}(\text{entité})$   
 $+ \text{Réserve de capitalisation Résiduelle}(\text{entité}) + \text{Profits bruts actualisés}(\text{entité})$

La VIF UC est définie par la formule ci-dessous :

$VIF(\text{entité}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Profits bruts actualisés}_{\text{Scenario } i}(\text{entité}) - \text{GMDB}(\text{entité})$

## Écart de convergence ou fuite de modèle

Une fuite de modèle correspond au surplus ou au défaut de valeur existant à l'issue de la projection des actifs et engagements au sein du modèle interne. Il correspond donc, à la différence entre la somme de tous les flux futurs actualisés et de la valeur de marché résiduelle, et de la valeur de marché initiale.

À l'issue de ces calculs, une différence significative apparaît entre les deux valeurs du BEL (direct et indirect). Cette différence est identifiée comme étant liée aux fuites du modèle.

Les sources principales de fuites liées au modèle ont été identifiées :

\*Difficulté de reproductibilité des taux d'intérêt via le modèle.

\*Interpolation de la courbe des taux sans risque due à la forme de la courbe des taux EIOPA actuelle.

\*Incohérence stochastique entre les différents flux et la valeur de marché, due aux frottements liés à l'actualisation effective des flux futurs.

Dans le portefeuille, l'écart de convergence est inférieure à 2%. La différence entre le BEL direct et le BEL indirect est donc insignifiante.

## Marge de risque

La Risk Margin ou marge de risque est calculée par le biais d'une approche basée sur le coût du capital (Coc), permettant la diversification entre les activités, nette de réassurance.

Il est donc fonction du Coc le taux de Coût du Capital, du  $SCR(t)$  le capital de solvabilité requis pour les risques non-réplicables (Mortalité, Longévité, Dérive des frais, Rachat, Catastrophe Vie, Risque opérationnel, Défaut de contrepartie) en année t, et de  $r_t$  le taux risque-neutre pour la maturité t.

Du fait de la complexité de la projection des SCR futurs, des approximations sont utilisées. Chaque risque projeté suit au cours du temps, la chronique d'un facteur de risque (grandeur qui reflète le niveau du risque au cours de la projection) ou driver :

$$SCR_{Risque}(t) = SCR_{Risque}(0) * \frac{Driver(t)}{Driver(0)}$$

Les matrices de diversification des risques permettent ensuite le calcul du SCR à chaque pas de projection.

1. Un pool est un regroupement de segments d'actif et de passif. Il s'agit d'un niveau d'agrégation pouvant correspondre aux cantons de gestion.

2. L'ajustement externe peut être par exemple un capital add-on.

Les facteurs de risques sélectionnés pour chacun des risques non-réplicables sont les suivants :

Risk	Chosen Carrier
Reinsurance Counterparty Risk	Best Estimate Liabilities
Longevity	Best Estimate Liabilities
Mortality (assurances)	Best Estimate Liabilities
Mortality Pandemic	Best Estimate Liabilities
Lapse-exposed lapses	Best Estimate Liabilities
Lapse-supported lapses	Best Estimate Liabilities
Mass Lapse	Best Estimate Liabilities
Expenses	Mathematical reserves
Operational risk OR1 (Rop1)	Mathematical reserves
Operational risk OR2 (Rop2)	Mathematical reserves
Operational risk OR3 (Rop3)	Mathematical reserves
Non modelled protection	Best Estimate Liabilities

FIGURE 2.3 – Facteurs de risques

---

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.



# Conclusion de la partie

Les principaux indicateurs solvabilité obtenus sur le portefeuille sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Results ( EUR / 000 000s)	Entité 1	Entité 2	Entité 3
Eligible Own Funds	4 479	1 371	872
SCR	3 728	959	370
Cover ratio	120%	143%	236%
Market value of assets	51 892	28 779	14 043
Technical Provisions	50 086	28 092	14 151
Best estimate liabilities (BEL)	49 142	27 817	14 051
Risk Margin	944	275	100

FIGURE 2.4 – Indicateurs Solvabilité 2 du portefeuille

Les résultats de l'entité 3 sont obtenus à l'aide la formule standard.

A ce stade, la fonction actuarielle peut commencer ses investigations. Bien que le calcul des provisions techniques soit réalisé sur la base de techniques actuarielles qui permettent de projeter les flux de passifs et d'actifs et leur interaction, à partir d'un modèle interne et d'hypothèses qui semble approprié, un processus de validation est nécessaire. Cela implique :

- o Une description du processus lié à la gouvernance de la qualité des données .
- o Une description du niveau de matérialité des hypothèses et des méthodologies utilisés pour les construire ;
- o Une analyse et des sensibilités sont réalisés sur les variables et les fonctionnalités clés du modèle ;
- o Une présentation de l'analyse de mouvements et des impacts importants sur les provisions techniques ;
- o Une analyse et des sensibilités sont réalisés sur les jugements d'experts matériels ;
- o Une comparaison des provisions techniques des compagnies d'assurances du marché français.

---

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

Deuxième partie

## **ANALYSE ET SENSIBILITES**

# Introduction de la partie

L'objectif de la validation est de fournir au comité exécutif de la compagnie et au régulateur, l'assurance que les résultats soient conformes aux normes de solvabilité 2 et peuvent servir d'outil à la prise de décisions stratégiques telles que la gestion du capital, la planification, l'atténuation des risques, l'allocation des investissements et le développement de produits. La fonction actuarielle vise donc à analyser tout le processus et à en déceler les failles. Les clés de validation des provisions techniques sont donc les suivantes.

## Chapitre 3

# QUALITE DES DONNEES

La directive 2009/138/CE mentionne à de nombreuses reprises le sujet de la qualité des données : Articles 48, 82, 86, 104, 121, 124. Pour n'en citer que quelques uns :

- L'article 48 impose que la fonction actuarielle évalue la cohérence des données internes et externes utilisées dans le calcul des provisions techniques par rapport aux normes de qualité des données définies dans le cadre de solvabilité 2. Le cas échéant, la fonction actuarielle fournit des recommandations quant aux procédures internes visant à améliorer la qualité des données afin de garantir que l'entreprise est en mesure de respecter l'exigence en question.
- L'article 82 impose que les entreprises d'assurance et de réassurance mettent en place des processus et procédures internes de nature à garantir le caractère approprié, l'exhaustivité et l'exactitude des données utilisées dans le calcul de leurs provisions techniques.

L'ACPR attend de la fonction actuarielle qu'elle mette en évidence les points de faiblesse quant à la qualité des données mais aussi qu'elle fasse des recommandations à la direction pour y remédier et qu'elle assure un suivi dans le temps de la mise en oeuvre de ces recommandations. La fonction actuarielle, dans le cadre de son rapport, doit donc donner un avis sur la qualité des données.

Le type de données utilisées dans le processus sont :

### - Les Données brutes

Une donnée brute correspond à une donnée présente dans les bases de données n'ayant subi aucun retraitement dans le cadre des calculs liés au capital économique.

En général, il s'agit des sources primaires des processus de calcul. Ces données ne correspondent en général pas à des données d'input des modèles de projection.

### - Les Données d'entrée d'un modèle de projection

Une donnée d'entrée d'un modèle de projection correspond à une donnée lue en entrée du modèle sans avoir à subir de modification/transformation.

Il s'agit des paramètres et hypothèses d'un modèle.

#### o Hypothèses

Une hypothèse correspond à une donnée d'input du modèle de projection, dont la réévaluation est intégrée à minima annuellement au processus d'évaluation du capital économique. La mise à jour des hypothèses est réalisée suite à des études quantitatives.

De par leur fréquence de mise à jour, elles font l'objet d'une documentation annuelle spécifique et ne font pas partie du périmètre de la documentation méthodologique des modèles de projection.

#### o Paramètres

Un paramètre correspond à une donnée d'input du modèle de projection, dont la mise à jour n'est pas liée aux processus d'évaluation du capital économique.

Les inputs de type « paramètre » intègrent deux principaux types de données d'input :

\* Éléments courants, correspondant à la transposition de données contractuelles ou réglementaires. Par exemple, il s'agit du taux d'impôts, des taux de chargements sur encours ou des taux de commissions.

\* Éléments estimés par jugements d'experts ou études statistiques ne faisant pas l'objet de mises à jour annuelles. Il s'agit par exemple des taux de réalisation de plus-values latentes au sein des arbres de décision, de la participation aux bénéfices discrétionnaire ou des paramètres des lois de rachats dynamiques.

## 3.1 Politique relative à la qualité des données

Sur le portefeuille, les grandes lignes de la politique relative à la qualité des données sont reprises ci-dessous :

### - Sélection des données

Un dictionnaire des données a été mis en place.

Le but du dictionnaire des données est d'enregistrer la totalité des données qui servent aux calculs des provisions techniques et du SCR en modèle interne.

Les données sélectionnées doivent être appropriées, complètes, et exactes. De plus, la consistance des données est vérifiée. En effet, en plus de vérifier que les données sont adaptées aux fins pour lesquelles elles doivent être utilisées, qu'elles sont disponibles et suffisantes, qu'elles n'ont pas d'anomalies, la cohérence des valeurs d'une année à l'autre est vérifiée.

Le dictionnaire des données doit spécifier pour chaque donnée ou fichier de donnée :

- o Le nom de la donnée
- o La source de la donnée
- o La description de la donnée
- o L'usage de la donnée
- o Le propriétaire et responsable de la donnée
- o Le type de donnée
- o La date d'extraction
- o La fréquence de mise à jour
- o Un indicateur de sa qualité (bon, moyen, mauvais).

Le dictionnaire ne doit pas contenir des informations opérationnelles (ex. Les informations de l'assuré). Sont spécifiées uniquement les informations relatives à l'extraction des données.

Les indicateurs de la qualité des données mentionnés plus haut indiquent le niveau de satisfaction des critères d'adéquation, d'exhaustivité, d'exactitude et de consistance des données. Dans le cas où le niveau de satisfaction des ces critères est mauvais, un processus d'identification et de correction des données défailtantes est mis en place.

Vu le nombre et le volume de données qui rentrent en compte dans le calcul des provisions techniques, l'attention portée dans la gouvernance des données est proportionnelle à la nature, à la matérialité et à la complexité des risques évalués.

### - Gouvernance qualité des données

Chaque entité du portefeuille doit établir un contrôle de l'environnement de toutes les données et doit documenter la structure de la gouvernance de la qualité des données. Chaque entité doit vérifier que les activités de la gouvernance qualité des données suivent leur cours normalement, sont documentées, et que les exigences qui y sont liés ont été adoptées et implémentées.

Pour ce faire, les rôles et responsabilités sont repartis entre 4 acteurs clés : le directeur du contrôle interne, le responsable et propriétaire des données, le certificateur et administrateur des données et l'utilisateur des données.

### - La mise à jour et correction des données et hypothèses

Les données et hypothèses doivent être revues et mises à jour dès que nécessaire, avec une fréquence cohérente, à minima sur une base annuelle. Dans le cas de chocs financiers, de changements dans le profil de risque ou tout événement qui entraîneraient la modification des risques, les entités doivent s'assurer que tout a été mis en place pour prendre en compte ces changements dans les données.

Les entités doivent documenter les preuves qui justifient le niveau de satisfaction des critères et les rendre disponible aux services des risques et de l'audit interne ainsi qu'aux utilisateurs, aux fournisseurs et aux propriétaires des données. Une procédure de correction des données doit être mise en place pour corriger les données dans les cas où le niveau de satisfaction des contrôles sur les données est mauvais. Quand la mise à jour des données nécessite des ajustements ou des approximations, cela doit être justifié et documenté tout au long du processus de correction.

## 3.2 Contrôle de la qualité des données

Comme mentionné plus haut, une donnée est dite appropriée lorsqu'elle reflète le risque et est adaptée aux fins pour lesquelles elle sera utilisée. Une donnée est dite exacte lorsqu'elle est libre de toute erreur importante et est extraite au temps opportun. Les données sont considérées comme suffisamment exhaustives lorsque toutes les informations nécessaires sont disponibles et qu'aucune donnée n'est exclue sans justification. Une donnée est dite consistante lorsque la valeur de la donnée au fil du temps est cohérente.

Des tests quantitatifs et qualitatifs sont développés pour vérifier ces critères. Ces tests sont réalisés sur les données plus critiques.

### 3.2.1 Criticité des données

Sur le portefeuille, la criticité des éléments de modélisation est analysé selon deux axes : la matérialité et la complexité.

La contribution au SCR de chaque fonctionnalité de modélisation permet l'estimation de leur matérialité, et donc l'estimation de la matérialité des données sources et en entrée de ces fonctionnalités. Les fonctionnalités de modélisation recourent les blocs fonctionnels du modèle interne et sont répertoriés par un jugement d'experts.

Chaque donnée est affectée à une fonctionnalité de modélisation en fonction de son utilisation dans le processus de calcul du SCR. Cette affectation est réalisée également par un jugement d'expert. L'impact brut de chaque fonctionnalité de modélisation sur le SCR est défini comme la somme des SCR affectés à chaque risque auquel la fonctionnalité est exposée. (Par exemple, pour calculer l'impact de la fonctionnalité « tax », tous les SCR sous-modules de risque en lien avec les taxes sont sommés).

L'impact brut est ensuite standardisé afin que la somme des impacts de chaque fonctionnalité soit égale au SCR total. Cet impact standardisé est utilisé pour l'estimation de la matérialité. La matérialité des fonctionnalités de modélisation est définie à partir des SCR diversifiés et non-diversifiés en sortie du modèle interne, et est estimée comme :

$$\text{Matérialité (fonctionnalité)} = \begin{cases} \text{Faible si } \frac{\text{Impact brut (fonctionnalité)}}{\text{SCR total}} < 1\% \\ \text{Moyen si } 1\% < \frac{\text{Impact brut (fonctionnalité)}}{\text{SCR total}} < 5\% \\ \text{Élevé si } \frac{\text{Impact brut (fonctionnalité)}}{\text{SCR total}} > 5\% \end{cases}$$

La matérialité retenue est égale à la matérialité maximale en comparant l'impact calculé à partir du SCR diversifié et celui obtenu à partir du SCR non-diversifié de chaque risque.

Quant à l'estimation de la complexité des données, elle est réalisée à la maille « donnée source » à partir du niveau agrégé d'utilisation des données et de la complexité des opérations.

La complexité des opérations est jugée faible s'il s'agit d'opérations comme les additions, les soustractions, etc... Pour des retraitements difficilement compréhensibles comme l'agrégation des données, lois statistiques, quantiles etc... les opérations sont jugées très complexes.

Le niveau agrégé d'utilisation des données est estimé à partir du volume de données (faible si le jeu de données sources comporte moins de 30 données, moyen si le jeu de données sources comporte plus de 30 données par exemple une table de mortalité, élevé si la donnée source concerne l'activité de l'entreprise et est issue d'un système de données avec plus d'un million de lignes). Aussi le nombre d'utilisation dans le modèle interne est un indicateur du niveau agrégé d'utilisation (faible si la donnée source est utilisée en deux points ou moins dans le modèle interne, moyen si la donnée source est utilisée en trois à cinq points dans le modèle, élevé si la donnée source est utilisée en plus de cinq points dans le modèle).

Une donnée est donc jugée critique si elle est utilisée dans une fonctionnalité de modélisation avec une matérialité élevée, si elle est utilisée pour des opérations complexes, si elle est issue d'un système de données et si cette donnée est utilisée au moins 5 fois dans le modèle.

Le graphe ci-dessous résume les fonctionnalités et leur niveau de criticité :

Functionality	Final Materiality
Market Assumptions - ESG - Interest rates	High
Market assumptions - ESG - Equity	High
Market assumptions - ESG - Property	High
Bonds	High
Equity	High
Mathematical reserves	High
Structural Lapse	High
Dynamic lapse	High
Guaranteed Rate	High
Market Rate	High
Profit sharing strategy	High
French reserves	High
Commission	Medium
GMDB	Medium
Gross-Up calculation	Medium
Liability characteristics	Medium
Loadings	Medium
New business	Medium
Premium	Medium
Annuities	Medium
Expenses	Medium
Structural Switch	Medium
Tax	Medium
Asset Strategy	Medium
Arbitrages à cours connus	Medium
Garantie Plancher	Medium
Counterparty	Medium
Cash	Low
Policy Loan	Low
Reduction	Low
Mortality	Low
Modelling of non assurance entities	Low
Solvency margin	Low
Unmodelled business	Low
Reinsurance	Low

FIGURE 3.1 – Fonctionnalité du modèle par ordre de criticité

L'estimation de la criticité des données est l'indicateur utilisé pour la définition du niveau de contrôle de la qualité .

### 3.2.2 Contrôles réalisés sur les données critiques

Un outil de reporting a été mis en place pour comparer les contrôles effectués sur le portefeuille et les contrôles de qualité de données issus des instructions (Directive 2009/138/CE, Règlement délégué 2015/35, Institut des actuaires, ACPR. . .) .Le tableau ci-dessous résume les principales instructions ainsi que leur correspondance dans le portefeuille :

Directive	Objectifs des controles	Correspondance AVIVA ( Passif & Actif)	
Toutes les directives	les données sont adaptées aux fins pour lesquelles elles doivent être utilisées;	Appr1_P1	P1
Règl. Deleg, IA	Les données sont fiables ;elles ne contiennent pas d'erreur significative		P2,P3
Toutes les directives sauf ESAP2	Les données sont cohérentes avec les hypothèses pour le calcul de PT	Accu4_P5	P5
Règl. Deleg	Les données reflètent le risque		P7
Règl. Deleg, ACPR	Les données extraites à des temps différents et utilisés pour une même estimation sont cohérentes	Cons1	C1
IA	Les données sont adaptés à l'objectif du modèle		
IA	Une Procédure documentée ( définition des critères, des controles, des normes, des hypothèses . Quand et comment les données sont mises à jour) est mise en place		
Toutes les directives	Les données historiques sont suffisantes	E4	
Toutes les directives	Toutes les informations necessaire sont disponibles	Com1	
IA	Aucune donnée n'est exclue sans justification	Comp6	
ACPR	les choix retenus pour reconstituer les données manquantes devraient être mentionnés de façon détaillée dans la documentation.		
ACPR	La période d'observations est suffisamment longue et caractéristique du phénomène observé		
Toutes les directives	Pas d'erreurs importantes	Accu6, Accu4, Accu2	A2
Règl. Deleg	Les dates d'extraction (si différentes) sont cohérentes		P6
IA	Les données sont enregistrés en temps utile et de manière cohérente dans la durée		A5,P6
ESAP2	Les systèmes d'informations sont vérifiés		
AVIVA	La valeur des données au fil du temps est cohérente	Cons1	
AVIVA	La donnée utilisée plusieurs fois dans le modèle est la même dans tous les processus où elle est utilisée (à démontrer)	Cons5	
AVIVA	Les nouvelles données remontent bien dans l'extraction des données.	Cons4 ou CompAccu2	
IA	Les données sont comparées à une autre source. Les données doivent être réconciliés.	ApprCompAccu1	A6
IA	La non prise en compte de certaines données doit être commentée		
ACPR	Les données sont comparées à une source externe		
IA	Les données sont comparées à celles d'un exercice précédent.		C3
ACPR	L'évaluation est effectuée à un niveau de détail approprié	ApprCompAccu1	
ACPR	Les controles d'exhaustivité et l'adéquation des données sont réalisés par une série de contrôles suffisamment complets		
ACPR	La validation des données tient compte de la source et de l'utilisation initialement prévue dans le processus.	CompAccu3	

FIGURE 3.2 – Instructions des directives relatives aux données

Les contrôles sont réalisés à chaque étape du processus de construction du périmètre :

- Alimentation des infocentres
- Création des MPFiles
- Construction des hypothèses (lois, etc...)

