Mémoire présenté le : 10/11/2016

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

Par : Faris BOUZINAB

Titre : *Bridging* d'un modèle ALM :un outil de compréhension et de sensibilité des interactions actif-passif

Confidentialité : OUI (2 ans)

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

Membres présents du jury de l'ISFA *Signature*

N.KAZI-TANI

Membres présents du jury de l'IA

O.CAYOT
M.JUILLARD
C.PIGEON

Entreprise
Nom : BNP PARIBAS CARDIF
Signature :
Directeur de mémoire en entreprise
Nom : B. MARBACH
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 :
Mme Christine DRIGUZZI
Bibliothèque :
Mme Patricia BARTOLO

Résumé

Mots-clés : Solvabilité 2, ALM, Modèle, Validation, *Bridging*, Risque de modèle, *Stress testing*, BEL, PVFP, Projection, Risque neutre, GSE, Module de calcul, Action de management, Limites du modèle

"*Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles*"– Georges Box

La réforme Solvabilité 2 initiée depuis quelques années et entrée en vigueur en 2016, est une réforme de la réglementation européenne du monde de l'assurance qui a pour objectif d'harmoniser et d'améliorer l'évaluation et le contrôle des risques des sociétés d'assurance en Europe.

Pour satisfaire cette nouvelle norme avec toutes ses contraintes financières et comptables, l'assureur se trouve dans l'obligation de se doter d'un modèle de projections de flux qui lui permettra de répondre aux différentes questions de la nouvelle réglementation, de mieux maitriser ses risques et de piloter sa rentabilité. En effet, un modèle de projection de flux vise à projeter la réalité le plus fidèlement possible et donc constitue un point d'appui et d'aide pour la prise de décision. Cependant, dans un environnement assez complexe, son utilisation doit être faite avec lucidité et à bon escient.

En général, l'utilisation des modèles assez complexes dont l'application suppose la validation de certaines hypothèses, fait que le choix du modèle utilisé pourrait biaiser les résultats et induire des erreurs au niveau de la prise de décision. Ainsi, une bonne compréhension des capacités et des limites du modèle constitue un enjeu majeur dans le cadre de la directive Solvabilité 2.

De tels risques sont considérés comme un risque de modèle, qui reste encore peu abordé dans le monde assurantiel. Sa maîtrise passe par l'intégration d'un ensemble de processus de gouvernance et de validation du modèle destiné à vérifier la qualité des données, la validité des traitements effectués et la cohérence des résultats. Une démarche d'amélioration continue du modèle et du système de contrôle des risques dans lequel il se trouve intégré est donc nécessaire.

L'objectif du mémoire est donc de proposer une démarche permettant une meilleure compréhension et analyse de sensibilité du modèle d'interaction Actif-Passif (ALM) utilisé chez BNP Paribas Cardif.

Abstract

Keywords : Solvency 2, ALM, Model, Validation, Bridging, model risk, Stress testing, BEL, PVFP, Projection, risk-neutral, ESG, Calculation module, Management action, Limitation of models

"*All models are wrong , but some are useful*"– Georges Box

Solvency 2 reform initiated in recent years and started officially in 2016, is a reform of the European regulation of the insurance world, which aims to harmonize and improve the evaluation and control of risk of insurance companies in Europe.

To respect this new standard with all its financial and accounting constraints, the insurer is obliged to have a Cashflows projection model that will allow him to answer the various questions of the new regulations, better control its risk and drive his profitability. Indeed, A cashflows projection model is designed to project the reality as closely as possible, so it is a point of support and help decision making. However, in a rather complex environment, its use must be made clearly and wisely.

In general, the use of complex models whose application requires the validation of certain assumptions, leads to that the choice of the model used could skew results and lead to errors in decision making. Thus, an understanding of the capabilities and limitations of the model is a one of the big challenge in the context of Solvency 2.

Such risks are considered as risk model, which is still little discussed in the insurance world. its control requires an integration of a set of governance processes and validation of the model to verify data quality, validity of treatments performed and the consistency of results. A continuous improvement of model and risk control system in which it is built is needed.

The aim of this work is to propose an approach to have a better understanding and finer sensitivity analysis of Asset Liability interaction Model (ALM) used at BNP Paribas Cardif.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Fabienne FERON, actuaire, de m'avoir accueilli pour effectuer mon alternance au sein de l'équipe Modèle de projection de flux de BNP Paribas Cardif.

Je remercie Jean-Paul FELIX, *Head of Risk Tools & Processes* chez BNP Paribas Cardif de m'avoir permis de faire cette alternance et de m'avoir fait confiance pour travailler sur un sujet passionnant et très formateur pour un alternant. Merci pour le temps qu'il m'a consacré et les connaissances qu'il m'a transmises tout au long de cette période.

Je souhaite également témoigner ma gratitude à l'égard de tous mes professeurs de l'ISFA, plus particulièrement, Mme Anne-EYRAUD-LOISEL, mon encadrante pédagogique pour son aide et ses remarques pertinentes.

Je remercie aussi Patricia LEFEVRE, *Head of Cashflow Projection Models*, Bastien MARBACH Actuaire *model designer* et l'ensemble de l'équipe Modèle de projection des flux pour leurs aides et conseils.

Enfin, je remercie profondément ma famille et mes amis pour leurs soutiens et leurs patiences tout au long de cette période.

Glossaire

ALM : *Assets liabilities management*

BEL : *Best Estimate liabilities*

GSE : Générateur de scénarios économiques

NAV : *Net asset value*

PB : Participation aux bénéfices

PDD : Provision pour dépréciation durable

PM : Provision mathématique

PRE : Provision pour risque d'exigibilité

PVFP : *Present value of futurs profits*

RC : Réserve de capitalisation

SCR : *Solvency capital requirement*

TMG : Taux minimum garanti

TRA : Taux de rendement de l'actif

VA : Valeur actualisée

Contents

Introduction **8**

1 Assurance vie **11**

1.1 Définition des opérations viagères et assurance vie 11

1.1.1 Opérations viagères 11

1.1.2 Assurance vie 11

1.2 Les contrats d'Assurance vie en France 12

1.2.1 Les contrats mono-supports 12

1.2.2 Les contrats multisupports 14

2 Cadre réglementaire **15**

2.1 Les trois piliers de Solvabilité 2 15

2.2 La spécificité du Bilan S2 : une valorisation économique 16

2.2.1 Méthode générale du calcul du *Best Estimate Liabilities* en assurance vie 17

2.2.2 SCR : *Solvency Capital Requirement* 19

3 Modèle ALM de BNP Paribas Cardif **24**

3.1 Présentation du modèle 24

3.1.1 Passif 25

3.1.2 Actif 26

3.1.3 Générateur de scénarios économiques (GSE) 27

3.1.4 Réserves d'actif et provisions 27

3.1.5 Modèle interaction Actif-Passif 28

4 Risque de modèle et validation **31**

4.1 Définition du risque de modèle . . . 31

4.2 Les sources du risque de modèle . . . 31

4.2.1 Risque de spécification . . . 32

4.2.2 Risque d'implémentation . . . 33

4.2.3 Risque de traitement des données . . . 33

4.2.4 Risque d'estimation . . . 33

4.2.5 Risque d'application . . . 33

4.3 Validation du modèle . . . 33

5 *Bridging* : cadre général et application **37**

5.1 Définition . . . 37

5.2 Modules de calcul au sein du modèle . . . 37

5.3 La mise en œuvre du *Bridging* . . . 37

5.3.1 Analyse du fonctionnement de chaque module de calcul . . . 38

5.3.2 Identification des dépendances au sein du modèle . . . 38

5.3.3 Analyse des impacts sur les résultats : démarche d'analyse . . . 39

6 Application de la méthode du *Bridging* sur le modèle de BNP Paribas Cardif **40**

6.1 Objectif . . . 40

6.2 L'ordonnancement des piliers du *Bridging* . . . 40

6.3 Choix et définition des indicateurs . . . 42

6.3.1 BEL : *Best Estimate Liabilities* . . . 43

6.3.2 PVFP : *Present value of futurs profits* . . . 48

6.3.3 Définition des indicateurs secondaires . . . 50

7 Application du *Bridging* en scénario central **55**

7.1 Produit étudié et hypothèses de projection . . . 55

7.2 Méthode d'analyses des résultats . . . 55

7.3 Présentation des résultats du scénario central . . . 56

7.4 Analyse approfondie des étapes du *Bridging* . . . 58

7.4.1 Etape 1 : Tous les modules de calcul sont désactivés . . . 58

7.4.2 Etape 2 : Activation de la participation aux bénéfices réglementaires . . . 61

7.4.3 Etape 3 : Activation du module de calcul de la PB contractuelle . . . 64

7.4.4 Etape 4 : Activation du module de calcul du taux de participation aux bénéfices cible 65

7.4.5 Etape 5 : intégration de l'actif réel de BNP Paribas Cardif . . . 70
7.4.6 Etape 6 : Activation de la réserve de capitalisation . . . 75
7.4.7 Etape 7 : Activation de la provision pour dépréciation durable . . . 78
7.4.8 Etape 8 : Activation de la provision pour risque d'exigibilité . . . 84
7.4.9 Etape 9 : Activation du rachat dynamique . . . 88
7.5 Conclusion de l'analyse en scénario central . . . 90

8 Application du *Bridging* en scénario stressé **92**
8.1 Produit étudié et hypothèses de projection . . . 92
8.2 Méthode d'analyses des résultats . . . 92
8.3 Définition des stress tests . . . 92
8.4 Principe du *stress testing* pour la validation des modèles . . . 93
8.5 Application . . . 93
8.6 Présentation des résultats . . . 94
8.6.1 Analyse du scénario central vs scénario choqué . . . 95
8.6.2 Etape 6 : Activation de la réserve de capitalisation . . . 99
8.6.3 Etape 7 : Activation de la provision pour dépréciation durable . . . 101
8.6.4 Etape 8 : Activation de la provision pour risque d'exigibilité . . . 105
8.7 Conclusion de l'analyse scénario choqué . . . 108

Conclusion **110**

Bibliographie **112**

Introduction

Afin de répondre aux exigences de la directive Solvabilité 2 en matière de méthode d'évaluation, l'assureur se trouve dans l'obligation de se doter de plusieurs modèles de calculs qui lui permettront de projeter les flux des différents contrats de son portefeuille (épargne, prévoyance...). L'agrégation de tous les flux projetés lui permettra d'obtenir une vision prospective de son bilan et de son compte de résultat.

Chez BNP Paribas Cardif, le méta-modèle ou processus de modélisation des contrats d'épargne utilisé pour les calculs Solvabilité 2 est décomposé en 3 sous-modèles :

- Le modèle de passif : projection des contrats d'assurance d'épargne individuelle et collective en vision déterministe et taux de rendement nul sur une durée de projection de 40 ans
- Le Générateur de Scénarios Economiques (GSE) : projection de l'environnement économique et financier (dont rendements des actifs actions, immobiliers, mais aussi des courbes de taux zéro coupons) sur la même durée de projection
- Le modèle d'interaction Actif-Passif : les flux issus du modèle de passif, les scénarios économiques issus du GSE, ainsi que toutes les données d'actif et les tables de paramétrage représentent l'ensemble des données utilisées dans le modèle d'interaction actif-passif. Il permet de prendre en compte entre autres éléments caractéristiques des contrats d'épargne, la projection détaillée de l'évolution de l'actif, l'évolution des réserves d'actif, le mécanisme de participation aux bénéfices (revalorisation des flux du modèle de passif sur la base des produits financiers issus de l'actif), la modélisation des actions de management de l'assureur et des assurés, et enfin le calcul des indicateurs de solvabilité tel que la meilleure estimation des passifs (BEL, Best Estimate Liabilities) ou la valeur actualisée des profits futurs (PVFP, Present Value of Future Profits)

Les trois modèles présentés ci-dessus visent à projeter le plus fidèlement possible la vie des différents contrats d'assurance modélisés (versement des primes, rachats, décès, maturités...) et leur impact sur le résultat assureur et la solvabilité de l'entreprise (sur la base des méthodes d'évaluations imposées par Solvabilité 2). Face à la complexité de l'environnement à modéliser, des limites techniques imposées par les progiciels mis à leur disposition et des délais imposés par le régulateur, les assureurs se voient dans l'obligation de faire des choix de modélisation qui auront un impact sur les résultats finaux. La préoccupation des assureurs et des régulateurs étant de minimiser les écarts à la réalité.

Parmi ces choix de modélisation, nous pouvons citer par exemple :

- L'agrégation des données de passif : face à l'impossibilité de projeter le passif de l'assureur contrat par contrat, l'assureur, en se basant sur les conditions générales des contrats, crée des groupes de

contrats homogènes aussi appelés "model point". L'objectif étant d'optimiser les temps de calcul sans perdre de l'information par rapport à la donnée de base.

- L'agrégation des données d'actif : comme pour l'agrégation des contrats d'assurance, l'assureur possède un portefeuille d'actif composé de nombreux titres tels que des actions, des obligations, des titres immobiliers, des produits structurés... De la même manière l'assureur crée des groupes homogènes de lignes d'actif (regroupement par maturité obligataire, type d'actif...) appelés aussi "model point d'actif" dans le but de faciliter la projection de son bilan.
- Méthode de construction du GSE : pour projeter l'évolution de son actif, l'assureur doit sélectionner un modèle de projection de certains indices financiers et procéder au choix de certaines hypothèses macro-économiques.
- Modélisation des interactions Actif-Passif et des actions de management : l'assureur met en place une gestion de sa politique de gestion de participation aux bénéfices, une modélisation de sa stratégie d'investissement.

Tous ces choix de modélisation peuvent donc conduire à certains écarts à la réalité, des erreurs dans l'analyse ou représenter un risque de modèle. Afin de maîtriser et assurer la qualité des chiffres produits par le modèle, l'assureur doit disposer d'une gouvernance de validation, incluant une compréhension de l'impact des choix de modélisation pris sur les indicateurs en sortie du modèle.

Nous allons nous intéresser dans ce mémoire à instaurer une démarche de compréhension et d'analyse de sensibilité du modèle appelée *Bridging*.

Cette démarche concerne uniquement le modèle interaction Actif-Passif. Le modèle de Passif, le générateur économique de scénarios ainsi que la construction des tables en entrée des différents modèles est supposée validée et ne fera pas l'objet de cette étude.

Dans un premier temps, nous présenterons les principaux concepts qui serviront de base à ce mémoire, à savoir, l'assurance vie, les fondements de Solvabilité 2 ainsi que la problématique du calcul du *Best Estimate Liabilities* et de la *Present Value of Futurs Profits*

Dans un deuxième temps, nous présenterons le modèle de projection actif/passif chez BNP Paribas Cardif. Nous définirons le risque de modèle en assurance et la validation de celui-ci d'un point de vue régulateur et assureur.

Par la suite, nous présenterons la méthode du *Bridging* dans un cadre général et nous étudierons sa mise en œuvre. Cette méthode se base sur la décomposition du processus de modélisation des contrats épargne en plusieurs modules de calcul. Chaque module représente une étape du *Bridging*. La compréhension et la maîtrise de chaque étape passent par la réponse aux questions suivantes :

- Est-ce que le code implémenté est correct ?
- Est-ce que les résultats fournis par le modèle sont intuitifs ?
- Est-ce que le modèle permet de garder la capacité d'analyser les résultats obtenus ?
- Est-ce que le modèle se comporte bien dans des situations stressées de type "*stress-testing*"?

Ensuite, cette méthode sera appliquée au modèle interaction Actif-Passif de BNP Paribas Cardif en le décomposant en plusieurs sous-modules : l'activation d'un sous-module de calcul représentera une étape du Bridging. L'étude sera menée sur les contrats d'épargne individuelle et collective du Fonds Général de BNP Paribas Cardif (fonds en euros) sans option d'arbitrages vers les autres fonds en unités de compte. Enfin, une analyse approfondie de chaque étape du Bridging permettra de répondre aux questions précédentes et de valider le bon fonctionnement du modèle en scénario central compte tenue du portefeuille étudié et des choix de modélisations faits par l'assureur.

Pour une compréhension plus approfondie, une analyse complémentaire sera faite pour étudier le comportement du modèle en situation de stress. La notion de "stress test" et l'intérêt de son utilisation seront démontrés. L'exemple du choc action est retenu pour l'analyse de l'impact des modules de calcul afin de justifier les choix de modélisation sur ce scénario envisagé et ainsi de valider la robustesse du modèle en scénario stressé.

1 Assurance vie

Le modèle sur lequel l'étude portera concerne les produits épargne de BNP Paribas Cardif. Pour cela, il nous semble important de définir les notions essentielles d'assurance vie utilisées dans la suite du mémoire.

Dans un premier temps, nous définirons la notion d'assurance vie, puis nous ferons un focus particuliers sur les contrats d'assurances vie en France avec la présentation des différents contrats et support en épargne.

1.1 Définition des opérations viagères et assurance vie

Nous commençons ce mémoire par une partie très généraliste, qui fixe les définitions et le vocabulaire de l'assurance vie :

1.1.1 Opérations viagères

Par opération viagère, nous entendons une opération dont les flux (montants et/ou échanges des capitaux) dépendent de la survie ou du décès d'une ou plusieurs personnes.

Exemples :

1- En contrepartie d'une prime fixée, une compagnie d'assurance s'engage à payer au moment du décès d'une personne X une somme fixée à un bénéficiaire désigné Y.

2- En contrepartie d'un capital payé à Y, X acquiert le droit d'entrer en possession au moment du décès de Y d'un immeuble appartenant à Y. Les opérations viagères dépendent donc des quantités aléatoires à savoir les durées de vie d'une ou de plusieurs personnes.

1.1.2 Assurance vie

On appelle assurance sur la vie (ou assurance-vie) une opération viagère pour laquelle les risques liés à la durée aléatoire de la vie humaine sont pris en charge par un organisme spécialisé (le plus souvent une compagnie d'assurance sur la vie) qui les mutualise dans un ensemble suffisamment étendu d'opérations similaires, de sorte qu'on puisse appliquer la loi des grands nombres. Le terme d'assurance sur la vie recouvre donc une gamme d'opérations plus restreinte que celui d'opération viagère.

Ainsi l'opération décrite dans l'exemple 1 ci-dessus est une assurance-vie dans la mesure où l'un des contractants est une compagnie d'assurance mutualisant les risques viagers dans un portefeuille de nombreux contrats similaires.

Par contre l'opération décrite dans l'exemple 2 ci-dessus n'est pas une assurance sur la vie, puisque, liant deux particuliers, elle n'est pas intégrée dans un portefeuille de nombreux contrats similaires au sein duquel les risques viagers seront mutualisés. Un contrat d'assurance vie peut couvrir :

- Le risque de décès : le contrat garanti en cas de décès de la personne assurée au cours d'une période de temps donnée des prestations (capitaux ou rentes) en faveur de bénéficiaires désignés.
- Le risque de survie : Le contrat garantit des prestations en faveur de l'assuré si celui-ci survit à des échéances fixées.

1.2 Les contrats d'Assurance vie en France

En France, nous appelons en général "assurance vie" un contrat qui est à la fois un contrat d'assurance vie décès et survie en même temps. Ce qui en fait un contrat d'épargne presque classique avec la seule particularité que l'échéance du contrat est aléatoire et dépend de la durée de vie de l'assurée. Les deux types de contrat d'assurance vie les plus courants en France sont les suivants :

- Les contrats monosupports: l'ensemble de l'épargne confiée par le souscripteur est placée dans des actifs de même nature, soit en fonds monétaire, soit en unités de compte.
- Les contrats multisupports: une partie de l'épargne confiée par le souscripteur est investie dans le fonds euro, l'autre en unités de compte.

1.2.1 Les contrats mono-supports

1.2.1.1 Les contrats en euros

Les contrats en euros sont principalement investis en obligations. Ils offrent une grande sécurité à l'assuré qui ne court aucun risque de perte de capital. En effet, l'assureur s'engage à verser à l'échéance du contrat le montant des cotisations nettes de frais de souscription et de gestion, auquel il ajoute les intérêts produits par le contrat. L'épargne confiée par le souscripteur ne peut qu'augmenter au fil du temps. En effet, chaque année, les placements vont générer des intérêts, qui une fois intégrés au capital, seront eux-mêmes producteurs d'intérêts : il s'agit de l'effet cliquet.

En contrepartie de cette sécurité, les perspectives de gains sont limitées. Afin de faire face à ses obligations, l'assureur doit constituer dans son passif une provision égale à son engagement envers l'assuré : la provision mathématique. A l'actif du bilan, les placements permettent de couvrir cette provision. Elle s'apprécie à chaque versement de prime du souscripteur et grâce à la revalorisation de l'épargne. En effet, à la souscription du contrat, l'assureur fixe le taux minimum garanti, qui correspond au taux minimum annuel de revalorisation de l'épargne. Peu importe les résultats des placements, l'assureur s'engage à revaloriser l'épargne à ce taux. Ce dernier obéit à des contraintes fixées par le régulateur du Code des Assurances et ne peut excéder:

- 75% du TME pour les contrats dont la durée maximale est inférieure ou égale à 8 ans

- Min (3,5% ; 60% TME) pour les contrats dont la durée est supérieure à 8 ans.

  Où " TME " désigne le taux moyen des emprunts d'État à long terme calculé sur les six mois précédant la souscription.

Il existe de nombreux types de taux minimum garanti (TMG) proposés par BNP Paribas Cardif, comme :

- TMG constant jusqu'à maturité du contrat.
- TMG constant sur une période de temps définie.
- TMG nul.
- TMG variable sur une période de temps définie : deux indices de références peuvent être utilisés : le taux du livret A ou le TME. Certains contrats peuvent comporter un taux calculé à la date d'adhésion (85% du TME pour une période de temps définie par exemple), d'autres peuvent comporter un taux garanti (fonction du taux du livret A par exemple).
- TMGA : garantie de taux de PB. L'assureur n'a pas l'obligation de fournir ce taux en cas de sortie.
- Taux boosté : un taux est appliqué la première année civile, puis un autre taux peut être appliqué l'année suivante.

Pour les contrats en euros, le risque est pris par l'assureur. Suivant l'évolution de ses placements, il peut être amené à puiser dans ses réserves afin de fournir le taux minimum garanti.

En plus du taux de revalorisation garanti, l'assureur a l'obligation de redistribuer aux assurés des contrats en euros une partie des bénéfices qu'il a réalisés au cours de l'année. Il s'agit de la participation aux bénéfices. Selon le code des assurances, les compagnies d'assurance doivent distribuer au minimum 90% de leurs bénéfices techniques et 85% de leurs bénéfices financiers. Ce dernier taux peut être contractuellement plus élevé.

L'assureur dispose de 8 ans pour restituer à l'assuré l'ensemble des produits financiers. Il peut affecter une partie des produits financiers sur un compte de réserve appelé provision pour participation aux excédents (PPE). Elle permet à l'assureur d'offrir à ses assurés des résultats constants dans le temps, en provisionnant davantage lorsque les produits financiers sont importants, et en puisant dans cette réserve dans le cas contraire.

Ainsi, trois options s'offrent à l'assureur pour gérer ses produits financiers :

- Augmenter la participation aux bénéfices
- Augmenter la provision pour participation aux excédents
- Combiner les deux méthodes précédentes

En plus, l'assuré a le droit de bénéficier de l'option de rachat. Cette option permet aux assurés de récupérer leur épargne à tout moment sans aucune pénalité.

Toutes ces options et garanties représentent un coût et un engagement pour l'assureur. Dans la suite nous étudierons plus en détails ces garanties ainsi que le risque que l'assureur devrait supporter.

1.2.1.2 Les contrats en unités de compte

Les contrats en unités de compte sont plus risqués mais offrent un rendement plus performant que les contrats en euros. Une unité de compte (UC) est composée de valeurs cotées sur le marché financier (le plus souvent des actions). C'est une " enveloppe " qui englobe un nombre indéterminé d'OPCVM (SICAV et FCP), d'actions et d'obligations. La diversification est totale, à tel point qu'il peut être difficile d'identifier l'identité exacte des actions composant cette enveloppe. Le rendement d'une UC dépend de celui de chaque SICAV et FCP qui dépendent eux-mêmes des rendements de chaque valeur qui les composent. Les assurés bénéficient intégralement des plus-values réalisées par les actifs en portefeuille mais supportent en revanche les moins-values. Contrairement aux contrats en fonds monétaire, le risque est entièrement supporté par l'assuré, à moins que le contrat inclut une garantie plancher. Lorsqu'elle existe, cette assurance complémentaire est généralement limitée au risque décès : l'assureur garantit un montant minimum de capital au bénéficiaire, peu importe l'évolution des cours des unités de compte. Dans le cadre de cette étude, nous ne considérerons pas les contrats en unités de compte, la participation aux bénéfices ne s'appliquant pas à ce type de contrat.

1.2.2 Les contrats multisupports

Les primes versées par le souscripteur d'un contrat multisupports sont réparties entre le fonds euro et les unités de compte. Ces contrats permettent à la fois de profiter du marché en cas de hausse tout en assurant un capital minimum. Comme une partie de l'épargne est placée sur le fonds euro, l'assureur doit fournir le taux minimum garanti et verser de la participation aux bénéfices sur la partie de l'épargne investie sur le fonds monétaire.

Les contrats multisupports offrent une grande liberté à l'assuré qui peut décider lui-même de la gestion de son épargne et de la répartition entre les différents supports. Plusieurs types de gestion existent:

- La gestion profilée où l'assuré confie la gestion de son épargne à des experts qui décideront de la meilleure répartition entre les classes d'actifs en fonction de son profil.
- La gestion libre où l'assuré décide seul des supports dans lequel il souhaite investir.
- La gestion à horizon (ou pilotée) où la gestion de l'épargne est fonction de l'âge de l'assuré : elle devient de moins en moins risquée au fil des années.

Comme précité auparavant, notre problématique réside dans le fait de valider le modèle interne de BNP Paribas Cardif pour répondre aux exigences réglementaire mises en place en Europe. C'est pourquoi, il est nécessaire à ce stade de définir en quelques lignes une vision globale des exigences réglementaires et d'en expliquer le principe. Dans un premier temps, nous rappellerons les trois piliers du cadre réglementaire et nous expliciterons les différentes composantes de calculs appliquées à la problématique des contrats épargne. Pour ce faire, la définition de bilan en valorisation économique sera donnée à travers les notions suivantes : Best Estimate Liabilities, la marge de risque et le "Solvency Capital Requirement"(SCR).

2 Cadre réglementaire

La réforme Solvabilité 2, qui a été initiée depuis quelques années et entrera en vigueur en 2016, est une réforme de la réglementation européenne du monde de l'assurance qui a pour objectif d'harmoniser et d'améliorer l'évaluation et le contrôle des risques des sociétés d'assurance de toute l'Europe.