A partir d'un diagramme de flux qui répertorie toutes les données sources et les étapes de processus, et de documents tel que "Data Quality Assessment Report" fourni par les équipes de production, les matrices de contrôles de risques et leurs résultats, de façon plus détaillées sont les suivantes :

Données d'entrée du modèle de projection	Controles réalisés	Alimentation des infocentres	Création des MPFiles	Construction des hypothèses
<b>R1 - APP</b> (Les données d'entrée ne sont pas appropriées)	Rapprocher les données avec une autre source - Inventaire Vérifier que la donnée reçue correspond au besoin			
<b>R2 - COM</b> (Les données d'entrée ne sont pas incomplètes)	Rapprocher les données avec une autre source - Inventaire Détecter l'absence de valeur attendue dans les données comparer le rapport de chargement à l'intégration des données (fourni par l'IT par exemple) au rapport d'extraction. Vérifier que les nouvelles données remontent bien dans l'extraction des données. Aucune donnée n'est exclue sans justification.			
<b>R3 - ACC</b> (Les données d'entrée ne sont pas précises)	Rapprocher les données avec une autre source - Inventaire Vérifier que le format de la donnée est correct Vérifier que les valeurs des données sont celles attendues - liste de valeurs précises, contenues dans un intervalle attendu - valeur minimum et maximale Vérifier l'absence d'incohérence dans la relation entre les données. Ex: DDN > DDE Vérifier que les nouvelles données remontent bien dans l'extraction des données. comparer le rapport de chargement à l'intégration des données (fourni par l'IT par exemple) au rapport d'extraction.			
<b>R4 - CON</b> (Les données d'entrée ne sont pas consistantes)	Vérifier la cohérence de la valeur des données au fil du temps. Démontrer que la donnée utilisée plusieurs fois dans le modèle est la même dans tous les processus où elle est utilisée Vérifier que les nouvelles données remontent bien dans l'extraction des données.			
<b>Données utilisés Sur le processus et sur la transformation</b>				
<b>R5 - COM ACC</b> (Les données sont incomplètes ou erronées)	Rapprocher les données calculées aux données initiales ou aux données d'une autre source en faisant des sommes			
<b>R6 - COM ACC</b> (différence entre données en sortie d'un processus et données en entrée d'un autre processus)	Comparer la donnée en sortie du processus père avec la donnée où elle est utilisée en entrée du processus fils			

FIGURE 3.3 – Contrôles sur le passif



	Contrôles réalisés	Alimentation des infocentres
<b>Adéquation</b>	Évaluer si les données sont cohérentes avec ou aptes à l'usage prévu [qualitative] Évaluer si il y a une quantité suffisante de données pour éviter les erreurs d'estimation excessive [qualitative] Évaluer si la nature des données est suffisante pour éviter toute erreur d'estimation excessive [qualitative] Évaluer les incidences de toutes les limitations de données sur la segmentation des obligations d'assurance en groupes de risques homogènes [qualitative] Évaluer de la cohérence des données avec les hypothèses sous-jacentes aux techniques actuarielles et statistiques employées [qualitative] Évaluer si la fréquence de la mise à jour de données correspond à l'utilisation de la date [qualitative] Évaluer l'adéquation ou la crédibilité des données reflétant les risques encourus par l'entreprise, y compris l'utilisation de données de marché pertinentes si nécessaire [qualitative] Faire une analyse comparative de l'industrie peut être un outil utile dans certains cas, par exemple, pour les étalonnages de risque [quantitative / qualitative] Utiliser les épreuves de sensibilité pour explorer l'impact des choix de données alternatives [quantitative / qualitative] Vérifier raisonnablement pour identifier les valeurs aberrantes et les lacunes par comparaison contre les tendances connues, des données historiques et sources externes indépendantes [quantitative / qualitative]	
<b>Exhaustivité</b>	Vérifier que Tous les champs sont peuplés  Vérifier que les données ont été fournies avec le niveau de granularité attendu Évaluer qualitativement pour savoir si les données sont suffisamment granulaires par rapport au but visé Évaluer qualitativement pour savoir si les données incluent suffisamment de données historiques pour identifier les tendances. Vérifier que la donnée est disponible conformément aux attentes du modèle interne et aux groupes de risques homogènes Vérifier qu'aucune donnée n'est exclue sans justification.	
<b>Exactitude</b>	Valider les données entrantes Examiner le nombre de données, du total, du minimum... Examiner les tendances Prédéfinir des contrôles Évaluer si l'enregistrement a été fait en temps voulu. Réconcilier avec une autre source de données Analyser les mouvements sur les données obtenues	
<b>Consistance</b>	Évaluer la cohérence des données de différentes périodes de temps utilisés dans le même calcul [quantitative / qualitative] Évaluation de savoir si les données sont enregistrées régulièrement au fil du temps [qualitative] Examiner les mouvements dans les éléments de données depuis la période précédente [quantitative / qualitative]  Examiner les tendances [quantitative / qualitative]	

FIGURE 3.4 – Contrôles sur l'actif

Le code couleur ci-dessous permet de donner une appréciation des contrôles réalisés.

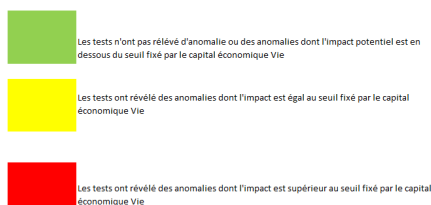


FIGURE 3.5 – Code couleur

Sur le passif, les contrôles sont donc effectués pour les données en entrée des infocentres, de création des MPFiles et d'hypothèses de rachats. Par manque de ressource, un seul datawarehouse a été analysé. Les contrôles montrent que les données en entrée sont moyennement appropriées, moyennement complètes, moyennement précises et moyennement cohérentes.

Les contrôles montrent aussi que les données d'alimentation des infocentres pour l'actif sont considérées, appropriées, complètes, précises et cohérentes.

### 3.3 Gouvernance qualité des données

Ici il sera question de la validation, de la comitologie, des procédures et de la documentation en place dans l'entreprise permettant de gérer et piloter correctement les données tout au long de leur cycle de vie (dans le modèle interne et hors modèle).

La gouvernance des données utilisées dans le calcul des provisions techniques et du modèle interne SCR doit respecter un minimum d'exigences.

Des acteurs de la gouvernance des données ainsi que leurs rôles doivent être définis.

En résumé, ils doivent :

- définir les axes principaux et assumer les responsabilités vis-à-vis du groupe ou du régulateur. Animer les différentes actions de la qualité des données et coordonner les travaux des différents acteurs.
- s'assurer que les besoins en données des métiers soient couverts par les données disponibles et les systèmes en place.
- s'assurer que tout est mis en œuvre afin de transmettre les données pour les travaux des métiers.
- vérifier que les données sont de qualité et qu'elles sont contrôlées.
- étudier toute anomalie identifiée lors des contrôles et suivre la mise en place des plans de résolutions.
- s'assurer que toute évolution du besoin métier, de la réglementation ou encore du système d'information, soit pilotée au travers d'un mode projet.
- piloter la documentation et suivre les risques associés à la gestion de la qualité des données.

Pour y parvenir 4 commissions ont été mises en place :

- la commission gouvernance des données organisée annuellement par le directeur du contrôle interne avec comme participants obligatoires le directeur exécutif, le directeur de fonction opérationnel et le propriétaire des données lui-même.
  - la commission de suivi des données organisée semestriellement ou sur demande par le certificateur et administrateur des données avec pour participants tous les acteurs sauf les directeurs.
  - la réunion de suivi de la qualité des données organisée trimestriellement ou sur demande par le certificateur et administrateur des données avec pour participants obligatoires le propriétaire et responsable des données, l'utilisateur des données et le certificateur des données lui-même.
  - la commission de production organisée mensuellement ou sur demande par le certificateur et administrateur des données avec pour participants obligatoires le dépositaire des données et un invité.
- L'outil de reporting mis en place permet de donner une appréciation du rôle joué par chaque acteur.  
Le graphe ci-dessous en est un aperçu.

	Executive Sponsor	Business Sponsor	Data Manager	Data Owner	Data Steward	Data Custodian	Data User
1 - Stratégie, Responsabilités, organisation, communication et formation	***	**	***		**		
2 - Adéquation des besoins en données		*	*	***	***	**	***
3 - Traitement opérationnel et technique des données				**	***	***	**
4 - Suivi de la qualité des données et contrôles	*	*	**	***	***	***	**
5 - Gestion des anomalies et suivi des résolutions		*	**	***	***	***	*
6 - Gestion des évolutions	*	*	*	***	***	***	**
7 - Documentation et suivi des risques		***	**	**	***	***	**

FIGURE 3.6 – Acteurs de la gouvernance des données et leurs rôles

En résumé, la fonction actuarielle détermine le niveau de conformité aux normes de qualité des données établies et (le cas échéant) recommande la mise en œuvre d'améliorations des procédures internes.

# Chapitre 4

## ANALYSES DES HYPOTHESES

Les provisions reflètent des charges probables. Pour les évaluer, l'évolution des paramètres et des caractéristiques du portefeuille ( rachats, décès, arbitrages, transferts et tous les risques liés aux options et garanties) doit être estimé. Ces comportements de l'assuré sont qualifiés de structurels lorsqu'ils sont indépendants des conditions financières et qualifiés de conjoncturels lorsqu'ils en dépendent.

Par exemple, l'ACPR précise à la suite d'études que la prise en compte des rachats conjoncturels augmente en moyenne les provisions techniques de 0,61%, et le SCR net de 18,4%.<sup>1</sup>

Au même titre que le comportement des assurés, les actions de l'assureur jouent un rôle important dans l'évaluation du BEL. Cette modélisation du comportement des assureurs reste toutefois complexe.

L'objectif principal est donc de gérer les particularités du passif d'assurance projeté, aussi bien dans le scénario central que dans les scénarios de stress.

Ci-dessous, sont décrites les hypothèses sous-tendant le calcul des provisions techniques.

Toutes les données disponibles et pertinentes (internes ou externes) doivent être prises en compte pour retenir au final les hypothèses les plus appropriées aux données. Chaque hypothèse doit respecter les exigences relatives à la qualité de données (Voir chapitre 4) et doit être correctement documenté. Lorsqu'une déviation ou un écart est observé entre les résultats observés du portefeuille et ceux issues du modèle, les hypothèses doivent être mises à jour. Des tests et des contrôles à posteriori sont souvent nécessaires pour la validation finale des lois (backtesting des résultats, construction des intervalles de confiance, analyse des résidus et des analyses graphiques type QQ Plot et PP Plot etc. . .). Il conviendrait également de mettre en œuvre des indicateurs de suivi du risque dans le temps.

### 4.1 Hypothèses liées au passif

Les points ci-dessous doivent être vérifiés :

- Les hypothèses sont revues annuellement. Pour une revue autre qu'annuelle, une justification de la stabilité de l'hypothèse doit être apportée.
- La revue des hypothèses doit être basée sur les montants réels du portefeuille pour mieux refléter les risques et les potentielles pertes.
- Un volume de données convenable doit être utilisé dans la constructions des lois.
- Une distinction appropriée doit être faite entre les différentes branches d'activité, si l'impact est matériel.
- Les hypothèses liées à des événements qui ne peuvent être anticipées dans les données telles que les évolutions démographiques, légales, médicales, technologiques, sociales, environnementales et économiques, sont à prendre en considération .
- Toutes les hypothèses ayant des fonctions différentes mais liées à un même portefeuille doivent être consistantes entre elles.
- Les entreprises évaluent si l'utilisation d'une approche déterministe ou d'une approche stochastique est proportionnée à la modélisation de l'incertitude des facteurs de risques biométriques.
- Les hypothèses doivent également tenir compte de la durée du passif.

---

1. Source : ACPR , Enseignements annexes techniques vie 2013

### 4.1.1 Comment sont construites les lois liées aux comportements des assurés ?

Le BEL, déterminé par l'actualisation des prestations et de frais futurs, est particulièrement sensible (entre autres) aux comportements des assurés.

Les entreprises veillent à ce que les hypothèses se rapportant aux comportements de l'assuré, soient fondées sur des preuves statistiques et empiriques, lorsqu'elles sont disponibles.

Le processus d'élaboration des lois comportementales peut être résumée par le graphe<sup>2</sup> ci-dessous :

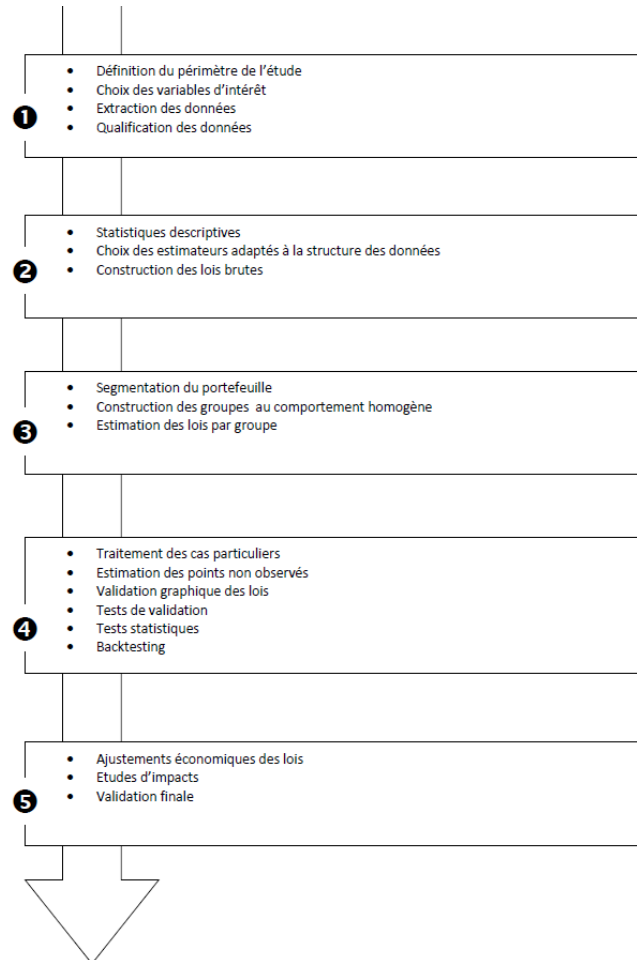


FIGURE 4.1 – Elaboration des lois comportementales

### Loi de chutes

Pour rappel, les rachats sont la combinaison de deux comportements des assurés :

- les rachats structurels, indépendants de l'environnement économique,
- les rachats dynamiques, conséquence de l'écart entre le taux crédité net et le taux espéré par les assurés.

2. Source : IA , Groupe de travail « Best Estimate Liabilities Vie »

\* Loi de rachats et de transfert sur le périmètre épargne-retraite

Perimètre	Loi	Données utilisées	Segmentation	Variables d'intérêt	Méthodologie
Epagne et Retaite	<b>Rachats structurels</b> plus précisément : les lois de rachats partiels et de rachats totaux pour les contrats d'Épargne (Assurance Vie et Capitalisation) et les lois de transferts (y compris rachats exceptionnels) pour les contrats de Retraite.	Un historique de données de 10 ans contenant: - les montants Euros/ UC de rachats ou transferts par contrat ainsi que le type de rachat (partiel ou total) - l'encours Euros/UC de fin de mois ou fin d'année par contrat - la date d'effet des contrats et les dates de mouvements (rachat ou transfert)	Entité, Type de produit (Assurance vie, Assurance vie - versements libres, Contrats de capitalisation, Retraite collective, etc...), Gamme de produits (Monosupport, Multisupport, Contrats à garantis élevées, art. 82, contrats madelin, Autres produits, etc...), Réseau de distribution Type de rachat (Rachats totaux, rachats partiels, transferts, etc...)	Par ancienneté ou par tranche d'ancienneté du fait des avantages fiscaux.	$t_i = \frac{\sum_n R_{i,n}}{\sum_n PM_{i,n}}$ t <sub>i</sub> : le taux de rachat Best Estimate à l'ancienneté i ; R <sub>i,n</sub> : le montant de rachat annuel à l'ancienneté i de l'année n ; PM <sub>i,n</sub> : l'encours annuel moyen des contrats d'ancienneté i l'année n.

FIGURE 4.2 – Récapitulatif de la construction des lois de rachats épargne-retraite

Les lois de rachats des produits dont l'antériorité ne permet pas de calculer des taux Best Estimate sur l'ensemble des tranches d'ancienneté retenues, ont été extrapolées à partir d'une loi représentant l'évolution moyenne du taux de rachat d'une tranche à l'autre.

Les hypothèses/méthodologies retenues doivent être révisées si l'écart entre les taux de rachats issus des hypothèses Best Estimate et les taux de rachats sur 10 ans glissants (y compris taux de rachats de l'année) entraîne un impact sur le capital économique de +/- 1%.

\*Loi de réduction sur le périmètre épargne-retraite

Perimètre	Loi	Données utilisées	Segmentation	Variables d'intérêt	Méthodologie
Epagne et Retaite	<b>Réduction</b> plus précisément : les arrêts de versements réguliers sur des contrats de retraite réglementaire en primes périodiques (Perp, Madelin, Articles 82 et 83), les diminutions de versements réguliers sur ces mêmes contrats, les arrêts de versements réguliers sur des contrats d'épargne en versement programmé (non obligatoire), les diminutions de versements réguliers sur ces mêmes contrats.	Les montants annualisés de versements programmés (VP) ou primes périodiques en début de chaque année, Les montants annualisés de réduction réalisés chaque année, La date d'effet des contrats, les dates de réduction et de mise en place du premier VP, Les nouveaux montants annualisés de VP sur chaque année (mise en place de VP, indexation, remise en vigueur)	Périmètre, Type de produit, Réseau de distribution,	Ancienneté	$t_i = \frac{\sum_n R_{i,n}}{\sum_n VP_{i,n}}$ t <sub>i</sub> : le taux de réduction Best Estimate à l'ancienneté contrat i ; R <sub>i,n</sub> : le montant annualisé de réductions des contrats d'ancienneté i associée à l'année n ; VP <sub>i,n</sub> : le montant annualisé des VP des contrats d'ancienneté i associée à l'année n.

FIGURE 4.3 – Récapitulatif de la construction des lois de réduction épargne-retraite

\*Loi de chute sur le périmètre Prévoyance

Perimètre	Loi	Données utilisées	Segmentation	Variables d'intérêt	Méthodologie
Prévoyance	<b>Chutes</b> plus précisément : Les lois de réduction, de rachat et de rachat après réduction des produits Vie Entière , Les lois de résiliation des produits Temporaire Décès, Hospitalisation, Accident et Dépendance.	Un historique de données de 10 ans contenant: - la prime annuelle par contrat - le type de sortie (réduction / résiliation / rachat / décès /...) - la date d'effet des contrats et les dates de sortie.	Type de produit (vie entière, Temporaire Décès, Hospitalisation, Accident, Dépendance etc...) Produits Type de versements Type de chute (Réductions, Rachats, Rachats après réduction, Résiliations)	Ancienneté Age	Rachat, réduction et résiliation $t_i = \frac{\sum_n P_n}{\sum_n P_n}$ - t <sub>i</sub> : le taux de chute (rachat, réduction ou résiliation) Best Estimate sur la tranche d'âge i et la tranche d'ancienneté i - PA <sub>i</sub> : les primes annuelles des contrats ayant racheté, réduit ou résilié sur les tranches i et j - P <sub>n</sub> : l'assiette de primes annuelles des contrats sur les tranches i et j  Rachat après réduction $t_i = \frac{\sum PMR}{\sum PM}$ - t <sub>i</sub> : Le taux de rachat après réduction Best Estimate/ancienneté i ; - PMR: la provision mathématique des contrats ayant racheté à l'ancienneté i ; - PM: La provision mathématique de l'ensemble des contrats réduits ou libérés de prime d'ancienneté i.

FIGURE 4.4 – Récapitulatif de la construction des lois de chutes prévoyance

Les produits dont l'antériorité ne permet pas de calculer des taux Best Estimate sur l'ensemble des tranches d'âge et d'ancienneté retenues ont été extrapolés à partir des produits plus anciens de la même catégorie, en estimant l'évolution moyenne du taux de chute d'une tranche à l'autre. Les taux de passage retenus seront précisés le cas échéant.

\* Rachats dynamiques.

Les rachats dynamiques (ou rachats conjoncturels) correspondent aux rachats additionnels (au-delà des rachats structurels) qui peuvent survenir lorsque l'assuré procède à un retrait total ou partiel de son contrat ou à un arbitrage au profit d'autres supports financiers (produits assurantiels, ou autres types de produits – bancaires par exemple). Ils sont en lien avec des circonstances particulières, et le plus souvent, à la conjoncture économique ou au résultat du contrat.

Si les facteurs explicatifs des rachats sont nombreux, la modélisation de rachats dynamiques fait généralement intervenir les notions de taux servi par l'assureur et de taux attendu par l'assuré. Si le taux servi est inférieur au taux attendu par les assurés, ces derniers auront tendance l'année suivante à racheter plus que dans une situation « normale ».

Les rachats conjoncturels sont couramment modélisés par une fonction dépendant uniquement de l'écart entre le taux servi et un taux dépendant de l'environnement économique, et non à l'aide de lois d'expérience.

Les ONC (Orientations Nationales Complémentaires) du QIS 5 proposent deux lois de rachat : l'une correspondant à un plafond maximum de rachats et l'autre correspondant à un minimum de rachats. Les compagnies sont invitées à ajuster leur loi de rachat dynamique afin que celle-ci soit à l'intérieur du tunnel ainsi constitué.

## Loi d'arbitrage

Les arbitrages sont modélisés dans le modèle de projection stochastique comme la combinaison de deux comportements des assurés :

- les arbitrages structurels, indépendants de l'environnement économique,
- les arbitrages conjoncturels, conséquence d'une opportunité d'arbitrage entre les rendements des supports en euros et en unités de compte.

\* Arbitrages structurels

La modélisation de la composante structurelle peut s'effectuer par analogie avec la modélisation des rachats structurels. Une loi comportementale peut être définie avec des variables explicatives telles que l'ancienneté du contrat ou l'âge de l'assuré. Elle se calibre sur la base des historiques observés.

\* Arbitrages dynamiques

La modélisation des arbitrages conjoncturels peut aussi s'effectuer par analogie avec les rachats dynamiques et reposer sur l'utilisation de fonctions avec un nombre de degrés de liberté limité. En raison de la complexité à paramétrer ce processus, des fonctions élémentaires du type constantes ou affines par morceaux peuvent être utilisées.

## Loi de mortalité

Afin de respecter la cohérence et l'homogénéité des périmètres d'étude, la maille d'analyse de la mortalité est segmentée par nature du produit étudié. On distingue les produits d'épargne, les contrats en rente et les produits de prévoyance.

Pour les produits les plus matériels, des tables d'expérience sont utilisées.

Pour les produits ayant une matérialité plus faible, l'appréciation de la mortalité se fait par le biais des tables réglementaires. La matérialité ayant été définie dans la cartographie des risques des produits (figure 1.4).

La construction des tables d'expérience est réalisée en plusieurs étapes :

- Détermination de la fonction de survie à partir des données extraites ;
- Lissage de la fonction de survie ;
- Comparaison de la sinistralité avec les tables réglementaires ;
- Détermination des raccordements pour les âges jeunes et élevés.

Les tables de mortalité utilisées pour les contrats en rente sont les tables réglementaires TGF-TGH. En effet, les tables de mortalité prospectives permettent une meilleure appréciation du risque de longévité lié à ce périmètre. Pour la prévoyance, des tables réglementaires sont aussi utilisées, hormis pour le sous-périmètre vie entière.

Des tables d'expériences sont construites pour le reste du périmètre. Les études ont été menées sur un historique de 2 à 5 ans.

## Loi de sinistralité sur le périmètre prévoyance

Les taux de Sinistre à Prime Best Estimate ont été déterminés en considérant la moyenne, pondérée par les primes acquises, des taux de Sinistre à prime Best Estimate par année de survenance.

Perimètre	Loi	Données utilisées	Segmentation	Variables d'intérêt	Méthodologie
Prévoyance	Les lois de sinistralité plus précisément le ratio sinistre sur primes des garanties vie (Décès - Perte Totale et Irréversible d'Autonomie (PTIA)), des garanties non vie (Décès Accidentel - Incapacité - Invalidité - Hospitalisation, Dépendance).	Les données utilisées comprennent les informations relatives aux sinistres : -les montants de règlements de sinistres -les dotations de provisions pour risque croissant -les provisions pour litiges (ou recours) -les provisions pour sinistres à payer -les provisions pour rente .  Les données utilisées comprennent également les informations relatives aux primes, par année civile :  - les primes émises, - les dotations de provisions pour primes non acquises.	Type de produit (Temporaire décès, prévoyance individuelle, etc...)  Réseau de distribution,  Type de garantie(Vie , non Vie)	Année de survenance	$SP_i = \frac{\sum_n CHS_{i,n}}{\sum_n PA_n}$ SP: Le taux de sinistre à prime Best Estimate de l'année de survenance i ; CHS <sub>i,n</sub> : le montant de la charge de sinistres de l'année de déroulement n sur les sinistres survenus en année i; PA <sub>n</sub> : le montant des primes acquises durant bl'année de déroulement n.