2.1 Les trois piliers de Solvabilité 2

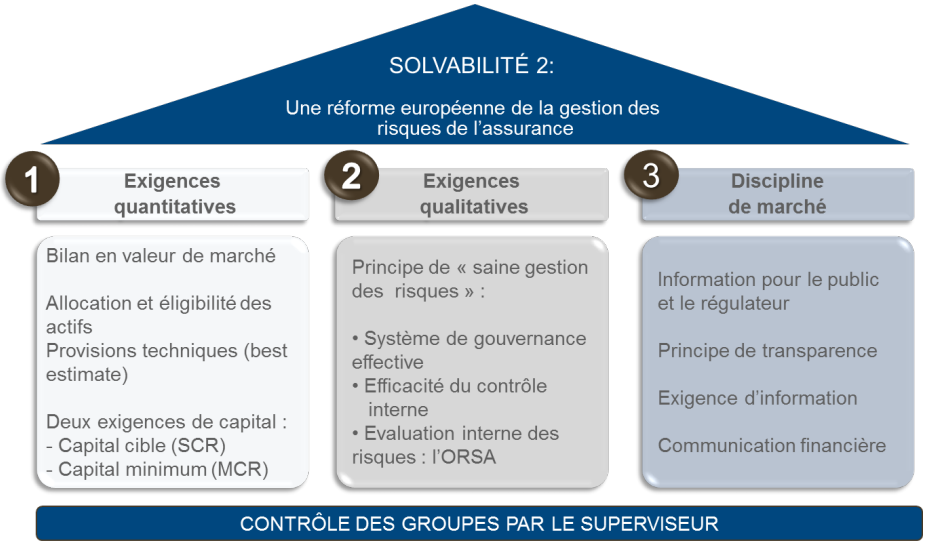


Figure 2.1: les 3 piliers de Solvabilité 2

Pilier 1 : Exigences quantitatives

Ce pilier a pour objectif de définir les normes quantitatives de calcul des provisions techniques et des fonds propres. Ces niveaux règlementaires sont définis pour les fonds propres : le MCR et le SCR.

- Le MCR (Minimum Capital Requirement) représente le niveau minimum de fonds propres en dessous duquel l'intervention de l'autorité de contrôle sera automatique.

- Le SCR (Solvency Capital Requirement) représente le capital cible nécessaire pour absorber le choc provoqué par un risque majeur (Par exemple : un sinistre exceptionnel, un choc de x% sur la valeur de marché des actions). Le SCR est défini comme étant le montant de fond propres dont doit disposer l'assureur pour faire face à une ruine économique à horizon 1 an et à un niveau de 99,5%.

Pilier 2 : Mise en place d'un processus de gestion des risques intégrés

Ce deuxième pilier a pour objectif de fixer des normes qualitatives de suivi des risques en interne aux sociétés et la façon dont l'autorité de contrôle doit exercer ses pouvoirs de surveillance dans ce contexte. Ce pilier incite aussi les entreprises à instaurer une démarche ERM (Entreprise Risk Management) et à mettre en place un processus ORSA (Own Risk Solvency Assessment).

Pilier 3 : Reporting et discipline de marché

Ce pilier a pour objectif de définir l'ensemble des informations détaillées auquel le public aura accès, d'une part, et auquel les autorités de contrôle pourront avoir accès pour exercer le pouvoir de surveillance, d'autre part.

2.2 La spécificité du Bilan S2 : une valorisation économique

L'article 75 (cf. EIOPA 2009 [1]) de la directive impose une méthode d'évaluation des actifs et des passifs en valeur de marché détaillée comme suit :

a) *les actifs sont valorisés au montant pour lequel ils pourraient être échangés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions de concurrences normales, entre des parties informées et consentantes.*

b) *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 concurrences normales, entre des parties informées et consentantes.*

Pour bien saisir les changements que propose Solvabilité 2, il est pertinent de comparer le bilan selon la nouvelle norme solvabilité 2 avec celui de solvabilité 1 :

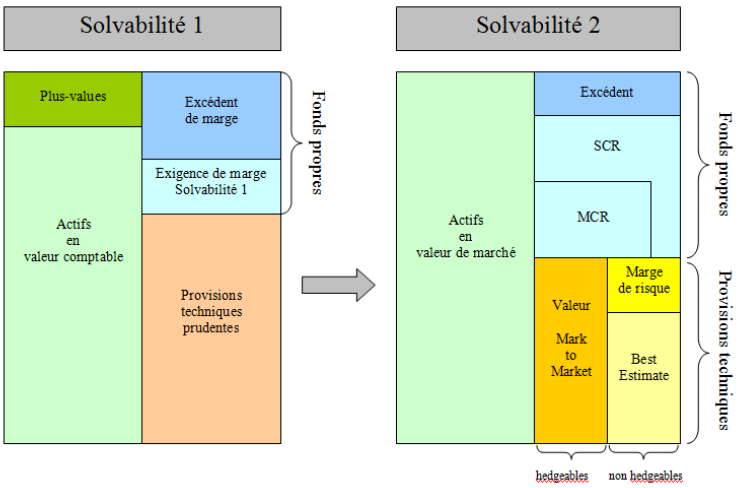


Figure 2.2: Comparaison entre bilan Solvabilité1 et Solvabilité2

On peut constater que sous Solvabilité 2, la vision comptable qui existe sous Solvabilité 1 disparaît sous Solvabilité 2, les actifs sont évalués en valeur de marché. De même, les provisions techniques y sont évaluées selon une approche économique permettant ainsi de définir le bilan prudentiel sous Solvabilité 2. Les provisions techniques sont donc calculées comme la somme de deux composantes :

- Le *Best Estimate Liabilities* de la valeur des engagements d'assurance.

- Une marge pour risque.

2.2.1 Méthode générale du calcul du *Best Estimate Liabilities* en assurance vie

Le *Best Estimate Liabilities* (BEL) en assurance vie nécessite un calcul relativement complexe à partir d'un modèle Actif-Passif. Un modèle Actif-Passif permettra de prendre en compte les interactions entre l'actif et le passif tout en valorisant les coûts des options et des garanties des contrats par une approche stochastique.

2.2.1.1 Définition du *Best Estimate Liabilities*

Selon la directive Solvabilité 2, le BEL correspond à l'espérance des flux futurs compte tenu de la valeur temporelle de l'argent (valeur actuelle attendue des flux de trésorerie futur) estimée sur la base de la courbe des taux sans risque.

Mathématiquement, cela se traduit par :

$$BEL = E^{P_a \otimes Q_f} \left[\sum_{u \geq 1} \delta_u \times L_u \right] \tag{2.1}$$

Avec :

- Q_f : la probabilité risque neutre (probabilité du monde financier, où le rendement moyen de tous les actifs est le taux sans risque).

- P_a : Probabilité réelle liée à l'environnement assurantiel.

- δ_u : Déflateur ou facteur d'actualisation. Avec $\delta_u = e^{-\int_0^u r_h d_h}$ et r_h : le taux court.

- L_u: les flux futurs de trésorerie à l'instant u (prestations, primes contractuelles, décès, rachat, frais,...)

2.2.1.2 Calcul du BEL et modèle ALM

Afin de caractériser la spécificité de l'assurance vie qui réside dans la corrélation directe entre le rendement de l'actif et la revalorisation des contrats (par le biais de la participation aux bénéfices et le comportement de rachat des assurés), le recours à un modèle actif passif ou ALM pour (*Asset& Liabilities management*) est nécessaire. Ce dernier permettra de modéliser les interactions entre l'actif et le passif.

2.2.1.3 Approche stochastique pour le calcul du BEL

Comme évoqué dans la première partie (1-2-1-1), les principales garanties et options associées aux contrats d'épargne sont le Taux Minimum Garantie et l'option de rachat. Pour chacun de ces garanties et options, l'assureur encourt un risque.

- Risque de TMG : l'assureur est confronté à ce risque lorsque le rendement de l'actif est inférieur au TMG. Dans ce cas, l'assureur est obligé de compenser cette différence pour honorer ses engagements contractuels.

- Risque de rachat : l'assureur encourt ce risque généralement lorsque les taux ont monté et que l'assureur n'a pas servi un taux de PB suffisant par rapport à celui de ses concurrents. Dans ce cas, les assurés exercent leur droit de rachat. Dans ce contexte, l'assureur doit réaliser des ventes d'obligations en moins-values latentes.

Exemple : Cas d'un TMG égal à 2% et un taux sans risque égal à 3%.

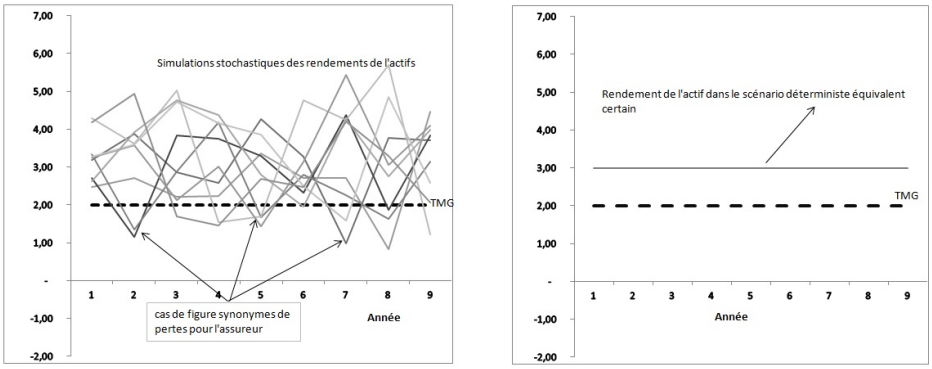


Figure 2.3: Comparaison entre l'approche stochastique et l'approche déterministe

L'approche stochastique permet donc de capter les risques liés à l'asymétrie du partage des produits financiers entre l'assureur et les assurés, ce qui fait apparaître le coût de la garantie. Par conséquent, l'autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) recommande l'utilisation d'une méthode type Monte-Carlo. Dans le cas contraire, si une simple approche déterministe est utilisée, ces risques ne seront pas correctement pris en compte et donc le BEL sera sous-estimé.

Dans la suite de ce mémoire, les principales caractéristiques du bilan seront évaluées en utilisant l'approche stochastique.

2.2.1.4 Marge de risque

Pour la définition de la marge de risque (MR) nous devons faire la distinction entre deux types de risques : risque couvrable et risque non couvrable.

- Risque couvrable (Hedgeable) : correspond au risque couvert par la construction d'une stratégie d'investissement à travers des instruments financiers qui permet de répliquer parfaitement les flux d'assurance. Nous pouvons prendre comme exemple les contrats UC sans garantie plancher où l'assureur ne s'engage qu'à placer l'argent de l'assuré dans des supports définis préalablement dans le contrat et donner la contre-valeur au moment du rachat. Cela veut dire que le $BE = S(0)$= Provision Technique (sous l'hypothèse que les chargements sur encours couvrent parfaitement les frais)

Avec $S(0)$: la valeur initiale du portefeuille UC investi.

- Risque non couvrable : dans le cas où les risques ne sont pas couvrables par la mise en place de stratégies financières qui répliquent les flux futurs, comme le cas de l'épargne Euro.

Par conséquent, la directive Solvabilité 2 part du principe que les risques non couvrables sont neutralisés à partir du moment où nous pouvons les céder à un tiers et que la marge pour risque correspond à la valeur

de ce transfert; égale au coût de l'immobilisation des fonds propres qui seront induits par ces nouveaux passifs d'assurance. Le taux du coût de capital CoC est fixé dans les spécifications techniques à 6%.

$$RM = E^{P_a \otimes Q_f}\left[CoC \times \sum_{u \geq 0} \delta_{u+1} \times SCR_u\right] \tag{2.2}$$

Avec : SCR_u correspond au besoin en capital à l'instant u.

Cette marge pour risque vient se rajouter au *Best Estimate* afin de déterminer les provisions techniques associées à ces risques uniquement pour les risques non couvrables. Dans ce mémoire, nous ne nous intéresserons pas à la problématique du calcul de la marge de risque.

2.2.2 SCR : *Solvency Capital Requirement*

2.2.2.1 Définition du SCR

Le SCR (ou le capital économique) correspond au montant de fonds propres dont doit disposer la compagnie pour faire face à une ruine économique à horizon d'un an et au niveau de confiance 99,5%. Mathématiquement, le SCR se traduit par le montant qui permettra :

$$P(NAV_1 \prec 0) \leq 0.5\%$$

- NAV_1 : représente le montant de fonds propres issu du bilan économique à horizon 1 an.
- P : la probabilité historique.

On peut donc montrer que :

$$SCR = NAV_0 - P(0,1) * q_{0,5\%}NAV_1$$

Où

- NAV_0 : fonds propres économiques aujourd'hui en $t = 0$ (déterministe)
- NAV_1 : fonds propres économiques en $t = 1$ (aléatoire)
- $P(0,1)$: le prix zero-coupon (facteur d'actualisation)
- $q_{0,5\%}NAV_1$: le quantile 0,5% de la distribution des fonds propres économiques

Pour déterminer la NAV, nous avons besoin de définir le bilan économique de l'assureur.

2.2.2.2 Bilan économique

A chaque date le bilan économique d'une compagnie d'assurance peut être représenté comme suit :

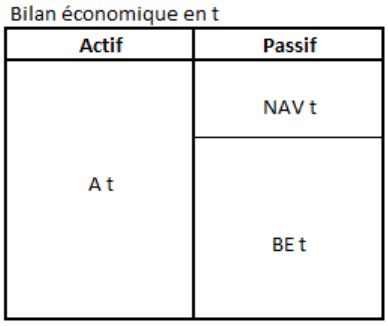


Figure 2.4: Bilan économique

Avec les notations suivantes :

- A_t : l'actif de l'assureur en valeur de marché
- BEL_t : le *Best Estimate Liabilities* soit la valeur économique des passifs
- NAV_t (*Net Asset Value*) : les fonds propres économiques qui sont définis en utilisant l'équation d'équilibre du bilan : $NAV_t = A_t - BEL_t$

A ce stade du mémoire, nous allons énoncer les deux approches de calcul du SCR : modèle interne vs formule standard. Puis, nous validerons l'intuition des actuaires sur la nécessité de construire un modèle de projection de flux adapté au profil de risque de l'assureur.

2.2.2.3 Approche par modèle interne pour le calcul du SCR

L'approche par modèle interne est considérée comme l'approche la plus naturelle pour le calcul du SCR. En effet, la méthode dite "simulations dans les simulations" (ou stochastiques dans les stochastiques) est à ce jour, l'une des méthodes les plus conformes aux critères de Solvabilité 2 (cf. Devineau, Loisel (2010) [2]). Cette méthode se résume en trois étapes :

- Etape 1 : Nous lançons P (par exemple 10000) simulations primaires en monde réel pour la projection des facteurs de risque.
- Etape 2 : Nous estimons le quantile 0.5% qu'on notera $q_{0,5\%}NAV_1$ de la distribution des fonds propres économiques NAV_1 en $t = 1$.
- Etape 3 : Nous en déduisons le SCR.

$$\widehat{SCR} = NAV_0 - P(0,1) * \widehat{q_{0,5\%}NAV_1}$$

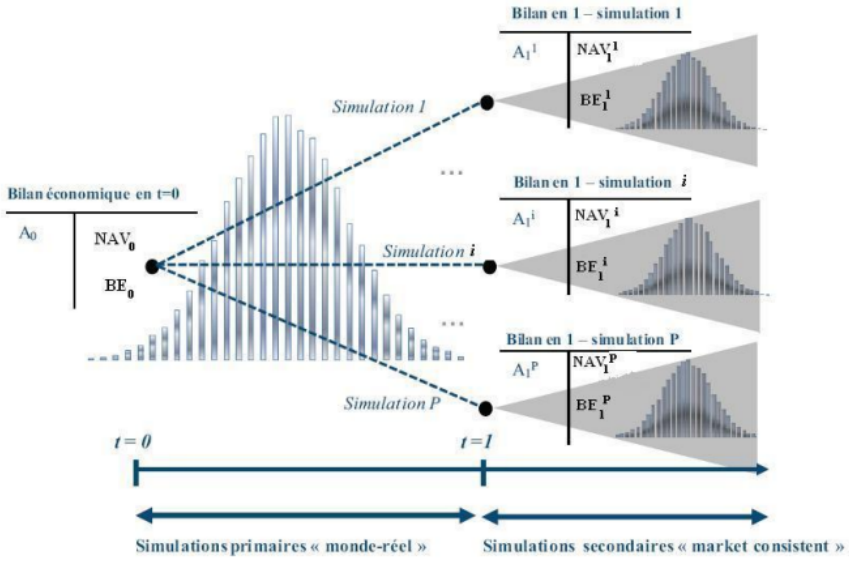


Figure 2.5: Calcul du SCR par modèle interne figure issue de (cf. Devineau, Loisel (2010) [2])

Dans chaque simulation réelle, le calcul du BEL en $t = 1$ nécessite une approche stochastique. Par conséquent, l'approche par modèle interne requiert de faire les simulations dans les simulations. Cette méthode s'avère compliquée à mettre en œuvre et seules les grandes compagnies ont les moyens de pouvoir développer de tels modèles.

2.2.2.4 Approche formule standard pour le calcul du SCR

Les compagnies d'assurance peuvent aussi utiliser la formule standard proposée par l'EIOPA définie actuellement dans la dernière version des spécifications techniques du 30 Avril 2014 pour calculer leur SCR. Cette approche est assez simple à mettre en œuvre et se base essentiellement sur une cartographie des risques de la compagnie présentée ci-dessous :

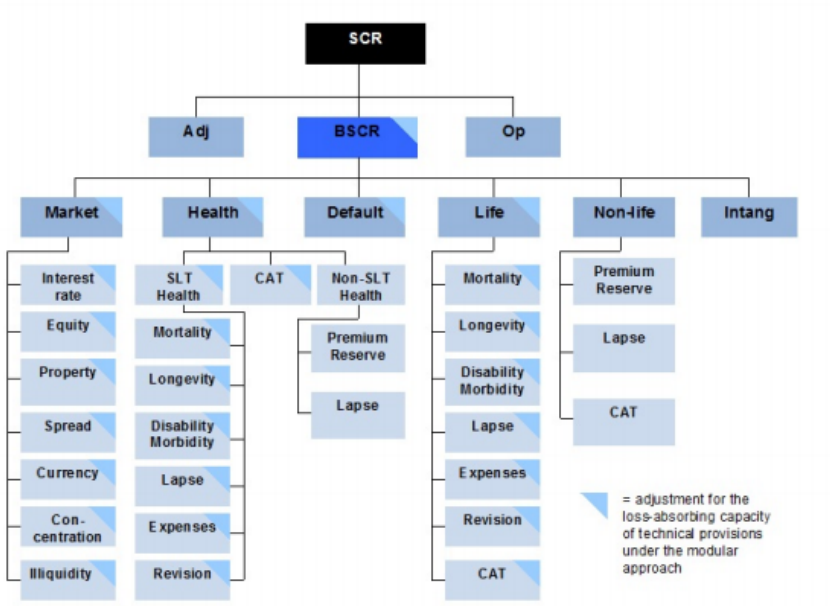


Figure 2.6: Cartographie des risques

Le SCR est obtenue avec la formule suivante :

$$SCR = BSCR + adj + Op$$

avec

- Adj : l'ajustement fait pour prendre en compte la capacité d'absorption des pertes par réduction des bénéfices discrétionnaires et par les impôts différés.
- Op : le capital économique lié au risque opérationnel.
- $BSCR$: le SCR de base calculé à l'aide d'une matrice de corrélation entre les différents modules de risque de la cartographie.

Selon la dernière version des spécifications techniques du 30 Avril 2014, nous avons :

$$BSCR = \sqrt{\sum_i^j CorrSCR_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j}$$

où SCR_i est le capital requis pour le risque i Avec :

- $SCR_i = \Delta NAV = NAV_0 - NAV_{choc} = (A_0 - BEL_0) - (A_{choc} - BEL_{choc})$
  - A_0 : valeur de marché de l'actif à la date d'évaluation
  - BEL_0 : *Best Estimate Liabilities* calculé à la date d'évaluation (cas central)

- A_{choc} : valeur de marché de l'actif après un choc instantané sur la facteur de risque i au niveau de risque 0.5

- BEL_{choc} : *Best Estimate Liabilities* calculé après choc instantané sur la facteur de risque i au niveau de risque 0.5

- $BSCR$ est le *Basic Solvency Capital Requirement* qui représente le capital requis avant tout ajustement.

- $CorrSCR_{i,j}$ représente la corrélation entre le risque i et le risque j. La valeur de $CorrSCR_{i,j}$ provient de la matrice de corrélation fournie par l'EIOPA.

	Market	**Default**	**Life**	**Health**	**Non-Life**
Market	1	0.25	0.25	0.25	0.25
Default	0.25	1	0.25	0.25	0.5
Life	0.25	0.25	1	0.25	0.25
Health	0.25	0.25	0.25	1	0.25
Non-Life	0.25	0.5	0	0	1

2.2.2.5 Nécessité d'un modèle

En effet, afin de satisfaire aux nouvelles normes de Solvabilité 2, avec toutes ses contraintes financières et comptables qui exigent une méthode d'évaluation des actifs et des passifs en valeurs de marché, l'assureur se trouve dans l'obligation de se doter d'un modèle de projection des flux qui lui permettra de répondre aux différentes questions de la nouvelle réglementation. A savoir, l'évolution de son actif et de son passif, l'évaluation des interactions actif-passif à chaque pas de temps et l'évolution de certains indicateurs qui lui permettront de mieux maitriser ses risques et de piloter sa rentabilité.

Pour la suite de l'étude, il est utile donc de présenter la problématique du modèle ALM de BNP Paribas Cardif, pour cela, nous définirons le contexte du modèle passif et du modèle actif. La maitrise du modèle interaction actif passif reste une notion importante pour mener une évaluation justifiable des engagements et des profits de l'assureur.

3 Modèle ALM de BNP Paribas Cardif

3.1 Présentation du modèle

Pour ses études, BNP Paribas Cardif dispose d'un modèle Actif-Passif développé sous le logiciel *Prophet* commercialisé par la société *Sungard*. Cet outil de modélisation dynamique a été adapté à la réglementation technique, financière et comptable de l'assurance par les actuaires (*models designer*). Il permet de simuler l'évolution du compte de résultat et du bilan pour un horizon donné en combinant scénario de production (chiffre d'affaires prévisionnel), scénario économique (ex : évolution des taux, rendement d'action,...) et politique financière.

En d'autres termes, afin de répondre aux nouvelles exigences de réglementation Solvabilité 2, BNP Paribas Cardif a développé un modèle de projection des flux de trésorerie (*cash-flows*). Ce modèle projette toutes les composantes du compte de résultat et les différentes caractéristiques du bilan de la compagnie d'assurance sur un horizon donné (40 ans dans le cadre de notre étude). Les résultats fournis par ce modèle seront ensuite utilisés pour déterminer les exigences de capital fixées par la réglementation Solvabilité 2.

Afin de mieux comprendre la mécanique du modèle, nous synthétisons le fonctionnement du modèle dans le schéma suivant :

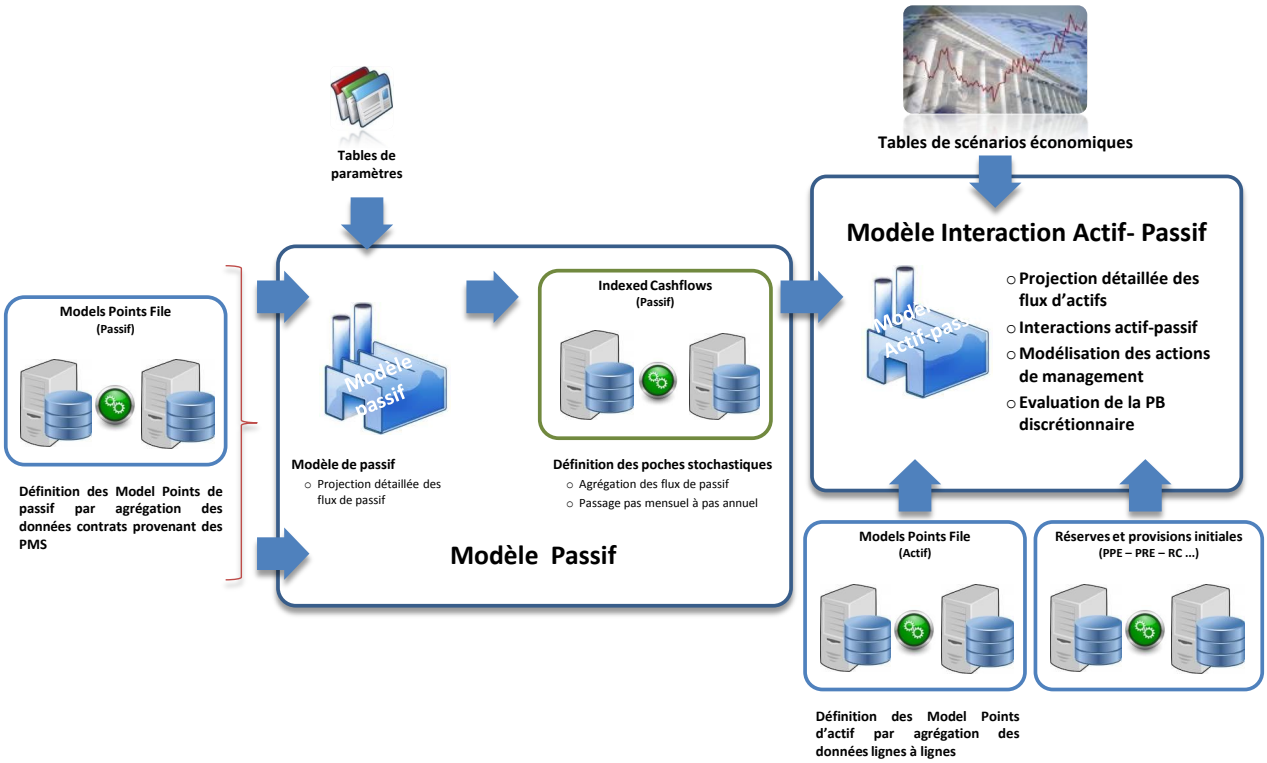


Figure 3.1: Schéma simplifié du fonctionnement du modèle ALM de BNP Paribas Cardif

Nous commençons d'abord par une définition du modèle ALM de l'assureur. Ce modèle peut être vu comme étant une machine de calcul composée de plusieurs modules :

- Sous-modèles : Passif et GSE (générateur de scénarios économiques)
- Tables d'inputs : Actif (en $t = 0$), réserves et provisions initiales

3.1.1 Passif

Le modèle "Passif" permet de projeter tous les flux du passif du bilan en déterministe à un pas de temps mensuel sur 40 ans afin de refléter au mieux la réalité.

La modélisation du passif passe tout d'abord par une segmentation du portefeuille à une maille fine regroupant des contrats homogènes (par exemple, des contrats avec le même taux minimum garanti ou issus du même réseau de distribution...). La maille d'agrégation est le "*model point*" appelé aussi "poche stochastique"). Une fois les "poches stochastiques" et leurs caractéristiques fixées, la projection du passif

se fait en prenant en compte les provisions mathématiques en $t = 0$, les tables de mortalités, les lois de rachat ainsi que les lois d'arbitrage du portefeuille. Le modèle permet de récupérer le montant des provisions mathématiques projetées mensuellement et valorisées au taux minimum garantie.

Les flux du passif sont modélisés en pas mensuel. Afin d'optimiser les temps de calcul des interactions actif-passif (que nous détaillerons dans la suite). Le pas de projection de ces flux est modifié en pas annuel. Cette table sert ensuite d'input au modèle actif-passif

3.1.2 Actif

Dans cette partie "actif" du modèle, nous présentons la situation de l'actif de BNP Paribas Cardif en $t = 0$. Ces informations sont regroupées dans différentes tables et correspondent à la composition du portefeuille obligataire, action et du montant du cash en t=0, en plus de la provision pour dépréciation durable (PDD) qui est définie par ligne d'actif.

Les titres d'actif passent tout d'abord par une agrégation à une maille fine rassemblant différents actifs de mêmes types appelés " *model point file* d'actif ". De manière générale, les types d'actifs sont segmentés en catégories d'actifs, qui contiennent elles-mêmes les lignes d'actifs.

Le type Action contient huit catégories :

- Action
- Alternatif R332-20
- Foncière cotée
- Foncière non cotée
- Investissement immobilier
- OPCVM Action
- OPCVM Diversifié
- OPCVM Obligation

Le type Obligation contient neuf catégories :

- Obligation taux fixe – R332-19
- Obligation taux variable – R332-19
- Obligation taux fixe – R332-20
- Obligation taux variable – R332-20
- Obligations taux fixe – Structurées – R332-19
- Obligations taux variable – Structurées – R332-19
- Obligations taux fixe – Structurées – R332-20

- Obligations taux variable – Structurées – R332-20
- Obligations indexées sur l'inflation.

(R332 : Article du code des assurances)

Cette segmentation, en catégories R332-19 et R332-20, permet au modèle de calculer les différentes réserves d'actif d'une manière optimale.

A cette table, s'ajoute les tables de paramétrage qui caractérisent l'actif en portefeuille et la stratégie d'investissement à respecter tout au long de la projection.

3.1.3 Générateur de scénarios économiques (GSE)

La projection sur le long terme des valeurs de marché des actifs financiers et des variables macro-économiques, souvent appelée "génération des scénarios économiques" représente un élément crucial dans la valorisation de l'actif et dans l'évaluation des garanties financières liées aux contrats épargne et dans le cadre des calculs de solvabilité 2. Pour des fins de calculs Pilier 1 de solvabilité 2 la projection doit être faite en univers risque-neutre. Pour cela, le générateur de scénarios économiques dont nous disposons est calibré en monde risque-neutre et permet donc de projeter l'évolution des rendements d'actions et d'immobilier ainsi que les taux d'intérêt et d'inflation. Plusieurs tests de martingalité sont mis en place pour vérifier l'aspect risque neutre et la qualité des jeux de scénarios en sortie du GSE.

3.1.4 Réserves d'actif et provisions

Dans cette partie, nous présentons les définitions des réserves d'actif (cf. Therond (2008) [5]) :

- Réserve de capitalisation (RC)
- Provision pour dépréciation durable (PDD)
- Provision pour risque d'exigibilité (PRE)

qui servent d'input au modèle ALM. En fonction de la situation de chaque catégorie d'actif au long de la projection, l'assureur se trouve en situation de dotation ou de reprise à ces réserves. Cela aura un impact sur les indicateurs de valeur et de solvabilité de l'assureur. L'enjeu de ces réserves sera étudié plus en détails dans la partie : mise en place du *Bridging*.

3.1.4.1 Réserve de capitalisation

La réserve de capitalisation est constituée lors des ventes d'obligations avant leur échéance. Cette réserve peut être dotée d'un montant égal à la différence entre le prix de vente et la valeur nette comptable de l'obligation si la différence est positive, ou vice- versa. La réserve de capitalisation est une provision particulière dans la mesure où elle fait partie des fonds propres de l'assureur, elle est donc éligible dans la constitution de la marge de solvabilité.

3.1.4.2 Provision pour dépréciation durable (PDD)

La PDD est constituée si la valeur de marché de l'actif est inférieure à sa valeur comptable pendant au moins 6 mois (durable). Cette provision est calculée ligne à ligne pour l'ensemble des actifs non obligataires. La règle est de constituer une PDD en cas de moins-value. Celle-ci est reprise en cas de vente d'actif ayant conduit à une dotation de PDD.

3.1.4.3 Provision pour risque d'éxigibilité (PRE)

La PRE doit être constituée lorsqu'une moins-value latente nette globale est constatée sur l'ensemble des placements (R332-20). En effet, si avant dotation de la PRE, l'assureur satisfait à la représentation des engagements réglementés et à l'exigence de marge de solvabilité, nous dotons alors la PRE à la hauteur d'un tiers de la moins-value latente nette des placements sans que cette dotation puisse conduire à un montant global de PRE supérieur à cette même moins-value latente nette. Dans tous les autres cas, la PRE inscrite au bilan est égale à la moins-value latente nette des placements.

3.1.5 Modèle interaction Actif-Passif

Afin de caractériser la corrélation directe entre le rendement de l'actif et la revalorisation des contrats (par le biais de la participation aux bénéfices et du comportement de rachat des assurés) ainsi de gérer les investissements des flux du passif, l'assureur doit disposer d'un modèle qui permet d'obtenir des calculs justifiables. Le modèle interaction Actif-Passif prend en entrée les outputs du modèle de passif (qui sont les provisions mathématiques revalorisées uniquement au TMG (Taux Minimum Garanti), et les jeux de scénarios économiques fournis à partir du GSE permettant de projeter l'actif et le passif de l'assureur sur 40 ans.

Afin de mieux refléter la réalité, le modèle doit prendre en compte toute la politique de gestion de participation aux bénéfices, les actions de management de l'assureur, la stratégie d'investissement mise en place par les gestionnaires d'actif ainsi que le rôle des provisions d'actif. D'où la complexité de ce modèle.

Pour prouver la complexité de ce modèle, nous prenons l'exemple du mécanisme de gestion de taux de participation aux bénéfices à servir ainsi que l'exemple de la stratégie d'investissement mise en place par l'assureur pour respecter ses engagements.

3.1.5.1 Exemple : mécanisme de gestion de taux de participation aux bénéfices

Le taux de participation aux bénéfices servi par l'assureur à l'assuré est l'un des facteurs les plus influents sur l'activité de la compagnie. Le comportement de l'assuré est très sensible à la variation du taux servi. Par conséquent, la mise en place des actions de management qui permettent la bonne gestion de ce taux s'avère être indispensable. Ce mécanisme doit être modélisé par l'assureur pour avoir une meilleure visibilité sur son activité.

Face à la concurrence, l'assureur cherche à servir à l'assuré un taux cible qui résume la situation du marché. Pour ce faire, il investit son actif et récupère donc des produits financiers. Si ces derniers ne suffisent pas à financer le taux espéré par l'assuré, l'assureur utilise deux leviers de financements, la PPE (provision pour participation aux excédents que nous définissons dans la suite) et la marge assureur (la part des produits financiers que l'assureur conserve chaque année). Dans le cas contraire, l'assureur dote la PPE.

Définition de la provision pour participation aux excédents (PPE)

Les assureurs ont la possibilité de ne pas distribuer immédiatement la participation aux bénéfices prévue par la réglementation, ils disposent d'un délai de huit ans. Au lieu de la redistribuer immédiatement, l'assureur peut donc la provisionner via la Provision pour participation aux excédents. La PPE étant un bien collectif, l'assuré sera pénalisé s'il retire son épargne avant la distribution effective des bénéfices car il ne peut pas réclamer sa quote-part de PPE lors d'un rachat. La PPE est donc une réserve de participation aux bénéfices. Souple d'utilisation, elle permet soit de lisser le taux servi à l'assuré, soit de palier les résultats d'une année marquée à la baisse. Elle est donc la véritable variable d'ajustement des taux de servi.

La PPE peut connaître des mouvements de dotation ou de reprise. Cela dépend du taux cible à servir aux assurés. Si les produits financiers de l'assuré suffisent à servir le taux cible, le surplus serait doté à la PPE et vice-versa.

Ce mécanisme représente l'ensemble des actions de management établi par l'assureur pour une bonne gestion du taux servi.

3.1.5.2 Exemple : mécanisme de la stratégie d'investissement

Nous pouvons aussi visualiser la complexité du modèle via la modélisation de la stratégie d'investissement. Cette dernière a pour objectif de reproduire ce que les gestionnaires d'actifs font dans la réalité à savoir, les achats et les ventes à effectuer tout en respectant certaines contraintes.

Dans le modèle, la stratégie d'investissement est composée de quatre étapes consécutives, qui se produisent toutes au 31 Décembre de chaque année. A chacune de ces étapes, différents calculs d'achats/ventes d'actifs sont réalisés. Quatre étapes de la stratégie sont définies de la manière suivante :

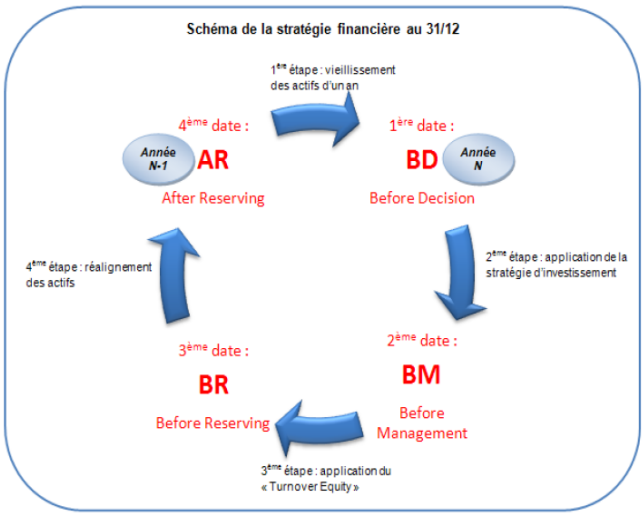


Figure 3.2: les étapes de la stratégie d'investissement

- *Before Decision* (noté "BD"): à cette date, la valeur des actifs n'est pas impactée par des achats/ventes. L'appellation "*Before Decision*" a été adoptée car à cette date aucune décision d'achats/ventes

n'a encore était effectuée (décision de management ou de prise en compte des réserves). Un an s'est écoulé, aucun achat/vente d'actifs n'est réalisé. La valeur des actifs est donc impactée par le vieillissement des actifs d'un an.

- *Before Management* (noté "BM"): à cette date, les actifs sont impactés par les achats/ventes opérés par l'application de la stratégie d'investissement. Cette date intervient avant le pilotage des plus ou moins-values (action de management), d'où l'appellation "*Before Management*".

- *Before Reserving* (noté "BR"): à cette date, les actifs sont impactés par des achats/ventes réalisés par l'application du turnover s'il a été activé par l'utilisateur. Le turnover consiste à réaliser des achats/ventes des actions uniquement dans le but de générer des produits financiers : un certain montant d'actif est vendu, puis immédiatement racheté. Cette vente d'actifs permet de générer des gains ou des pertes, ce qui modifie la valeur comptable des actifs en portefeuille. Cette étape intervient avant la prise en compte des provisions d'actif, d'où l'appellation "*Before Reserving*".

- *After Reserving* (noté "AR"): à cette date, le réalignement est réalisé. Il consiste à égaliser l'actif et le passif tout en respectant la stratégie d'investissement. Cette étape intervient après la prise en compte des provisions, d'où l'appellation "*After Reserving*".

Ces deux mécanismes représentent un ensemble d'action de management fait par l'assureur qui est implémenté dans le modèle ALM.

Les 3 éléments cités dans les parties précédentes, "modèle Passif", "Générateur de scénarios économiques" et "modèle interaction Actif- Passif" représentent donc trois outils qui permettent de produire des calculs réglementaires mais aussi tactiques et stratégiques. Avec un total de plus de 20 000 lignes de code et plus 90 000 variables, le modèle est considéré comme un outil de calcul assez complexe à maitriser et à valider. Par conséquent, le risque de modèle est un des risques les plus probables dans ces situations et peut avoir des impacts directs sur les décisions stratégiques de la compagnie et sur sa solvabilité.

Afin d'éviter ce risque, les compagnies d'assurance doivent être en mesure de mettre en place des processus de gestion de ce risque et des stratégies de gouvernance de leurs modèles qui permettront de comprendre et maitriser les chiffres en sortie de leurs modèles.

Nous allons donc nous intéresser dans la prochaine partie au risque de modèle ainsi que ses différentes sources.

Pour que l'assureur prenne conscience de l'importance de sa bonne gestion d'actif passif, il est indispensable de comprendre la problématique de la mise en place d'un modèle en étudiant les risques de celui-ci et d'en étudier sa validation.

4 Risque de modèle et validation

4.1 Définition du risque de modèle

La première idée qui vient à l'esprit quand nous entendons "risque de modèle", c'est le risque de se tromper dans la modélisation et les conséquences sur les résultats finaux en sortie du modèle.

Le risque de modèle a été défini dans un premier lieu dans le monde de la banque et de la finance. Le risque de modèle est un type de risque qui se réalise lorsqu'un modèle financier, utilisé pour mesurer un risque de marché d'une entreprise ou la valeur de transactions financières, n'accomplit pas les tâches ou ne reflète pas correctement les risques pour lesquels il a été conçu.

Dans le monde de l'assurance, une définition plus générale est celle proposée dans le papier de Shaun Wang et al. [3] : " Le risque de modèle peut provenir de diverses formes d'erreur, ou de la construction ou de l'utilisation d'un modèle ".

Dans le cadre de notre étude, pour les contrats d'assurances vie, la prise de conscience de l'importance du risque de modèle a augmenté avec le développement des outils sophistiqués de projection des flux. Ces outils utilisés pour les calculs de solvabilité 2, des calculs de capitaux réglementaires, des projections du business plan, notamment dans le cadre de l'ORSA (*Own Risk Solvency Assestment*) sont devenus indispensables. De manière générale, les modèles de calcul sont devenus des outils non seulement de communication des chiffres mais des outils d'aide à la décision et à l'organisation des compagnies d'assurance. Par ailleurs, avec une utilisation de plus en plus fréquente des modèles, le risque de modèle devient très probable et peut devenir parmi les risques qui peuvent influencer sur les décisions de la compagnie. L'assureur doit donc être capable de maitriser, de limiter ainsi de mesurer ce risque.

Cette définition met l'accent sur les multiples sources de risques qu'il peut y avoir. Ainsi, pour limiter un tel risque, une étude menant à l'identification des sources potentielles de ce risque et surtout la connaissance des limites du modèle permettra de mieux maitriser et gérer ce risque.

Le risque de modèle étant défini, nous allons analyser quelles en sont les sources.

4.2 Les sources du risque de modèle

Le risque de modèle pourrait avoir plusieurs sources, à savoir, les données utilisées et la nature du modèle. Nous pouvons regrouper les modèles dans 3 catégories :

- Modèles statistiques : ces modèles se basent principalement sur des observations historiques et des hypothèses purement mathématiques.

- Modèles d'experts : ces modèles font recours à des hypothèses faites par des experts.
- Modèles mixtes : ce type de modèle combine les deux premiers modèles.

Les modèles utilisés par les actuaires sont en général des modèles de type modèle mixte. Ces modèles combinent des hypothèses statistiques avec des jugements d'expert. En effet, il existe des modèles pour lesquels, il n'existe pas assez de données qui permettent de les calibrer. Cela dépend essentiellement de type du modèle et de ce que l'entreprise cherche à modéliser. C'est pour cette raison que, par exemple, le recours à des avis d'expert est considéré comme une solution qui permet de remédier à cette problématique. Par conséquent, un intérêt particulier pour les sources potentielles du risque de modèle permettra de mieux suivre et comprendre l'apparition d'un tel risque.

Nous pouvons distinguer entre plusieurs sources de risques modèles. Le graphique suivant montre les diverses sources potentielles du risque de modèle (cf. T. Lallement et al. [4]):

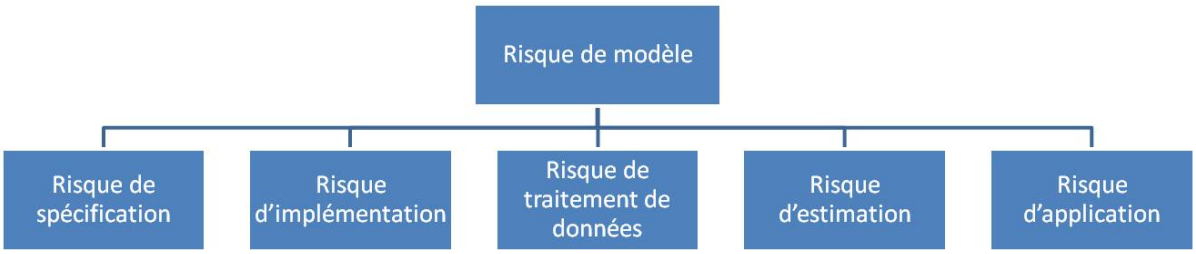


Figure 4.1: Les sources du risque de modèle

4.2.1 Risque de spécification

Le risque de spécification est le risque que l'actuaire se trompe dans le choix de son modèle qui lui servira à évaluer son risque assurantiel ou financier. Le modèle peut être inapproprié et inadapté dans deux cas :

- Si le modèle n'est pas adapté au type de risque qu'on souhaite étudier.
- Si les hypothèses du modèle ne sont pas vérifiées en réalité.

Ainsi, avant le choix du modèle à utiliser, l'actuaire doit se poser des questions sur le risque qu'il cherche à modéliser, les données à sa disposition et sur le type de modèle qu'il pourrait utiliser pour modéliser de ce risque.

4.2.2 Risque d'implémentation

Le risque d'implémentation peut se définir comme le risque qu'un mauvais algorithme soit choisi pour implémenter les spécificités du modèle ou le risque que l'algorithme soit approprié mais qu'il contienne des erreurs de codage.

En effet, la complexité des techniques de codage employées ne permet pas d'effectuer une revue approfondie du code. Cependant, des erreurs d'implémentation peuvent exister et engendrer des résultats incohérents et injustifiables.

4.2.3 Risque de traitement des données

L'actuaire dispose en général d'une grande quantité de données. Cependant, une mauvaise compréhension et utilisation de ces dernières peut générer divers biais que ça soit dans le choix du modèle ou dans son calibrage.

Souvent, l'actuaire rencontre deux problématiques avec ses données : choix de l'historique des données et retraitement des données. Par conséquent, il doit être en mesure de choisir les données qu'il utilisera dans sa modélisation d'une manière précise et adaptée.

4.2.4 Risque d'estimation

Le risque d'estimation couvre le risque de "mal" estimer les paramètres du modèle. En effet, nous utilisons, en général, dans un modèle, un paramètre estimé et non le vrai paramètre (inconnu). De plus, les méthodes d'estimation des paramètres donnent parfois des valeurs très différentes ce qui rend la définition du paramètre approprié compliquée.

4.2.5 Risque d'application

Le risque d'application peut être causé par la complexité des modèles. En effet, plusieurs modèles reposent sur des travaux de recherche et des connaissances théoriques et techniques poussées, ce qui rend parfois leurs implémentations et leurs utilisations compliquées à mettre en place.

Afin de pallier à cette problématique, les actuaires se trouvent dans l'obligation d'utiliser des approximations qui permettent d'utiliser les modèles à partir des données disponibles.

Les risques étant identifiés clairement, nous devons mettre en place une validation de ces modèles : Bridging, dont nous définirons la notion et sa mise en œuvre.

4.3 Validation du modèle

La prise de conscience de l'importance et de l'augmentation du risque de modèle par les assureurs et par les régulateurs fait du sujet de validation des modèles une problématique incontournable. Pour des raisons à la fois stratégiques et de solvabilité, l'assureur doit être en mesure de justifier et de comprendre les résultats issus de ses modèles.

Le régulateur s'intéresse aussi à la validation des modèles via le consultation Paper 56, (cf. EIOPA 2009 [6]) où il suppose que tout modèle ne peut prévoir des événements futurs avec exactitude et que la validation du modèle peut fournir une certaine confiance au modèle et valider que celui-ci répond bien aux objectifs pour lesquels il a été développé.

La validation est donc définie par le régulateur comme étant un ensemble d'outil et de processus utilisé pour gagner confiance sur les résultats en sortie du modèle, sur la conception, le fonctionnement, ainsi que tout processus lié au développement du modèle. Ces outils et processus de validation sont à la fois quantitatifs et qualitatifs. Le régulateur indique aussi que si l'assureur dispose seulement d'un système de validation quantitatif sans porter attention aux interprétations qualitatives des résultats, l'assureur encourt un grand risque car il ne sera pas en mesure de concevoir des outils qualitatifs qui reflètent bien son profil de risque et son business.

Le régulateur via l'article 8.18 du Consultation Paper 56 (cf. EIOPA 2009 [6]) considère que le processus de validation doit porter aussi sur :

- La qualité des données
- Les choix de modélisation
- Les hypothèses de modélisation
- Les avis d'expert
- La documentation
- Les systèmes et l'IT (infomation technology)
- La gouvernance des modèles

De notre part, nous considérons qu'une bonne maitrise du processus de validation permet à l'assureur de gagner confiance sur la qualité et la robustesse de son modèle. Pour ce faire, un cycle de validation doit être mis en place par l'assureur. Il doit consister à utiliser les résultats issus de l'ensemble d'outil quantitatif de validation qui, après une analyse qualitative approfondie de leurs résultats, permettront par la suite de comprendre le fonctionnement du modèle et ainsi de déterminer les évolutions futures du modèle. Le diagramme suivant résume le cycle de validation du modèle :

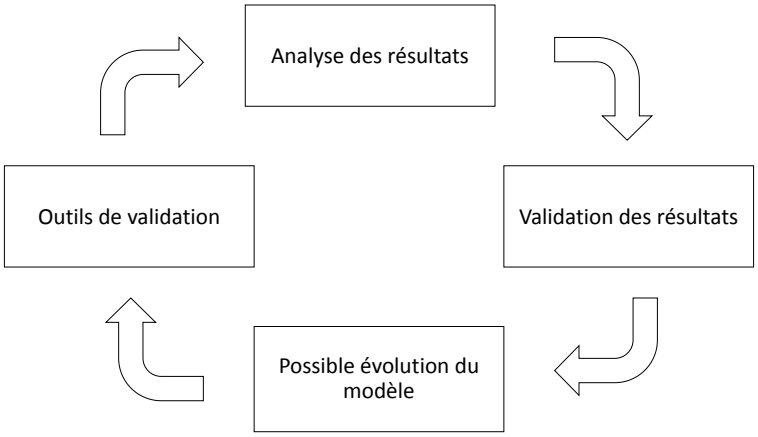


Figure 4.2: Cycle de validation du modèle

Afin de valider le modèle, nous pouvons utiliser des outils de validation à savoir :

- Test des résultats du modèle contre les résultats d'expérience
- Test de la robustesse du modèle
- Test du comportement du modèle en situation de scénario stressé

Dans la suite du mémoire, nous discuterons plus en détails les deux derniers outils de validation. L'application de ces outils de validation au modèle de BNP Paribas Cardif permettra comprendre et maitriser les chiffres en sortie du modèle. Dans la partie 3.1, nous avons défini le modèle ALM comme étant une machine de calcul composée essentiellement de trois périmètres de calcul :

- Passif
- GSE (générateur de scénarios économiques)
- Interaction Actif-Passif

Le modèle de "Passif" permet de projeter tous les flux du passif en utilisant les différentes hypothèses de rachat, mortalité, arbitrages, etc. Nous allons donc supposer que l'actuaire est capable de bien modéliser le passif de son portefeuille et que plusieurs travaux de recherche et d'études ont été faits dans ce sens et ont permis de bien maitriser et cadrer la modélisation du passif.

De même pour le GSE, nous allons supposer qu'il est correctement calibré en risque-neutre et qu'il existe des méthodes et des tests permettant de juger de la qualité des jeux de scénarios fournis. Par conséquent, nous allons admettre que la partie "générateur de scénarios économiques" est maitrisée pour un actuaire.

Enfin, la partie "interaction Actif-Passif" qui permet de modéliser :

- Les actions de management

- La stratégie d'investissement
- Les interactions avec les provisions d'actif
- La politique de gestion de la participation aux bénéfices discrétionnaire

Est considérée comme la partie de la modélisation la plus complexe à maitriser et à valider. Cette problématique est très peu abordée dans les travaux de recherche actuarielle.

Pour notre étude, nous allons nous concentrer plus particulièrement sur le modèle "Interaction Actif-Passif" en essayant d'étudier les différentes sources de risques évoquées ci-dessus. Pour cela, nous allons proposer une méthode qui permettra de parcourir toutes les étapes de la modélisation et donc de répondre aux différentes questions essentielles pour la justification de la robustesse du modèle et sa qualité.

L'étude et la maîtrise de ce risque passe donc par la réponse aux questions suivantes :

- Est-ce que le code implémenté est correct ?
- Est-ce que les résultats fournis par le modèle sont intuitifs ?
- Est-ce que le modèle permet de garder la capacité d'analyser les résultats obtenus ?
- Est-ce que le modèle se comporte bien dans des situations stressées de type " stress-testing "?

La réponse à ces questions passe par une analyse approfondie du modèle ce qui permettra de justifier la robustesse du modèle, de valider son bon fonctionnement et ainsi d'augmenter le degré de confiance associé à cet outil.

Le but de la prochaine partie est d'expliquer au lecteur la méthodologie adoptée pour la validation du modèle : *Bridging*, sa mise en œuvre en définissant les différents liens entre les étapes de validation.

5 *Bridging* : cadre général et application

5.1 Définition

L'étude *Bridging* entre dans le cadre des travaux de validation de la robustesse d'un modèle et d'une meilleure compréhension des effets combinés des paramètres sur le modèle. En outre, une préoccupation majeure de la modélisation est de juger de la fiabilité et de la crédibilité des résultats du modèle.

L'idée du *Bridging* est de définir une segmentation du modèle étudié en plusieurs modules de calcul.

Un module de calcul désigne une fonction permettant d'effectuer un traitement indépendant. Le *Bridging* du modèle consiste à construire un pont. Ses piliers seront les étapes du *Bridging*. Au fur et à mesure que nous avançons dans l'étude, à chaque pilier, un module de calcul est ajouté aux précédents. Ainsi, pour chaque étape, une analyse qualitative actuarielle est faite et permet de valider les résultats et leurs cohérences.

Afin de comprendre entièrement comment est mis en œuvre le *Bridging*, nous définissons dans la suite le terme "module de calcul" ainsi que la méthode qui permet de les cartographier.

5.2 Modules de calcul au sein du modèle

Les piliers du *Bridging* correspondent aux modules de calcul présents au sein du modèle, activables à chacune des étapes du *Bridging*.

L'activation d'un module de calcul reste à la main de l'assureur et n'impacte aucunement le bon fonctionnement du modèle. L'identification des modules de calculs est cruciale, car l'ensemble de l'étude se base sur l'analyse et la compréhension des impacts liés à l'activation de chacun de ces modules de calcul. En effet, il s'agit d'identifier la base élémentaire des modules de calcul activables composant le modèle.