FIGURE 4.5 – Récapitulatif de la construction des lois de sinistralité

## Loi d'option en rente

Les modèles de projection déterministes utilisent les hypothèses ci-dessous, définies à la maille produit pour caractériser les sorties en rentes :

- Age de liquidation : C'est l'âge auquel est réalisée la sortie en rente.

Les contrats de type Article 82 et Article 83 entraînent une sortie en rente automatique au passage en retraite. Par conséquent, l'âge de liquidation moyen est calculé à partir des provisions mathématiques par périmètre, hors contrats Article 82 et Article 83 et pondéré par les capitaux constitutifs de rente. Ainsi, 65 ans est obtenu comme âge moyen de liquidation sur l'ensemble des périmètres du portefeuille.

Plusieurs tests sont menés pour s'assurer de la cohérence de cette hypothèse de modélisation. L'objectif de ces tests est d'analyser l'impact de l'âge de liquidation sur les capitaux sous risques. Les impacts sont peu matériels pour une variation à la hausse ou à la baisse de l'âge de conversion en rente.

- Taux de conversion en rente : Il s'agit de la proportion des épargnants qui exercent l'option de sortir en rente à l'âge de liquidation.

Le calcul du montant des rentes lors du passage de la phase de constitution en rente viagère nécessite le calcul d'un taux de conversion. Le modèle utilise un taux de conversion moyen. Pour estimer ce montant, le rapport entre les capitaux constitutifs de rentes et la provision mathématique de contrats d'épargne pour des assurés dont l'âge avoisine l'âge de liquidation, est effectué. Ce ratio donne une estimation du taux moyen de conversion en rente.

- Taux de réversion : En cas de décès de l'assuré, un pourcentage de la rente est transmise à son réservataire. Cette hypothèse est calculée comme un taux de réversion moyen par produit, pondéré par les provisions mathématiques.

Toutes les hypothèses d'option de rente sont à la maille périmètre et par type de produit.

Conformément aux exigences de l'article 83 de la directive 2009/138/CE, un processus automatisé doit être mis en place en vue de s'assurer annuellement de la pertinence des hypothèses retenues. Ce processus servira de base à un collège d'experts pour décider de la nécessité ou non de revoir les hypothèses et/ou méthodes de calcul.

### 4.1.2 Comment sont validées les lois de comportements ?

L'article 79 de la directive 2009/138/CE précise que toute hypothèse retenue par les entreprises d'assurance et de réassurance concernant la probabilité que les preneurs exercent les options contractuelles qui leur sont offertes, y compris les droits de réduction et de rachat, doit être réaliste et fondée sur des informations actuelles crédibles. L'hypothèse doit tenir compte, soit explicitement, soit implicitement, de l'impact que pourraient avoir d'éventuels changements des conditions financières et non financières sur l'exercice de ces options.

Plusieurs tests doivent être menés afin de s'assurer de la cohérence des hypothèses de modélisation retenues.

\*Pour la mortalité,

Sur le périmètre épargne, la validation des tables d'expérience requiert une comparaison des prestations décès réels aux prestations décès prédits sur un historique de trois ans pour évaluer la dérive de la mortalité.

Les montants de prestations décès attendus sont en permanence supérieures aux montants des prestations décès réellement servies sur tout le reste du périmètre. Ils témoignent ainsi d'une vision légèrement prudente dans le calibrage des hypothèses liées à la mortalité, sauf sur l'entité 2. Sur l'entité 2, la sinistralité est légèrement sous-estimée et la loi doit donc être mise à jour.

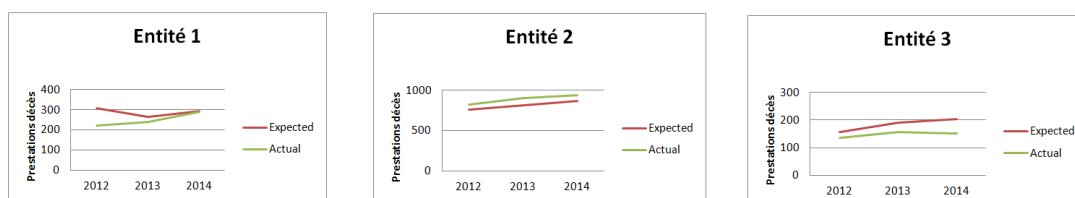


FIGURE 4.6 – Prestations de décès réelles vs prédits par entité sur l'épargne

Sur le périmètre rentes, la comparaison entre les capitaux constitutifs des rentes réellement servies (issues des données d'inventaire) et les capitaux constitutifs des rentes attendues (en sortie du modèle interne) permet sur un historique de deux ans d'obtenir le graphe ci-dessous :

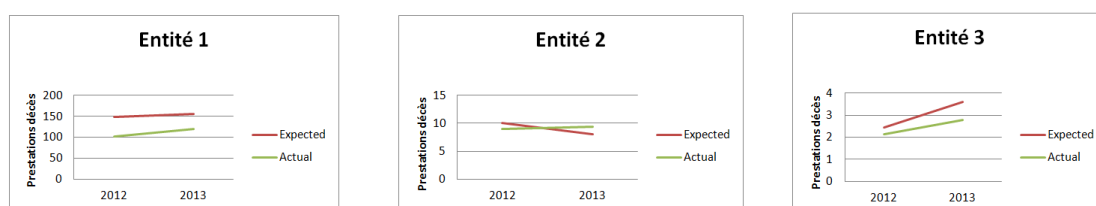


FIGURE 4.7 – Prestations de décès réelles vs prédits par entité sur les rentes

En raison de la contrainte de temps et de données, la cohérence du reste des hypothèses du passif, n'a pas été vérifiée.

## 4.2 Hypothèses liées aux futures décisions de gestion

L'article 78 de la directive 2009/138/CE précise que les entreprises d'assurance et de réassurance doivent tenir compte des éléments suivants lorsqu'elles calculent leurs provisions techniques :

- toutes les dépenses qui seront engagées aux fins d'honorer les engagements d'assurance et de réassurance ;
- l'inflation, y compris l'inflation des dépenses et des sinistres ;
- l'ensemble des paiements aux preneurs et bénéficiaires, y compris les participations discrétionnaires que les entreprises d'assurance et de réassurance prévoient de verser dans l'avenir.

### Dépenses

Les dépenses doivent être réparties de façon appropriée entre les activités futures et les activités existantes. La répartition doit être cohérente au fil du temps et ne doit changer que si une nouvelle approche reflète mieux la situation actuelle. Elle doit aussi être fonction des groupes de risque homogènes, au minimum par secteur d'activité, selon la segmentation utilisée dans le calcul des provisions techniques.

L'article 31 du règlement délégué (UE) 2015/35 permet de lister toutes les dépenses qui se rapportent aux engagements d'assurance et de réassurance comptabilisés des entreprises d'assurance et de réassurance :

- les charges administratives ;
- les frais de gestion des investissements ;
- les frais de gestion des sinistres ;
- les frais d'acquisition.

Sur le portefeuille, les sources utilisées sont les données de frais d'acquisition et de gestion ; les données d'encours, les résultats et les nombres de contrats à la maille d'analyse.

Le contrôle de gestion a retenu comme maille d'analyse : par périmètre, par ligne d'activités (épargne individuelle, retraite individuelle, retraite collective, prévoyance et rentes) et par réseau de distribution. Il s'agit de la maille de segmentation des frais la plus fine disponible.



Pour l'épargne, les frais dépendant des encours sont séparés des frais dépendant du nombre de contrats. Ainsi selon la nature des frais, il convient de définir deux types d'hypothèses : hypothèses en coûts unitaires et hypothèses en pourcentage des encours.

En effet, les frais liés à la gestion pure des contrats dépendent du nombre de contrats gérés et les frais de structure (informatique, locaux, fonctions supports . . .) sont davantage liés à l'encours géré.

Pour la prévoyance, l'ensemble des coûts est exprimé en coûts unitaire. Les coûts unitaires correspondent aux montants totaux de frais divisés par le nombre de contrats associés.

Dans le modèle interne, les frais d'acquisition ainsi répartis à la maille d'analyse sont exprimés :

- en % des résultats pour l'épargne ;
- en coûts unitaires pour la prévoyance.

Les frais de gestion ainsi répartis à la maille d'analyse sont exprimés :

- en % des encours pour l'épargne ;
- en coûts unitaires pour la prévoyance.

## Inflation

L'inflation est modélisée au sein du modèle de projection stochastique. L'indice de l'inflation varie selon les scénarios économiques. La chronique d'ajustement permettant de tenir compte de l'inflation est fournie par scénario économique dans les ESG en entrée du modèle.

L'inflation impacte uniquement les frais exprimés en coûts unitaires. Aucun ajustement pour inflation n'est appliqué sur les frais exprimés en pourcentage des encours dans la mesure où il est considéré que l'inflation est prise en compte à travers la revalorisation des provisions mathématiques. Le jugement d'expert selon lequel les frais de gestion sur l'épargne sont insensibles à l'inflation, est fait.

## Participations discrétionnaires

Lors du calcul des provisions techniques, il faut tenir compte de tous les paiements aux titulaires de polices (et aux bénéficiaires), y compris les primes discrétionnaires futures.

En effet, les flux de trésorerie futurs doivent être divisés en avantages garantis et discrétionnaires car la capacité d'absorption des pertes de provisions techniques est limitée par les provisions techniques relatives aux avantages discrétionnaires futurs.

L'avantage garanti représente la valeur des flux de trésorerie futurs qui ne tiennent pas compte de toute déclaration de bénéfices futures. Il ne concerne que les passif auxquels aux assurés ou aux bénéficiaires ont droit à la date d'évaluation. Les avantages garantis à la date d'évaluation sont les avantages qui ne peuvent être réduits quel que soit l'état futur du monde. La proportion des avantages garantis par rapport aux discrétionnaires a des répercussions sur la situation de capital. Elle affecte le calcul du SCR et du MCR.

La répartition des avantages discrétionnaires à venir est une action de gestion et les hypothèses à propos de celle-ci devraient être objectives, réalistes et vérifiables et devraient tenir compte des caractéristiques pertinentes et matérielles du mécanisme de distribution des bénéfices (en tenant compte du principe de proportionnalité).

Sur le portefeuille, la compagnie dispose de la possibilité de verser aux assurés une PB discrétionnaire, en supplément des contraintes réglementaires et contractuelles. Ce calcul est réalisé dans le modèle stochastique à chaque fin de période de projection (annuel).

La revalorisation des contrats obéit donc à deux types de contraintes :

- réglementaires : il s'agit des contraintes du minimum de PB (art A-331-4 du code) ;
- contractuelles : il s'agit de garanties stipulées dans les conditions générales des contrats souscrits par les assurés.

Pour la validation, il faudrait vérifier que les hypothèses relatives aux futures décisions de gestion sont réalistes :

- en comparant les futures décisions de gestion supposées et les décisions de gestion effectivement prises antérieurement ;
- en comparant les futures décisions de gestion prises en compte dans le calcul actuel de la meilleure estimation et celles prises en compte dans les calculs précédents ;
- grâce à l'évaluation de l'impact des changements engendrés par les décisions futures sur la valeur des provisions techniques.

## Valeur des primes futures

Les articles 17 et 18 du règlement délégué (UE) 2015/35 fixent les limites d'un contrat d'assurance. Sur le portefeuille, la frontière des contrats est cohérente avec les règles solvabilité 2 qui stipulent qu'aucune prime n'est projetée lorsque l'assureur a la capacité unilatérale de résilier ou de majorer sans restriction les primes.

En pratique, aucune prime n'est projetée sur les activités suivantes :

- collectives, hormis l'assurance emprunteur ;
- prévoyance et santé individuelles, hormis les assurances emprunteur et dépendance ;
- épargne pour les versements libres (seuls les versements périodiques sont projetés).

## 4.3 Hypothèses économiques

Pour calculer le BEL d'un contrat d'épargne, il faut être capable de projeter les prix des différents actifs dans le futur. Cela conduit à la construction de générateurs de scénarios économiques (ESG). L'ESG est un outil qui permet de projeter des facteurs de risques économiques et financiers. L'ESG simule les évolutions futures des marchés financiers en générant un jeu de scénarios stochastiques qui vont alimenter les modèles de projection.

Le lien entre le facteur de risque et le prix de l'actif peut être plus ou moins direct. Pour les actions et l'immobilier par exemple, le facteur modélisé est directement le prix de l'actif. La détermination des prix d'une obligation passe quant à elle par la modélisation des prix des obligations zéro-coupon, et donc par la modélisation de la courbe des taux.

En général, la méthode utilisée pour simuler les facteurs de risque dépend de l'usage attribué à l'ESG. Dans le cas de la modélisation d'une distribution de valeurs économiques, une approche à deux niveaux est utilisée :

- La construction d'une fonctionnelle  $g$  fournissant le vecteur des prix en fonction d'une variable d'état  $Y$  avec à la date de calcul :  $\pi_0 = g(Y_0)$

Cette construction s'appuie sur des hypothèses classiques de finance de marché notamment l'absence d'opportunité d'arbitrage introduisant les probabilités "risque neutre". Le processus des prix actualisés devient ainsi martingale .

- La construction d'une dynamique pour les facteurs de risques  $Y_t$ , sachant que cette construction est liée à des problèmes économétriques.

Par exemple dans le cadre d'un modèle de taux mono factoriel de type Vasicek, les modèles suivants sont utilisés :

- Les projections  $dY_t = dr_t = a(b - r_t)dt + \sigma dW_t$  ;

- Le calcul du prix  $dY_t = dr_t = a(b - r_t)dt + \sigma dW_t^Q$   
 $b_\lambda = b - \frac{\lambda\sigma}{a}$   $W_t^Q = W_t + \lambda * t$  ;

Et la fonction d'évaluation est :

$$g(r_t) = P(r_t, T - t) = \exp\left(\frac{1 - \exp(-a(T-t))}{a}(r_\infty - r_t) - (T - t)r_\infty - \frac{\sigma^2}{4a^3}(1 - \exp(-a(T - t)))^2\right)$$

$$\text{avec } r_\infty = b_\lambda - \frac{\sigma^2}{2a^2} .$$

Le lien entre les deux représentations s'effectue via le paramètre  $\lambda$ , sachant que le paramètre  $\sigma$  est invariant.

Ainsi, les entreprises d'assurance et de réassurance fixent des hypothèses concernant les paramètres et scénarios futurs des marchés financiers qui sont appropriées et conformes à l'article 75 de la directive 2009/138/CE. Lorsque l'entreprise d'assurance ou de réassurance a recourt à un modèle pour produire des projections de paramètres et scénarios futurs des marchés financiers, celui-ci respecte l'ensemble des exigences suivantes :

- il génère des prix d'actifs cohérents avec les prix des actifs observés sur les marchés financiers ;
- il ne suppose aucune opportunité d'arbitrage ;
- le calibrage des paramètres et des scénarios est cohérent avec la courbe des taux sans risque pertinents utilisée pour calculer le BEL.

## Modèles utilisés

Ici, les scénarios ESG risque neutre sont produits à l'aide de logiciels et de modèles de calibrage sous licence de l'entreprise Moody's Analytics (MA) (anciennement Barrie & Hibbert). L'équipe en charge des ESG produit à la fois un ensemble de scénarios de base (utilisé dans le calcul des fonds propres de base du bilan) ainsi que plusieurs ensembles de scénarios de stress (qui servent à évaluer les fonds propres dans des conditions extrêmes afin de calculer le SCR ). Les scénarios sont calibrés à l'aide de la courbe des taux swap EUR fourni par l'EIOPA.

Des ajustements sont apportés à cette courbe des taux swaps :

- l'ajustement pour risque de crédit qui vise à prendre en compte le risque de défaut sur le taux swap.

- la correction pour volatilité qui vise à atténuer l'effet pro-cyclique du niveau des spreads d'obligations.

Les modèles suivants sont utilisés pour simuler les actifs :

Classe d'actifs	Modèle
Actions	Modèle déterministe variable dans le temps
Actifs immobiliers	Modèle de volatilité constant
Taux d'intérêt nominal	Modèle de marché Libor
Taux d'intérêt réel	Modèle de Vasicek à 2 facteurs
Spreads de crédit	Modèle G2

FIGURE 4.8 – Modèles utilisés

- les taux d'intérêt nominaux sont modélisés à l'aide du modèle  $LMM+$  (Libor Market Model Plus).

Le  $LMM+$  décrit le comportement stochastique des taux forward discrets simplement composés c'est à dire des taux forward appliqués sur des intervalles de temps discrets.

Notons  $F_k(t)$  le taux forward LIBOR avec expiration  $T_k$  et maturité  $T_k + \gamma$  où  $t$  indique aujourd'hui et  $\gamma_k = T_k$ . Pour le modèle, on suppose que la fraction de l'année entre les expirations et les échéances, notée  $\gamma$ , est la même pour tous les taux forward. Le  $LMM+$  annuel qui est mis en œuvre dans l'ESG modélise les taux forward annuels, et donc  $\gamma = 1$ . La relation entre les taux forwards et les prix correspondants des obligations à coupon zéro (ou facteurs d'escompte) est :

$$F_k(t) = \frac{1}{\gamma} * \left( \frac{P(t, T_k)}{P(t, T_k + \gamma)} - 1 \right)$$

où  $P(t, T)$  le prix à  $t$  d'une unité monétaire promise à  $T$ .

Depuis fin 2015, les taux swap EUR sont négatifs. Le modèle LMM utilisé auparavant était un modèle lognormal ne sachant pas prendre en compte les taux d'intérêt négatifs, contrairement au modèle  $LMM+$ . On peut s'assurer que l'ESG soit capable de répliquer les prix du marché. Aussi, le modèle  $LMM+$  ne produit pas de taux d'intérêt explosifs. En conséquence, les tests de martingalité produits sont bien meilleurs que ceux produits par le LMM.

- Les taux d'intérêt réels sont modélisés à l'aide du modèle Vasicek à 2 facteurs.

Le modèle Vasicek à 2 facteurs est plus facile à comprendre et à calibrer. Il s'agit d'une extension du modèle de taux d'intérêt à facteur unique qui fournit une description assez limitée du comportement potentiel de la structure à terme des taux d'intérêt. Les courbes par modèles à facteur unique ne peuvent pas correspondre à la grande variété de formes de courbes de rendement observées sur le marché. Aussi, le modèle de Vasicek permet d'obtenir des taux d'intérêt négatifs, ce qui reflète mieux la réalité du marché actuel. Dans l'ESG, l'inflation négociée est calculée comme la différence entre les taux nominaux et les taux réels.

- Les actions sont modélisées en utilisant le modèle TVDV (Time Varying Deterministic Volatility).

Le modèle TVDV étend le modèle log-normal standard à volatilité fixe en un modèle action permettant à la volatilité d'être une fonction du temps. Le modèle suppose l'équation différentielle stochastique suivante pour  $S_{price}(t)$  le prix d'une action dans un monde risque-neutre :

$$d \ln S_{price}(t) = (r(t) - d(t) - 1/2 * \sigma(t)^2) dt + \sigma(t) dW(t)$$

Avec  $r(t)$  le taux d'intérêt risque neutre,  $d(t)$  le rendement en dividende,  $\sigma(t)$  une volatilité déterministe fonction du temps et  $W(t)$  un mouvement brownien sous une mesure risque neutre.

Dans le modèle TVDV implémenté par MA, la volatilité fonction du temps prend la forme structurale de :

$$\sigma(t) = \sigma_0 * \exp(-\alpha t) + \sigma_\infty (1 - \exp(-\alpha t))$$

La volatilité initiale instantanée des points est donnée par  $\sigma_0$  et tend vers  $\sigma_\infty$  sur du long terme. Le facteur  $\alpha$  représente le taux auquel la volatilité tend sur du long terme.

- L'immobilier est modélisé à l'aide du modèle de volatilité constante.

Afin de simuler les rendements d'un portefeuille de placement en immobilier, un indice de rendement total d'immobilier

est généré dans l'ESG. Le seul modèle disponible pour l'immobilier est le modèle de volatilité constante. Le modèle suppose l'équation différentielle stochastique suivante pour l'indice de rendement total dans un monde risque neutre :

$$d\ln S_{imm}(t) = (r(t) - d(t) - 1/2 * \sigma^2)dt + \sigma dW(t)$$

Avec  $r(t)$  le taux d'intérêt sans risque,  $\sigma$  est une volatilité constante et  $W(t)$  un mouvement brownien sous une mesure risque neutre. Sous la mesure risque-neutre, l'indice de rendement total est une martingale.

- Le crédit stochastique est modélisé à l'aide du modèle Jarrow, Lando et Turnbull.

La variable centrale est la notation des obligations. Les probabilités de passer d'une évaluation à l'état par défaut sont calculées grâce aux prix des obligations par défaut. Les spreads de crédit stochastiques sont calculés avec ces probabilités de défaut.

La distribution conjointe de ces modèles est capturée avec une matrice de corrélation. Le crédit stochastique est indépendant des autres modèles.

Les risques liés aux taux d'intérêt réels, au crédit stochastique et au modèle d'immobilier sont moins importants pour le portefeuille.

L'exhaustivité et la précision des données utilisées dans le processus de calibration et d'ajustement du modèle sur le marché des paramètres de base sont vérifiés par MA.

## Comment les scénarios sont-ils validés ?

Le responsable de l'équipe ESG de la compagnie a la responsabilité du sign-off pour les fichiers de sortie ESG fournis sous forme de livraison. La responsabilité de signature comprend à la fois la responsabilité de vérifier les exercices de calibration réguliers effectués par MA et la responsabilité du processus de production de scénarios de l'équipe ESG. La compagnie est responsable de s'assurer que les scénarios qui lui sont fournis sont appropriés pour le modèle. En outre, sont testés :

### \* La précision

Chacun des ensembles de scénarios ESG générés contient 5 000 scénarios risque-neutres. Ce volume de scénarios est suffisant pour démontrer la convergence des principales sorties ESG. Cependant, la convergence des valeurs d'actifs et de passifs est uniquement liée à la nature des actifs et des passifs évalués. A ce titre, la responsabilité incombe à la compagnie de démontrer que leur choix de volume de scénarios est suffisant.

### \*La robustesse

Dans le cadre du calcul SCR, un grand nombre de scénarios ESG stressés sont utilisés. Chacun des ensembles de scénarios produit, permet de souligner les paramètres du modèle dans l'ESG. La compagnie peut ainsi évaluer l'impact du changement. Les tests de robustesse sont conçus pour démontrer une compréhension de l'importance des paramètres du modèle par rapport aux actifs et aux passifs en cours de modélisation.

### \*La cohérence par rapport au marché

Le document de calibration de MA et les contrôles effectués par l'équipe ESG sur chaque scénario évaluent la qualité de l'ajustement des scénarios par rapport aux prix du marché. Sont testés la compatibilité des prix des options et des garanties produits par l'ESG avec ceux observables sur le marché. On s'assure ainsi de la réplique des prix du marché.

Aussi, un test de martingalité est réalisé. L'outil de gestion de processus produit des tests de martingalité pour chacun des actifs modélisés dans chacun des ensembles de scénarios ESG et les résultats des tests sont décrits dans le rapport d'exécution et le module d'audit pertinents. Les résultats du test de martingale sont inspectés par le chef d'équipe ESG pour chaque ensemble de scénarios ESG.

De plus, la corrélation est testée. L'outil de gestion du processus produit automatiquement une comparaison de la corrélation cible des rendements excédentaires définis par MA et celui des corrélations réalisées par les ensembles de scénarios ESG générés. Les résultats sont affichés dans le rapport d'exécution.

Enfin la volatilité est testée. L'outil de gestion du processus produit automatiquement une comparaison de la volatilité cible (dérivée à partir des données de marché disponibles) et de la structure de la durée de volatilité réalisée par le scénario ESG pour les volatilités d'action, d'immobilier et de swap. Les résultats sont affichés à la fois dans un rapport de run et dans un rapport d'audit pour chaque ensemble de scénarios.

### \*L' évaluation de la qualité des données

L'équipe ESG a seulement accès à des données de marché limitées et ne vérifie donc pas toutes les données de marché

citées par MA dans le document de calibration trimestriel. Cependant, l'équipe effectue un chèque en extrayant les données de la courbe de swap EUR de Reuters et en vérifiant que les taux de swap de marché extraits sont compatibles avec ceux cités par MA. Pour d'autres données, la compagnie s'appuie sur les contrôles de données gérés par MA.

En résumé, la fonction actuarielle vérifie la bonne mise en oeuvre du processus de validation des hypothèses en entrée du modèle avant de se lancer dans un scrutin de ses sorties.

# Chapitre 5

## ANALYSE DES RESULTATS

### 5.1 Analyse des mouvements

Dans le cadre de la validation du calcul des provisions techniques, la fonction actuarielle s'acquitte entre autres de comparer le calcul d'une année sur l'autre et de expliquer toute écart important :

#### 5.1.1 Étapes

L'EIOPA (Autorité européenne des assurances et des pensions professionnelles) propose le template d'analyse de variation<sup>1</sup> ci-dessous :

	LIFE
	Gross of reinsurance
	C0050
Opening Best Estimate	
Exceptional elements triggering restating of opening Best Estimate	
Changes in perimeter	
Foreign exchange variation	
Variation of Best Estimate on risk covered after the period	
Variation of Best Estimate on risks covered during the period	
Variation of Best Estimate due to unwinding of discount rate - risks covered prior to period	
Variation of Best Estimate due to year N projected in and out flows - risks covered prior to period	
Variation of Best Estimate due to experience and other sources - risks covered prior to period	
Variation of Best Estimate due to changes in non economic assumptions - risks covered prior to period	
Variation of Best Estimate due to changes in economic environment - risks covered prior to period	
Other changes not elsewhere explained	
Closing Best Estimate	

FIGURE 5.1 – Étapes de l'analyse des mouvements

Sur le portefeuille, les étapes sont explicitées par :

\* La contribution à la "New Business" c'est-à-dire :

- les nouvelles affaires correspondant aux primes de nouvelles polices, aux primes uniques ou nouveaux règlements réguliers sur les primes des contrats existants ;
- les frontières du contrat correspondant aux primes ordinaires exclues de la projection.

\* Le rendement attendu : le bénéfice attendu au cours de la première année de projection avec les hypothèses de début de période. De manière plus détaillée, il peut être décomposé en :

- évolution de la TVOG entre la première année et le reste des projections dues aux hypothèses de rendements du monde réel ;
- passage du temps sur les taux de référence des actifs qui couvrent le passif ;
- rendement attendu sur les actifs libres ;
- rendement attendu du monde réel en excès du taux de référence ;
- flux de trésorerie opérationnels prévus.

1. Source : <https://eiopa.europa.eu/regulation-supervision/insurance/reporting-format>

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

\* Les écarts d'expérience : Ils reflètent la différence entre les flux prédits et les flux réels sur les coûts, les rachats, la mortalité, la longévité, la morbidité, les risques opérationnels et autres incluant les écarts sur les arbitrages.

\* Les mises à jour d'hypothèses liés aux passifs.

\* Les autres impacts opérationnels sont liés aux actions de gestions, aux évolutions du modèle.

\* Les écarts économiques sont portés par :

- les taux sans risques incluant l'ajustement de volatilité ;
- les spreads de credit ;
- la volatilité des taux d'intérêts ;
- l'inflation ;
- les rendements conventionnels des actions ;
- la volatilité des actions ;
- les rendements de l'immobilier ;
- les taxes ;
- d'autres incluant les allocations d'actifs et l'évolution de la valeur de marché de la SHF.

\* Les écarts inexplicés.

## 5.1.2 Résultats

Sur le portefeuille, les résultats ci-dessous sont obtenus :

	BEL	RM	Total
Opening	47 568	743	48 311,18
New Business Contribution	2 699	43	2 742
Expected Existing business contribution	- 2 144	- 115	- 2 260
Demographic assumption changes	- 83	-	- 83
Experience variances	244	-	244
Prior Period Adjustments and management actions	- 458	- 18	- 477
Economic Variances	1 316	-	1 316
Other	-	293	293
Closing	49 142	945	50 086

FIGURE 5.2 – Analyse de mouvements de l'entité 1

	BEL	RM	Total
Opening	26 918	294	27 212
New Business Contribution	1 311	12	1 323
Expected Existing business contribution	- 1 277	- 46	- 1 322
Demographic assumption changes	69	-	69
Experience variances	49	-	49
Prior Period Adjustments and management actions	- 140	44	- 96
Economic Variances	887	-	887
Other	-	- 29	- 29
Closing	27 817	275	28 092

FIGURE 5.3 – Analyse de mouvements de l'entité 2

	BEL	RM	Total
Opening	13 101	104	13 206
New Business Contribution	1 734	14	1 747
Expected Existing business contribution	- 1 016	- 16	- 1 033
Demographic assumption changes	- 0	-	- 0
Experience variances	- 129	-	- 129
Prior Period Adjustments and management actions	- 114	-	- 114
Economic Variances	474	1	473
Other	-	-	-
Closing	14 050	101	14 151

FIGURE 5.4 – Analyse de mouvements de l'entité 3

- La hausse du BEL peut donc s'expliquer par :
- La forte contribution des nouvelles affaires ;
  - La baisse des ajustements liés aux améliorations apportées au modèle ALM ;
  - Forte contribution des évolutions économiques directement lié à la baisse des taux d'intérêt.

De même, la hausse de la marge de risque peut s'expliquer principalement par la ligne "Autre".

## 5.2 Analyse de la modélisation

### 5.2.1 Fonctionnalités critiques du modèle

La figure (3.1) présentant les fonctionnalités critiques du modèle est reprise ci-dessous :

Functionality	Final Materiality
Market Assumptions - ESG - Interest rates	High
Market assumptions - ESG - Equity	High
Market assumptions - ESG - Property	High
Bonds	High
Equity	High
Mathematical reserves	High
Structural Lapse	High
Dynamic lapse	High
Guaranteed Rate	High
Market Rate	High
Profit sharing strategy	High
French reserves	High

FIGURE 5.5 – Fonctionnalités du modèle à matérialité élevée

Sur la base de ce graphe, l'analyse devra être concentrer sur les fonctionnalités critiques en lien avec les provisions techniques (les actions, les obligations, l'immobilier, les rachats, les PM, les taux garantis, les taux de marché, la stratégie de participation aux bénéficiaires et les provisions en norme française).

Pour rappel, le BEL correspond à 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.

En fin de projection, après le déroulement actif/ passif et après leurs interactions, l'analyse des variables ayant le plus impact sur le résultat est effectuée :

### Variables d'actifs

L'analyse des variations économiques tient compte des mises à jour des facteurs du marché, y compris l'intégration des plus-values latentes.

\* Les taux d'intérêt

La mise à jour des courbes des taux d'intérêt ainsi que la volatilité implicite des swaps est reprise dans le graphe ci-dessous :

---

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.



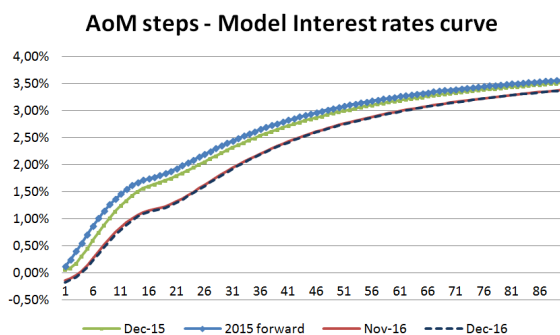


FIGURE 5.6 – Évolution de la courbe des taux d'intérêt

La courbe des taux d'intérêt IR présenté comprend l'ajustement de volatilité (VA) et les ajustements de taux de crédit (CRA). La courbe est en constante baisse avec une réduction moyenne de 50 points de base (bps).

En 2015, le modèle ALM ne tenait pas compte des taux d'intérêt négatifs. Une révision a permis cette année de répartir les taux négatifs jusqu'à l'an 3. Aussi la baisse observée est liée au VA qui passe de 22 bps en 2020 à 16 bps en novembre 2016 et à 13 bps en fin 2016 tandis que CRA reste à -10 bps. La diminution de la volatilité des SWAPS n'améliore pas la tendance.

La combinaison de ces mouvements entraîne un impact négatif sur les fonds propres.

\* Les actions

Pour en estimer l'impact, la mise à jour des actions peut être divisée en :

- Inclusion des plus-values latentes sur les placements actions liés aux contrats Euro et au fonds des actionnaires.
- Inclusion des plus-values latentes sur les contrats UC associés à la mise à jour des provisions mathématiques.
- Variation à la hausse de la volatilité des actions.
- Mise à jour des couvertures d'actions avec des actions supplémentaires achetées.

De fin 2015 à novembre 2016, les taux du marché boursier ont diminués (Eurostoxx -7,6%), tandis que les placements en actions ont augmenté dans le portefeuille, ce qui entraîne des plus-values latentes proche de zéro en pourcentage.

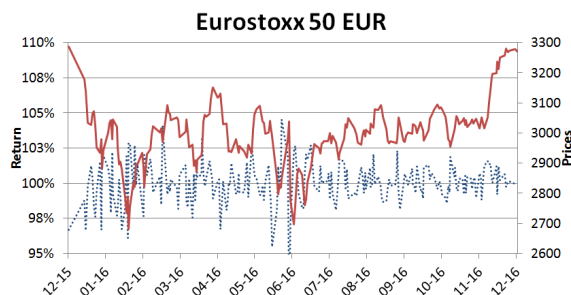


FIGURE 5.7 – Eurostoxx50 EUR

\* L'immobilier

En novembre 2016, le portefeuille a enregistré des plus-values latentes positives sur les actifs immobiliers en raison de la bonne performance du marché immobilier.

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

\* L'allocation d'actifs

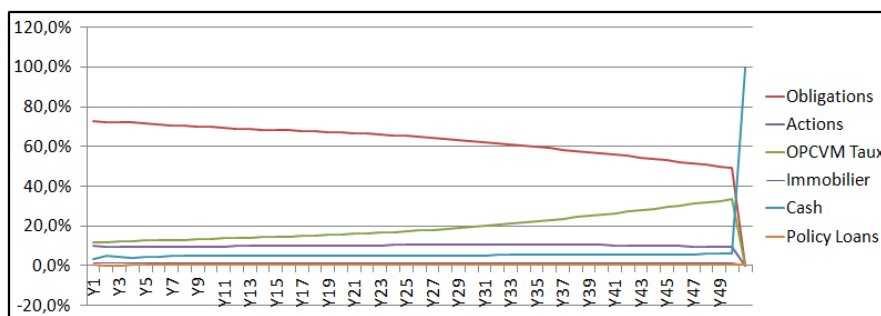


FIGURE 5.8 – Allocation entre les différentes catégories d'actifs

L'allocation d'actifs est assez stable et conforme à la cible prédéfinie. Les sauts soudains à la fin de la projection s'expliquent par leur liquidation.

Les rendements des obligations et des actions sont repris dans le graphique ci-dessous :

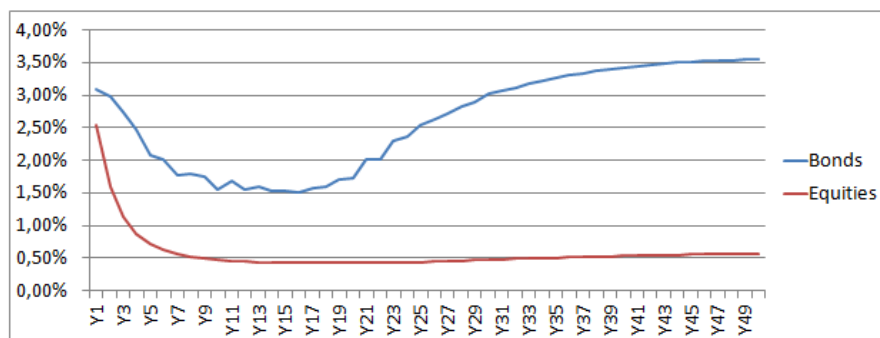


FIGURE 5.9 – taux de rendement Action et Obligation

La baisse du rendement des obligations au cours des 15 premières années de projections est liée à une importante arrivée à maturité d'obligations à fort rendement et à un réinvestissement de ces arrivées à maturité à un taux de rendement plus faible.

Ensuite une certaine stabilité des taux, perturbée par des rebonds liés à des maturités importantes, est observée.

La chronique des rendements des obligations est cohérente avec celle de l'indice de référence à partir de la 30<sup>ème</sup> année de projection.

L'allure de la courbe de rendement des actions peut être liée à des ventes d'actions dès le début de la projection.

## Variables de passifs

Des contrôles pour assurer la cohérence des flux de trésorerie impliqués dans le calcul du BEL sont réalisés. Plus précisément à partir d'un extrait de profits et pertes sur le scénario central déterministe d'une seule entité.

L'évolution de la PM euros et des primes est ci-dessous reprise :

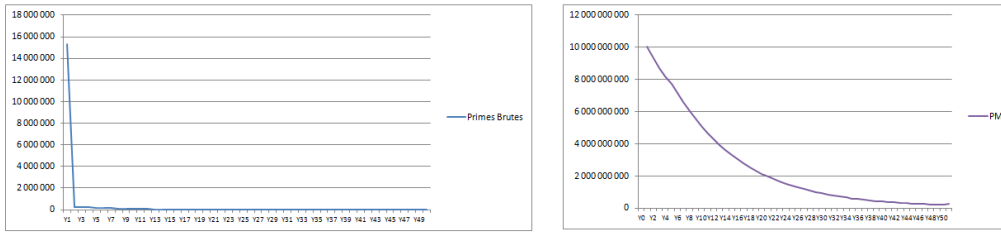


FIGURE 5.10 – Écoulement des primes et de la PM

Conformément à la frontière des contrats , très peu de primes sont projetés.

Les ratios de prestations sur les provisions mathématiques sont repris ci-dessous :

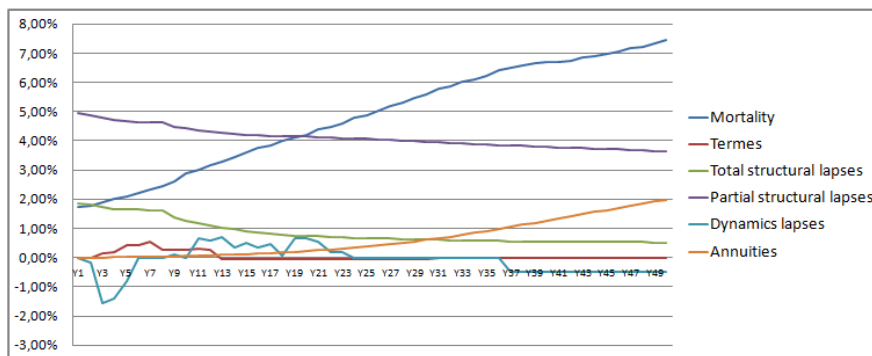


FIGURE 5.11 – Ratio de prestations sur la PM

A l'exception des rachats dynamiques et des termes, il n'y a pas les sauts soudains sur la sortie du portefeuille. Les rachats totaux et partiels ont tendance à se stabiliser avec l'augmentation de l'ancienneté des assurés. Alors que les prestations de mortalité et les rentes augmentent avec le vieillissement du portefeuille. D'une manière générale, les prestations sont dues aux rachats partiels et aux décès. Les décès deviennent la première cause des prestations en fin projection.

Ci-dessous repris les coûts et les taxes sur l'entité :

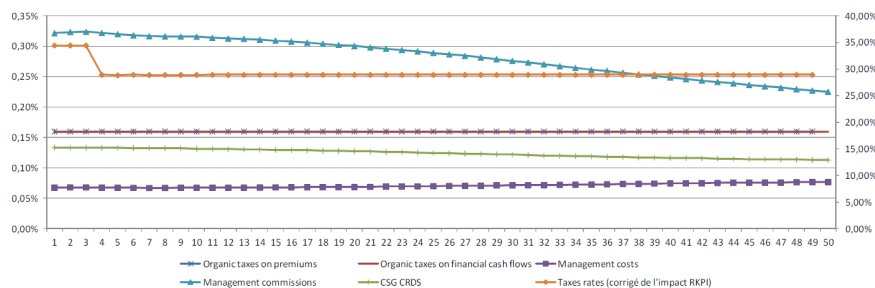


FIGURE 5.12 – Cout et taxe

Les ratios coûts et taxes sont assez stables et compatibles avec les hypothèses. Le sommet sur les taxes s'explique par des taux d'imposition exceptionnels appliqués pendant la première année de la projection en cohérence avec la régulation (34,43 % et 28,9 % au-delà).

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

## Participation aux bénéfices

La marge obtenu sur l'entité peut-être décomposée comme ci-dessous :

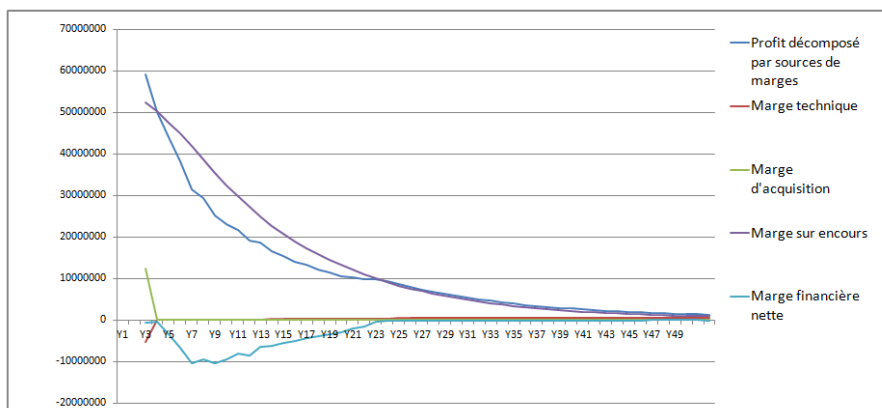


FIGURE 5.13 – Décomposition du profit

Le profit est principalement générée par l'excédent de chargement sur les encours.

La participation aux bénéfices distribuée, comme le montre le graphe ci-dessous est une résultante des produits financiers et de la PPE. En effet le taux réellement servi est fonction de la richesse latente de l'assureur, de son stock de PPE, de son niveau de chargement et de sa marge financière cible.

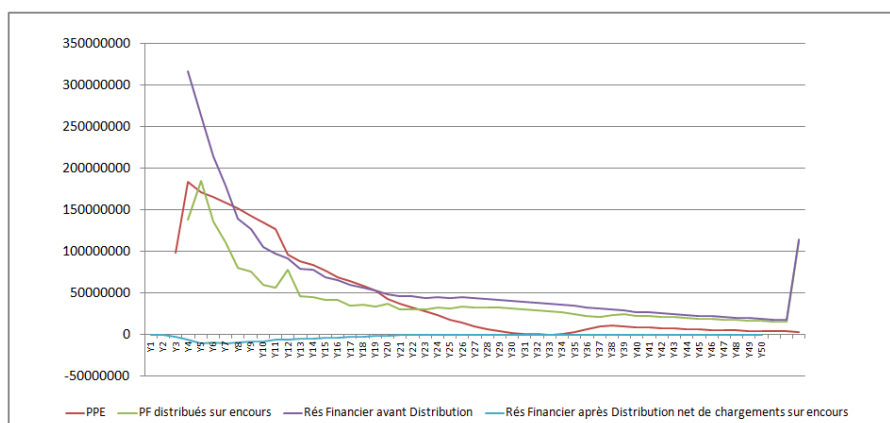


FIGURE 5.14 – Flux liés à la participation bénéficiaire

Le calcul de la PB est effectué via un compte de participation aux résultats. A noter que l'assureur est dans l'obligation de servir d'abord les intérêts techniques engendrés par la fixation du taux technique. Le reliquat est ensuite dévolu à la PB, qui peut être : immédiate ou différée (via la PPE).