L'activation d'un module de calcul s'effectue lors d'une étape du *Bridging*. Dans notre étude, nous avons identifié 9 modules de calcul. Ainsi, l'activation de tous ces modules un à un permet de parcourir tout le processus de modélisation des contrats d'épargne.

Par la suite, nous définirons, plus en détail les différents modules de calcul que nous avons cartographiés ainsi que la définition et l'enjeu de chacun d'eux.

5.3 La mise en œuvre du *Bridging*

Le *Bridging* consiste donc à mener une étude globale et approfondie sur la robustesse du modèle pour le valider et conclure de son bon fonctionnement. Ainsi, la mise en œuvre de cette méthodologie passe par

un processus organisé sur trois axes :

- Choix et fonctionnement de chaque fonctionnalité.
- Identification des dépendances au sein du modèle
- Analyse des impacts sur les résultats : démarche d'analyse.

Nous détaillerons dans la suite du mémoire ces différents axes.

5.3.1 Analyse du fonctionnement de chaque module de calcul

Dans un premier temps, l'objectif est de définir une succession d'étapes permettant à chacune d'elle d'activer un module de calcul. En effet, le *Bridging* repose sur un mécanisme de décomposition du modèle en une somme de modules de calcul activables. L'analyse de chaque module permet la validation de sa "bonne" exécution. Ainsi, étape par étape, nous arrivons à valider la bonne construction du modèle "Interaction Actif-Passif".

5.3.2 Identification des dépendances au sein du modèle

Dans un deuxième temps, l'idée est d'identifier les dépendances existantes entre les modules de calcul au sein du modèle.

Nous pouvons avoir trois types de liens :

- Lien de subordination.
- Lien d'interaction.
- lien d'indépendance.

5.3.2.1 Le lien de subordination

Le fait que l'activation d'un module de calcul soit subordonnée à l'activation d'un autre crée un lien de subordination. En effet, si le module de calcul principal est désactivé, celui qui lui est subordonné le sera également. L'activation du module de calcul principal " peut entrainer l'activation simultanée du module de calcul subordonné ou alors permettre simplement l'activation potentielle du module de calcul subordonné.

5.3.2.2 Le lien d'interaction

Un lien d'interaction entre les modules de calcul existe si certaines fonctionnalités influent sur le calcul d'autres modules de calcul. Ce type de lien joue un rôle important dans la définition et le choix de l'ordre d'activation des modules.

A titre d'exemple, nous pouvons citer que l'activation du module de calcul "réserve de capitalisation" n'aura aucun rôle, uniquement sur le résultat assureur, si l'actif du modèle est composé à 100% de

monétaire. Ainsi, il ne doit être activé qu'après l'activation du module de calcul de "Actif réel de l'assureur".

Il est important de distinguer le lien d'interaction du lien de subordination car :

- Le lien de subordination définit explicitement l'ordonnancement des modules de calcul à suivre (Le module de calcul subordonné sera activé après le module de calcul "principale").
- Le lien d'interaction permet de déduire l'ordonnancement selon la façon dont les modules de calculs interagissent entre eux.

5.3.2.3 Le lien d'indépendance

Un module de calcul indépendant peut être défini comme un module de calcul qui n'est subordonné à aucun autre et n'interagit directement avec aucun autre.

5.3.3 Analyse des impacts sur les résultats : démarche d'analyse

Au final, après le choix des "modules de calcul" ainsi que de leur ordre d'activation, le *Bridging* consiste à activer successivement chacune des modules de calcul afin de pouvoir analyser leurs impacts au niveau du fonctionnement et au niveau de la qualité des résultats produits.

L'objectif serait donc d'analyser d'une manière qualitative et actuarielle l'évolution de différents indicateurs que nous verrons par la suite. L'analyse est faite en effectuant la comparaison des résultats de l'étape i et l'étape $i-1$ afin de mieux comprendre l'impact de l'activation de chaque module de calcul. Le but est d'avoir une réconciliation entre les résultats obtenus du modèle et les résultats attendus par l'assureur d'un point de vue business, ce qui nous permettra de valider la robustesse du modèle.

Pour comprendre l'utilité du choix de cette méthode de validation (*Bridging*), nous présenterons son objectif principal spécifique à BNP Paribas Cardif, les différentes étapes de validation et le choix d'indicateurs qui nous permettront de valider étapes par étapes le modèle étudié.

6 Application de la méthode du *Bridging* sur le modèle de BNP Paribas Cardif

6.1 Objectif

Dans cette application, nous allons mener une étude sur le fond Euro de BNP Paribas Cardif. L'objectif étant de valider le modèle interaction actif-passif de l'assureur. Pour se faire, nous commencerons par cartographier les différents modules de calculs existants dans le modèle en fonction de leurs liens respectifs. Une étude approfondie de chaque module de calcul défini un pilier du "*Bridging*". L'objectif est de confirmer que, dans chaque étape du *Bridging*, l'assureur comprend et maitrise l'évolution des indicateurs choisis. Plus généralement, la bonne compréhension de chaque étape, au final, permet de valider le modèle au complet.

Ainsi, pour une meilleure compréhension du modèle, un intérêt particulier doit être porté au choix des étapes du *Bridging* et à leur ordonnancement.

6.2 L'ordonnancement des piliers du *Bridging*

A l'aide des dépendances préalablement définies, l'ordre d'activation des modules de calcul peut être défini. Concernant les liens de subordination, l'ordre est immédiat : le module de calcul subordonné sera activé après le module de calcul dont il dépend. Pour ce qui est des liens d'interaction, une attention particulière doit être apportée sur les modules de calcul qui sont impactées et, voir si éventuellement ils ont des fonctionnalités dépendantes. Dans notre cas, nous avons cartographié uniquement des liens d'interaction entre les modules de calcul.

Cela nous a permis de définir les étapes de l'étude. L'ordre des étapes se fait en fonction de la logique énoncée ci-dessous. Premièrement, nous commencerons l'étude par le modèle le plus simple qu'on peut s'imaginer, un modèle où l'assureur s'engage à servir un taux minimum garanti à son assuré et où l'actif est investi 100% en monétaire. A partir de cette étape, nous activons le mécanisme de Participation aux bénéfices et nous étudions l'impact de la politique de gestion de PPE et du taux cible sur les indicateurs sélectionnés. Ensuite, l'idée est de modifier l'actif, de ne plus l'investir uniquement en monétaire, mais d'activer l'actif correspondant à l'actif réel de BNP Paribas Cardif, investi dans des actions et des obligations. L'activation des réserves d'actif (Réserve de capitalisation /Provision pour dépréciation durable/Provision pour risque d'exigibilité) est par la suite nécessaire dans la compréhension et la maitrise du rôle de ces réserves dans le bilan de l'assureur. Le graphique suivant résume toutes les étapes du *Bridging* que nous allons analyser :

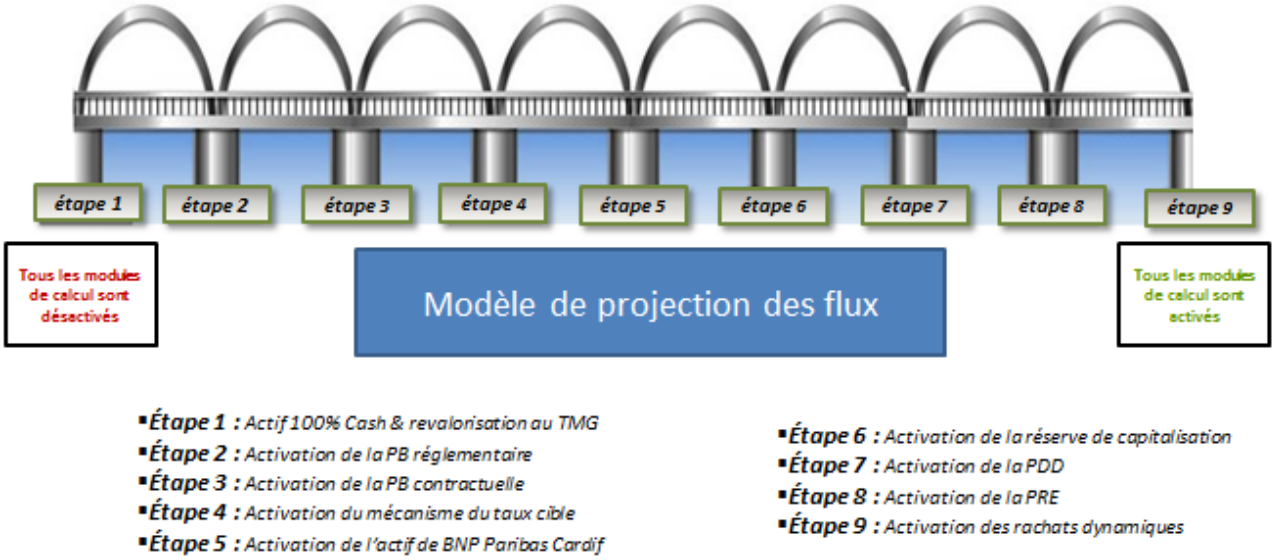


Figure 6.1: *Bridging* : Décomposition du modèle

- **Etape 1 : TMG 100% monétaire**

  L'assureur s'engage à servir le TMG et son actif est investi 100% en monétaire

- **Etape 2 : Activation de la participation aux bénéfices réglementaires**

  Dans cette étape, l'assureur s'engage à servir à l'assuré le taux de participation aux bénéfices réglementaires qui correspond à 85% des produits financiers liés à l'investissement de la provision mathématique. L'actif est investi 100% en monétaire.

- **Etape 3 : Activation de la participation aux bénéfices contractuels**

  L'assureur, dans cette étape, s'engage à servir plus que le taux réglementaire, avec un actif qui reste investit en monétaire.

- **Etape 4 : Activation du mécanisme du taux cible**

  L'assureur cherche à servir un taux cible défini en fonction des taux de marché. Les leviers PPE et Marge assureur qui permettent de financer le besoin pour atteindre le taux cible sont donc activés aussi.

- **Etape 5 : Intégration de l'actif de BNP Paribas Cardif**

  Dans cette étape, l'assureur change la composition de son actif en investissant en actions et obligations.

- **Etape 6 : Activation de la réserve de capitalisation**

  Afin de faire face aux fluctuations des taux d'intérêts qui impactent les placements obligataires de l'assureur, il active la réserve de capitalisation

- **Etape 7 : Activation de la provision pour dépréciation durable**

  L'assureur active le fonctionnement de la provision pour dépréciation durable pour les actifs non obligataire s'il constate une dépréciation durable sur cette catégorie d'actif.

- **Etape 8 : Activation de la provision pour risque d'exigibilité**

  Dans cette étape, l'assureur constitue la PRE s'il constate une moins-value global sur ses placements.

- **Etape 9 : Activation des rachats dynamiques**

  L'assureur prend en compte, dans cette étape, les rachats liés la conjoncture économique

L'ordonnancement des étapes dépend essentiellement de la structure et de la construction du modèle. Nous ne pouvons pas avoir une flexibilité pour ordonner les étapes autrement.

Exemple:

- Les réserves d'actif ne peuvent pas être activées en investissant l'actif uniquement en monétaire
- Le mécanisme du taux cible ne peut pas être activé avant l'activation des modules de calcul de la participation aux bénéfices réglementaires et contractuelles

La seule étape qui peut être discuté est l'étape relative à l'intégration de l'actif réel de BNP Paribas Cardif, nous pouvons modifier son ordre. Toutefois, nous avons jugé que cela peut être considéré comme un test de sensibilité de l'actif, ce qui n'est pas l'objectif majeur du *Bridging*. Par conséquent, pour une meilleure compréhension des 4 premières étapes liées à l'activation des mécanismes de la participation aux bénéfices, nous avons opté pour un actif investi totalement en monétaire. Cela permet de neutraliser l'effet d'un actif investi sur plusieurs titres, et donc, de ne pas biaiser l'analyse de ces modules de calculs.

Afin de comprendre et de valider les étapes définies ci-dessus, nous devons sélectionner les indicateurs les plus pertinents. Cela fait l'objet de la prochaine partie.

6.3 Choix et définition des indicateurs

Afin de mener l'étude du *Bridging* et analyser la qualité du modèle, l'étape qui consiste à choisir les indicateurs à étudier s'avère indispensable pour l'étude. D'une manière générale, l'activité de l'assureur repose essentiellement sur le paiement des prestations aux bénéficiaires moyennant la rémunération qu'il reçoit sous forme de prime ou de cotisation. Par conséquent, l'assureur doit être en mesure d'honorer ses engagements à tout moment. L'indicateur permettant le suivi de cette valeur est le BEL (*Best Estimate Liabilities*). Toutefois, les investisseurs et les actionnaires sont aussi considérés comme une partie prenante de risques. L'assureur doit être capable de rémunérer leur investissement via les dividendes. Cela suppose que l'activité qu'il exerce doit être rentable et lui permet de générer des profits. L'indicateur de valeur permettant le suivi des résultats assureurs futur est la PVFP (*Present Value of Futurs Profits*).

Le BEL et la PVFP sont des indicateurs informatifs qui résument l'activité de l'assureur en lui permettant d'éclairer sa situation par rapport à ses engagements envers les assurés et les actionnaires. Ainsi, le choix a été fait sur ces deux indicateurs afin de les étudier et de comprendre leurs évolutions.

Afin de mieux comprendre l'importance des choix réalisés pour ces indicateurs et la validation de ces choix, nous étudierons plus en détails la notion du BEL et PVFP d'un point de vue technique et actuarielle.

Pour la validation du choix de ces indicateurs, nous allons étudier l'évolution de leurs composantes.

Dans cette partie, nous commençons par définir les indicateurs principaux de l'étude : BEL et PVFP, puis nous présentons tous les éléments qui servent à analyser ces derniers, comme :

- taux servi à l'assuré
- taux cible
- Taux de rendement de l'actif
- Les réserves d'actif

La compréhension de ces éléments permet de maitriser les enjeux de chaque étape du *Bridging* et de répondre aux questions actuarielles sous-jacentes.

6.3.1 BEL : *Best Estimate Liabilities*

La Directive Solvabilité 2 définit le *Best Estimate Liabilities* comme étant : "La moyenne pondérée en fonction de leur probabilité des futurs flux de trésorerie compte tenu de la valeur temporelle de l'argent, laquelle est estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinente."

Le BEL représente donc les flux futurs du passif actualisés avec la courbe des taux sans risque :

$$BEL = E^{P_a \otimes Q_f} \left[\sum_{u \geq 1} \delta_u \times L_u \right] \tag{6.1}$$

Avec :

- Q_f : la probabilité risque neutre (probabilité du monde financier, où le rendement moyen de tous les actifs est le taux sans risque).

- P_a : Probabilité réelle liée à l'environnement assurantiel.

- δ_u : Déflateur ou facteur d'actualisation. Avec $\delta_u = e^{-\int_0^u r_h d_h}$ et r_h : le taux court.

- L_u: les flux futurs de l'assureur

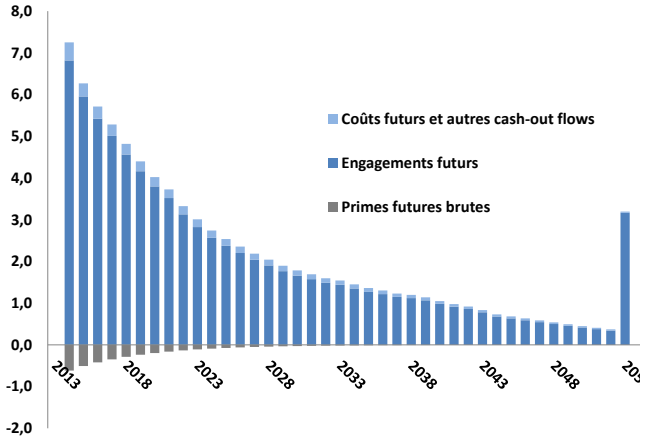
Les flux futurs de l'assureur sont les suivants :

- Engagements futurs de l'assureur
- Coûts futurs et autres cashflows
- Primes futurs brutes

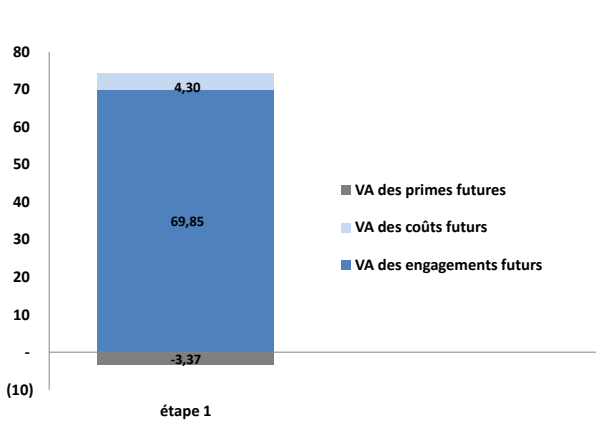
Les engagements futurs de l'assureur présentent plus de 95% du BEL, c'est la charge la plus importante que l'assureur doit être capable d'honorer.

Exemple de décomposition du BEL dans le cas où l'assuré sert uniquement le taux fixe :

1- Décomposition des flux composants le BEL



2- Décomposition du BEL



Dans ce qui suit, VA signifie "la valeur actualisée" aux taux sans risque.

Nous définirons donc chaque composante du BEL :

1) Les engagements futurs de l'assureur :

Les engagements futurs de l'assureur représentent le montant des prestations que l'assureur doit servir à ses assurés suite à la provenance d'un aléa. Dans le cas de l'activité épargne, cet aléa peut provenir du décès de l'assuré, rachat du contrat par l'assuré, qui peut être partiel ou total. En plus, l'assureur doit être en mesure d'honorer ses engagements pour les contrats arrivés à maturités ainsi que les transferts des contrats épargne vers un autre assureur. Dans notre étude, nous ne traitons pas le cas des arbitrages entre le fond euros et les fonds UC. Ainsi, le montant des arbitrages est nul.

Ainsi l'engagement futur de l'assureur peut se définir mathématiquement de la manière suivante :

$$\begin{aligned} Engagements futurs de l'assureur = & Rachat_structurel + Rachat_dynamique + Décès \\ & + Maturités + Transferts + Engagements_de_fin_de_projection \end{aligned} \tag{6.2}$$

Nous avons constaté durant cette étude que les flux liés aux rachats structurels et aux décès représentent la part la plus importante des engagements futurs de l'assureur. Ce dernier doit, à tout instant, être capable de financer les prestations dues à ces aléas. Nous pouvons définir les différentes composantes des engagements futurs de l'assureur de la manière suivante :

- Rachat structurel :

Le rachat structurel correspond au fait que les assurés ont besoin de liquidité. Il peut se définir comme étant la somme du rachat structurel partiel, régulier et total.

- Le rachat structurel partiel offre à l'assuré la possibilité de retirer une partie de son épargne.

- Le rachat structurel régulier consiste à définir, contractuellement, un taux de rachat qui permettra à l'assuré de récupérer une partie de son épargne régulièrement.

- Le rachat structurel total permet à l'assuré de demander la partie entière de la valeur de son épargne.

- Rachat dynamique :

Le rachat structurel est observé dans des conditions économiques "normales". Cependant, un changement au niveau de la conjoncture économique (hausse des taux d'intérêts) impacte le taux servi par l'assureur à son assuré et peut déclencher des rachats dynamiques. La modélisation des rachats dynamiques se fait en étudiant l'écart entre les taux du marché et le taux servi par l'assureur. Dans l'étape 9, qui consiste à étudier le module de calcul liés aux rachats, nous définirons plus en détails le fonctionnement et la modélisation du rachat dynamique.

- Décès :

Le décès correspond à la charge que l'assureur doit rembourser suite au décès de l'assuré aux bénéficiaires du contrat.

- Transfert :

Le montant des transferts correspond à la valeur des contrats que les assurés souhaitent transférer vers une autre compagnie.

- Maturités :

L'assureur a aussi la charge de financer la valeur des contrats épargne arrivés à maturité.

- Engagement de fin de projection :

Les engagements de fin de projection correspondent au partage de la richesse restante au bout de 40 ans de projections. Elle est constituée principalement de la provision mathématique restante en fin de projection, du montant de la provision pour participation aux excédents ainsi que des plus-values latentes à se partager.

2) Coûts futurs et autres cashflows

En plus du financement des engagements futurs de l'assureur envers son assuré. L'assureur a aussi à sa charge tous les coûts liés à l'activité qu'il exerce, à savoir les frais généraux, les coûts de gestion des contrats, les commissions ainsi que les taxes à payer par l'assureur.

$$Coûts_futurs_de_l'assureur = Frais_de_gestion + Commissions + Taxes \tag{6.3}$$

3) Primes futures

La projection en solvabilité 2 se fait en *Run-off*. Elle ne prend pas en compte les nouveaux contrats souscrits ainsi que les versements des primes libres faits après la souscription. Les primes entrantes prises en compte correspondent aux primes régulières définies lors de la souscription des contrats. Cette composante du BEL n'est pas impactée par les étapes du *Bridging* et reste constante.

6.3.1.1 Calcul du BEL par le modèle interaction actif passif : notion du *flexing*

Afin de calculer les flux qui composent le BEL, le modèle interaction actif-passif suit les étapes suivantes :

- Etape 1 : récupération des flux du passif projetés par le modèle Passif
- Etape 2 : Calcul des ratios de *flexing* en fonction des taux servi par l'assureur
- Etape 3 : Recalcule des flux du passif en utilisant le mécanisme du *flexing* dans le modèle interaction actif-passif
- Etape 4 : Actualisation des flux qui composent le BEL en utilisant les jeux de scénarios économique pour retrouver le BEL.

Dans cette partie, nous expliquerons plus en détails les 4 étapes citées ci-dessous.

Etape 1 : Rappelons que le modèle interaction actif-passif reçoit les flux du passif provenant du modèle Passif comme input. Ces derniers correspondent aux flux modélisés dans le modèle Passif qui sont revalorisés au taux minimum garantie tout au long de la projection. Exemple de flux projetés par le modèle passif :

- La provision mathématique
- Les prestations liées aux décès
- Les prestations liées aux rachats
- Les frais de gestion de l'assureur

Parmi ces flux, nous retrouvons les flux qui permettent le calcul du BEL.

Etape 2 : Afin de prendre en compte l'évolution de l'actif et des produits financiers dans la revalorisation des contrats épargne via le mécanisme de participation aux bénéfices, nous prenons les flux qui permettent le calcul du BEL. A ces flux, nous appliquons un "ratio de *flexing*" qui correspond au taux de revalorisation de la provision mathématique chaque année.

Le ratio du *flexing* est défini comme suit :

$$Ratio_du_flexing_N = \frac{PM_totale_revalorisée_N}{PM_totale_initiale_N} \tag{6.4}$$

- N : Année de projection
- PM : Provision mathématique

La provision mathématique totale initiale correspond au montant des provisions mathématiques fourni par le modèle passif (des PMs revalorisées uniquement au TMG).

Exemple de calcul du ratio de *flexing* :

Nous supposons que l'assureur à une provision mathématique en 2014 de 1000 et que chaque année, l'assuré lui verse une prime de 100. L'assureur se retrouve donc en 2019 avec une provision mathématique de 1500 correspondante à la provision initiale plus les primes versées par l'assuré.

Nous supposons que le taux minimum garanti est nul.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Prime		100	100	100	100	100
PM totale revalorisée au TMG (=0)	1000	1100	1200	1300	1400	1500
PM initiale	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Prime 2014		100	100	100	100	100
Prime 2015			100	100	100	100
Prime 2016				100	100	100
Prime 2017					100	100
Prime 2018						100

Figure 6.2: Projection de la PM initiale

Le tableau ci-dessus présente les données récupérées du module du passif.

L'assureur calcul le taux servi à l'assuré en fonction de la situation de son actif et des produits financiers qu'il a générés. A partir des taux servis, nous calculons des facteurs de capitalisation de la manière suivante :

Si $J = N$, $Facteur_de_capitalisation_N, J = 1$

Si $J > N$, $Facteur_de_capitalisation_N, J = 0$

Si $J < N$, $Facteur_de_capitalisation_N, j = Facteur_de_capitalisation_N, j-1 \times (1 + taux_servi_N))$

Avec N : l'année en colonne et J l'année en ligne

$$\begin{aligned} PM_totale_revalorisée_N = &\Big(PM_totale_initiale_N - Prime_N\Big) \times facteur_de_capitalisation_N \\ &+ \Big(1 + taux_servi_N)\Big) \times Prime_N \end{aligned} \tag{6.5}$$

N =	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Taux servi		4%	4,50%	3%	4,10%	3,40%
1+ Taux servi	1	1,04	1,05	1,03	1,04	1,03
Facteur de capitalisation_N_2014	1	1,04	1,09	1,12	1,17	1,20
Facteur de capitalisation_N_2015		1	1,05	1,08	1,12	1,16
Facteur de capitalisation_N_2016			1	1,03	1,07	1,11
Facteur de capitalisation_N_2017				1	1,04	1,08
Facteur de capitalisation_N_2018					1	1,03
Facteur de capitalisation_N_2019						1

Figure 6.3: Calcul des facteurs de capitalisation

Année après année, chaque flux du tableau 6.2 sera revalorisé avec les facteurs du tableau 6.3. Nous récupérons donc les flux de la provision mathématique et des primes revalorisés :

PM Revalorisée Nette de prime	1 000,00	1 040,00	1 086,80	1 119,40	1 165,30	1 204,92
Primes revalorisées		104,00	108,68	111,94	116,53	120,49
			104,50	107,64	112,05	115,86
				103,00	107,22	110,87
					104,10	107,64
						103,40
PM totale revalorisée	1 000,00	1 144,00	1 299,98	1 441,98	1 605,20	1 763,18
Ratio de flexing	1,00	1,04	1,08	1,11	1,15	1,18

Figure 6.4: Calcul du ratio de flexing

Le ratio du *flexing* correspond donc au rapport entre la provision mathématique revalorisé et la provision mathématique totale initiale.

Etape 3 : Année après année, une fois le ratio de *flexing* calculé, nous revalorisons les flux du passif initialement récupérer du modèle Passif à l'aide de ces ratios. Cela permet de retrouver les nouveaux flux du passif qui, maintenant, prennent bien en compte les interactions actif-passif.

Etape 4 : Dès lors que les flux du passif sont calculés en fonction des taux servis par l'assureur. Le modèle interaction actif-Passif actualise ces flux en utilisant les jeux de scénarios économiques pour indiquer la valeur du BEL.

Dans la partie analyse des étapes du *Bridging*, nous étudierons plus en détails l'évolution des flux du passif suite à l'activation du mécanisme de participation aux bénéfices.

6.3.2 PVFP : *Present value of futurs profits*

La *Present value of futurs profits* est un indicateur important pour l'assureur. C'est la variable qui lui permet de savoir si son activité est rentable et de combien est son rendement. Si la projection des flux des contrats épargne permet d'avoir une valeur positive de PVFP, nous concluons que ces contrats génèrent des bénéfices pour l'assureur.

La PVFP se définit comme étant la valeur actuelle des résultats futurs de l'assureur. L'actualisation se fait au moyen de la courbe des taux sans risques. Pour pouvoir calculer cet indicateur, il faut d'abord calculer le résultat assureur et ensuite l'actualiser.

6.3.2.1 Calcul du résultat assureur

Le résultat de l'assureur peut se calculer de plusieurs façons. Dans notre étude, nous allons utiliser un calcul du résultat assureur par marge. Le résultat est décomposé en trois marges :

- Marge sur primes
- Marge sur arbitrages
- Marge sur réserves

La marge sur primes est égale aux primes entrantes chaque année. De plus, cette marge est constante durant toute l'étude du *Bridging* car les fonctionnalités sélectionnées ne prennent pas en compte les hypothèses liées à l'évolution des primes entrantes. Concernant la marge sur arbitrage, elle est nulle durant toute l'étude car les arbitrages sont désactivés.

Nous allons nous concentrer principalement sur la marge sur réserves. Elle représente plus de 90% du résultat assureur total. La marge sur réserves est égale aux produits financiers totaux auxquels nous enlevons toutes les charges, à savoir, les charges financières, le montant de TMG, le montant de participation aux bénéfices et le montant de participations aux bénéfices sur sorties, en plus des variations de provisions qui viennent impacter le résultat.

Afin de mieux comprendre le calcul du résultat de l'assureur, nous présentons ci-dessous les flux qui le composent :

+	**Marge sur prime**	
+	**Marge sur arbitrage**	
+	**Marge sur réserve**	
	+	Marge financière sur réserve
		+ Produits financiers
		- Charges financières (-)
		- Intérêts crédités(-)
		- PB - nette de frais de gestion (-)
	-	Commissions sur reserves (-)
	+	Rebatement des gerant d'actif - net de commissions
	+	Résultat technique sur sorties (-)
		- Intérêts crédités sur sorties
		- Participation aux bénéfices sur sorties
	-	Variation PPE (-)
	-	Distribution PPE (fin de projection) (-)
	-	Distribution PRE (fin de projection) (-)
	-	Distribution PDD (fin de projection) (-)
	-	Distribution PGG (fin de projection) (-)
	-	Distribution RC (fin de projection) (-)
	-	Variation PRE (-)
	-	Variation PDD (-)
	-	Variation PGG (-)
	-	Variation RC (-)
=	**Résultat de l'assureur**	

Figure 6.5: Calcul du résultat assureur

Remarque : nous devons faire une distinction entre "le montant du taux minimum garanti" et "le montant du taux minimum garanti sur sorties" et entre "Participation aux bénéfices" et "Participation aux bénéfices sur sorties". Pour comprendre ces différences, une définition plus détaillées de ces notions est donnée ci-dessous :

-Le montant du Taux minimum garanti : correspond au montant rajouté à la provision mathématique suite à la revalorisation au TMG.

-Le montant de TMG sur sortie : En cas de sortie de l'assuré durant l'année. Intérêt crédité sur sortie correspond aux intérêts TMG que l'assuré a constitué durant l'année (du début d'année jusqu'à la date de sa sortie).

-Participation aux bénéfices : Correspond à la participation aux bénéfices versée chaque année à l'assuré. Contrairement aux intérêts crédités, dont la méthode de calcul est fixée à la souscription du contrat, l'assureur décide chaque année du montant de participation aux bénéfices qu'il verse aux assurés.

-Participation aux bénéfices sur sortie : En cas de sortie dans l'année, l'assuré récupère un montant correspondant à une revalorisation appelée participation aux bénéfices par anticipation.

***Remarque :* Dans notre étude, nous supposons que les fonds propres ne sont pas modélisés. Ainsi le bilan économique est composé de la manière suivante :**

Afin de mieux comprendre l'évolution du BEL et de la PVFP, nous disposons d'un certain nombre d'indicateurs secondaires que nous utilisons au cours de l'analyse du mouvement des indicateurs principaux.

6.3.3 Définition des indicateurs secondaires

Dans cette partie, nous présenterons le taux de rémunération de l'actif à distribuer entre l'assureur et l'assuré et les différents montant rémunérateur de l'assuré pour ensuite évaluer la marge réalisée par l'assureur.

6.3.3.1 TRA : taux de rendement de l'actif

Le TRA correspond au taux de rendement de l'actif. Cet indicateur mesure la performance de l'actif de l'assureur et sa capacité à générer des produits financiers. Il est calculé de la manière suivante :

$$TRA = \frac{Produits_financiers_disponibles}{Total\ _{PASSIF}} \tag{6.6}$$

$$= \frac{Cash_Inc + Obli_Inc + Action_Inc - Frais_Asset_Man - \Delta RC - \Delta PDD}{Total_Passif} \tag{6.7}$$

Avec :

- $Cash_Inc$: les produits financiers liés au monétaire détenus par l'assureur.
- $Obli_Inc$: représente les coupons, remboursements des nominaux, les amortissements des obligations et les gains et pertes réalisés.
- $Action_Inc$: représente les dividendes et les plus/moins-values latentes réalisées.
- $Frais_Asset_Man$: Les frais du gestionnaire d'actif.
- $\Delta RC = RC_{N-1} - RC_N$: Variation de la réserve de capitalisation.
- $\Delta PDD = PDD_{N-1} - PDD_N$: Variation de la PDD.

- $Total_Passif$: L'assiette total du passif.

Dans un premier temps et dans les quatre premières étapes du *Bridging*, l'actif est investi uniquement en monétaire, l'indicateur TRA nous permettra donc de vérifier si le taux de rendement de l'actif est égal au taux sans risque vu que la projection est faite en univers risque neutre. Dans un second temps, après activation de l'actif réel de BNP Paribas Cardif, le TRA nous permettra de comprendre l'impact des actions, des obligations ainsi que des réserves d'actif sur le rendement de l'actif.

6.3.3.2 Montant contractuel

Le montant contractuel correspond au montant des produits financiers que l'assureur doit servir chaque année à son assuré contractuellement net du montant minimum garanti. Ce montant doit être supérieur au montant réglementaire que nous définissons dans la suite.

$$\begin{aligned} Montant_contractuel &= montant_PB - montant_TMG \\ &= \Big(PF_PM \times taux_PB_cont - chgt_sur_enc\Big) - montant_TMG \end{aligned} \tag{6.8}$$

avec :

- PF_PM = produits financiers disponibles liés à la PM
- $taux_PB_cont$ = taux de participation aux bénéfices contractuels
- $Chgt_sur_enc$ = chargement sur encours

6.3.3.3 Montant de participation aux bénéfices contractuel à servir

Ce montant correspond au montant que l'assureur doit servir contractuellement à l'assuré pour les contrats encore existants au cours de l'année. L'assureur n'a pas l'obligation de servir ce montant chaque année. Il peut le gérer librement tout en optimisant ses contraintes réglementaires et commerciales jusqu'à la 8 ème année du contrat où l'assureur doit liquider tous les montants de participation aux bénéfices de l'assuré. Ce montant se modélise de la manière suivante :

$$Montant_PB_cont_à_servir = PF_PM \times taux_PB_cont - Chgt_sur_enc - PB_sur_sortie \tag{6.9}$$

avec :

- $taux_PB_cont$ = taux de participation aux bénéfices contractuels
- $Chgt_sur_enc$ = chargement sur encours
- PB_sur_sortie = montant de participation aux bénéfices servis pour les contrats sorties dans l'année

6.3.3.4 Montant réglementaire

Chaque année, l'assureur doit veiller à ce que les produits financiers distribués aux assurés soient plus élevés qu'un montant réglementaire déterminé. Si ce minimum n'est pas atteint, il doit verser un montant supplémentaire de participation aux bénéfices à l'assuré. Dans le cas contraire, il a la possibilité d'effectuer une dotation à la PPE. Ce seuil minimum est fonction des produits financiers générés par les réserves techniques d'épargne, du solde de gestion technique. Le solde de gestion technique est la différence entre les entrées (les primes brutes) et les sorties (les frais d'acquisition, généraux, d'administration et les prestations) en plus de la variation de la provision pour risque d'exigibilité (PRE).

$$\begin{aligned} Montant_réglementaire = & taux_PB_regl \times PF_PM - Montant_TMG \\ & + Sgt \times (1 + coef) \end{aligned} \tag{6.10}$$

avec :

- PF_PM = produits financiers liés à la PM
- $taux_PB_regl$ = taux de participation aux bénéfices réglementaires
- $coef$ = coefficient positif défini par l'assureur
- Sgt = solde de gestion technique = $PRE_{N-1} - PRE_N + Primes - Commissions - Frais$

6.3.3.5 Montant cible attendu par l'assuré

Le montant cible est calculé à l'aide du taux cible attendu par l'assuré. Ce dernier représente le taux que l'assureur souhaite fournir à son assuré afin de rester compétitif sur le marché. Dans notre étude, le taux cible est estimé à l'aide du taux des obligations assimilables du trésor français de maturité 10 ans et est calculé de la manière suivante :

$$Taux_cible = coef^{Taux_cible}\% \times \left(\left(Bond_Tres^{10}_{N-1} + Bond_Tres^{10}_{N}\right)/2\right) \tag{6.11}$$

Avec :

- $coef^{Taux_cible}$: Coefficient d'ajustement calculé en interne.
- $Bond_Tres^{10}_N$: le taux 1 an des OAT 10 ans.

Durant l'étude, la comparaison entre le TRA et le taux cible nous donnera une idée sur le besoin de financement dont l'assureur aura besoin afin de servir le taux cible et satisfaire son assuré.

6.3.3.6 Marge assureur

La marge assureur représente l'un des leviers de financement du besoin pour atteindre le taux cible. **Marge initiale :**

La marge initiale correspond au montant des produits financiers que l'assureur conserve après avoir servi une part des produits financiers aux assurés en plus des chargements sur encours.

$$\begin{aligned} Marge_initiale = & Max\left(0, Max\left(0, Produit_financier\right) \times \left(1 - Taux_PB\right)\right) \\ & + chargement_sur_encours \end{aligned} \tag{6.12}$$

Marge disponible :

L'assureur s'engage à verser au minimum le TMG. Il est nécessaire de prendre en compte cette contrainte dans le calcul de la marge assureur. En cas d'insuffisance, l'assureur puise dans sa marge initiale afin de financer le montant minimum garanti et la participation aux bénéfices sur sortie.

$$\begin{aligned} Marge_disponible = Min[Max(0, Max(0, Prod_fin) \times (1 - max(85\%, Tx_PB))) + chgt_sur_enc; \\ Max(0, Prod_fin) - TMG] - Charge_TMG - Charge_PB \end{aligned} \tag{6.13}$$

Avec :

- $Prod_fin$: Produits financiers.
- Tx_PB : Taux de participation aux bénéfices.
- $chgt_sur_enc$: Chargement sur encours.
- $Charge_TMG$: Charge de TMG sur sortie uniquement.
- $Charge_PB$: Charge de PB sur sortie uniquement.

Marge finale :

La marge finale correspond à la marge que l'assureur conserve après financement du besoin pour atteindre le taux cible. Cette marge doit toujours rester supérieure à un seuil minimum défini par BNP Paribas Cardif.

6.3.3.7 Montant servi à l'assuré

Le montant servi correspond au montant rajouté à la PM de l'assuré. Dans un environnement idéal, le taux servi doit être égal au taux cible. Cependant, face aux aléas des marchés financiers et en fonction de la décomposition du portefeuille d'actif de l'assureur, ce dernier se trouve, dans certains cas, face à un besoin de financement pour atteindre le taux cible et rester compétitif. Ainsi, l'assureur peut utiliser ses leviers de PPE et sa marge assureur pour financer ce besoin et essayer de s'approcher au maximum du taux cible.

$$\begin{aligned} Montant_servi = & Montant_cible + montant_de_la_PPE_des_contrats_ayant_8ans_de_maturités \\ & + besoin_final_pour_atteindre_le_taux_cible. \end{aligned} \tag{6.14}$$

6.3.3.8 L'évolution des réserves

Nous nous intéresserons aussi à l'évolution des réserves, à savoir, la PPE, la RC, la PDD et la PRE. Les évolutions nous donnerons une idée sur l'impact de chaque module de calcul sur les réserves et par conséquent cela permettra de maitriser le rôle que joue chaque réserve et son impact sur le résultat assureur.

La problématique étant établie de manière précise, nous allons étudier comment la mettre en place dans notre cas particuliers des produits BNP PARIBAS Cardif. A cette étape du mémoire, il est indispensable de définir le périmètre de l'étude : les produits modélisés, les hypothèses de projection, la méthode d'analyse globale du mémoire et son application en scénario central.

7 Application du *Bridging* en scénario central

7.1 Produit étudié et hypothèses de projection

L'étude sera faite sur **un périmètre proche des contrats épargne de BNP Paribas CARDIF**, nous supposons que les produits d'épargne sont segmentés en 300 poches stochastiques et 100 poches stochastiques pour les contrats épargne individuelle (Pour maille poche stochastique, voir 3.1.1).

La principale différence entre les deux produits est au niveau TMG qui est servi que la première année pour les contrats individuels et sur toute la durée de projection pour les contrats collectifs.

Dans l'environnement Solvabilité 2, la projection des flux futurs se fait en *run-off*, c'est à dire qu'il n'y a pas d'entrée de nouveaux contrats. La projection n'est basée que sur le nombre de contrats existant à la date de début de projection. Son intérêt est de mesurer la capacité qu'à l'assureur à tenir ses engagements envers ses assurés au moment présent (celui de la projection) sans avoir besoin de re-tarifer des contrats ou de compter sur des profits futurs éventuels apportés par des primes sur de nouveaux contrats. L'étude est faite en stochastique (moyenne sur 1000 simulations) par maille "Pool", c'est à dire en agrégeant toutes les poches stochastiques des contrats individuels et collectifs.

L'intérêt de l'approche stochastique réside dans le fait de capter le coût des options et des garanties lié à l'obligation de servir le taux minimum garanti ce qui permet une meilleure maitrise de l'évolution des indicateurs sélectionnés pour l'étude du *Bridging*.

Dans un premier lieu, nous étudions le modèle dans une situation de scénario central au sens solvabilité 2.

Remarque : les chiffres présentés dans la suite du mémoire sont en bases 100

7.2 Méthode d'analyses des résultats

Pour comprendre le fonctionnement du modèle et pouvoir le valider par la suite. L'analyse produite doit permettre de répondre donc aux questions suivantes :

- Les évolutions des indicateurs BEL et PVFP sont-elles cohérentes et intuitives ?
- Comment pouvons-nous les justifier dans le cas où elles sont contre-intuitives?

La réponse à ces questions passe par la compréhension, l'analyse des mouvements du BEL et de la PVFP d'un point de vue actuarielle et business. L'analyse de mouvement de ces indicateurs peut

être vue comme une réconciliation entre les résultats des indicateurs issus de la première étape du *Bridging* et les résultats fournis par le modèle complet suite à l'activation de tous les modules de calcul. Cette analyse permettra de comprendre l'impact de chaque module de calcul et de fournir des informations sur les conséquences des actions de management établies par l'assureur et modélisés via les modules de calcul. Cela permet de justifier et de valider le bon fonctionnement des étapes du *Bridging*. Puis, valider la robustesse du modèle interaction Actif-Passif.

7.3 Présentation des résultats du scénario central

A présent, nous pouvons présenter les résultats issus des différentes étapes étudiées ainsi que les analyses produites :

Les graphiques représentent les évolutions du BEL et de la PVFP en fonction des étapes du *Bridging*.

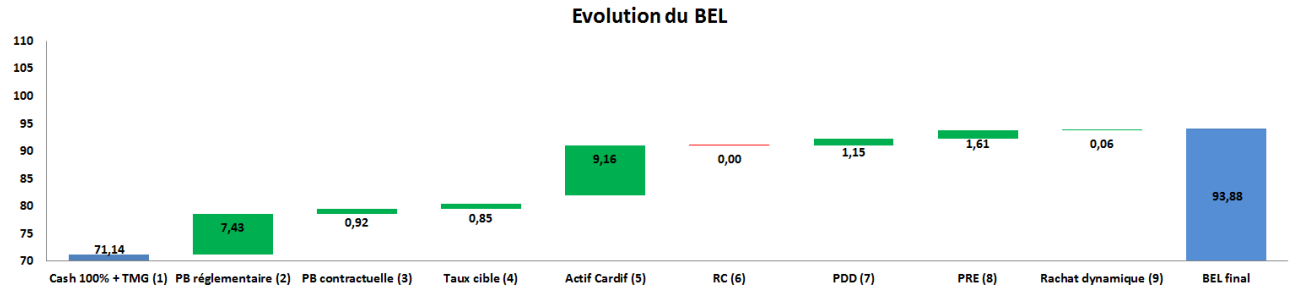


Figure 7.1: Analyse de mouvement du BEL

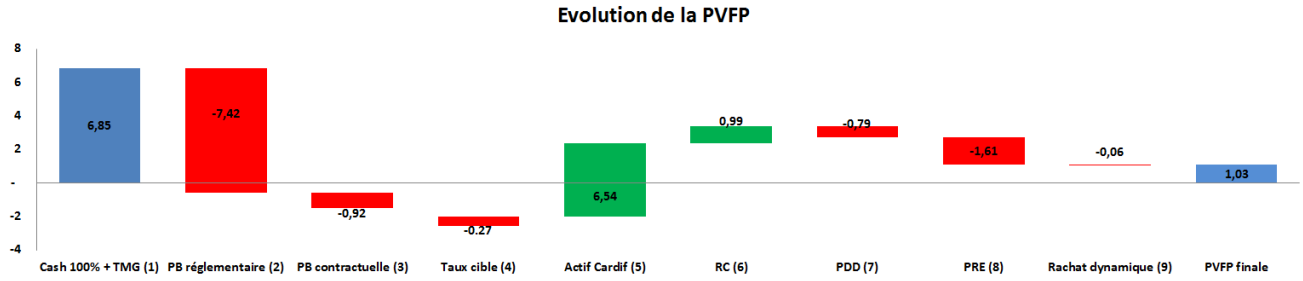


Figure 7.2: Analyse de mouvement de la PVFP

- Bâton bleu : les valeurs des indicateurs BEL/PVFP dans première étape (Cash 100% + TMG (1)) et dans la dernière étape où tous les modules de calcul sont activés
- Bâton rouge : Montant de diminution du BEL/PVFP suite à l'activation d'un module de calcul

- Bâton vert : Montant d'augmentation du BEL/PVFP suite à l'activation d'un module de calcul

Dans la première étape, nous avons un BEL de l'ordre de 71,14 et une PVFP qui s'élève 6,85. En revanche, dans la dernière étape, qui représente les résultats du modèle complet, le BEL affiche une valeur 93,88 et une PVFP de 1,03.

Nous remarquons aussi que suite à l'activation du module de calcul de la participation aux bénéfices réglementaire, le BEL augmente de 7,42 et la PVFP diminue du même montant. De même pour l'étape 3 où nous activons le module de calcul de la participation aux bénéfices contractuelle, nous remarquons une augmentation du BEL et une diminution de la PVFP. Cela devrait être dû à l'augmentation de la charge de l'assureur engendrée par l'augmentation du taux servi à l'assuré. Nous constatons aussi l'impact des réserves d'actif sur les indicateurs ainsi que l'enjeu par rapport à l'assureur. La réserve de capitalisation (RC) permet d'améliorer les résultats futurs de l'assureur. Par contre, la provision pour dépréciation durable (PDD) ainsi que la provision pour risque d'exigibilité (PRE) coûtent chères à l'assureur et conduisent à une diminution de la PVFP.

Nous remarquons aussi que dans les étapes 2 et 3, le montant de l'augmentation du BEL est égal au montant de la diminution de la PVFP. Par contre dans les étapes 4 jusqu'à 8, les évolutions du BEL et PVFP ne sont pas symétriques.

Exemple : suite à l'activation de la provision pour dépréciation durable (PDD) (étape 7) nous remarquons une augmentation du BEL de 1,15 et une diminution de la PVFP de 0,79.

Bien que cette analyse permet de se construire une intuition et de donner une idée globale sur l'impact de chaque étape du *Bridging* sur les indicateurs. Elle reste descriptive et ne permet pas de maitriser et justifier les variables qui mènent à ces résultats d'un point de vue analyse qualitative et actuarielle. Elle nous pousse à se poser quelques questions, par exemple :

- Sachant que la MV (valeur de marché de l'actif) est partagée entre l'assureur (PVFP) et l'assuré (BEL), Pourquoi existe-t-il des étapes où la diminution du BEL n'est pas égale à l'augmentation de la PVFP et vice versa?
- Pourquoi dans l'étape 5, où nous intégrons l'actif réel de BNP Paribas Cardif, nous remarquons l'augmentation du BEL et de la PVFP en même temps?
- Quel est l'enjeu de chaque étape du *Bridging* pour l'assureur?

Dans la prochaine partie, nous mènerons une analyse étape par étape de toutes les variables et indicateurs afin de permettre une meilleure compréhension des résultats et des enjeux de chaque étape. Cette analyse approfondie, comparée à l'analyse intuitive des résultats, permettra de valider le bon fonctionnement de chaque module de calcul et la robustesse du modèle au global.

L'analyse globale étant prédéfini, nous allons nous focaliser sur l'analyse des résultats de toutes les étapes du *Bridging* en scénario central ce qui nous permettra de valider chaque étape pour passer à la suivante de manière à valider le modèle dans sa globalité.

Pour réaliser l'étude des différentes étapes, nous avons fait le choix pour toute validation de rappeler le contexte de l'étape, les hypothèses retenues, l'analyse des résultats pour la validation de chaque étape et le passage à l'étape suivante.

7.4 Analyse approfondie des étapes du *Bridging*

7.4.1 Etape 1 : Tous les modules de calcul sont désactivés

7.4.1.1 Contexte

Dans cette étape, nous nous plaçons dans l'hypothèse où une compagnie d'assurance commercialise des contrats épargnes pour lesquels elle sert chaque année un taux fixe que nous appellerons le TMG (taux minimum garanti). De plus, nous supposons que la compagnie d'assurance décide d'investir son actif uniquement en monétaire. La question est alors de savoir si le taux de rendement de l'actif investit permet à l'assureur d'honorer ses engagement envers l'assuré ou encore plus générer un profit.

7.4.1.2 Hypothèses de début de projection

On considère que les provisions mathématiques de la compagnie s'élèvent à 77.99. Cet actif, dans les hypothèses de cette première étape, est investi uniquement en monétaire. Nous cherchons alors, dans un premier temps à calculer le BEL et la PVFP pour connaitre la distribution de la MV (valeur de marché de l'actif) qui résulte des hypothèses posées. Ensuite, nous analyserons les différentes variables qui permettent d'expliquer la valeur de ces indicateurs.

7.4.1.3 Résultat et analyse

Sous les hypothèses de cette étape, nous obtenons les valeurs suivantes :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 1	77.99	71.14	6.85

Dans notre contexte, l'actif de l'assureur en valeur de marché (MV) se composent de plus de 90% des engagements futurs de l'assureur (BEL : 71.14) et de 9% du résultat futur de l'assureur (PVFP : 6.85).

Le BEL est composé des engagements futurs de l'assureur liés à l'obligation de servir le taux minimum garanti chaque année et des coûts de l'activité de l'assurance, notamment, les frais d'administration, les coûts de gestion des contrats auxquels nous retranchons les flux des primes entrantes. Sa décomposition dans cette étape est la suivante :

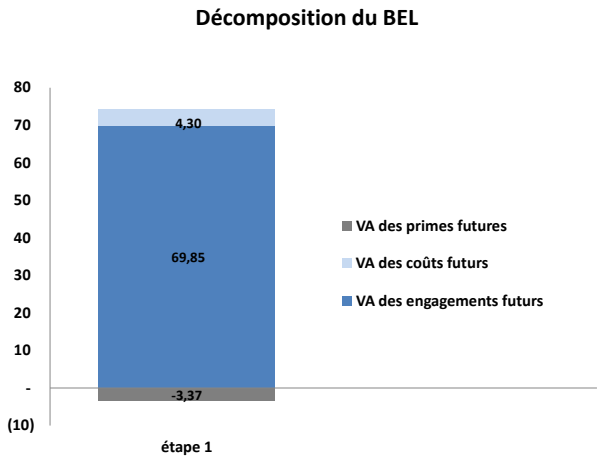


Figure 7.3: Décomposition du BEL étape 1

Nous constatons que les engagements futurs de l'assureur envers son assuré représentent 95% du BEL et que les coûts de cette activité correspondent à 5%. En effet, la charge totale de l'assureur correspond essentiellement aux charges et prestations à servir aux assurés.

Etant donné que l'assureur investit son actif uniquement en monétaire, le rendement de son investissement rapporte le taux sans risque car la projection est faite en univers risque neutre. Le TRA représenté dans le graphique ci-dessous est égale à la courbe des taux sans risque. L'objectif est de voir si les produits financiers lié à cet investissement ainsi que les primes entrantes suffisent pour financer les 71,14 (4,3 + 69,85 – 3,37) correspondants aux charges liés à cette activité et permettent de générer un résultat positif pour l'assureur.

Comparons le niveau du taux servi et du taux de rendement de l'actif afin d'expliquer la part restante à l'assureur par l'analyse des deux courbes suivantes :

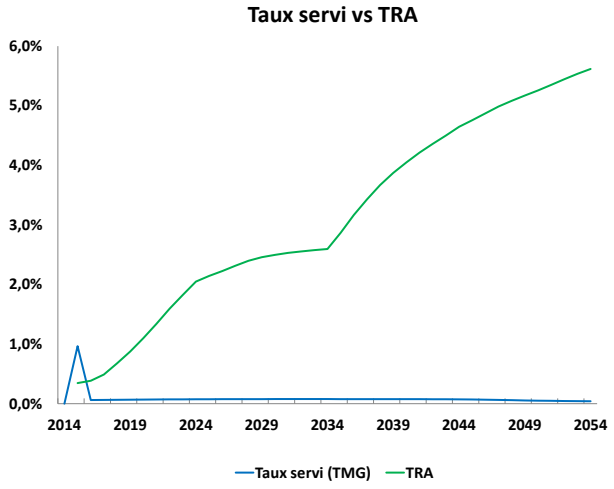


Figure 7.4: Comparaison du taux servi et du taux de rendement de l'actif

Le taux servi correspond au taux minimum garanti (TMG). Le taux servi est alors de 1% la première année et autour de 0.05% les années suivantes. En effet, ce résultat s'explique contractuellement car la première année, le TMG est servi pour les contrats individuels et collectifs, alors qu'à partir de la deuxième année, il est servi que pour les contrats collectifs.