Sur les premières années, les produits financiers sont suffisants au point de pouvoir à la fois doter la PPE et distribuer de la participation aux bénéfices.

## Rachats dynamiques

En supposant que les rachats dynamiques se déclenchent dès lors qu'il existe un écart entre la revalorisation servie aux assurés et leurs attentes, la courbe des rachats dynamiques peut être assimilable à la courbe représentant la différence entre le taux du marché et le taux servi.

Quand les taux de marché sont au dessus des taux servis, les taux de rachat augmentent, et vice versa.

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

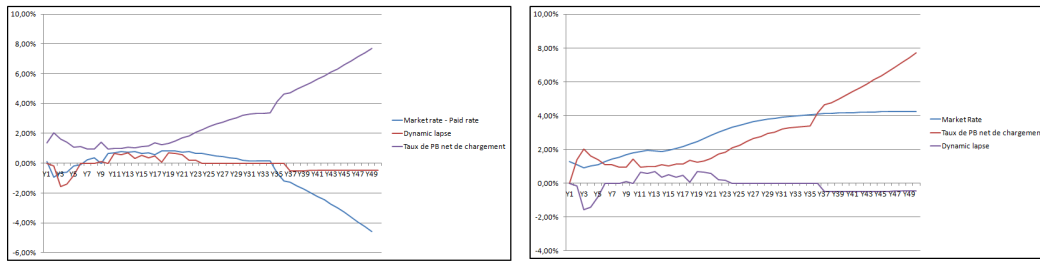


FIGURE 5.15 – Taux de rachats dynamiques comparé aux taux de marché et aux taux de PB

## Provisions en norme française

La cohérence de la variation des provisions comptables en norme française ( Provision pour participation aux excédents, réserve de capitalisation, provision pour risque d'exigibilité ) a été également vérifiée.

## La marge de risque

Sur le portefeuille, la variation des facteurs de risque ou drivers entre fin 2015 et fin 2016 est limitée aux actions de mise à jour et de gestion du portefeuille, d'où la faible variation.

L'évolution de la projection du BEL, facteur de risque très utilisé dans le calcul de la marge de risque, est reprise dans les graphes ci-dessous :

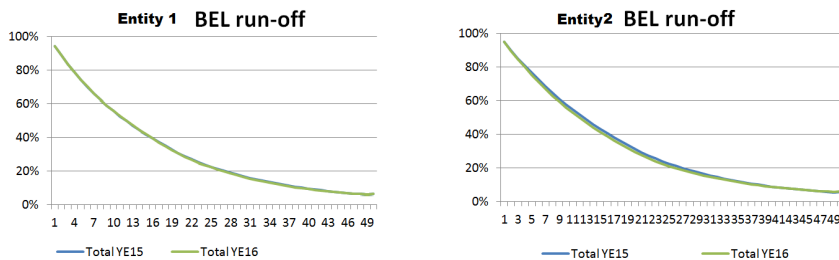


FIGURE 5.16 – Évolution des projections du BEL

Aussi, la courbe des taux d'intérêt utilisée pour le calcul de la marge de risque, la courbe de swap EIOPA sans ajustements de volatilité et de taux de crédit a une évolution stable.

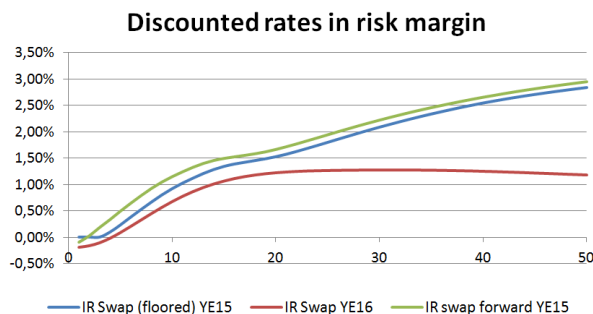


FIGURE 5.17 – Évolution de la courbe des Taux sans risque

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

## 5.2.2 Évolution du modèle

Les évolutions principales du modèle associées au calcul des provisions techniques sont :

### Gestion d'actif/passif

- Amélioration de la modélisation du taux de marché

Le taux du marché se réfère au taux moyen net crédité pour un contrat Euros avec participation aux bénéfices sur le marché d'assurance épargne. Il dépend du rendement moyen des investissements sur les actifs par les assureurs.

Dans le modèle ALM, il anime la stratégie de partage des bénéfices et les comportements dynamiques des assurés.

- Modélisation de l'immobilier

Dans la vraie vie, les composants immobiliers sont amortis en fonction de la durée de chaque composant. L'amortissement annuel est une charge sur les résultats financiers et réduit la valeur comptable des biens. La modélisation de l'immobilier ne permettant pas l'amortissement de la valeur comptable a été corrigée.

- Modification de la stratégie d'allocation d'actifs

La stratégie actuelle d'allocation d'actifs consiste à maintenir l'allocation initiale basée sur la valeur de marché sur toute la projection. La modification consiste à passer à une allocation basée sur la valeur comptable pour la projection.

Dans la vraie vie, la répartition de l'actif en valeur de marché ou en valeur comptable est similaire.

Les impacts positifs sont attribuables à une meilleure gestion des plus-values latentes qui sont maintenues plus longtemps permettant de faire face aux chocs futurs du marché et de mieux adapter la stratégie de partage du bénéfice.

### LMM+

Cette mise à jour du modèle stochastique ALS permet de gérer les taux d'intérêt négatifs.

### Courbe des taux sans risques

La directive 2009/138/CE exige l'utilisation d'une courbe de rendement différente pour déterminer les valeurs de marché des actifs et passifs respectifs. Sur le portefeuille, la compagnie utilisait la même courbe de rendement EIOPA pour déterminer la valeur de marché de l'actif et du passif. Dans les runs stressés, l'utilisation d'une même courbe a un véritable impact.

### Paramètres de rachats dynamiques

Le comportement des titulaires de police en matière de rachat dynamique étant en lien avec leurs âges, une mise à jour du modèle stochastique a été réalisée pour en tenir compte.

## 5.2.3 Horizon de Projection

La durée de projection minimale « raisonnable » est différente selon le produit considéré. L'assurance-vie épargne aura généralement besoin d'une durée de projection moindre que l'assurance-vie retraite dans la mesure où la liquidation sous forme de rentes implique des durées de produits plus longues.

Plusieurs pistes peuvent être approfondies :

- Une approche consistant à projeter les flux jusqu'à l'extinction de toutes les polices.
- Une approche consistant à modéliser les flux indépendamment du type de produit sur la durée de la table de mortalité. Néanmoins, les ayants droits peuvent rallonger le besoin au-delà de la table de mortalité.
- Une approche consistant à modéliser les flux jusqu'à ce que le rapport entre les provisions mathématiques actuelles et les provisions mathématiques initiales soit inférieur à un ratio prédéterminé (X%).
- Une approche utilisant la notion de seuil de matérialité défini par la société.

Augmenter la durée de projection de X années (cinq ans par exemple) ne doit pas augmenter le BEL d'une valeur supérieure (en pourcentage) au seuil de matérialité.

Quelle que soit l'approche retenue, des sensibilités pour mesurer l'impact d'une modification des durées de projection doivent être réalisées. Modifier les durées de projection est toutefois complexe puisque cela peut impliquer un ajustement des tables d'hypothèses et des modèles. Les durées de projection observées pour le calcul des BEL Vie se situent entre 30 et 60 ans.

Sur le portefeuille, des tests pour 100 et 50 ans de projection sont réalisés.

	PV Liabilities under 50 yr projection	PV Liabilities under 100 yr projection	Difference
Entité 3	9 695	9 718	0.2%

FIGURE 5.18 – Comparaison des résultats pour 100 et 50 ans de projection

Le modèle déterministe est donc projeté sur un horizon de 50 ans en pas mensuel et le modèle stochastique est projeté sur un horizon de 50 ans en pas annuel.

La durée du portefeuille étant estimée à 13,6 ans.

### 5.3 Analyse de la capacité d'absorption des provisions techniques dans la formule standard

Dans ses orientations<sup>2</sup>, l'EIOPA stipule que lorsqu'elles déterminent l'incidence d'un scénario sur les prestations discrétionnaires futures incluses dans les provisions techniques, les entreprises devraient tenir compte entre autres de l'incidence du scénario sur les bénéfices futurs.

En effet, dans le cas de la survenance d'un choc, l'assureur est théoriquement tenu d'adapter la participation aux bénéfices qui sera servie, afin « d'absorber » le choc. Pour prendre en compte ces capacités d'absorption des risques par les PB futures, les SCR sont calculés suivant les méthodes ci-dessous :

- « brut » d'effet d'absorption de la PB future.

Sous l'hypothèse que l'assureur ne peut pas réviser ses taux de PB futurs en cas de survenance d'un choc, le taux de PB servie reste le même dans les scénarios choqués comme dans le scénario central.

- « net » d'effet d'absorption de la PB future.

Sous l'hypothèse que l'assureur peut adapter ses taux de PB futurs de manière à absorber un éventuel choc (comme dans la réalité), l'exigence de capital calculée est « nette » d'effet d'absorption de la PB future.

la capacité d'absorption des pertes par les provisions techniques (Technical Provision Loss Absorbency Capacity ou TPLAC) est égal à la différence entre le SCR net et le SCR brut d'effet d'absorption de la PB future.

L'effet d'absorption de la PB future devrait tenir compte de l'impact des FDB par rapport aux risques de marché, de souscription de vie, de défaut de contrepartie et aux risques liés à la santé. Pour tous les autres risques, l'exigence de capital brut et l'exigence de capital net coïncident.

Pour rappel :

Les engagements de l'assureur dans le cadre d'un contrat d'assurance-vie épargne en euros peuvent être scindés en différentes catégories :

- les provisions destinées à couvrir l'engagement contractuel de taux minimum garanti (TMG) de revalorisation de l'épargne ou de la rente,
- les provisions destinées au respect de la contrainte réglementaire de participation aux bénéfices (PB),
- les provisions destinées au respect d'une clause de PB contractuelle,
- les provisions destinées à la participation aux bénéfices purement discrétionnaire au-delà des autres seuils,
- la provision pour participation aux bénéfices (PPB) déjà constituée à la date d'inventaire.

Conformément à la réglementation, ces engagements doivent être ventilés en 2 parties :

- une partie garantie du Best Estimate (appelé le Best Estimate Garanti ou BEG), et
- une partie incluant les participations aux bénéfices futurs (appelés Future Discretionary Benefits ou FDB).

Les Future Discretionary Benefits se déduisent comme la différence entre le BEL et le BEG.

Une autre approche pour calculer la capacité d'absorption des pertes par les provisions techniques serait de quantifier la différence entre la FDB dans le cas des scénarios choqués et la FDB dans le cas du scénario central.

Il est à noter que le LAC n'est qu'un élément de présentation, contrairement au SCR net d'effet d'absorption de la PB future qui est une valeur plus significative.

Sur le portefeuille, le LAC est égal à la différence entre le SCR net et le SCR brut d'effet d'absorption de la PB future, sous réserve d'un plafond, la valeur des avantages discrétionnaires futurs (FDB) dans le bilan d'ouverture. On

2. Source : EIOPA-BoS-14/177 FR, Orientations sur la capacité d'absorption de pertes des provisions techniques et des impôts différés

s'attend à ce que le LAC réduise le SCR.

Ci-dessous les résultats de la capacité d'absorption des provisions techniques pour l'entité 3 :

(EUR / 000s)	FDB	SF SCR (Diversified Capital)	LAC of deferred taxes	LAC of TP	Operational Risk	SF SCR (net tax)
YE15	1 760	1 064	- 134	- 715	73	288
YE16		1 209	- 134	- 781	76	370

FIGURE 5.19 – Decomposition du SCR net de taxe

Comme attendu, le SCR net de taxe est inférieure au SCR diversifié principalement à cause de l'effet d'absorption de la PB future (LAC of TP) qui vient réduire le SCR diversifié de 65%.

Selon une étude de l'ACPR, pour les données des compagnies remises trimestrielles du début de l'année 2016, en agrégé, l'effet d'absorption des pertes réduit significativement le SCR final en formule standard. Toutefois, si l'on observe globalement la répartition de ces effets en proportion du BSCR brut, celui résultant de l'absorption par les provisions techniques réduit en moyenne de 52 % le BSCR brut.<sup>3</sup>

## 5.4 Analyse de stabilité

L'article 242 du règlement délégué (UE) 2015/35 stipule que le processus de validation du modèle inclut une analyse de la stabilité des résultats produits par le modèle interne pour différents calculs utilisant les mêmes données d'entrée. En effet, le test de stabilité provient de l'idée qu'en utilisant un même modèle pour projeter des mêmes données mais avec un nombre de scénarios différent, les résultats obtenus soient différents. C'est un principe fondamental de la modélisation par Monte Carlo. Les techniques de simulation par Monte Carlo utilisent la loi forte des grands nombres pour estimer la valeur recherchée. Le principe de base de Monte Carlo consiste à générer N trajectoires sur lesquelles sont projetés des données, sachant qu'il existe un point vers lequel les résultats convergent. La détermination du nombre N de trajectoires nécessaires pour obtenir des résultats stables constitue l'un des problèmes des praticiens. D'après le théorème centrale limite, plus l'écart entre les résultats obtenus est important, plus le nombre de simulations nécessaires pour l'obtention d'un estimateur précis est important.

Considérons l'évaluation de l'intégrale suivante :

$$I = \int g(x)f_X(x)dx = E[g(X)]$$

où X est une variable aléatoire de densité  $f_X(x)$ .

Considérons  $(x_1, \dots, x_n)$  des réalisations indépendantes et identiquement distribuées de la variable X. Supposons en outre que la variable  $g(X)$  est intégrale, c'est-à-dire que son espérance est finie :  $E[|g(X)|] < +\infty$ .

Notons :

$$\hat{I}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g(x_i)$$

Alors d'après la loi forte des grands nombres :

$$P\left[\lim_{n \rightarrow +\infty} \hat{I}_n = I\right] = 1$$

$\hat{I}_n$  est donc un estimateur de I. De plus cet estimateur est sans biais.

$$E[\hat{I}_n] = I$$

D'après le théorème central limite :

$$\frac{\hat{I}_n - I}{\sigma/\sqrt{n}} \sim \mathcal{N}(0, 1)$$

3. Source : ACPR , Analyses et sensibilités : La situation des assureurs en France au regard des premières remises Solvabilité II en 2016



Alors :

$$P\left[\frac{\hat{I}_n - I}{\sigma\sqrt{n}} \leq q_{1-\frac{\alpha}{2}}\right] = 1 - \alpha$$

Avec la probabilité  $1 - \alpha$ , l'intervalle de confiance pour I est :

$$\left[\hat{I}_n - \frac{q_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sigma}{\sqrt{n}}\right]$$

Supposons maintenant que  $g(X)^2$  soit intégrable, c'est-à-dire  $E[g(X)^2] < +\infty$ . Afin de quantifier la précision de l'estimation de I, la variance  $\sigma$  de l'estimateur de  $\hat{I}_n$  peut être utilisée. Bien souvent, lorsque cette variance est inconnue, il faut calculer la variance empirique de l'estimateur  $\hat{I}_n$ .

$$\hat{\sigma}_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (g(x_i) - \hat{I}_n)^2$$

La vitesse de convergence est donc de l'ordre de  $\frac{1}{\sqrt{n}}$ .

On remarque cependant le rôle important joué par l'écart-type  $\sigma$  dans la qualité de l'approximation et le but final est donc d'arriver à le réduire.

Sur le portefeuille, les alternatives au générateur de nombre aléatoire ou les techniques de réduction variance ne sont pas utilisées.

### 5.4.1 Nombre de simulations

Les premiers résultats sont calculés pour 5000 scénarios sur le portefeuille. Aussi les scénarios fournis sont conçus par une paire de scénarios antithétiques. Cela signifie que pour une étape donnée de la génération de scénarios économiques, seules 2500 valeurs aléatoires sont générées. Chaque valeur aléatoire est utilisée deux fois :  $z$  et  $-z$ . Une référence dans le cas central, pour la VIF du portefeuille, noté  $VIF_{5000}$  est ainsi définie.

Le but est de trouver le nombre de scénario suffisamment élevé pour assurer la convergence du processus de simulation.

Les étapes suivantes sont appliquées :

- 1) Les nombres de simulations égales à 500, 1000, 1500, 2000 et 3000 sont testées. Le calcul est ensuite effectué 100 fois, en utilisant un échantillonnage aléatoire sans remplacement du premier ensemble de 5000 scénarios. Une distribution de 100 valeurs de VIF pour chaque nombre sélectionné de simulations est obtenue.
- 2) Un nombre donné de scénarios est alors considéré comme recevable si 98% de la distribution des VIF se situe dans un l'intervalle de 2% d'écart avec la VIF de référence.
- 3) Le plus petit nombre vérifiant ces critères est choisi.

Le tableau ci-dessous reprend le pourcentage de la distribution présent dans l'intervalle pour différents nombres de simulations.

Sim \ Entité	Entité 1	Entité 2	Entité 3	Total
500	77%	67%	91%	76%
1000	97%	88%	98%	96%
1500	98%	96%	100%	99%
2000	100%	99%	100%	100%
3000	100%	99%	100%	100%

FIGURE 5.20 – Pourcentage de la distribution présent dans l'intervalle de confiance

Les cellules en rouge échouent aux critères. La convergence est observée pour 2000 simulations.

Aussi, l'adéquation du nombre de simulation est vérifiée en utilisant l'ordre réel de l'ESG fourni. L'écart entre la seule VIF pour chaque nombre de simulations et la VIF de référence est observé. A partir de 2000 simulations, l'écart est de 0,2%.

Sim \ Entité	Entité 1	Entité 2	Entité 3	Total
500	2.5%	2.2%	2.3%	2.4%
1000	3.0%	2.1%	2.4%	2.7%
1500	1.0%	0.2%	0.6%	0.7%
2000	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%
3000	0.2%	0.1%	0.3%	0.2%
5000	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

FIGURE 5.21 – Pourcentage d'écart entre VIF simulée et VIF de référence

Le graphique suivant présente la différence entre la VIF en utilisant un nombre donné de simulations et la VIF de référence pour différents runs. Ces runs comprennent des runs extrêmes, 1 pour 200 runs, des couplages matériels et un scénario critique c'est-à-dire l'ensemble des scénarios (centraux et stressés) au niveau 1 sur 200.

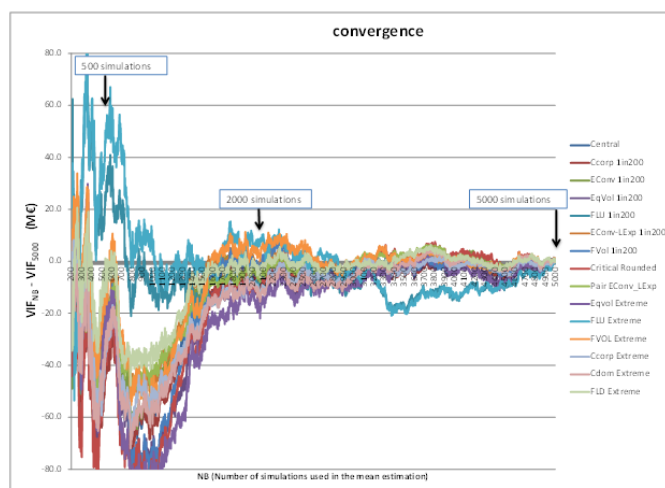


FIGURE 5.22 – Convergence de l'écart entre VIF simulée et VIF de référence pour l'ensemble des runs

Après 2000 simulations, la VIF ne varie pas davantage.

Cette étude justifie l'utilisation de 3000 simulations sur le portefeuille.

## 5.4.2 Ecart de convergence

### Définition

Dans les résultats, une différence significative apparaît entre les deux valeurs du BEL (direct et indirect). Cette différence est identifiée comme étant liée aux fuites du modèle.

En raison donc de la fuite de modèle, l'équation du bilan économique n'est plus équilibrée.

L'« écart de convergence » ou « fuite de modèle » est une perte ou création de valeur dans un modèle de projection. Il y a une perte ou création de valeur lorsque la valeur initiale de l'actif, augmentée des flux entrants et diminuée des flux sortants n'est pas égale à la valeur résiduelle de l'actif à l'horizon de la projection.

Dans un univers risque neutre, l'écart de convergence est nul. En effet, la valeur de marché initiale de l'actif est donc entièrement consommée durant la projection par les **flux de trésorerie actualisés** et par la **valeur de marché de l'actif résiduel**.

Certaines figures dans ce mémoire seront présentées en anglais du fait du caractère européen (International) des notions manipulées.

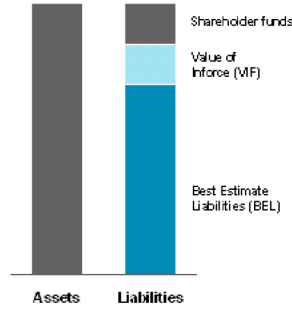


FIGURE 5.23 – Bilan économique à l'équilibre

En effet, notons  $(VM_n)_n$  la valeur de marché de l'actif de la compagnie d'assurance en représentation des contrats à l'instant  $n$ .

$S_n^0, \dots, S_n^d$  sont les prix à valeurs strictement positives et mesurables par rapport à une filtration, de  $d + 1$  actifs financiers.

La stratégie de gestion de l'actif de la compagnie d'assurance est un processus aléatoire  $\phi = (\phi_n^0, \dots, \phi_n^d)_n$  à valeurs dans  $R^{d+1}$  donnant les quantités de chaque actif en portefeuille à l'instant  $n$ .