Or sur la première année, le taux de rendement de l'actif (0.38%) est inférieur au taux servi (1%) ce qui conduit à un résultat négatif. Cependant pour que l'analyse soit plus exhaustive, nous devons aussi prendre en compte les primes entrantes pour vérifier si elles seront en mesure de combler la différence entre le taux de rendement de l'actif et le TMG. Nous présentons le graphique suivant qui décompose le résultat assureur :

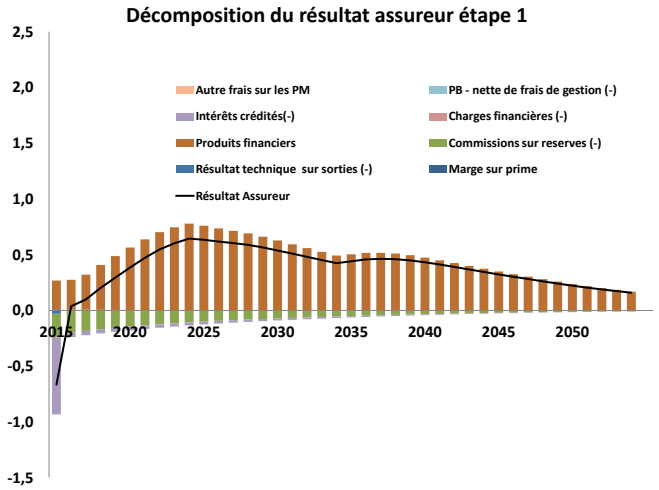


Figure 7.5: Décomposition du résultat assureur étape 1

Nous constatons que même en rajoutant les primes entrantes à notre analyse, l'assureur ne réussit pas à avoir un résultat positif la première année.

En effet, nous obtenons le résultat de la première année par le calcul suivant présenté dans le tableau :

Produits financiers (+)	**0.26**
Montant de TMG (-)	**0.69**
Montant de TMG sur sorties (-)	**0.03**
Commissions sur réserves (-)	**0.21**
Résultat assureur	**-0.67**

De la deuxième année à la fin de la projection (40 ans), nous avons un taux de rendement de l'actif supérieur à 0.38% et un taux minimum garanti autour de 0.05%. Nous en déduisons que les produits financiers permettent de servir le montant minimum garanti, de payer les charges et de générer un profit à partir de la deuxième année. L'actualisation des résultats assureurs projetés sur 40 ans permet d'obtenir une PVFP maximale de 6.85.

Cette étape ne nécessite pas de validation car elle représente l'étape de base à partir de laquelle nous étudierons l'impact de l'activation de chaque module de calcul sur les indicateurs présentés précédemment.

7.4.2 Etape 2 : Activation de la participation aux bénéfices réglementaires

7.4.2.1 Contexte

Dans la deuxième étape, nous nous plaçons dans le cas où le taux servi est celui de la participation aux bénéfices réglementaire qui correspond à 85% des produits financiers lié à la provision mathématique. Ce taux de participation aux bénéfices est, a priori, supérieur au taux minimum garanti. Le but de cette deuxième étape est alors d'analyser l'impact de l'activation du module de la participation aux bénéfices réglementaire sur les engagements de l'assureur et son résultat.

7.4.2.2 Hypothèses de début de projection

Comme dans la première étape, l'actif de l'assureur est investi uniquement en monétaire. Sa valeur correspond au montant de la provision mathématique qui est égale à 77,99.

7.4.2.3 Résultat et analyse

Pour cette étape, nous obtenons les résultats suivants :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 1	77.99	71.14	6.85
Étape 2	77.99	78.57	−0.58
Évolution	0.00%	10.44%	−108.53%

Nous constatons que suite à l'activation de la PB réglementaire, le BEL augmente pour atteindre 78,57, soit une augmentation de 10,44%. En effet, nous devons servir aux assurés un montant supérieur par rapport à l'étape précédente, donc les engagements assureurs augmentent. En revanche, nous constatons une diminution de la PVFP de 108,53% pour atteindre -0.58.

L'angle d'analyse choisi est de comparer le taux servi de l'étape 2 par rapport au taux servi de l'étape 1 et de leurs évolutions dans le temps :

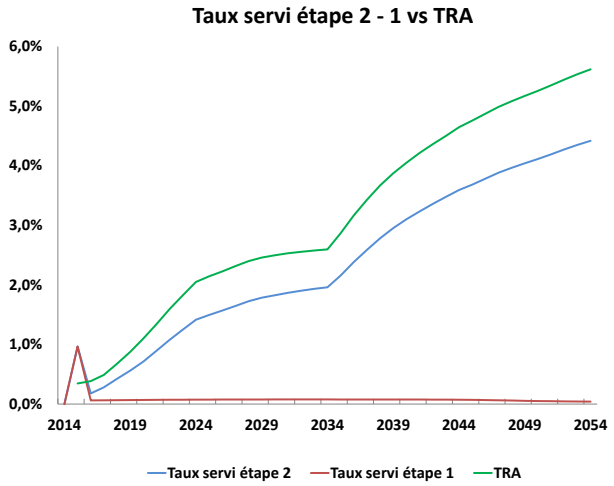


Figure 7.6: Comparaison des taux servi des étapes 2 et 1

La première année, 85% du TRA est inférieur au TMG, donc l'assureur est contraint de servir le TMG. En revanche, les années suivantes, le taux de participation aux bénéfices règlementaires dépasse le TMG. Cela entraine plus d'engagements futurs pour l'assureur et une augmentation des coûts futurs liés à l'administration et la gestion des contrats. La modélisation via la notion du *flexing* (présentée dans la partie 6.3.1.1) permet de revaloriser les flux composants le BEL en prenant en compte le nouveau taux servi.

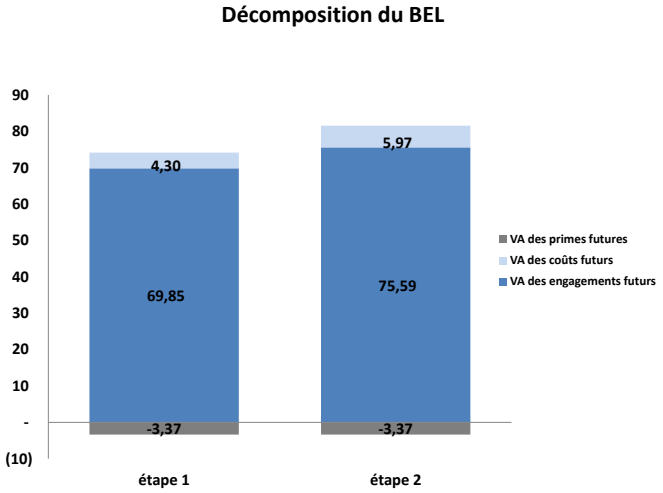


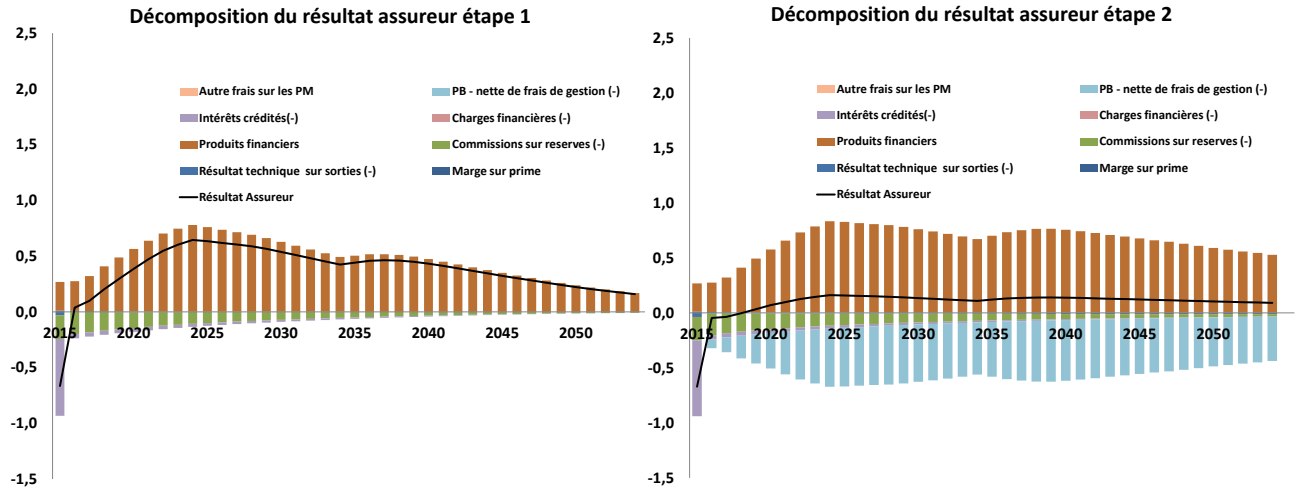
Figure 7.7: Décomposition du BEL étape 2-1

Pour le résultat assureur, L'assureur doit consommer plus de produits financiers afin d'honorer ses engagements. Cela conduit à une diminution du résultat par rapport à l'étape 1.

Sur la première année, nous constatons que le montant des produits financiers et les primes entrantes ne suffisent pas à couvrir le montant du TMG et les coûts de l'année, par conséquent,

le résultat est négatif. Sur les années suivantes, le résultat devient positif grâce aux produits financiers qui sont supérieurs aux montants de participation aux bénéfices servis et aux coûts. Mais, la consommation des produits financiers réduit ses résultats par rapport à l'étape 1. En effet, nous remarquons que le résultat assureur passe de 0.6 à 0.1 en 2022.

1- Résultat assureur étape 1 2- Résultat assureur étape 2



L'activation de la PB réglementaire oblige l'assureur a puisé dans son résultat et implique une forte diminution de la PVFP :

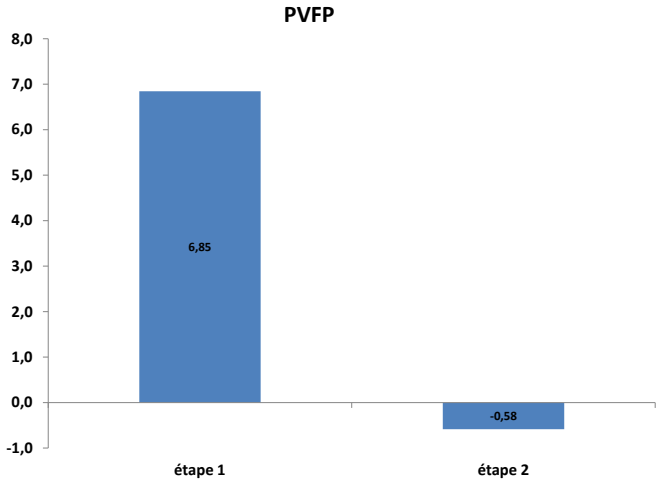


Figure 7.8: Comparaison des PVFP étape 2 - 1

L'assureur a un BEL qui dépasse la valeur de marché de son actif, il ne peut honorer ses engagement

s'il ne fait pas appel à une augmentation du capital pour compenser la perte de son résultat.

A ce stade, nous validons cette étape par rapport à l'étape précédente car nous obtenons une augmentation du BEL dû à un taux servi plus élevé et par conséquent, une diminution de la PVFP. Cette conclusion est intuitive et cohérente.

7.4.3 Etape 3 : Activation du module de calcul de la PB contractuelle

7.4.3.1 Contexte

L'activation de la participation aux bénéfices contractuelle impose à l'assureur de servir annuellement les taux définis dans les contrats épargne qu'il commercialise. Ces taux sont différents d'un contrat à l'autre. Toutefois, pour des raisons de concurrence sur le marché de l'assurance vie, le taux de participation aux bénéfices contractuel reste plus haut que les taux de participations aux bénéfices réglementaires. Par conséquent, l'assureur a plus d'engagement envers son assuré ce qui devrait induire une augmentation de son BEL et une diminution de sa PVFP.

7.4.3.2 Hypothèses de début de projection

Les hypothèses de cette étape restent les mêmes que celles de l'étape 2. L'actif qui est égal au montant de provision mathématique est investi en monétaire.

7.4.3.3 Résultat et analyse

Pour cette étape, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 2	77.99	78.57	−0.58
Étape 3	77.99	79.49	−1.50
Évolution	0.00%	1.17%	−157.22%

L'activation de la PB contractuelle augmente le BEL à 79.49 (+1,17%) et une diminution de la PVFP de 157% à -1.50.

Nous nous retrouvons dans les mêmes contraintes que précédemment, c'est-à-dire, l'augmentation du taux servi et l'assureur qui pourra honorer ses engagements s'il apporte plus de capital dans le but de compenser sa PVFP négative.

A ce stade, nous validons cette étape par rapport à l'étape précédente car nous obtenons une augmentation du BEL dû à un taux servi plus élevé car le taux de participation aux bénéfices contractuel est supérieur au taux de participation aux bénéfices réglementaire et une diminution de la PVFP car l'assureur puise dans ses produits financiers donc dans son résultat pour tenter d'honorer ses engagements.

Cette étape validée nous permet aussi de comprendre l'impact de l'activation du taux de participation aux bénéfices contractuel sur le BEL et la PVFP.

7.4.4 Etape 4 : Activation du module de calcul du taux de participation aux bénéfices cible

7.4.4.1 Contexte

Dans les étapes 2 et 3, le taux servi est une donnée fixe pour l'assureur. Ce taux dépend uniquement du montant des produits financiers générés au cours de l'année. Or l'assuré attend un taux supérieur au taux contractuel (cette condition est d'autant plus vraie en période de taux bas). Pour remédier à cette problématique, l'assureur décide de mettre en place un mécanisme de pilotage des taux servis dans l'objectif d'avoir un taux servi élevé lissé sur toute la période pour rester compétitif dans un marché assez développé. Pour se faire, l'assureur se fixe un taux cible à atteindre défini en fonction des taux du marché afin de respecter ses engagement et satisfaire l'assuré.

Dans le cas de l'existence d'un besoin à financer pour atteindre le taux cible, l'assureur met en place deux actions de management, à savoir, le " Levier de PPE " et le levier de "marge assureur". (Voir partie 3.1.5.1 pour la définition de la PPE et 6.3.3.6 pour la définition de marge assureur.) En activant ce mécanisme et en intégrant une richesse initiale de PPE, l'assureur est-il capable de servir des taux plus haut que ceux servis dans l'étape 3 et d'améliorer sa PVFP ?

7.4.4.2 Hypothèses de début de projection

Dans cette étape, l'assureur intègre une richesse initiale de PPE qui s'élève à 1,88. Par conséquent, le montant de l'actif investi en monétaire correspond au montant des provisions mathématique (77,99) augmenté du montant de la PPE initiale (1,88) soit 79.87.

7.4.4.3 Résultat et analyse

Pour cette étape, les résultats sont présentés dans le tableau suivant:

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 3	77.99	79.49	−1.50
Étape 4	79.87	81.89	−2.02
Évolution	2.42%	3.02%	−34.79%

L'activation du mécanisme du taux cible entraine une augmentation du BEL (81,89 soit 3.02%) et une diminution de la PVFP (-2.02 : -34,79%), car l'assureur sert un taux plus élevé en puisant dans la PPE et dans la marge assureur qui permet de calculer le résultat assureur. Plus la PPE sera faible en début de projection plus le résultat assureur sera impacté pour servir le taux cible.

En effet, dans cette étape, l'assureur cherche à servir le taux cible défini comme suit :

$$Taux_cible = coef^{Taux_cible}\% \times \left(\left(Bond_Tres^{10}_{N-1} + Bond_Tres^{10}_{N}\right)/2\right) \tag{7.1}$$

Avec :

- $coef^{Taux_cible}$: Coefficient d'ajustement calculé en interne.
- $Bond_Tres_N^{10}$: le taux 1 an des OAT 10 ans.

Nous allons analyser la différence entre le taux contractuel et le taux cible à atteindre sur le nombre d'années de projection par le graphique suivant :

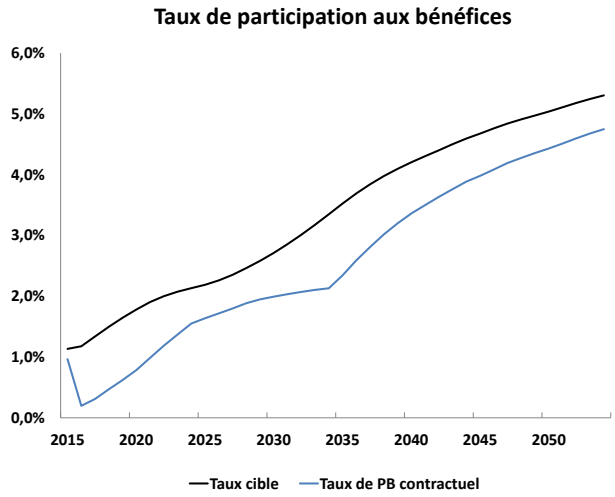


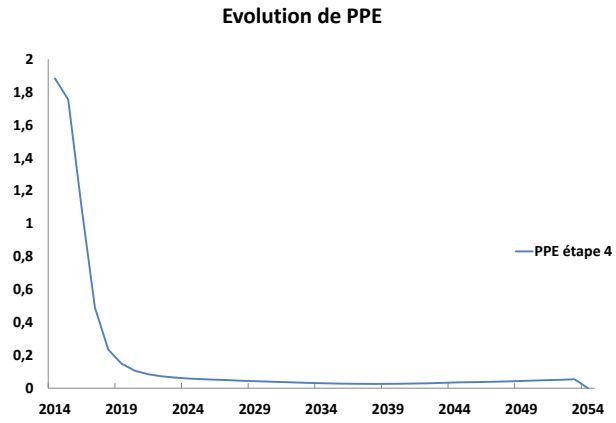
Figure 7.9: Comparaison du taux cible et du taux de PB contractuel étape 4

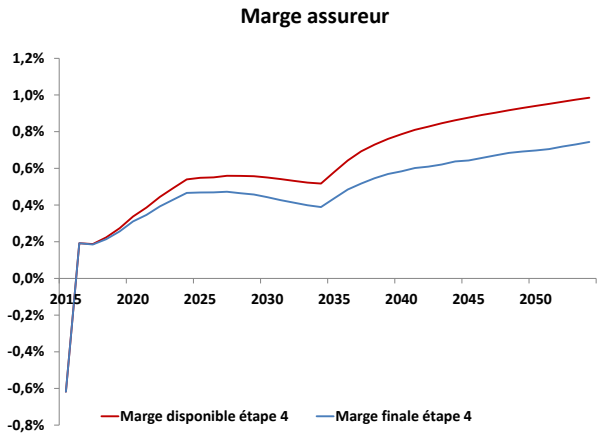
Le graphique nous conforte dans l'idée que le taux cible est toujours supérieur au taux de participation aux bénéfices contractuel.

La richesse initiale en PPE est de 1,88. La première année, nous avons un taux cible de 1,1% supérieur de 0.1 point par rapport au taux de PB contractuel. L'assureur doit utiliser le levier PPE pour financer le besoin pour atteindre ce taux cible. Or, si la PPE ne suffit pas, l'assureur est obligé de consommer une partie de sa marge initiale.

Pour analyser ce mécanisme, nous représentons l'évolution de ces deux leviers :

1- levier "PPE" 2- levier "marge assureur"





Sur les premières années, la PPE est presque totalement épuisée, tandis que la marge n'est pas consommée. Cela veut dire que la consommation de la PPE suffit pour atteindre le taux cible.
En revanche, à partir de l'année 2041, nous remarquons une situation de dotation de PPE. Cela veut dire que pour certaines poches stochastiques, le montant de PB contractuel dépasse le montant cible, ainsi l'assureur n'utilise pas les leviers de financement. En effet, l'écart entre le montant de PB contractuelle et le montant cible est doté à la PPE.

Le graphe nous permet de constater que la marge assureur est négative la première année, cela est dû au montant de TMG servi la première année pour les contrats individuels.
A partir de la 5 ème année, la marge assureur disponible diminue car l'assureur a un besoin de financement pour s'approcher du taux cible. Cependant, la consommation de la marge assureur disponible est limitée par une contrainte fixée par l'assureur.

Nous constatons après analyse de ces deux leviers de financement qu'ils permettent d'améliorer le taux servi pour être concurrent sur le marché. Maintenant, il est intéressant de voir comment ces deux leviers permettent d'améliorer le taux servi sur les 40 années présentés dans le graphe suivant :

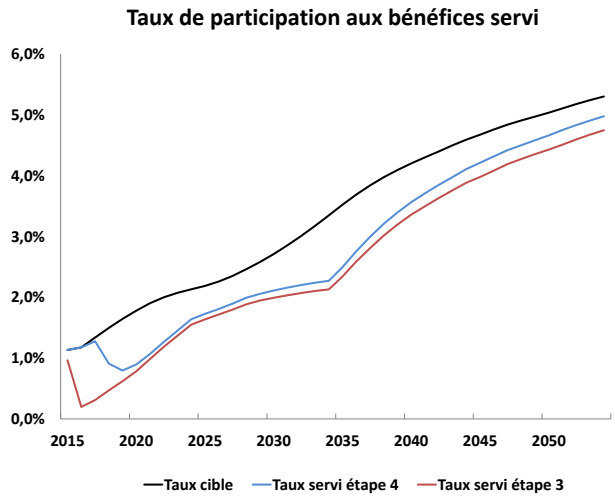


Figure 7.10: Comparaison des taux servis étape 4 - 3

Ce mécanisme permet de servir le taux cible pendant les 3 premières années et des taux supérieurs aux taux de PB contractuelle. Cela conduit à l'augmentation des engagements futurs de l'assureur (+1.88) et des coûts futurs (+0.52).

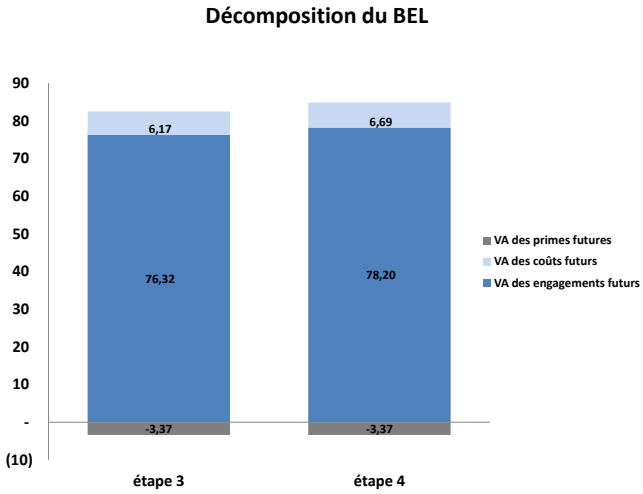


Figure 7.11: Décomposition du BEL étape 4 - 3

Dans cette étape, sur les premières années, les reprises de PPE permettent de financer le besoin pour atteindre le taux cible. Donc, le résultat assureur n'est pas impacté. Après la consommation de la PPE, le deuxième levier de financement "marge assureur" s'active et diminue le résultat assureur. Le graphique suivant permet de comprendre la variation du résultat assureur entre l'étape 3 et 4 par sa décomposition :

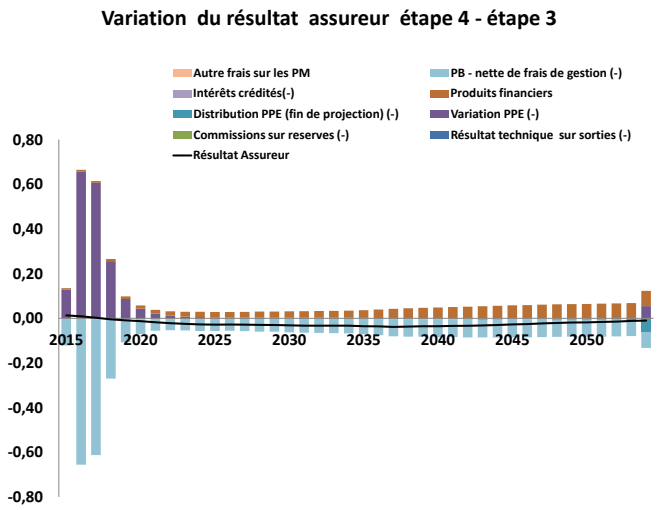


Figure 7.12: Variation du résultat assureur étape 4 - 3

Le résultat assureur diminue sur toute la période de projection. Ce qui correspond au global à une baisse de 0,52 (-34,79%).

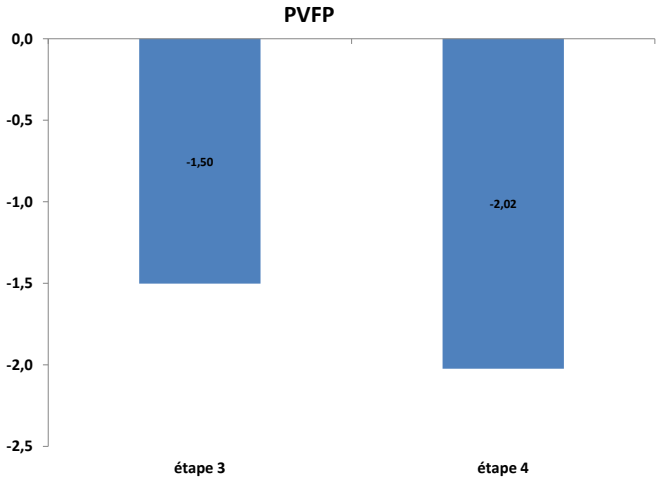


Figure 7.13: Comparaison PVFP étape 4 - 3

A cette étape, nous pouvons conclure que le mécanisme mis en place par l'assureur permet d'améliorer les taux servis pour respecter la concurrence. Cependant, sous les hypothèses de cette étape, si l'assureur souhaite honorer ses engagements, son résultat serait négatif.

A ce stade, nous validons cette étape par rapport à l'étape précédente car nous obtenons une augmentation du BEL dû à un taux servi plus élevé car le taux cible est supérieur au taux de participation aux bénéfices contractuel et une diminution de la PVFP car l'assureur puise dans ses produits financiers donc dans son résultat pour tenter d'honorer ses engagements. Cette étape validée nous permet aussi de comprendre l'impact de l'activation du mécanisme du taux cible sur

le BEL et la PVFP.

Lors de ces trois dernières étapes, nous constatons que le montant de la PVFP est négatif. Car le montant du TMG servi la première année impacte fortement le résultat et l'investissement de l'actif en monétaire avec les taux sans risques ne permet pas une production financière importante.

Est-ce-qu'un changement de la composition du portefeuille d'actif permettra de d'avoir une PVFP positive?

7.4.5 Etape 5 : intégration de l'actif réel de BNP Paribas Cardif

7.4.5.1 Contexte

Le but de cette étape est d'étudier l'impact du changement de la composition de l'actif sur l'évolution du BEL et de la PVFP. Un actif investi en obligation et en action et l'activation d'une stratégie d'investissement d'achat/vente permettent-ils à l'assureur de satisfaire les attentes de l'assuré ?

7.4.5.2 Hypothèses de début de projection

Dans cette étape, l'assureur intègre un actif composé de 23% d'action et 77% d'obligation. Cet actif est en situation de plus-value avec une valeur de marché de 93,44. En valeur comptable, l'actif est de l'ordre de 79,87 il correspond au montant des provisions mathématique (77,99) augmenté du montant de la PPE initiale (1,88).

7.4.5.3 Résultat et analyse

Pour cette étape, l'évolution du BEL et de la PVFP sont représentées dans le tableau suivant :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 4	79.87	81.89	−2.02
Étape 5	93.44	91.05	2.39
Évolution	17.10%	11.18%	217.94%

Nous constatons une augmentation de la richesse initiale de l'actif lié à sa plus-value qui s'élève à 13,6. Le partage de la MV entre assuré et assureur induit une augmentation du BEL et de la PVFP. Nous remarquons aussi que le BEL augmente à 91,05 (11,18%) car le taux servi sera plus élevé dépendant des produits financiers. La PVFP n'est plus négative car nous avons une forte augmentation des produits financiers.

Rappelons que le taux de rendement de l'actif est défini dans la partie 6.3.3.1

Le taux de rendement de l'actif se voit impacter par l'intégration de l'actif réel de BNP Paribas Cardif. Nous analysons son évolution par les deux courbes de TRA de l'étape 4 et 5 sur 40 ans présentées ci-dessous :

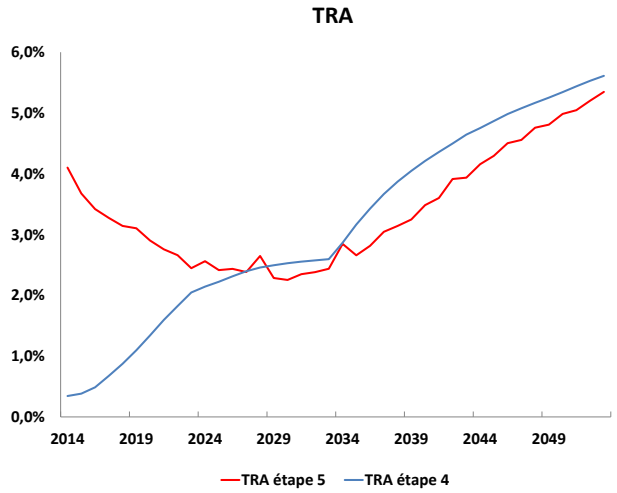


Figure 7.14: Comparaison du TRA étape 5 - 4

L'assureur dispose d'un portefeuille d'actif composé de 77% d'obligation de différentes catégories et maturités. L'augmentation du taux de rendement de l'actif de la première année est due essentiellement au remboursement des coupons. En revanche, la diminution du TRA sur les 20 dernières années se justifie par le niveau de dividende servi et par le remboursement des nominaux des obligations arrivées à maturité. Le TRA suit la tendance de la courbe des taux sans risque (TRA étape 4) car la projection est faite en univers risque neutre, c'est donc cohérent avec ce que nous nous attendons à observer.

Le taux de participation aux bénéfices correspond à un pourcentage du taux de rendement de l'actif. Donc, ils auront la même tendance. Le graphique suivant permet de visualiser cette similitude :

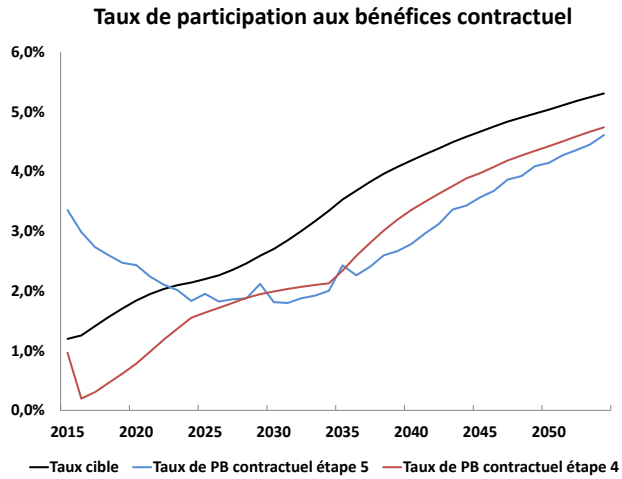


Figure 7.15: Comparaison du taux de participation aux bénéfices contractuel étape 5 - 4

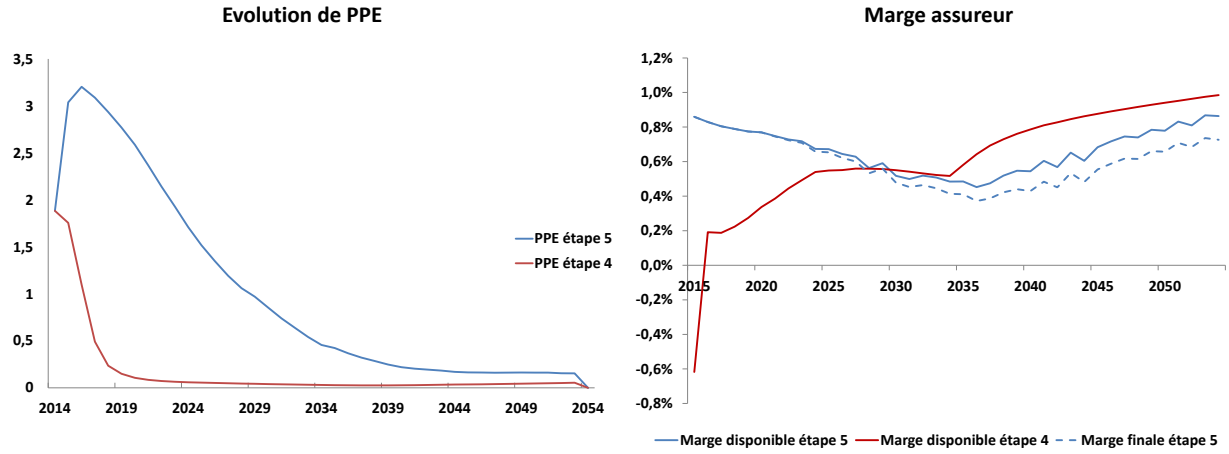
Rappel : Afin d'ajuster le taux servi au taux cible, l'assureur utilise donc les deux leviers : PPE

et marge assureur.

Dans les premières années, l'assureur dote la PPE car les produits financiers qu'il génère suffisent largement pour servir le taux cible. La marge disponible augmente par rapport à l'étape 4 grâce à l'amélioration du TRA les premières années et elle n'est pas impactée car l'assureur n'utilise pas sa marge pour atteindre le taux cible.

Pour analyser ce mécanisme, nous représentons l'évolution de ces deux leviers :

1- levier "PPE"	2- levier "marge assureur"



En plus des taux cible servis chaque année, l'assureur a la contrainte réglementaire de liquider la PPE des contrats qui ont 8 ans de maturités. Cette contrainte permet de stopper les dotations de PPE et commencer les reprises à partir de l'année 2018. De même pour la marge assureur, nous constatons qu'elle est impactée à partir de l'année 2023 dans le but de financer le besoin restant pour atteindre le taux cible. La marge assureur n'est pas totalement consommée à cause de la contrainte de réduction fixée par l'assureur.

Nous pouvons aussi constater que même si la PPE n'est pas totalement consommée, l'assureur utilise le deuxième levier "marge assureur". Cela s'explique par l'existence de quelques poches stochastique pour lesquelles le taux cible est atteint sans consommer la totalité de la PPE.

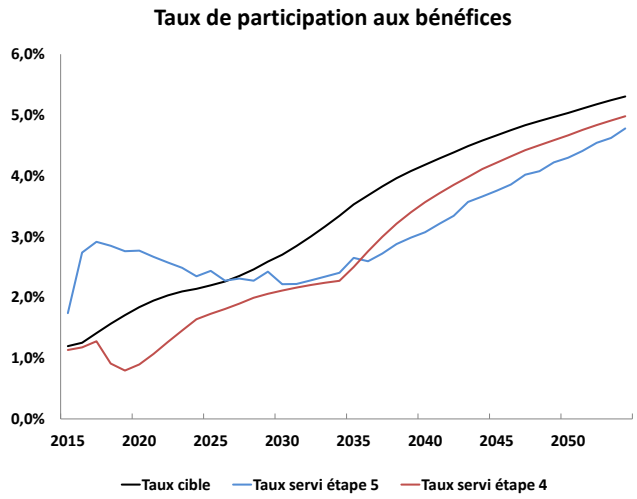


Figure 7.16: Comparaison du taux servi étape 5 - 4

L'intégration de l'actif réel permet à l'assureur d'améliorer le taux servi et ainsi servir le taux cible les dix premières années. L'écart entre le taux cible et le taux servi correspond au taux servi supplémentairement en raison de la liquidation de la PPE associée aux contrats ayant 8 ans de maturité. L'assuré profite aussi d'un taux servi plus intéressant jusqu'à l'année 2035. La diminution du taux servi à partir de cette année est due au niveau de produits financiers non suffisants.

Le taux servi sur les 20 premières années mène à l'augmentation des engagements et des charges de l'assureur.

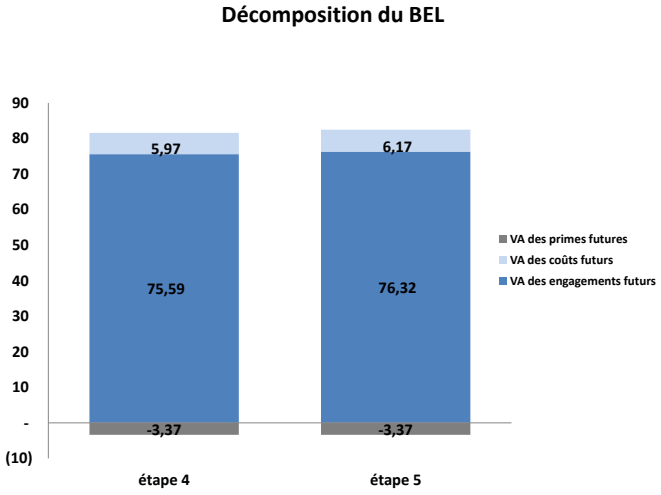


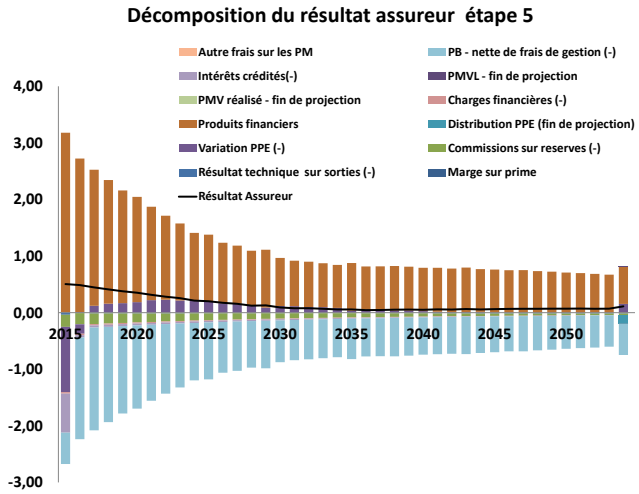
Figure 7.17: Décomposition du BEL étape 5 - 4

Par conséquent, nous retrouvons un BEL qui augmente de 9.16 qui correspond à 11.18%.

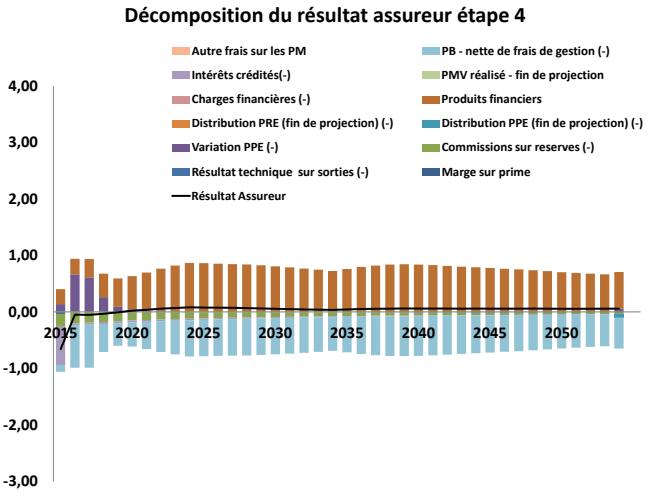
Concernant le résultat assureur, dans cette étape, l'assureur dispose de plus de produits financiers.

Sur les 3 premières années, les produits financiers suffisent à financer le taux servi tout en dotant la PPE. Cela conduit à un résultat assureur positif les premières années contrairement au résultat assureur de l'étape 4 qui était négatif la première année.

1- Résultat assureur étape 5



1- Résultat assureur étape 4



L'intégration d'un actif composé d'obligations et d'actions et l'activation de la stratégie d'investissement s'avèrent être profitable pour l'assureur. Plus précisément, le remboursement des coupons permet d'améliorer le taux de rendement de l'actif, l'assureur passe la première année d'un taux de rendement de 0.11% à l'étape 4 à un taux de 4.12%. Ainsi, l'assureur arrive à satisfaire ses assurés en leur servant des taux plus hauts tout en générant une PVFP de l'ordre 2.39, en augmentation de 217.94%.

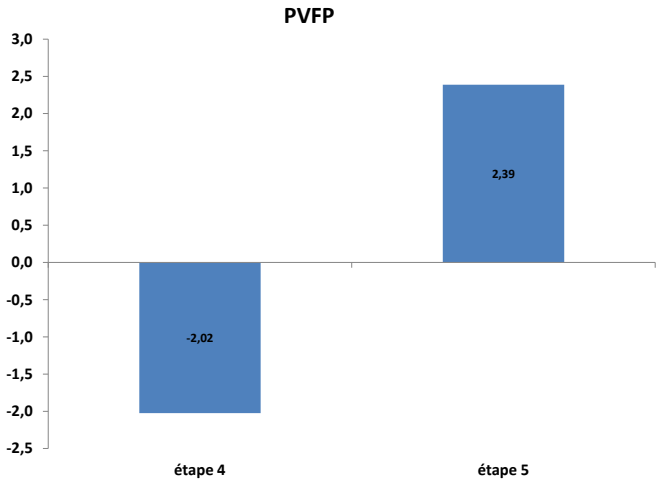


Figure 7.18: Comparaison de la PVFP étape 5 - 4

7.4.6 Etape 6 : Activation de la réserve de capitalisation

7.4.6.1 Contexte

L'article R.333-1 du code des assurances prévoit que l'assureur doit se doter d'une réserve de capitalisation, constituée lors de ventes d'obligations avant leur échéance. Cette réserve peut être dotée d'un montant égal à la différence entre le prix de vente et la valeur nette comptable de l'obligation si la différence est positive, ou vice-versa. Le but de l'assureur dans cette étape est de respecter cette exigence réglementaire. Quel sera l'impact de l'intégration de cette réserve sur le taux servi à l'assuré et sur le résultat de l'assureur?

7.4.6.2 hypothèse de début de projection

Dans cette étape, l'actif de l'assureur en valeur comptable correspond à l'actif de l'étape 5 (Provision mathématique + montant de la PPE) augmenté du montant de la réserve de capitalisation initiale 0.99. En valeur de marché, l'actif augmente du même montant.

7.4.6.3 Résultat et analyse

Les évolutions du BEL et de la PVFP après activation de la réserve de capitalisation sont présentés dans le tableau suivant :

	MV	BEL	PVFP
Étape 5	93.44	91.05	2.39
Étape 6	94.42	91.05	3.38
Évolution	1.05%	0.00%	41.4%

La valeur de marché de l'actif augmente suite à l'ajout du montant de la réserve de capitalisation initiale, le BEL reste constant car le taux servi n'a pas augmenté par rapport à l'étape précédente. La PVFP augmente de 0,99 en raison du montant de réserve initiale de la réserve de capitalisation qui s'ajoute au résultat assureur.

La stratégie d'investissement pratiquée par l'assureur est mise en place de telle sorte que la réserve de capitalisation reste constante tout au long de la projection avec une récupération totale de cette réserve la dernière année. Le taux de rendement de l'actif de l'assureur n'est donc pas impacté. Ainsi, l'assuré reçoit le même taux de participation aux bénéfices qu'à l'étape 5.

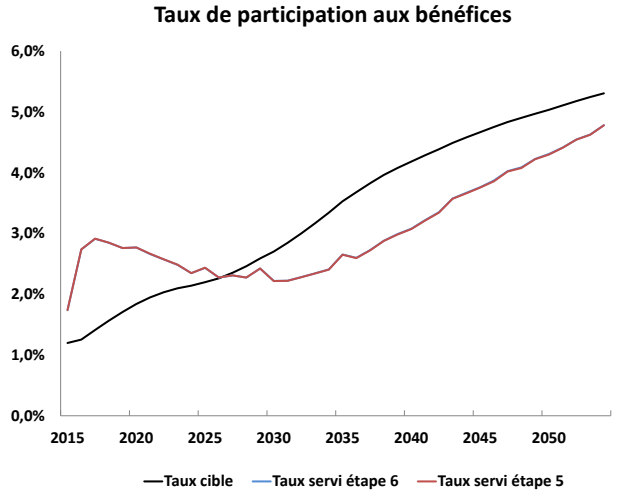


Figure 7.19: Compraison du taux servi étape 6 - 5

L'analyse de l'impact de la RC sur le taux servi à l'assuré explique l'évolution du BEL. Nous constatons que la variation du BEL est faible (-0.001).

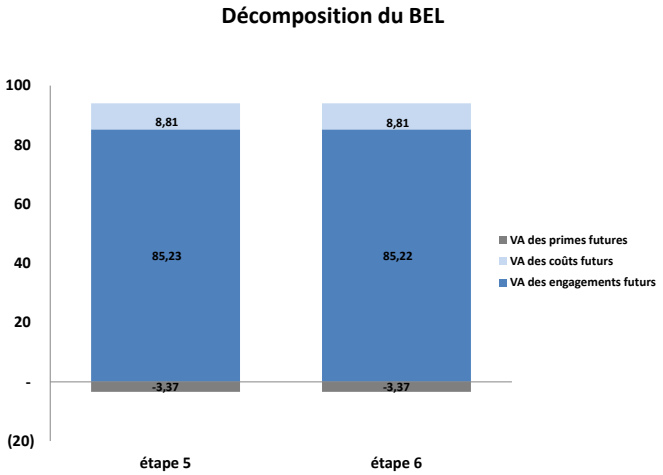


Figure 7.20: Décomposition du BEL étpae 6 - 5

La réserve de capitalisation est constante tout au long de la projection, elle entraine une augmentation des produits financiers totaux mais sans impacter les produits financiers alloués à la provision mathématique. Nous en déduisons que le montant de participation aux bénéfices reste constant par rapport à celui servi dans l'étape 5. De plus, la dernière année, l'assureur récupère la RC et les plus/moins-values latentes ce qui augmente son résultat.

Le graphique suivant présente la décomposition de la variation du résultat assureur entre l'étape 6 et 5 :

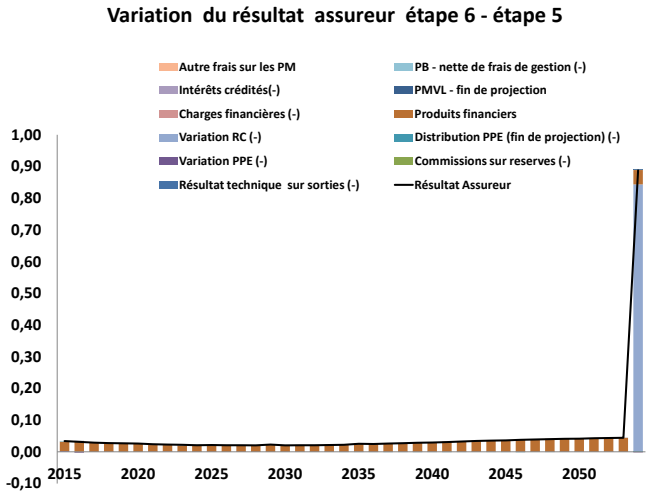


Figure 7.21: Variation du résultat assureur étape 6 - 5

Le résultat précédemment établi permet de justifier l'augmentation de la PVFP de 0.99 (soit 41.43%) sur le graphique suivant :

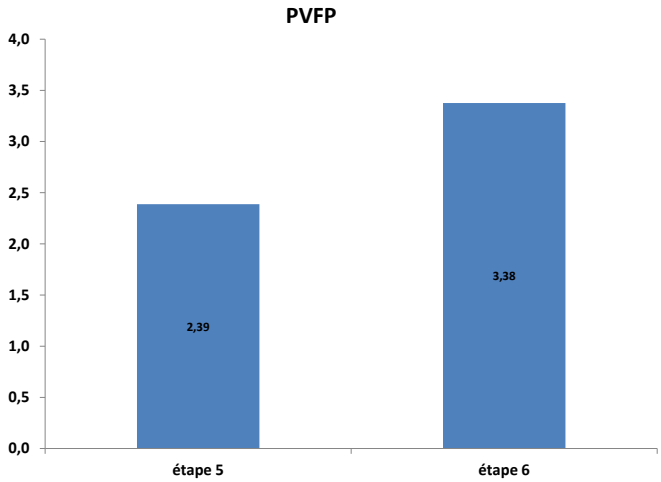


Figure 7.22: Comparaison de la PVFP étape 6 - 5

Dans cette étape, l'impact de l'activation de la réserve de capitalisation sur l'activité de l'assureur

permet d'augmenter son résultat sans augmenter ses engagements vis-à-vis des assurés. Le choix fait par l'assureur d'ajuster sa stratégie d'achat/vente des obligations de telle sorte à garder la RC constante sur toute la durée de projection a pour conséquence le respect de la contrainte réglementaire, et a pour bénéfice d'augmenter le profit de l'assureur par le placement de cette réserve.

Nous pouvons donc dire avec certitude que l'étape 6 est en adéquation avec les hypothèses émises à la fin de l'étape 5, ce qui nous permet à ce stade de valider cette étape et ainsi de passer à l'étape suivante.

7.4.7 Etape 7 : Activation de la provision pour dépréciation durable

7.4.7.1 Contexte

La provision pour dépréciation durable (PDD) est constituée pour les actifs non obligataires si la valeur de marché de l'actif est inférieure à sa valeur comptable pendant au moins 6 mois.

La PDD est calculée sur deux années consécutives, si la différence entre la valeur comptable et la valeur de marché est supérieure à 20% de la valeur comptable, alors il y a lieu à une dotation à la PDD si :

$$FAV - MV > 20\%.FAV \tag{7.2}$$

avec :

- FAV = valeur comptable de l'actif,
- MV = valeur de marché de l'actif.

Quel est donc l'enjeu de la PDD pour l'assureur ?

7.4.7.2 Hypothèses de début de projection

L'actif de l'assureur en valeur comptable correspond à l'actif de l'étape 6 (Provision mathématique + montant de la PPE + montant de la RC) augmenté du montant de la PDD initiale 0.51. En valeur de marché, l'actif augmente du même montant.

7.4.7.3 Résultat et analyse

Dans cette étape, les résultats suivants s'affichent :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Étape 6	94.42	91.05	3.38
Étape 7	94.92	92.20	2.72
Évolution	0.54%	2.72%	−19.36%

Nous constatons que le BEL augmente de 2.72%, soit 1.15 et la PVFP diminue de 19.36% ce qui équivaut à 0.56. Pour pouvoir comprendre le mécanisme de la PDD, nous allons analyser son évolution sur la durée totale de projection via le graphique suivant :

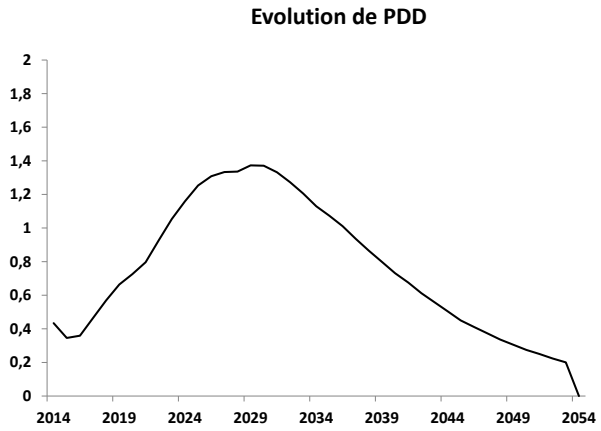


Figure 7.23: Evolution de la PDD

Sur les deux premières années et à partir de 2032, l'actif de l'assureur est en situation de reprise de PDD, il n'est donc pas en situation de dépréciation durable et permettra à l'assureur de générer plus de produits financiers. Entre 2016 et 2032, l'assureur détient un actif en situation de dépréciation durable. L'évolution de la PDD impacte le taux de rendement de l'actif de l'assureur. En effet, si l'actif de l'assureur permet des dotations de PDD, le montant de cette dotation est considéré comme un produit financier de l'assureur qui pourra l'utiliser par la suite pour le calcul du taux servi. Rappelons que le calcul du TRA prend en compte la variation des PDD, voir la formule

Rappelons que le calcul du TRA prend en compte la variation des PDD, (voir la formule 6.3.3.1)

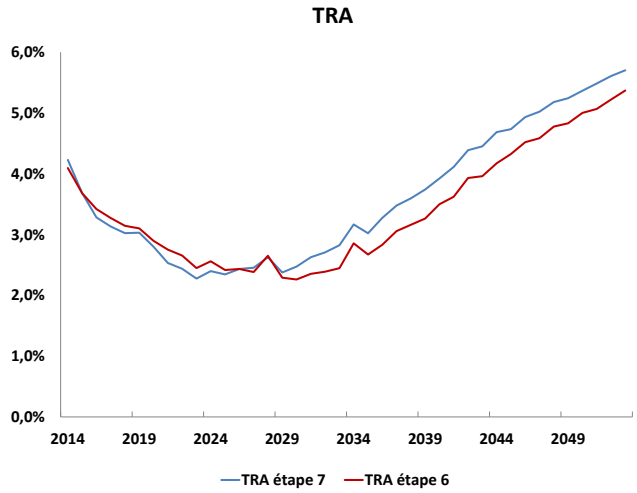


Figure 7.24: Comparaison du TRA étape 7 - 6

Nous constatons qu'en situation de dotation de PDD, le TRA diminue et inversement. Lorsque l'assureur possède un actif en situation de non dépréciation durable, il profite des reprises de PDD pour améliorer le taux de rendement de l'actif. Plus particulièrement, une situation de reprise de PDD permet de mieux satisfaire l'assuré en lui assurant un taux de PB contractuel plus intéressant que celui de l'étape précédente. Vice-versa en cas de dotations de PDD.