La valeur du portefeuille est :

$$VM_n = \phi_n \cdot S_n$$

La valeur actualisée du portefeuille est :

$$V\tilde{M}_n = \phi_n \cdot \tilde{S}_n$$

En notant  $F_n = \text{Flux sortants} - \text{Flux entrants}$  et du fait que l'actif d'un portefeuille en run-off ne soit pas autofinancé, on a :

$$\phi_n \cdot S_n = \phi_{n+1} \cdot S_n - F_n$$

En actualisant les prix des actifs et les flux de trésorerie :

$$\phi_n \cdot \tilde{S}_n = \phi_{n+1} \cdot \tilde{S}_n - \tilde{F}_n$$

Après réajustement du portefeuille par l'investisseur, la composition  $\phi_{n+1}$ , la valeur actuelle du gain du portefeuille entre  $n+1$  et  $n$  est alors :

$$V\tilde{M}_{n+1} - V\tilde{M}_n = \phi_{n+1} \cdot (\tilde{S}_{n+1} - \tilde{S}_n) - \tilde{F}_n$$

Ensuite, on peut écrire :

$$V\tilde{M}_n - V\tilde{M}_0 = \sum_{i=1}^n (\phi_i \cdot \Delta \tilde{S}_i - \tilde{F}_{i-1})$$

Et donc :

$$VM_0 = V\tilde{M}_n - \sum_{i=1}^n (\phi_i \cdot \Delta \tilde{S}_i) + \sum_{i=0}^{n-1} \tilde{F}_i$$

$(\phi_n)_n$  étant une suite prévisible et  $(\tilde{S}_{i_n})_n$  étant une martingale sous la probabilité risque neutre  $Q$ , on a :

$$E^Q\left[\sum_{i=1}^n (\phi_i \cdot \Delta \tilde{S}_i)\right] = 0$$

et donc :

$$VM_0 = E^Q[V\tilde{M}_n] + E^Q\left[\sum_{i=0}^{n-1} \tilde{F}_i\right]$$

Dans le modèle stochastique, deux sources différentes de fuite existent : l'erreur lors de la modélisation du cash-flow ou de l'actualisation et l'erreur provenant de la convergence des scénarios économiques.

Resultats (EUR / 000 000s)	Entité 1	Entité 2	Entité 3
Montant d' écart de convergence	100	18	4
% de BEL	0,20%	0,06%	0,03%

FIGURE 5.24 – ratio écart de convergence / BEL

Les résultats obtenus sont cohérents avec la figure(5.21) et sont bien compris dans l'intervalle de confiance.

### Allocation de l'écart de convergence

Les fuites de modèle constituant des incertitudes sur la modélisation ; Il convient donc selon l'ACPR :

- de suivre le montant correspondant,
- d'en faire mention dans le reporting prudentiel, et notamment dans le rapport de la fonction actuarielle,
- de l'allouer de manière systématique selon la méthode qui conduit au BEL le plus élevé. <sup>4</sup>

Ainsi, les « écarts de convergence » doivent être alloués de manière à maximiser la provision Best Estimate. L' « écart de convergence » positif doit donc être ajouté à la provision Best Estimate tandis qu'un « écart de convergence » négatif doit être ajouté à la Present Value of Future Profits.

Sur le portefeuille, le BEL ajusté est le maximum entre le BEL direct et le BEL indirect pour chaque point de la fonction de perte.

4. Source : IA, Compte- rendu de Réunion du 13 mars 2015 de la Commission Solvabilité II à l'ACPR

## Chapitre 6

# ANALYSE D'IMPACT DES JUGEMENTS D'EXPERT

### 6.1 Gouvernance des jugements d'experts matériels

L'article 2 du règlement délégué (UE) 2015/35 mentionne que lorsque les entreprises d'assurance et de réassurance formulent des hypothèses sur les règles relatives à la valorisation des actifs et des passifs, aux provisions techniques, aux fonds propres, au capital de solvabilité requis, au minimum de capital requis et aux règles d'investissement, ces hypothèses doivent être fondées sur l'expertise de personnes ayant une connaissance, une expérience et une compréhension des risques inhérents à l'activité de l'assurance ou de la réassurance. Ces hypothèses sont appelées jugements d'experts.

Les utilisateurs devraient être informés de leur contenu pertinent, de leur degré de fiabilité et de leurs limites. Pour ce faire des tests de sensibilités sur les jugements d'expert ont été réalisés.

Le jugement d'expert joue un rôle important tout au long du processus de modélisation, y compris dans le cadre des hypothèses BE. Afin de s'assurer que les jugements d'experts et les hypothèses sont réalisés de manière cohérente dans chacune des étapes, un cadre rigoureux pour la gouvernance des jugements d'experts a été mis en place.

Sont examinées la transparence, la justification, l'importance et la documentation de chaque jugement.

Les domaines d'évaluation spécifiques comprennent :

- La démonstration que des experts appropriés (internes et externes) ont été engagés.
- L'évaluation de la solidité de la gouvernance autour des tables rondes d'experts avec l'assurance que toutes les données quantitatives et qualitatives pertinentes ont été exploitées dans la mesure du possible.
- La matérialité et la confiance dans chaque jugement d'expert ont été correctement évaluées et documentées.

Le graphe ci-dessous reprend les jugements d'expert avec une matérialité élevée en lien avec le calcul des provisions techniques.

Fonctionnalité	Descriptif du jugement d'expert	Niveau de confiance
Modélisation des rachats dynamiques	Le niveau de rachat conjoncturel ne dépend que de l'écart entre le taux crédité et le taux de revalorisation attendu par l'assuré et des paramètres de calibration de la loi de rachats conjoncturels. La forme et le paramétrage des lois de rachats conjoncturels sont semblables aux Orientations Nationales Complémentaires publiées par l'ACPR dans le cadre de l'exercice QIS 5.	Elevé car la modélisation suit un standard publié par l'ACPR.
Stratégie de participation aux bénéfices	Les arbres de décision et les paramètres relatifs aux stratégies de participation aux bénéfices discrétionnaires ont été établis et calibrés afin de refléter la stratégie mise en place par le management board d'Aviva France.	Elevé car les algorithmes et leur paramétrage ont été désignés en relation avec le topmanagement.
Taux de marché	Le taux de marché est calculé comme une fonction dépendant des moyennes mobiles du taux sans risque 10 ans, du spread des obligations 10 ans notées AA et durementement des actions.	Elevé car des études statistiques ont été réalisées afin de calibrer le taux de marché.
Expression des frais	La méthode retenue est d'exprimer les frais de gestion en pourcentage des encours pour l'épargne. Ce choix se justifie par la mesure de la rentabilité d'un contrat d'épargne en % des encours gérés et de la nécessité de modéliser les frais en cohérence avec les ressources (chargements) qui sont assis sur les encours.	Elevé car l'analyse historique des frais montre la cohérence de cette hypothèse.
Taux de rachats structurels (Granularité des hypothèses)	Les taux de rachat futurs seront proches des taux passés (estimation des taux Best Estimate à partir de l'historique constaté), peu importe la granularité.	Elevé car la fiscalité de l'Assurance Vie, le seul critère de définition de la maille susceptible d'évoluer, a été très peu modifiée ces dernières années et donc peu probable qu'elle le soit dans le futur.

FIGURE 6.1 – Liste des jugements d'experts matériels

## 6.2 Sensibilités

Les sensibilités ci-dessous ont été réalisées.

### 6.2.1 Rachats dynamiques

Les rachats dynamiques, au-dessus des rachats structurelles, se produisent lorsque l'assuré supprime partiellement ou complètement un contrat d'épargne en raison de conditions économiques défavorables ou d'une faible valorisation de son contrat.

Il existe une expérience historique limitée de rachats dynamiques sur le portefeuille et, par conséquent, les hypothèses dépendent dans une large mesure du jugement des experts et sont sujettes à une incertitude inhérente.

Le comportement de l'assuré en matière de rachat dynamique est modélisé dans le modèle stochastique des actifs et des passifs. Il dépend principalement de la politique de partage des bénéfices.

L'hypothèse que la forme et le paramétrage des lois de rachats conjoncturels sont semblables aux Orientations Nationales Complémentaires publiées par l'ACPR dans le cadre de l'exercice QIS 5, est faite.<sup>1</sup>

La sensibilité réalisée est une étude visant à améliorer la modélisation des rachats dynamiques. Les inconvénients des méthodologies précédentes seront présentés et une méthodologie plus appropriée pour corriger les paramètres de lois est implémentée.

### Paramètres de la loi actuelle

La loi de rachat dynamique modélisée dans le contexte du QIS5 et proposée par l'ACPR, ne tient compte que de la concurrence qui pourrait exister sur le marché. En d'autres termes, le rachat dynamique est déclenché uniquement si le taux crédité est inférieur au taux du marché. Les paramètres actuels sont donc les mêmes pour tous les assurés dans un périmètre donné, quel que soit l'âge ou la richesse, par exemple.

Les graphes ci-dessous montrent l'évolution entre 2007 et 2015 des taux de rachats observés, des taux crédités et des taux du marché par périmètre :

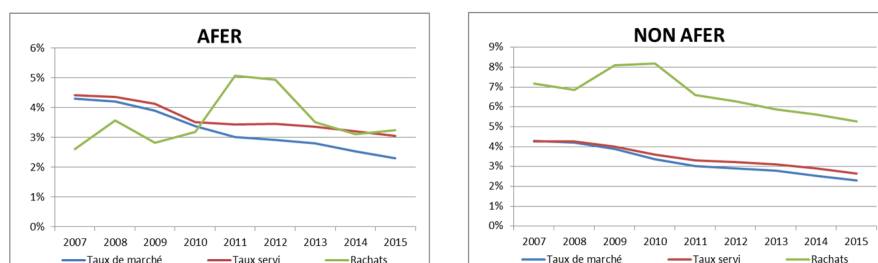


FIGURE 6.2 – taux de rachats, taux crédités et taux du marché sur les périmètres AFER et NON AFER

Une augmentation des taux de rachat a été observée en 2009 et 2010 sur le périmètre NON AFER. Sur le périmètre AFER, une hausse des taux de rachats est également observée sur l'intervalle 2011 et 2012.

En effectuant cette fois une répartition par âge, les pics observés en 2011 et 2012 sur les deux périmètres sont visibles pour tous les assurés à n'importe quel âge. Ce qui est contraire à l'intuition. Cependant, les taux crédités étant toujours supérieurs au taux du marché, les pics ne peuvent être dus à des rachats dynamiques d'après l'hypothèse de loi QIS 5.

### Paramètres de la loi proposée

Les titulaires de vieux contrats, plus sensibles aux avantages fiscaux liés à l'assurance-vie, sont moins susceptibles de gérer dynamiquement leur contrat dans un but de maximisation des rendements, contrairement aux assurés plus jeunes.

En fait, le régime fiscal de l'assurance vie en France, offre plusieurs avantages particuliers. L'un de ces avantages est l'exonération fiscale de toutes les primes versées avant l'âge de 70 ans. Par conséquent, avant 70 ans, il y a un réel

1. ACPR, Orientations Nationales Complémentaires aux Spécifications Techniques pour l'exercice 2013 de préparation à Solvabilité II

inconvenient à racheter.

Cette hypothèse n'est pas prise en compte dans les comportements de rachats dynamiques projetés. En effet, les assurés âgés de plus de 70 ans ne devraient pas être considérés dans les projections dynamiques .

La nouvelle loi tient compte de l'âge des assurés.

Les graphes ci-dessous comparent les taux de rachats dynamiques obtenus :

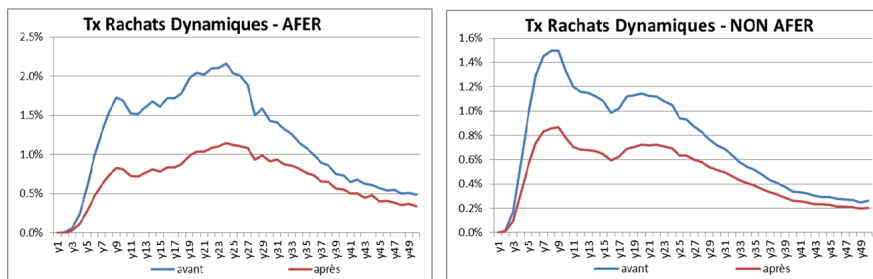


FIGURE 6.3 – taux de rachats dynamiques avant et après prise en compte de l'âge

Une baisse des taux de rachats dynamiques projetés est constatée. En effet, les pics de rachats présents sur la figure (6.2 sont maintenant moins importants.

La répartition par âge permet donc de mieux modéliser les rachats et leur donner une autre cause que le contexte économique.

Ainsi, il est recommandé de désactiver l'option de rachats dynamiques pour les assurés âgés de plus de 70 ans dans le modèle ALS. Cependant, l'âge n'étant pas disponible, dû à l'agrégation en Model-points, des ratios ont été appliqués pour que les paramètres de rachat dynamique reflètent le comportement des assurés de moins de 70 ans.

### 6.2.2 Drivers pour la marge de risque

Il appartient aux équipes de la compagnie de sélectionner et de valider les drivers ou facteurs de risques les plus appropriés à chacun des risques non-réplicables pour le calcul de la marge de risque. Ce jugement d'expert est supposé de matérialité faible avec un niveau de confiance élevée.

Afin d'optimiser le calcul de la marge de risque, une étude a été réalisée sur les drivers utilisés pour le risque de dépenses et le risque opérationnel .

Pour le risque de dépenses, le nombre de police est utilisé comme driver au lieu des provisions mathématiques.

Le graphe ci-dessous représente l'évolution du nombre de polices et de la PM à la granularité "pool".

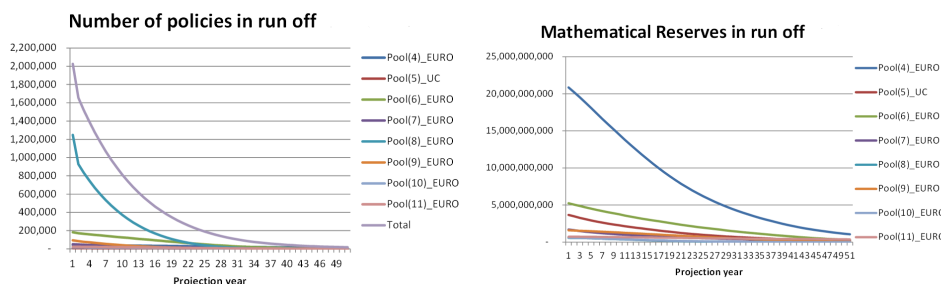


FIGURE 6.4 – projection du nombre de polices et de la PM pour chaque pool

Pour la prévoyance( pool 8 sur le graphe), l'évolution du nombre de polices n'est pas cohérente à celle des PM. En effet, le nombre de police prévoyance évolue plus rapidement que les autres pools contrairement à sa PM. Pour les provisions mathématiques, l'évolution la plus rapide n'est pas constaté pour la prévoyance mais pour l'entité 1 (pool 4 sur le graphe).

L'utilisation du nombre de polices ne permet donc pas de saisir les différences de périmètre en ce qui concerne le risque des dépenses. Pour utiliser ce driver, il faudrait une nouvelle granularité qui distingue bien le périmètre

prévoyance. Cependant, en raison des contraintes opérationnelles, il est impossible d'utiliser ce niveau de granularité pour le calcul de la marge de risque.

Pour le risque opérationnel, utiliser le BEL au lieu des provisions mathématiques réduirait la marge de risque de 1%.

En résumé, le niveau de confiance lié aux avis d'experts n'a de poids qu'après des analyses statistiques. Ils devraient donc, du fait de leur importance, faire l'objet de plus d'analyse et de sensibilité.



## Chapitre 7

# COMPARAISON DES PROVISIONS TECHNIQUES DU MARCHE

Le benchmarking, la référenciation, l'étalonnage ou le parangonnage est une technique de marketing (mercatique) ou de gestion de la qualité qui consiste à étudier et analyser les techniques de gestion, les modes d'organisation des autres entreprises afin de s'en inspirer et d'en tirer le meilleur. C'est un processus continu de recherche, d'analyse comparative, d'adaptation et d'implantation des meilleures pratiques pour améliorer la performance des processus dans une organisation.

Un benchmark est un indicateur chiffré de performance dans un domaine donné (qualité, productivité, rapidité et délais, etc.) tiré de l'observation des résultats de l'entreprise qui a réussi le mieux dans ce domaine. Cet indicateur peut servir à définir les objectifs de l'entreprise qui cherche à rivaliser avec elle.

### 7.1 Données ACPR

Une étude présente la situation des assureurs en France sur une base trimestrielle<sup>1</sup>. Elle se fonde sur les données remises dans le cadre du reporting prudentiel solvabilité 2, les premiers éléments pour l'ensemble de l'année 2016. Pour les principaux organismes solos soumis aux remises trimestrielles, les résultats ci-dessous sont obtenus :

	31/03/2016	30/06/2016	30/09/2016	31/12/2016
<b>Actif Net</b>	<b>290,0</b>	<b>294,0</b>	<b>283,8</b>	<b>261,7</b>
Actif Net				
Vie et mixtes	154	155	155	166
Non vie	86	89	89	96
- dont réserve de réconciliation	164,4	171,1	172,6	194,9
Vie et mixtes	100	102	103	119
Non vie	65	68	70	76
- dont autres fonds propres de base	69,7	79,9	97,9	92
Vie et mixtes	50	51	49	44
Non vie	19	20	18	18
- dont dividendes prévus	6,2	2,1	3,4	4,2
Vie et mixtes	5	1	2	5
Non vie	2	1	1	1
- dont fonds cantonnés restreints	0,3	0,4	0,3	0,4
Vie et mixtes	0,3	0,4	0,3	0,4
Non vie	0	0	0	0
- dont actions propres détenues	0,3	0,2	0,2	0,3
Vie et mixtes	0,2	0	0	0
Non vie	0	0	0	0

	31/03/2016	30/06/2016	30/09/2016	31/12/2016
<b>Fonds propres</b>	<b>266,2</b>	<b>272,8</b>	<b>272,7</b>	<b>293,8</b>
Fonds propres				
Total	277	281	281	292
Vie et mixtes	89	93	93	96
Non vie	280,3	239,2	239,3	256
- dont cat. 1 non restreint	146	151	150	162
Vie et mixtes	87	88	88	96
Non vie	16	16,6	16,7	13,6
- dont cat. 1 restreint	11	12	12	11
Vie et mixtes	5	5	5	5
Non vie	18,4	19,5	20,3	13,8
- dont cat. 2	16	17	18	17
Vie et mixtes	2	3	3	3
Non vie	1,5	1,7	1,5	1,9
- dont cat. 3	1	2	1	2
Vie et mixtes	0	0	0	0
Non vie				

Provisions techniques	31/03/2016	30/06/2016	30/09/2016	31/12/2016
<b>Ratio MR / M</b>	<b>123,1</b>	<b>125,0</b>	<b>123,9</b>	<b>113,3</b>
Activité non vie				
Hors Santé	6%	6%	29%	7%
Santé	27,6	44,6	27,7	26,6
Total	150,7	169,6	151,6	139,9
Hors Santé	6%	7%	7%	7%
Santé	1585,6	1606,5	1588,6	1558,1
Total	1%	1%	2%	2%
Activité vie (hors UC)				
Hors Santé	45,8	45,3	43,2	42,8
Santé	6%	6%	7%	7%
Total	1631,3	1651,8	1631,7	1600,2
Hors Santé	1%	1%	2%	2%
Santé	253,2	261,9	263,2	275,4
Total	1%	1%	1%	1%
Activité vie en unités de compte				
Total	2035,2	2083,2	2046,464	2015,4
Hors Santé	2%	2%	2%	2%

FIGURE 7.1 – Structure des fonds propres, de l'actif net et composition des provisions techniques des principaux organismes solos au T4 2016

1. Source : ACPR, Analyse et synthèses : La situation des assureurs soumis à Solvabilité 2 en France au quatrième trimestre 2016

## 7.2 Données de compagnies

Il est également possible d'analyser les provisions techniques sur le marché français en recueillant les informations issues des rapports sur la solvabilité et la situation financière .

En effet, conformément à l'article 51 de la directive 2009/138/CE et aux articles 290 à 298 du Règlement Délégué 2015/35 (UE), les entreprises d'assurance et de réassurance publient annuellement certaines informations requises lié à leurs solvabilités.

Dans l'étude, les informations concernant les compagnies : AXA VIE, BNP CARDIF VIE, ALLIANZ VIE, CNP ASSURANCE SOLO, GENERALI VIE et CREDIT AGRICOLE sont analysées.

En effet, ces compagnies présentent à peu près les mêmes caractéristiques que le portefeuille :

- Des activités en assurance vie (épargne individuelle et collective, retraite, prévoyance et santé collective et individuelle)
- Les risques les plus importants sont le risque de marché et le risque de souscription.
- Le Calcul des métriques économiques est fait en modèle interne et/ou en formule standard.

## 7.3 Position du portefeuille

En résumé :

Results ( EUR / 000 000s)	AXA	CARDIF	Allianz	CNP	GENERALI	CREDIT AGRICOLE	Portefeuille France Vie ACPR
Market value of assets (VM)	180 950	167 597	90 345	380 754	105 853	354 739	2 004 088
Eligible Own Funds (FP)	7 102	8 567	4 989	24 900	9 098	21 427	162 000
Cover ratio	145%	164%	165%	189%	232%	161%	202%
Technical Provisions (PT)	156 607	145 092	84 279	324 300	95 296	309 290	1 875 600
Best estimate liabilities (BEL)	154 881	143 852	83 288	320 900	94 587	307 299	1 838 088
Risk Margin (RM)	1 726	1 240	991	3 400	709	1 991	37 512
<b>Ratio FP/PT</b>	<b>4,5%</b>	<b>5,9%</b>	<b>5,9%</b>	<b>7,7%</b>	<b>9,5%</b>	<b>6,9%</b>	<b>8,6%</b>
<b>Ratio PT/VM</b>	<b>86,5%</b>	<b>86,6%</b>	<b>93,3%</b>	<b>85,2%</b>	<b>90,0%</b>	<b>87,2%</b>	<b>93,6%</b>
<b>Ratio RM/PT</b>	<b>1,1%</b>	<b>0,9%</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,0%</b>	<b>0,7%</b>	<b>0,6%</b>	<b>2,0%</b>

FIGURE 7.2 – Résultats S2 des Principales compagnies d'assurances en France

Le tableau ci-dessous reprend les ratios obtenus pour les entités du portefeuille :

Results ( EUR / 000 000s)	Entité 1	Entité 2	Entité 3
Market value of assets (VM)	58 419	30 899	15 288
Eligible Own Funds (FP)	4 479	1 371	872
Cover ratio	120%	143%	236%
Technical Provisions (PT)	50 086	28 092	14 151
Best estimate liabilities (BEL)	49 142	27 817	14 051
Risk Margin (RM)	944	275	100
<b>Ratio FP/PT</b>	<b>8,9%</b>	<b>4,9%</b>	<b>6,2%</b>
<b>Ratio PT/VM</b>	<b>85,7%</b>	<b>90,9%</b>	<b>92,6%</b>
<b>Ratio RM/PT</b>	<b>1,9%</b>	<b>1,0%</b>	<b>0,7%</b>

FIGURE 7.3 – Ratio pour les entités du portefeuille

A titre indicatif, les ratios sont comparés.

Le ratio Fonds propres / Provisions techniques ne semble pas approprié pour la comparaison. En effet, c'est la conséquence des niveaux des fonds propres qui soit plus élevés (du fait d'une forte réserve de capitalisation ou de fonds propres additionnels), soit plus bas ( du fait de la stratégie de gestion du capital ou d'une faible réserve de capitalisation ) que les niveaux des fonds propres du marché.

Par conséquent pour mieux observer les provisions techniques, un autre ratio est proposé : PT / VM avec VM la valeur de marché des actifs.

La distribution des ratios PT / VM obtenus est tracée dans la boîte à moustache ci-dessous. Les entités y sont également positionnés :

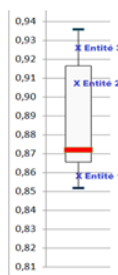


FIGURE 7.4 – Boîte à moustache du ratio PT/VM

Les 3 entités sont à l'intérieur de la distribution.

Dans le cas de petits échantillons, où la variable ne suit pas une loi Normale, l'usage de la médiane et de l'étendue inter-quartiles ou de l'étendue (minimum-maximum) est souvent préférée pour décrire la distribution d'une population plutôt que celui de la moyenne et de son intervalle de confiance.<sup>2</sup>

Les ratio (Marge pour Risque / Provisions Techniques) restent également cohérents avec le marché.

---

2. Source : Université de Bordeaux 2, ISPED-CAMPUS SEME, Principaux outils en statistique

# Conclusion de la partie

En conclusion de l'analyse, les tableaux ci-dessous reprennent les points analysés par la fonction actuarielle sur le portefeuille et leur conformité à la réglementation.

Instructions	Preuves
<b>Level 1 Directive – Article 48</b>	
1. Les entreprises d'assurance et de réassurance mettent en place une fonction actuarielle efficace afin de:	Les sections suivantes de l'étude démontrent comment le respect de cette réglementation est repris:
a) coordonner le calcul des provisions techniques;	Les chapitres 1 et 2 reprennent comment sont modélisées les provisions techniques sur le portefeuille et les résultats obtenus. La fonction actuarielle dans son rapport, atteste du bon déroulement du processus de production.
b) et d) garantir le caractère approprié des méthodologies, des modèles sous-jacents et des hypothèses utilisés pour le calcul des provisions techniques; comparer les meilleures estimations aux observations empiriques;	Dans le chapitre 4, la fonction actuarielle fait un zoom sur les méthodologies de construction des hypothèses et leur validation dans le but de donner un avis. La validation passe par un back-testing des lois c'est-à-dire en comparant le comportement prédit des assurés à ce qui s'est réellement passé.
c) et f) apprécier la suffisance et la qualité des données utilisées dans le calcul des provisions techniques; superviser le calcul des provisions techniques dans les cas visés à l'article 82;	Dans le chapitre 3 de l'étude, la fonction actuarielle reprend toute la politique relative à la qualité des données, partant de la définition du dictionnaire des données à la gouvernance des données, en passant par l'extraction et les contrôles d'adéquation, d'exhaustivité et d'exactitude. Les données inhérentes au calcul des provisions techniques sont analysées plus particulièrement. Aussi, les approximations hors modèle des calculs de Provisions Techniques ne sont pas pris en compte dans l'étude vu la faible proportionnalité.
e) informer l'organe d'administration, de gestion ou de contrôle de la fiabilité et du caractère adéquat du calcul des provisions techniques;	La fonction actuarielle informe l'organe d'administration par son rapport. Ce point est donc indirectement pris en compte dans l'étude.
2. La fonction actuarielle est exercée par des personnes qui ont une connaissance des mathématiques actuarielles et financières à la mesure de la nature, de l'ampleur et de la complexité des risques inhérents à l'activité de l'entreprise d'assurance ou de réassurance et qui peuvent démontrer une expérience pertinente à la lumière des normes professionnelles et autres normes applicables.	Dans son rapport, la fonction actuarielle dédie une partie à la présentation des Circulum Vitae et des compétences de l'équipe.

FIGURE 7.5 – Article 48 de la directive 2009/138/CE

<b>Level 2 Règlement délégué – Article 272</b>	
(a) appliquer des méthodes et des procédures permettant de juger de la suffisance des provisions techniques et de garantir que leur calcul satisfait aux exigences énoncées aux articles 75 à 86 de la directive 2009/138/CE;	La section 8.1 montrent en détail le niveau de satisfaction aux exigences énoncées aux articles 75 à 86 de la directive 2009/138/CE;
(b) évaluer l'incertitude liée aux estimations effectuées dans le cadre du calcul des provisions techniques;	Ce point est repris dans les limites de notre étude au chapitre 9.
(c) veiller à ce que toute limite inhérente aux données utilisées dans le calcul des provisions techniques soit dûment prise en considération;	Ce point est repris dans l'analyse de la qualité des données au chapitre 3.
(d) veiller à ce que, dans les cas visés à l'article 82 de la directive 2009/138/CE, les approximations les plus appropriées aux fins du calcul de la meilleure estimation soient utilisées;	Les approximations de calcul de Provisions Techniques visés à l'article 82 ne sont pas pris en compte dans l'étude vu la faible proportionnalité.
(e) veiller à ce que les engagements d'assurance et de réassurance soient regroupés en groupes de risques homogènes en vue d'une évaluation appropriée des risques sous-jacents;	En raison des contraintes d'exécution, un groupe homogène de produits a été défini pour évaluer les provisions techniques en tenant compte des principales caractéristiques des contrats. Cependant un niveau plus fin d'agrégation pourrait être envisager.
(f) tenir compte des informations pertinentes fournies par les marchés financiers ainsi que des données généralement disponibles sur les risques de souscription et veiller à ce qu'elles soient intégrées à l'évaluation des provisions techniques;	Ce point est repris dans la section 4.3. Il s'agit de la description des générateurs de scénarios économiques.
(g) comparer le calcul des provisions techniques d'une année sur l'autre et justifier toute différence importante;	Ce point est repris dans la section 5.1. Il s'agit de l'analyse de mouvements.
(h) veiller à l'évaluation appropriée des options et garanties incluses dans les contrats d'assurance et de réassurance.	Ce point est repris dans la section 1.3. En effet, les options et garanties du portefeuille sont comparées à celles implémentées dans le modèle de projection.

FIGURE 7.6 – Article 272 du règlement délégué (UE) 2015/35

A partir de ces observations, une appréciation du processus de validation sera enfin donné dans ce qui suit.

Troisième partie  
**VALIDATION**

# Introduction de la partie

La fonction actuarielle formule son avis à partir de toute la documentation fournie par les équipes en première ligne. Après l'analyse minutieuse des résultats, elle revoit comment le processus d'évaluation respecte les articles 75 à 86 de la directive 2009/138/CE. Dans la suite de l'étude, un outil d'aide à la décision sera en plus mis en place. Aussi, les limites et incertitudes liées au processus de validation seront explicités.

# Chapitre 8

## VALIDATION DES PT

### 8.1 Article 75 à 86 de la Directive 2009/138/CE

L'article 272 du règlement délégué (UE) 2015/35 attribue à la fonction actuarielle la mission de garantir que le calcul de provisions techniques satisfait aux exigences énoncées aux articles 75 à 86 de la directive 2009/138/CE. Ci-dessous est démontré comment le processus d'évaluation des provisions techniques du portefeuille respecte les différents articles.

#### - Valorisation de l'actif et du passif (Article 75) :

Dans l'étude, les actifs sont évalués soit à leur valeur de marché lorsqu'ils sont disponibles, soit conformément au principe IFRS. Les passifs sont quand à eux bien évalués selon les deux composantes : BEL et Marge de risque. Aucun ajustement de défaut de contrepartie n'est effectué sur les actifs de réassurance.

#### - Dispositions générales (Article 76) :

Toutes les obligations envers les assurés et les bénéficiaires de contrats d'assurance ou de réassurance qui sont mentionnées dans la comptabilité réglementaire locale, sont évaluées dans le bilan de solvabilité.

Comme mentionnée dans les chapitres 1 et 2, aux sections 1.3 et 2.1, les dispositions techniques sont établies en utilisant des modèles statistiques reflétant les facteurs de risque des principales caractéristiques des contrats. Aussi, pour les produits et les caractéristiques non matériels, des approches simplifiées sont utilisées conformément au principe de proportionnalité.

#### - Calcul des provisions techniques (Article 77) :

La section 1.1.3 de l'étude reprend les principales hypothèses utilisées dans le calcul des PT. Leur construction et validation sont analysées dans le chapitre 4. La projection des principales caractéristiques des contrats est mis en lumière dans le chapitre 1.

Conformément à l'article 77, la meilleure estimation est calculée brut sans déduction des montants pouvant être recouverts à partir de contrats de réassurance et de véhicules à usage spécial.

Comme mentionné ci-dessus, la meilleure estimation et la marge de risque sont évaluées séparément. La marge de risque est évaluée selon la méthode du coût de capital. Il est supposé que le taux de coût de capital est de 6% comme requiert l'article 39 du règlement délégué (UE) 2015/35.

#### - Autres éléments à prendre en considération dans le calcul des provisions techniques (Article 78) :

La section 4.2 de l'étude reprend de manière détaillée les futures décisions de gestion.

#### - Valorisation des garanties financières et des options contractuelles incluses dans les contrats d'assurance et de réassurance (Article 79) :

Dans la section 1.3 de l'étude, une comparaison entre les O&G du portefeuille et les O&G modélisées est réalisée. Le but étant de s'assurer que les principales options et garanties financières et non financières sont bien prises en compte lors du calcul des provisions techniques.

Les lois liées aux comportements des titulaires de polices sont fondées autant que possible sur les observations actuelles ou sont établies à l'aide d'un jugement d'expert validé par un comité, comme explicité dans la section 4.1. Il est à noter aussi que pour que le portefeuille soit conforme à cet article, une mise à jour et un backtesting plus régulier des hypothèses ainsi que d'autres sensibilités sur les jugements d'expert sont à effectuer.

#### - Segmentation (Article 80) :

En raison des contraintes d'exécution, un groupe homogène de produits a été défini pour évaluer les provisions techniques en tenant compte des principales caractéristiques des contrats comme épargne, retraite, vie entière et prévoyance; Mais aussi des fonctionnalités plus précises tel que la gamme des produits, le taux minimum garanti, les

frais, l'âge, l'ancienneté, etc...

Cependant un niveau plus fin d'agrégation pourrait être envisagé.

- Créances découlant des contrats de réassurance et des véhicules de titrisation (Article 81) :

Les contrats de réassurance sont jugés non significatifs et ne sont pas modélisés.

- Qualité des données (Article 82) :

Le chapitre 3 reprend entièrement la politique relative à la qualité des données dans la compagnie. Aussi les approximations de calcul de provisions techniques ne sont pas prises en compte dans l'étude vu la faible proportionnalité.

- Comparaison avec les données tirées de l'expérience (Article 83) :

La comparaison avec les données tirées de l'expérience est mentionnée dans la validation des hypothèses dans la section 4.1.2. Sur le portefeuille, cette étape du processus de validation peut être améliorée.

- Caractère approprié du niveau des provisions techniques (Article 84) :

Ce point sera justifié dans la section suivante. En effet, pour donner un avis sur le caractère approprié des provisions techniques, une analyse multicritère a été effectuée.

- Relèvement des provisions techniques (Article 85) :

Aucune disposition technique supplémentaire n'a été requise par les autorités de contrôle.

- Mesures d'exécution (Article 86) :

Dans l'étude, les mesures d'exécution sont respectées. Les limites qui y sont associées, sont mentionnées au chapitre 9.

## 8.2 Calcul d'un score par l'analyse multicritère

Dans le domaine bancaire, le scoring est une méthode d'évaluation destinée à apprécier le risque de défaillance d'une entreprise ou d'un particulier. Le scoring se présente sous la forme d'une note attribuée au demandeur de crédit par l'institution financière susceptible de lui octroyer un prêt. Il se détermine grâce à l'existence de différents indicateurs (revenus, endettement,...). Plus généralement, le scoring est une technique qui permet d'affecter un score à un client ou prospect.

Dans l'étude, l'utilisation de cette technique permettra de donner une appréciation ou une note du processus mis en place pour valider les provisions techniques.

### 8.2.1 Méthodologie

L'analyse multicritère permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères. Il s'agit donc d'un outil d'aide à la décision. L'aide à la décision est une approche scientifique des problèmes de décision qui se posent dans tout contexte socio-économique. Les domaines d'application sont divers et variés :

- Elaboration du plan de production d'une usine
- Constitution d'un portefeuille d'actions
- Evaluation de dossiers de crédit
- Choix de candidat pour un poste .

Quelques étapes-clé dans la phase de modélisation sont :

- La modélisation de l'ensemble des actions potentielles.

L'ensemble A des actions potentielles (décisions, solutions, plans, variantes, candidats,...) peut être défini explicitement (liste exhaustive) ou implicitement (par des propriétés caractéristiques), de façon stable ou évolutive, de façon globale ou fragmentée.

- Le choix d'une problématique.

Les trois problématiques de référence sont le choix, le tri et le rangement. Cependant il est possible d'avoir des problématiques mixtes.

- La notion de critère est ensuite introduite.

Un critère doit permettre de mesurer les préférences du décideur vis-à-vis de chaque action, relativement à un point de vue.



Un critère est une fonction définie sur l'ensemble des actions représentant les préférences de l'utilisateur selon son point de vue.

$g : A \rightarrow X \subset \mathbb{R}$  qui permet, relativement à un point de vue donné et pour un acteur identifié, de comparer deux actions quelconque a et b :  $g(b) \geq g(a) \Rightarrow b$  "est au moins aussi bon que" a. Avec g, le critère à maximiser.

L'analyse multicritère nécessite une famille de critères  $g_1, \dots, g_p$  ( $p \geq 2$ ).

-La comparaison des actions.

Pour comparer 2 actions a et b selon p critères  $g_j$  ( $j = 1, \dots, p$ ),

Soit a domine b ssi  $g_j(a) \geq g_j(b), \forall j \in 1, \dots, p$  et  $\exists k \in 1, \dots, p, g_k(a) > g_k(b)$

Soit a domine fortement b ssi  $g_j(a) > g_j(b) \forall j \in 1, \dots, p$ .

Il existe de nombreuses méthodes mathématiques d'analyse multicritère, mais celles-ci peuvent être regroupées en deux approches : Agrégation a priori de critères en un critère unique ; et Approche fondée sur le surclassement.

L'approche de l'agrégation en critère unique  $g(a, w) = f(g_1(a), \dots, g_p(a), w)$  où w paramètre(s) préférentiel(s) peut-être réalisée suivant les formules ci-dessous :

- somme pondérée :  $g(a, w) = \sum_{j=1}^p w_j * g_j(a)$
- agrégation additive :  $g(a, w) = \sum_{j=1}^p w_j * v_j(g_j(a))$
- pseudo-distance :  $g(a, g) = \max_{j=1..p} w_j * (g_j - g_j(a))$ .

La méthode de la somme pondérée est connue de par son accessibilité mathématique.

Après identification des critères sur lesquels sera basé l'analyse, un poids est affecté à chaque critère selon son importance relative. La pondération des critères est donc prépondérante dans cette méthode, elle influe directement sur la qualité du choix effectué. Le poids mesure l'importance d'un critère par rapport aux autres du point de vue du décideur.

$g(a) = \sum_{j=1}^p w_j * g_j(a)$  with  $w_j > 0, j = 1, \dots, p$  et  $\sum_{j=1}^p w_j = 1$

Cependant l'interprétation des poids n'est pas très claire car ils intègrent à la fois la notion d'importance relative des critères et un facteur de normalisation des échelles des critères.

## 8.2.2 Exemples d'applications : Risque de crédit

Devant la multiplication des défaillances d'entreprises au cours des années 80 et début des années 90, la Banque de France a produit des travaux sur la détection précoce des défaillances d'entreprises. Furent mises au point des formules de score applicables aux PME de l'industrie adhérentes de la Centrale de bilans.<sup>1</sup>

De très nombreux ratios ont été mis en place. Certains concernent les flux (de résultats, financiers ou de trésorerie) ; d'autres s'intéressent aux stocks du bilan ; d'autres enfin renvoient aux rapports flux / stocks, singulièrement les rentabilités.

La méthode d'aide à la décision utilisée dans ce secteur est issue de l'analyse de ces ratios pour l'établissement d'un score avec note. C'est celle des credit-men américains.

La note du score n'intervient que pour 40 % de la notation finale : 40% est réservée au facteur personnel du dirigeant, 20% aux facteurs économiques de la branche.

Cinq ratios sont choisis, sans aucune analyse statistique mais simplement grâce à la pratique des analystes :

- le « ratio de trésorerie » (Réalizable et disponible / Dettes à court terme)
- le « ratio d'endettement »
- le « ratio de couverture » (Capitaux propres / Valeurs immobilisées nettes)
- le « ratio de rotation » (Ventes annuelles / Stocks)
- le « ratio de crédit clients » (Ventes TTC / (clients + effets à recevoir + effets escomptés non échus).

Chaque ratio est ramené à un ratio type (en général la médiane) ; c'est ce rapport qui est multiplié par des coefficients de pondération pour trouver la « note financière » finale.

Parmi plusieurs méthodes possibles, c'est l'analyse discriminante linéaire de Fisher, semblable à la méthode de la somme pondérée, qui a été retenue. Cette analyse discriminante fournit alors une combinaison linéaire de ces ratios  $R_i$  multipliés par des coefficients  $a_i$  permettant de distinguer les entreprises risquées des entreprises viables. Il s'agit donc d'une analyse multicritère qui permet d'aider au jugement plus qualitatif d'un expert analysant la réponse à une demande de prêt.

La fonction score, notée ici par la note pondérée N est donc du type :  $N = \sum(a_i * R_i)$

1. Source : <http://ressources.aunege.fr/nuxeo/site/esupversions/f72edb38-644a-4e28-8211-41309937f9d9/doc/9t2.pdf>

Plus le score ou la note N est élevé, plus les risques de défaillances sont faibles.

### 8.2.3 Application au portefeuille

La même méthode est appliquée sur le portefeuille. Une note pondérée N est calculée pour chaque entité. Les critères de validation sont sélectionnés à partir de la réglementation et des analyses effectuées.

Critère	Poids	Justification
Modélisation des options & garanties	3	Article 79 et 272
Segmentation	3	Article 80 et 272
Qualité de données	3	Article 82
Construction d'hypothèses réalistes	3	Article 77
Analyse d'autres éléments pris en compte dans le calcul des PT	3	Article 78
Comparaison avec les données tirées de l'expérience	3	Article 83
Analyse des mouvements	3	Article 272
Analyse des fonctionnalités critiques	2	Criticité
Analyse de la stabilité (Nombre de simulations)	2	Article 242
Analyse de l'écart de convergence	1	
Analyse de la capacité d'absorption	1	
Analyse des jugements d'experts	2	Article 2
Analyse du ratio FRIPT	1	

FIGURE 8.1 – Critères sélectionnés

Les poids en face de chaque critère et le barème des appréciations sont :

	Poids
Critères issus d'articles de la directive sur les provisions techniques ou du règlement délégué sur les tâches de la fonction actuarielle	3 (Très significatif)
Critères liés aux fonctionnalités importantes du modèle et critères inspirés de la réglementation	2 (Significatif)
Autres Critères	1 (Peu significatif)

	Appréciation
Les tests n'ont pas révélé d'anomalies matérielles	2 (Bon)
Les tests ont révélé des anomalies moyennement matérielles	1 (Moyen)
Les tests ont révélé des anomalies matérielles	0 (Mauvais)

FIGURE 8.2 – Définition des poids et appréciations

Le tableau ci-dessous reprend les critères de validation, les poids, les appréciations pour chaque entité ainsi que leurs justifications.

Critère	Poids	Entité 1	Entité 2	Entité 3	Justification
Modélisation des options & garanties. (Level 1 Article 79 et Level 2 Article 272)	3	2	2	2	Sur le portefeuille, le calcul des provisions techniques repose sur des techniques actuarielles pertinentes pour projeter des actifs et les flux de trésorerie des passifs, leurs interactions et les actions de gestion. Trois types de modèles de projection sont utilisés (déterministe, stochastique et un autre permettant le calcul de la GMDB - garantie minimale garantie de décès). La modélisation permet de refléter les principaux facteurs de risque du portefeuille soit liée aux risques de marché et soit liée aux options et garanties fournies aux assurés (TMG, GMDB, rachats, arbitrages et sorties en rente). 99,20% de la PM du portefeuille est modélisé.
Segmentation (Level 1 Article 80 et Level 2 Article 272)	3	1	1	1	Bien que la granularité de la projection semble adéquate pour refléter les principales caractéristiques de la projection, la granularité des QRT est limitée aux contrats Euro et U.C. Cette segmentation ne répond complètement pas à l'exigence du règlement délégué, mais limite également la capacité d'effectuer une analyse pertinente des résultats (LOB, gamme de produits). Aussi pour l'outil de calcul de la marge de risque, augmenter la granularité permettra de mieux prendre en compte les spécificités des produits, notamment la protection (Produits susceptibles d'utiliser un driver différent de celui des produits en Euro). Cependant, les LOB non pris en compte ne sont pas très matérielles.
Qualité de données (Level 1 Article 82)	3	2	2	2	Sur le portefeuille, la politique de la qualité des données est mise en place. Un rapport sur l'évaluation de la qualité des données est publié annuellement par l'équipe chargée de la qualité des données. Il mentionne la criticité des données, les résultats des contrôles effectués et la liste des défaillances. Un outil mis en place permet de recenser l'appréciation de la Fonction Actuarielle sur les actions liées à la gouvernance des données, sur les sources et l'usage des données (infocentre, model-points, hypothèses techniques, ...) et sur la conformité des contrôles réalisés par rapport à la réglementation.
Construction d'hypothèses réalistes (Level 1 Article 77)	3	1	1	1	Sur le portefeuille, certaines hypothèses matérielles, par exemple les rachats n'ont pas été mis à jour depuis 2015. Pour rappel, dans Solvabilité 2, des informations plus récentes doivent être utilisées. Sinon des études doivent être réalisées pour soutenir que les lois sont toujours appropriées. L'analyse de mouvement ne met toutefois pas en évidence de derive matérielle des hypothèses.
Analyse d'autres éléments pris en compte dans le calcul des PT (Level 1 Article 78)	3	1	1	1	Sur le portefeuille, la base de données utilisée pour dériver les hypothèses sur les dépenses n'est pas récente. Elle date de 2014 pour les trois entités. Des informations plus récentes doivent être utilisées. Sinon des études doivent être réalisées pour soutenir que la base de données 2014 est toujours appropriée pour les hypothèses de dépenses.
Comparaison avec les données tirées de l'expérience (Level 1 Article 83)	3	1	1	2	L'analyse pour détecter l'écart et pour assurer la cohérence des tables avec les données d'expérience n'a pas été correctement effectuée. Notamment sur l'entité 2 où pour la mortalité, les hypothèses ont été détériorées pour refléter le vieillissement de la population. En outre, bien que certifiée par un actuinaire homologué pour une période de 5 ans, la table d'expérience utilisée sur l'entité 1 devrait faire l'objet d'une analyse de surveillance annuelle comme mentionnée dans le rapport de certification. Pour l'entité 3, sur les rachats, la comparaison du réel et du prédit a été effectuée sur la base de deux années seulement d'observations.
Analyse des mouvements (Level 2 Article 272)	3	1	1	2	Les principales sources de variations sur le BEL comme: les changements de modèle, les changements d'hypothèses, la contribution des nouvelles affaires, les écarts d'expérience et tout autre élément matériel pour expliquer les changements dans les provisions techniques d'une année à l'autre sont examinées. Sur la marge de risque, la variation est due à la ligne "autre" qui n'est pas correctement explicitée pour les entités 1 et 2.
Analyse des fonctionnalités critiques du modèle	2	1	1	2	Des contrôles pour assurer la cohérence des flux de trésorerie, de l'allocation des actifs, de l'évolution des taux d'intérêts, des actions et immobiliers, de la stratégie de partage de bénéfice, des rachats dynamiques ont été réalisés à partir des sorties du modèle sur le scénario central déterministe pour l'entité 3. Une analyse de tous les scénarios stochastiques serait plus appropriée. Ces contrôles n'ont pas été réalisés pour les autres entités durant l'étude par manque de temps.
Analyse de la stabilité (Nombre de simulations)	2	2	2	2	Le processus de validation du modèle inclut une analyse de la stabilité des résultats produits par le modèle interne pour différents nombres de simulations parmi 5000. Le nombre de simulations retenues est de 3000 après analyse de la convergence des résultats.
Analyse de l'écart de convergence	1	1	2	2	Le Ratio Ecart de convergence /BEL est inférieur à 1% pour les trois entités. Cependant, celui de l'entité 1 est trois fois plus élevé que celui des autres. Une analyse plus approfondie devrait être réalisée.
Analyse de la capacité d'absorption	1	0	0	2	Le sens de variation des SCR brut et net d'effet absorption par la PB future est cohérent pour l'entité 3. Des contrôles similaires devraient être réalisés sur les autres entités.
Analyse des jugements d'experts	2	1	1	1	Bien que tous les jugements d'experts matériels aient un niveau de confiance élevé, la sensibilité sur les rachats dynamiques par exemple montre que des améliorations sont possibles. Aussi, les justifications sont généralement limitées, elles comprennent des raisons rationnelles mais devraient également comprendre une analyse quantitative, une évaluation de la matérialité et rendre transparentes les incertitudes liées aux hypothèses faites. En outre, certains jugements d'experts ne sont pas signalés dans le répertoire.
Analyse du ratio PT/VM	1	2	2	2	La boîte à moustache des ratios PT/VM du marché de l'assurance vie est tracée. Les ratios des entités 1, 2 et 3 sont bien compris entre le minimum et le maximum des ratios. Leurs ratios sont donc cohérents à ce qui est observable sur le marché.
<b>Total Appreciation*Poids</b>	<b>60</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>49</b>	

FIGURE 8.3 – Appréciation des critères de chaque entité

Le score obtenu est par la suite comparé à la note maximale. Il en ressort que des actions pour améliorer les résultats doivent être mis en place surtout sur les entités 1 et 2, bien que les notes obtenues sont assez bien. En effet, plus la note obtenue est proche de la note maximale, plus le processus de validation est considéré conforme.

Pour rappel, selon l'article 37 du règlement délégué, les capitaux à immobiliser tout au long de la durée de vie restante du passif correspondent aux SCR non-replicables futurs générés par les engagements d'assurance. Du fait de la complexité de la projection des SCR futurs, la chronique de chaque risque est approximé comme :

$$SCR_{Risque}(t) = SCR_{Risque}(0) * \frac{Driver(t)}{Driver(0)}$$

Sur le portefeuille d'après les drivers sélectionnés (PM pour le risque opérationnel et pour le risque de dépenses, et BEL pour les autres), les contributions de chaque risque non-replicable à la marge de risque peuvent être représentées comme ci-dessous :

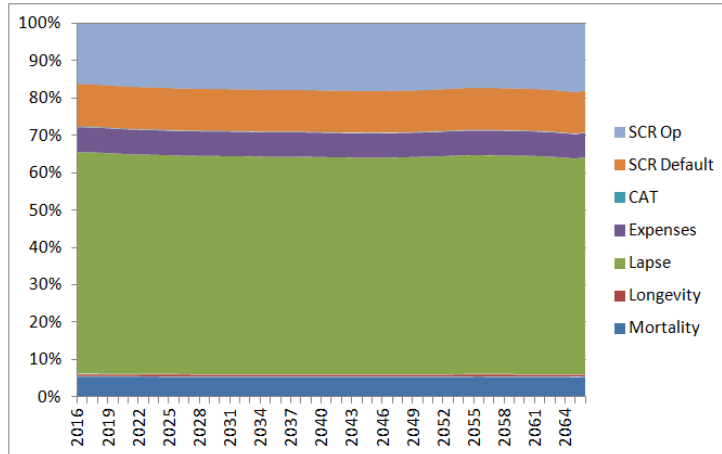


FIGURE 8.4 – Part de chaque risque dans le SCR projeté pour l'entité 3

Le BEL étant le driver du risque principal (risque de rachat), il en est déduit que la validation de la marge de risque passe par la validation du BEL sur le portefeuille.

### 8.3 Autre approche de validation

#### Validation de la marge pour risque

Sachant que la marge de risque est définie comme la valeur qu'il faut rajouter aux provisions Best Estimate pour garantir que la valeur des provisions techniques soit équivalente au montant que les organismes d'assurance demanderaient pour reprendre et honorer les engagements, une autre approche de validation serait d'approximer le calcul des provisions techniques comme une VaR à 75% des provisions Best Estimate<sup>2</sup>.

La marge pour risque peut donc être calculer comme :

$$VaR_{75\%}(\text{Flux de trésorerie futures probables actualisés}) - \text{Average}(\text{Flux de trésorerie futures probables actualisés})$$

Dans le portefeuille, à partir des 3000 simulations du cas central, la marge pour risque correspond à donc à la différence entre le troisième quartile et la moyenne de la distribution des flux de trésorerie futures probables actualisés.

Le tableau ci-dessous présente la comparaison des deux méthodes de calcul de la marge pour risque de l'entité 1 et 2.

Résultats (EURO / 000 000)	Marge pour risque Approche COC	Marge pour risque Approche VaR 75%
Entité 1	944	930
Entité 2	275	245

FIGURE 8.5 – Comparaison des résultats de marge pour risque de l'entité 1 et 2

Sur le portefeuille, les résultats des deux calculs de la marge pour risque sont assez similaires.

2. Approche utilisée avant QIS4. En effet, QIS4 abandonne l'évaluation des provisions techniques par la VaR 75% au profit de la méthode CoC

Une autre approche de validation serait d'approximer le calcul de la marge de risque comme une CVaR (Conditional-VaR), correspondant à l'excédent moyen au-delà de la VaR.

En effet, la marge de risque étant défini comme le montant qui sert à dédommager le repreneur d'une compagnie, d'avoir à immobiliser du capital pour supporter les engagements d'assurance qu'il va récupérer, et ce, jusqu'à leur extinction, elle peut être calculé comme un capital excédentaire requis .

Sachant que le capital requis (SCR) correspond à la VaR des fonds propres de base de la compagnie avec un niveau de confiance de 99,5 % à horizon un an.  $SCR = NAV_0 - P(0,1) * q_{0,5\%}(NAV_1)$

La CVaR est défini comme l'espérance de la perte au delà de la VaR :

$$CVaR_\alpha = E[-X/X < -VaR_\alpha(X)]$$

La marge de risque peut donc être représentée par la perte moyenne attendue sachant que la VaR au niveau 0,5% est dépassée. C'est la moyenne des pires pertes possibles sur un an au seuil de risque 0,5%.

Ici la méthode de la VaR à 1 an peut être utilisée pour approximer les fonds propres à horizon 1 an :

$$NAV_1 = (NAV_0 + \Delta NAV^+) * (1 + r_{t_0, t_0+1Y})$$

Avec  $\Delta NAV^+$  l'impact des chocs instantanés sur les fonds propres; Et  $r_{t_0, t_0+1Y}$  le taux sans risque du temps 0 au temps 1 .

Le jugement d'expert selon lequel le SCR au temps 1 peut être approximé par un choc instantané et un report vers l'avant 1 au taux sans risque est fait.

Dans ce cas, la marge de risque serait la moyenne des  $NAV_1$  à condition qu'elles soient supérieures au montant de SCR (Chaque scénario donne une  $NAV_1$ ).

Sur le portefeuille, cette approche est difficile à mettre en place. En effet, les valeurs de  $NAV_1$  à disposition ne peuvent être restreintes aux risques non-replicables.

Dans la suite de l'étude, toutes les limites évoquées sont reprises.

## Chapitre 9

# LIMITES OU INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS DES PROVISIONS TECHNIQUES

La principale incertitude réside dans une éventuelle évolution de la réglementation fiscale française en vigueur. En effet, un changement en lien avec la réglementation fiscale pourrait avoir un impact sur l'encours de provisions techniques. Celle-ci est actuellement favorable aux contrats d'épargne à long terme, en offrant une fiscalité réduite sur les bénéfices au-delà d'un certain horizon de temps. Ces changements apparaissent peu probables à court terme, au vu des dernières déclarations du gouvernement français.

Sur le portefeuille, les limites ci-dessous sont répertoriés :

### 9.1 Les jugements d'experts

Sur les jugements d'experts, il est recommandé de procéder à d'autres analyses afin de bien comprendre l'impact des sensibilités. De plus, l'exhaustivité des jugements d'experts recensés n'est pas assurée. En effet, toutes les décisions et avis liées à la démographie, aux dépenses, aux scénarios économiques, au modèle de projection et mais aussi aux actions de gestion sont à prendre en considération. Aussi l'insuffisance de la documentation et de la justification du recours à des avis d'experts, l'insuffisance des analyses quantitatives réalisées pour valider les avis d'experts et le manque d'éléments prouvant que les avis d'experts ont été revus et approuvés par la direction de la compagnie sont à corriger.

Plus précisément concernant le modèle de projection, les limites ci-dessous sont recensés :

- Granularité des résultats du modèle : le modèle produit des résultats par entité, ce qui signifie que des approximations sont utilisées pour les analyses du portefeuille d'actifs et des produits et qu'en conséquence, il est nécessaire de vérifier scrupuleusement le niveau de sensibilité avant que la direction ne s'appuie sur ces résultats pour prendre des décisions.
- Gestion des données : le manque de données relatives à certains risques (exemple : les rachats, les frais) porte préjudice à la qualité des données.

### 9.2 Le Modèle de projection

Il est important de garder à l'esprit que le modèle interne fonctionne uniquement dans les situations envisagées par les experts. Des changements économiques matériels pourraient aboutir à des situations où le modèle interne ne fonctionnerait pas correctement et devrait être repensé, notamment :

- o éclatement de la zone euro ou sortie de la France de la zone euro ;
- o crise profonde en France qui pousse le gouvernement à changer la législation (modification des taux garantis par décret ou des taux d'imposition de l'assurance-vie) ;
- o rachats massifs (supérieurs à ceux pris en compte dans le modèle interne).

Aussi, les outils de validation mis en place ne sont toujours pas utilisés de manière satisfaisante pour valider les résultats. Les utilisateurs du modèle interne devront avoir recours systématiquement à ces outils de validation qui sont aussi utiles pour étayer les avis d'experts.

### 9.3 L'étude

L'accessibilité aux données du portefeuille peut être améliorée. En effet, certaines sensibilités nécessitent des données auxquelles n'ont pas accès la fonction actuarielle.

L'analyse de la stratégie de partage des bénéfices, autre élément dont dépend le calcul des provisions techniques, n'est pas réalisé. Cette analyse pour être prise en compte dans les fonctionnalités critiques du modèle.

Le ratio utilisé pour comparer les compagnies d'assurances peut être amélioré en utilisant le ratio des provisions techniques en solvabilité 1 sur les provisions techniques en solvabilité 2 .

# Conclusion de la partie

La revue du processus de calcul de provisions techniques a été limitée par un manque de documentation et d'accessibilité aux données, compliquant ainsi l'audit et la validation des résultats.

Bien que largement confortable avec le niveau des provisions techniques, des fonds propres et du ratio de solvabilité sur le portefeuille, les tests, sensibilités et analyses qui ont pu être cependant effectués, ont relevés un nombre important de limites.

La fonction actuarielle, au vu de tout ce qui précède, considère que le processus de validation des provisions techniques est à améliorer sur le portefeuille.





# CONCLUSION

Le dispositif général de contrôle au sein de la compagnie s'inscrit dans l'organisation en trois lignes de défense de la gestion des risques :

- 1ère ligne : les opérationnels et le contrôle interne ;
- 2ème ligne : la fonction risques, la fonction actuarielle et la fonction vérification de la conformité ;
- 3ème ligne : l'audit interne.

Le processus de calcul et de validation des provisions techniques s'inspire du système de gestion des risques. Les quatre fonctions clés ainsi que d'autres services ( département de l'actuariat financier, département actuariel du produit, département Risque, département de la comptabilité, département des affaires, direction générale) sont ensemble impliqués pour assurer la bonne mise en œuvre des calculs, la fiabilité et la pertinence des résultats, la surveillance des faiblesses et la gestion des comités.

En effet, Le département risques effectue régulièrement des opérations de validation du modèle interne, principalement organisées autour de :

- la validation de la structure du modèle, des choix de modélisation, des paramètres et des hypothèses ;
- la validation des résultats du calcul du capital de solvabilité requis (SCR).

Les tâches de validation sont principalement exécutées au sein du département des risques, par la mise en oeuvre de contrôles et d'outils de validation tels que des tests de sensibilité sur les données, le back-testing, les tests de scénarios, l'analyse de stabilité du modèle, l'analyse des avis d'expert et toute autre activité pertinente.

Ces procédures de validation du modèle interne sont complétées par une analyse critique et une validation indépendante des hypothèses, des paramètres clés et des résultats menées par différents comités (et notamment des comités opérationnels des hypothèses, des comités de calibrage, des comités d'approbation) afin d'assurer un niveau d'expertise et d'autorité hiérarchique adéquat.

Ce processus gagnerait à s'étendre en ajoutant des tests plus spécifiques aux provisions techniques. Cela permettra à la fonction actuarielle de bénéficier de l'expérience de la validation du modèle interne.

Le responsable de la fonction actuarielle pourra ainsi préparer un rapport actuariel aux normes du système de gestion de risque de la compagnie, et ainsi informer le comité des risques et le conseil d'administration de ses conclusions sur la fiabilité et le caractère adéquat du calcul des provisions techniques.

Dans la compagnie étudiée, la fonction actuarielle mise en place depuis tout juste deux ans peine encore à trouver ses marques. Les rôles de chaque intervenant dans le système de gestion des risques doivent être mieux explicités pour éviter les doublons dans les travaux d'audit et renforcer leur efficacité .



# Chapitre 10

## ANNEXE

### Matrice de corrélation

Le BSCR est calculé à partir des modules de risques qu'il englobe et de la matrice de corrélation ci-dessous :

CorrSCR	SCR <sub>mkt</sub>	SCR <sub>def</sub>	SCR <sub>life</sub>	SCR <sub>health</sub>	SCR <sub>nl</sub>
SCR <sub>mkt</sub>	1				
SCR <sub>def</sub>	0.25	1			
SCR <sub>life</sub>	0.25	0.25	1		
SCR <sub>health</sub>	0.25	0.25	0.25	1	
SCR <sub>nl</sub>	0.25	0.5	0	0	1

FIGURE 10.1 – Matrice de corrélation des modules de risque

Le capital requis pour le risque de marché,  $SCR_{mkt}$ , est calculé en combinant les sous-modules du risque à l'aide d'une matrice de corrélation :

CorrMkt	Mkt <sub>int</sub>	Mkt <sub>eq</sub>	Mkt <sub>prop</sub>	Mkt <sub>sp</sub>	Mkt <sub>conc</sub>	Mkt <sub>fx</sub>
Mkt <sub>int</sub>	1					
Mkt <sub>eq</sub>	0	1				
Mkt <sub>prop</sub>	0.5	0.75	1			
Mkt <sub>sp</sub>	0.25	0.25	0.25	1		
Mkt <sub>conc</sub>	0	0	0	0	1	
Mkt <sub>fx</sub>	0.25	0.25	0.25	0.25	0	1

FIGURE 10.2 – Matrice de corrélation des sous-modules du risque de marché

Le capital requis pour le risque de souscription vie,  $SCR_{Life}$ , est calculé en combinant es sous-modules du risque à l'aide d'une matrice de corrélation :

CorrLife	Life <sub>mort</sub>	Life <sub>long</sub>	Life <sub>dis</sub>	Life <sub>lapse</sub>	Life <sub>exp</sub>	Life <sub>rev</sub>	Life <sub>CAT</sub>
Life <sub>mort</sub>	1						
Life <sub>long</sub>	0	1					
Life <sub>dis</sub>	0.5	0	1				
Life <sub>lapse</sub>	0	0.25	0	1			
Life <sub>exp</sub>	0.25	0.25	0.5	0.5	1		
Life <sub>rev</sub>	0	0.25	0	0	0.25	1	
Life <sub>CAT</sub>	0	0	0	0	0	0	1

FIGURE 10.3 – Matrice de corrélation des sous-modules du risque de souscription vie

# Bibliographie

- [AAE, ] AAE. Actuarial function report under directive 2009/138/EC. *EUROPEAN STANDARD OF ACTUARIAL PRACTICE ESAP 2*.
- [ACPR, a] ACPR. *Notice solvabilité 2*.
- [ACPR, b] ACPR. *Enseignements annexes techniques vie*.
- [ACPR, c] ACPR. *La situation des assureurs soumis à solvabilité 2 en France au quatrième trimestre 2016*.
- [ACPR, d] ACPR. *Solvabilité 2 : Principaux enseignements du QIS5*.
- [AllianZ, 2017] Allianz (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [ARMEL, 2016] ARMEL, K. (2016). ESG. Cours EURIA 2016-2017.
- [Aunege, ] Aunege. La méthode des scores, particulièrement de la banque de France. Association des Universités pour l'enseignement Numérique en Economie et Gestion.
- [AVIVA, ] AVIVA. Documents internes.
- [AVIVA, 2017] AVIVA (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [AXA, 2017] AXA (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [BNP-CARDIF, 2017] BNP-CARDIF (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [CNP, 2017] CNP (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [CREDIT-AGRICOLE, 2017] CREDIT-AGRICOLE (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [DEVINEAU and BOUMEZOUED, 2016] DEVINEAU, L. and BOUMEZOUED, A. (2016). Modélisation et agrégation des risques. Cours EURIA 2016-2017.
- [EIOPA, a] EIOPA. *Directive 2009/ 138/ CE du parlement européen et du conseil*.
- [EIOPA, b] EIOPA. *Orientations sur la capacité d'absorption de pertes des provisions techniques et des impôts différés*.
- [EIOPA, c] EIOPA. *Règlement délégué 2015/35 UE*.
- [GBADI, 2014] GBADI, M. (2014). Construction d'une table de mortalité be et application à solvabilité2. Master's thesis.
- [GENERALI, 2017] GENERALI (2017). *rapports sur la solvabilité et la situation financière au 31/12/2016*.
- [IA, ] IA. *Norme de Pratique Actuarielle*. Institut des Actuaire.
- [LEVALLOIS, 2003] LEVALLOIS, F. (2003). *Gestion actif passif en assurance vie :Réglementation, outils, méthodes*.
- [MALAL-BURGUETE, 2016] MALAL-BURGUETE, M. (2016). La détection et la limitation des « écarts de convergence » dans un modèle de projection stochastique en univers risque neutre. Master's thesis.
- [PETAUTON, 2012] PETAUTON, P. (2012). *Théorie et pratique de l'assurance vie*.
- [PLANCHET, 2016] PLANCHET, F. (2016). *Construction et utilisation des générateurs économiques dans le contexte Solvabilité 2*. Cours ISFA.
- [SEME, ] SEME, I.-C. Principaux outils en statistique. Université de Bordeaux 2.
- [VANDERPOOTEN, 2008] VANDERPOOTEN, D. (2008). *Introduction à l'aide multicritère à la décision*. 6e édition Dunod. chap.12 dans Précis de recherche opérationnelle.