Afin de mieux comprendre l'évolution des taux de PB contractuel avec (étape 7) ou sans PDD (étape 6) pour valider l'augmentation du TRA avec la prise en compte de la PDD. Nous comparons les taux de PB ainsi que le taux cible sur le graphique suivant :

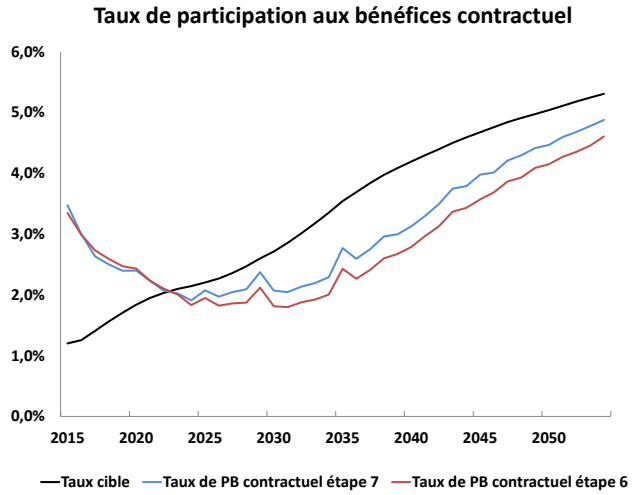


Figure 7.25: Comparaison du taux de participation aux bénéfices contractuel étape 7 - 6

Nous constatons que le graphique nous réconforte sur le fait que la modification du TRA entraine un changement au niveau du taux de participation aux bénéfices contractuel. (Voir formule de

calcul du montant de PB contractuel 6.3.3.3)

Afin d'approcher le taux servi du taux cible, l'assureur utilise donc les deux leviers : PPE et marge assureur.

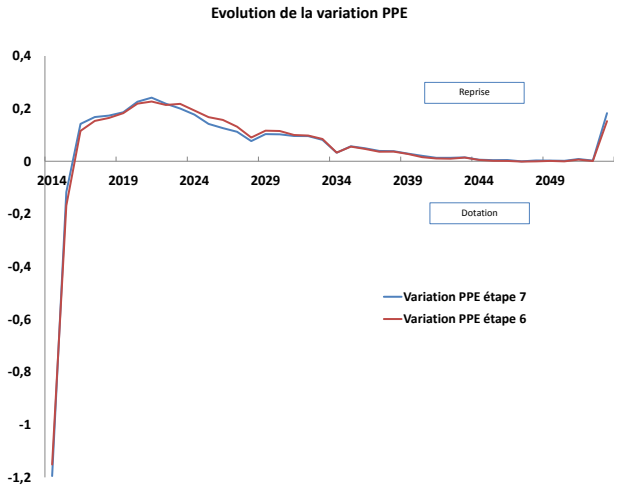
Sur les deux premières années et à partir de 2023, nous somme en situation de reprise de PDD, le taux de PB contractuel augmente car l'assureur a plus de produits financiers.

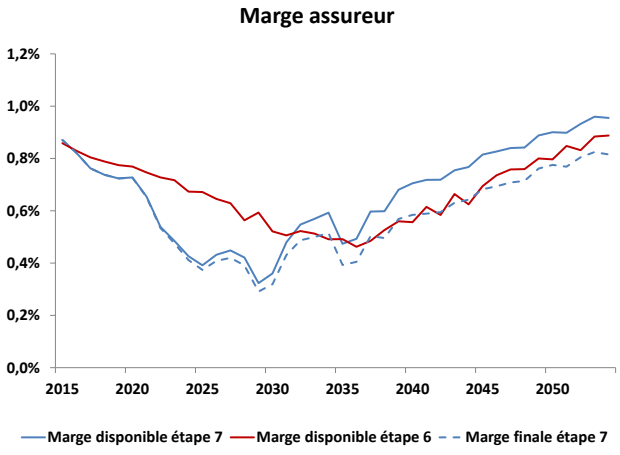
Par exemple en 2015, le taux de PB contractuel passe de 3,4% (l'étape 6) à 3,5% (L'étape 7). Par conséquent, le montant de dotation de PPE augmente de 3.5% en passant de 1.15 à 1.19. [Voir levier "PPE" ci-dessous].

En situation de dotation de PDD, le taux de PB contractuel diminue. L'assureur a donc plus de besoin de financement pour atteindre le taux cible, ce qui devrait augmenter le montant de reprise de la PPE. Ce qui s'avère vérifié entre 2017 et 2023 [Voir levier "PPE" ci-dessous]

Rappelons que la marge assureur disponible est définie comme étant la part des produits financiers que l'assureur conserve après financement des charges de TMG et des montants de participation aux bénéfices sur sortie. Or en situation de dotation de PDD, le montant des produits financiers diminue impliquant une diminution de la marge assureur disponible. Inversement, la marge assureur disponible augmente en cas de reprise de PDD.

1- levier "PPE" 2- levier "marge assureur"





Ces leviers permettent à l'assureur d'atteindre, voir de s'approcher du taux cible. Sur les 15 premières années, en plus des taux cible servi chaque année, l'assureur est contraint réglementairement de reprendre en totalité la PPE associée aux contrats ayant 8 ans de maturités. Or cette contrainte permet de stopper les dotations de PPE et permet les reprises dès 2018. A partir de 2023, la marge assureur est impactée dans le but de financer le besoin restant pour atteindre le taux cible. Cependant BNP Paribas Cardif fixe une contrainte de réduction maximale qui permet à la marge assureur de ne pas être consommée en totalité.

La comparaison entre le taux servi à l'étape 7 et à l'étape 6 nous permet de constater que le taux servi est plus élevé avec le mécanisme de la PDD présenté dans le graphique suivant :

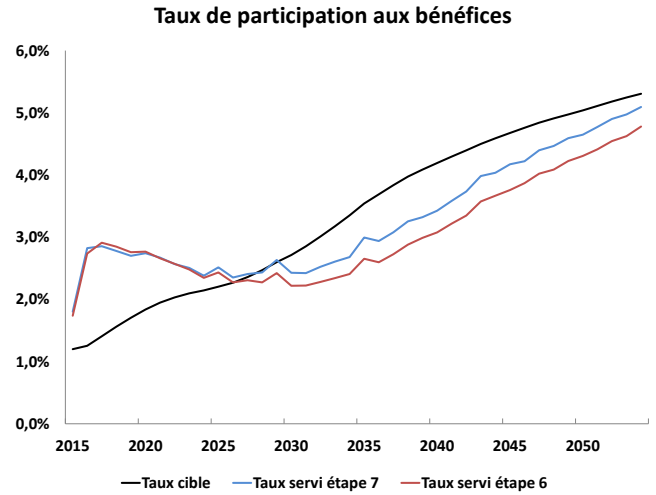


Figure 7.26: Comparaison du taux servi étape 7 - 6

En résumé, l'activation de la PDD entraine une augmentation du taux servi les deux premières années, puis une diminution jusqu'à l'année 2023. A partir de cette année, le taux servi augmente significativement. Sur toute la durée de projection, nous constatons que le taux servi à l'assuré augmente par rapport à celui servi dans l'étape 6.

Via le flexing [voir partie 6.3.1.1 pour la définition], l'augmentation du taux servi entraine une augmentation des charges futures de l'assureur. L'engagement de ce dernier envers ses assurés passe de 85.22 à 86.15. De même, les coûts associés à cette activité s'élève à 9.04.

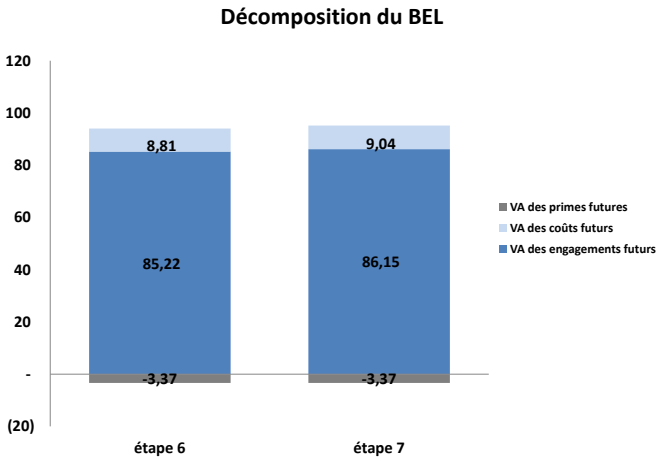


Figure 7.27: Décomposition du BEL étape 7 - 6

Concernant le résultat assureur, l'activation de la PDD joue un rôle important dans l'évolution

des produits financiers de l'assureur et donc dans l'évolution des montants servis à l'assuré car l'augmentation des produits financiers conduira à l'augmentation des taux servi aux assurés.

Le graphique suivant représente la décomposition de la variation du résultat assureur entre l'étape 7 et 6. Il nous permettra de voir l'impact de la variation de la PDD sur les produits financiers ainsi que le résultat d'une manière générale :

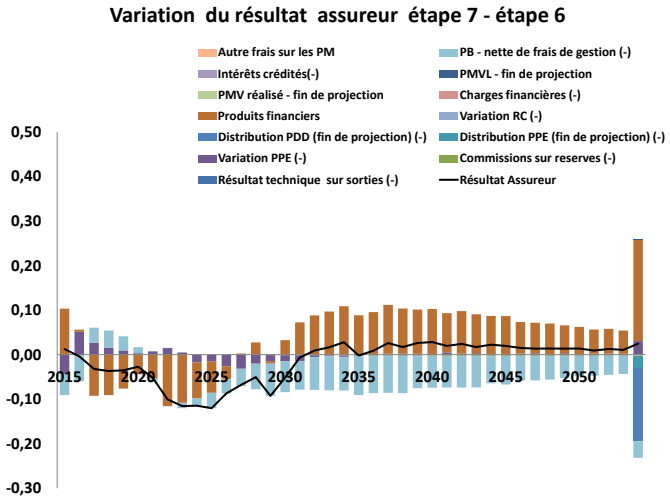


Figure 7.28: Variation du résultat assureur étape 7 - 6

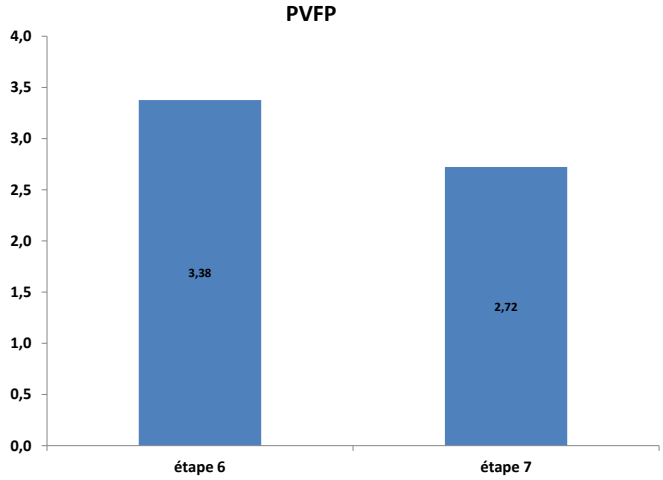


Figure 7.29: Comparaison de la PVFP étape 7 - 6

En effet, les produits financiers disponibles représentent le montant des produits financiers provenant des actions et des obligations en plus de la variation de la PDD.

La première année, l'actif de l'assureur est en situation de reprise de PDD, cela permet d'augmenter le montant de PB servi, tout en dotant la PPE.

Entre 2017 et 2027, nous constatons un résultat assureur négatif, l'actif est en situation de dépréciation durable ce qui oblige l'assureur à doter sa PDD, diminuant ainsi ses produits financiers ce qui conduit en même temps à la réduction du taux de PB servi à l'assuré. A partir de 2030, l'actif se retrouve en situation de reprise de PDD, ainsi l'assuré profite de l'augmentation de ses produits financiers pour servir un taux de PB plus haut et augmenter son résultat. En actualisant les résultats futurs de l'assureur sur 40 ans, le résultat assureur diminue pour atteindre 2.72 (soit -19.36%) en activant la PDD. Donc, sur 40 ans, cette provision a un véritable coût pour l'assureur.

Nous pouvons donc dire avec certitude que l'étape 7 agit de manière intelligible sur les engagements de l'assureur et son résultat, ce qui nous permet à ce stade de valider cette étape et ainsi de passer à l'étape suivante.

7.4.8 Etape 8 : Activation de la provision pour risque d'exigibilité

7.4.8.1 Contexte

A la fin de chaque exercice comptable, l'assureur doit constituer une provision pour risque d'exigibilité si ses placements se trouvent dans une situation de moins-value latente nette globale. Article R 331-5-1

La PRE est calculée de la manière suivante :

$$PRE_N = min\left(PRE_{N-1} + \frac{1}{8}max\Big(FAV_N - MV_N - PDD_N; 0\Big); max\Big(FAV_N - MV_N - PDD_N; 0\Big)\right) \tag{7.3}$$

avec :

- FAV = valeur comptable de l'actif,
- MV = valeur de marché de l'actif,
- PDD = provision pour dépréciation durable,
- N = année de projection.

Le but de cette étape est de comprendre le mécanisme de la PRE ainsi que son impact sur l'évolution du BEL et de la PVFP.

7.4.8.2 Hypothèses de début de projection

Dans cette étape, les hypothèses de projection sont les mêmes que celles de l'étape 7, car le montant de PRE initial est nul. Il y aura des dotations ou des reprises de PPE en fonction de l'évolution de l'actif. Par conséquent, la valeur comptable de l'actif investi ne change pas.

7.4.8.3 Résultat et analyse

Les évolutions du BEL et de la PVFP après activation de la provision pour risque d'exigibilité sont présentées dans le tableau suivant :

	MV	BEL	PVFP
Étape 7	94.92	92.20	2.72
Étape 8	94.92	93.81	1.11
Évolution	0.00%	1.74%	−59.36%

Suite à l'activation de cette étape le BEL augmente de 1.74% et la PVFP diminue de 59,36%.

Pour pouvoir comprendre le mécanisme de la PRE, nous allons analyser son évolution sur la durée totale de projection via le graphique suivant :

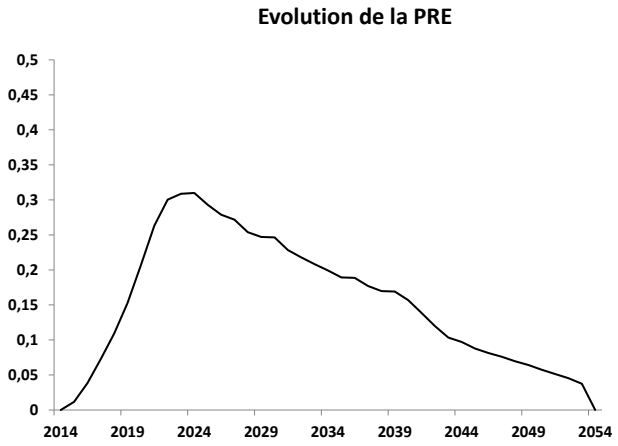


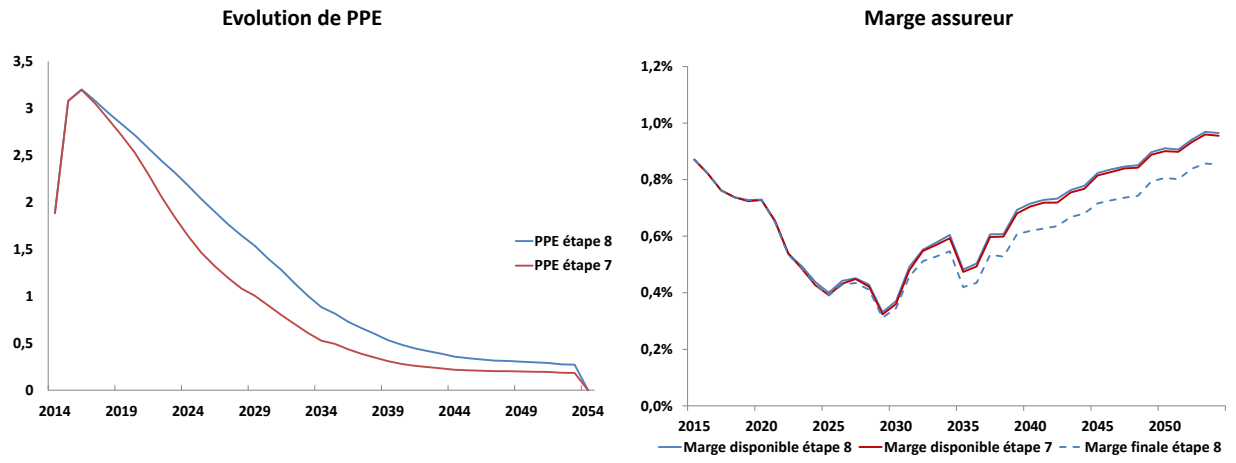
Figure 7.30: Evolution de la PRE

Le graphique nous permet de constater que l'actif de l'assureur est en situation de dotation de PRE sur les 10 premières années. Sur les années restantes, il est en situation de reprise de PRE.

Contrairement à la PDD, l'évolution de la PRE n'a pas d'impact sur le TRA. La PRE a un impact sur le montant réglementaire [définition partie 6.3.3.4] En effet, la variation de la PRE impacte le montant réglementaire via le "solde de gestion technique". Quand l'actif est en situation de dotation de PRE, le solde de gestion technique diminue, entrainant une diminution du montant réglementaire. De même si l'actif est en situation de reprise de PRE, le montant réglementaire augmente.

Dans les cas où le montant réglementaire dépasse le montant contractuel. L'assureur sert le montant contractuel et la différence entre ces deux montants est dotée à la PPE. Cela permet à l'assureur d'augmenter le montant de sa PPE (Voir graphique ci-dessous). Or le TRA n'a pas été impacté par l'activation de la PRE, donc la marge assureur disponible n'est pas impactée.

1- levier "PPE"	2- levier "marge assureur"



L'augmentation du montant de PPE joue un rôle important dans le financement de besoin pour atteindre le taux cible. La marge n'est consommée qu'à partir de l'année 2025 (l'année où l'assureur commence à reprendre de la PRE). Cela permet donc à l'assureur de satisfaire de plus en plus l'assuré en augmentant le taux servi.

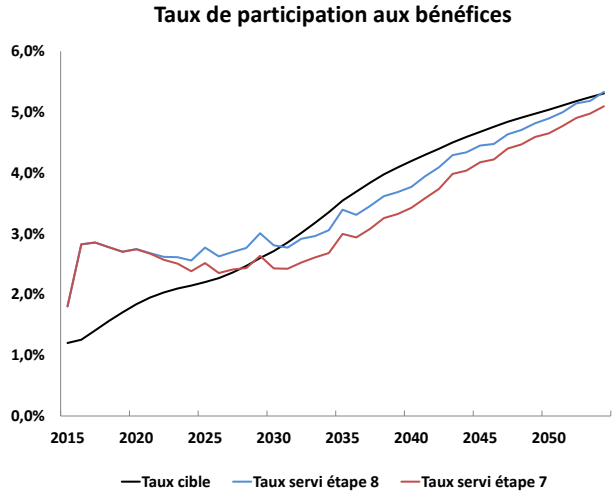


Figure 7.31: Compraison du taux servi étape 8 - 7

L'augmentation des taux servi entraine une augmentation des engagements futurs de l'assureur ainsi que les charges et les coûts liés à cette activité. Par conséquent, le BEL de l'assureur augmente de 1.61.

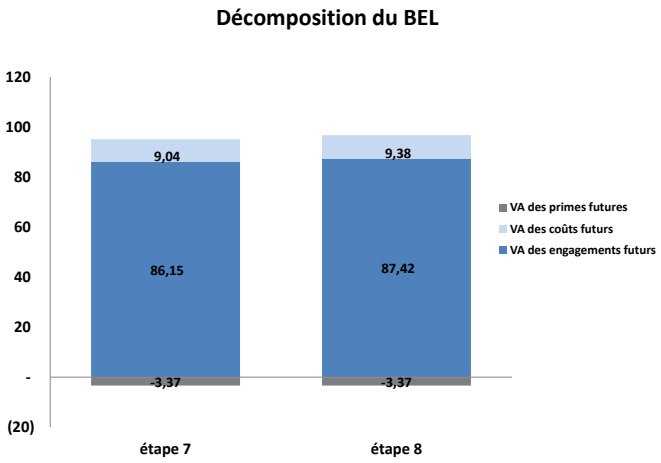


Figure 7.32: Décomposition du BEL étape 8 - 7

Pour l'analyse de l'impact de la PRE sur le résultat assureur, nous représentons la variation des différentes composantes du résultat assureur entre l'étape 8 et l'étape 7 sur le graphique suivant :

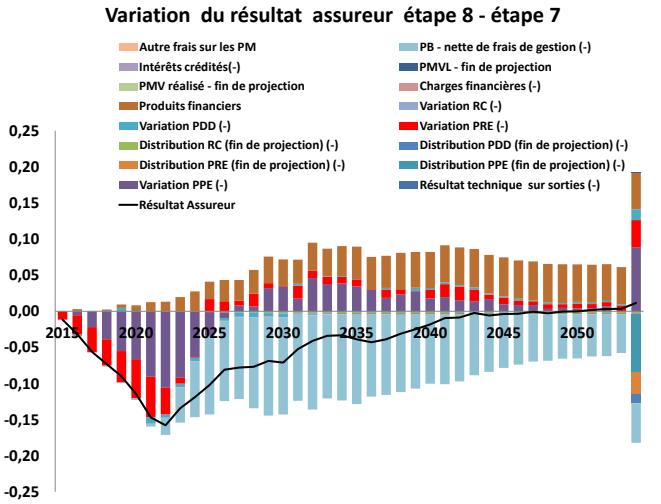


Figure 7.33: Variation du résultat assureur étape 8 - 7

Sur les 10 premières années, l'assureur atteint le taux cible, face à l'augmentation de la PPE, l'assureur n'a pas de besoin à financer et donc l'augmentation du montant de PPE par rapport à l'étape 7 impacte négativement le résultat de l'assureur. De plus les dotations de PRE pour faire face à la situation de risque d'exigibilité de l'actif de l'assureur conduisent à la diminution du résultat assureur.

A partir de 2025, l'augmentation de la PPE induit une augmentation significative des produits financiers. Malgré l'augmentation des produits financiers, l'augmentation des reprises de PPE et les reprises de PRE, l'assureur n'arrive pas à servir le montant lié à l'augmentation du taux servi.

C'est pourquoi l'assureur puise dans son résultat d'où sa diminution sur la durée de projection (PVFP diminue de 1.61).

Dans cette étape, nous avons compris les évolutions du BEL et de la PVFP suite à l'activation de la PRE. Nous pouvons donc dire avec certitude qu'à l'étape 8 l'activation de la PRE permet à l'assureur de servir plus à l'assuré au détriment de son résultat futur, ce qui nous permet à ce stade de valider cette étape et ainsi de passer à l'étape suivante.

7.4.9 Etape 9 : Activation du rachat dynamique

7.4.9.1 Contexte

Dans cette étape, l'assureur active les rachats dynamiques de ses contrats. Les rachats dynamiques sont considérés comme un risque que l'assureur doit être capable de couvrir. Le rachat dynamique se déclenche si l'écart entre le taux cible et le taux servi atteint un certain niveau. Dans notre cas, la loi qui permet la modélisation des rachats dynamiques est propre à l'assureur.

Le rachat dynamique se modélise par poche stochastique, chaque poche a sa propre loi. La loi de rachat dynamique dépend de plusieurs paramètres par exemple : le montant de rachat maximal et minimal. En moyenne, sur toutes les poches stochastiques, la loi utilisée pour modéliser les rachats dynamiques est de la forme suivante :

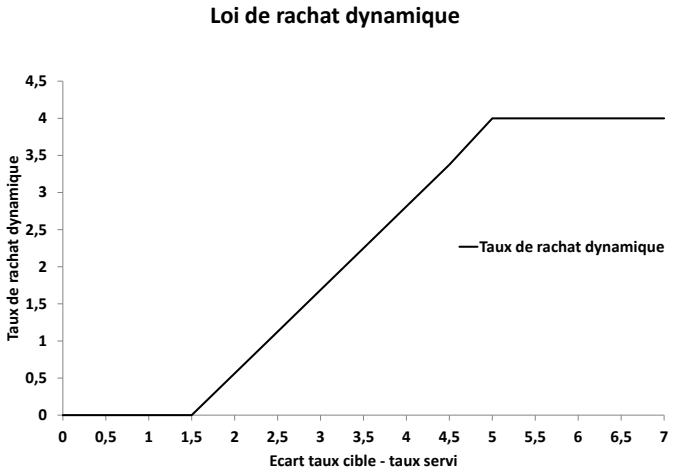


Figure 7.34: Loi de rachat dynamique

Le rachat dynamique constitue donc un risque pour l'assureur. La question qui se pose est de savoir dans quelle mesure les rachats dynamiques augmenteront la charge de l'assureur et diminueront ses résultats futurs.

7.4.9.2 Hypothèses de début de projection

Dans cette étape, les hypothèses de projection sont les mêmes que celles de l'étape 8.

7.4.9.3 Résultat et analyse

Pour cette étape, nous récupérons les résultats suivants :

	MV	BEL	PVFP
Étape 8	94.92	93.81	1.11
Étape 9	94.92	93.88	1.03
Évolution	0.00%	0.06%	−5.40%

Nous constatons que le BEL augmente légèrement de 0.06 % et la PVFP diminue de -5.4% Nous remarquons que suite à l'activation des rachats dynamiques le BEL augmente. Le montant des rachats dynamiques dépend de l'écart entre le taux cible et le taux servi. Le graphique suivant explique le lien entre le montant des rachats dynamiques et l'écart.

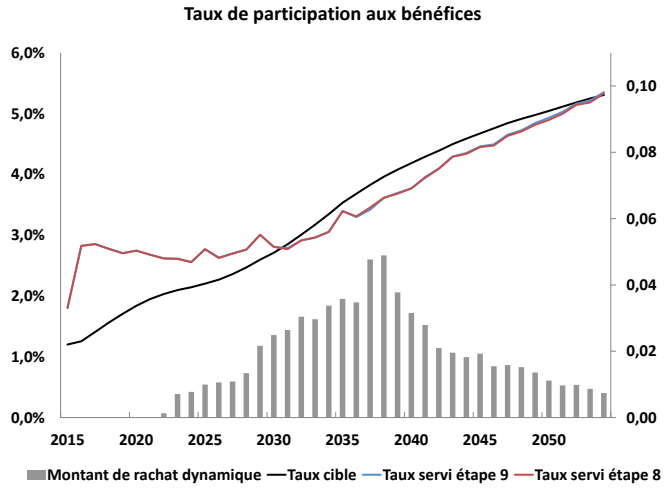


Figure 7.35: Comparaison du taux servi et montant de rachat

Nous constatons que le taux servi reste constant entre l'étape 9 et 8. Les écarts entre les deux taux, servi et cible, ont été expliqué dans l'analyse des étapes précédentes par le besoin de financement final restant après utilisation des leviers de PPE et de marge assureur. L'écart entre le taux cible et le taux servi déclenche les rachats dynamiques. Par conséquent nous constatons la création d'un flux de rachat dynamique sur la durée de projection. Le montant de rachat est maximal sur l'année 2038 où l'écart est important.

Ces flux de rachats dynamiques s'ajoutent aux charges futures de l'assureur et conduisent à une augmentation du BEL de 0.06%.

L'assureur à plus de besoin pour financer la charge causée par les rachats dynamiques. Cela conduit à la diminution de la PVFP du même montant d'augmentation du BEL.

La compréhension de l'évolution du BEL et de la PVFP nous permet de valider cette étape.

7.5 Conclusion de l'analyse en scénario central

Dans cette partie, l'analyse des étapes du *Bridging* en scénario central nous a permis de juger de la qualité de la robustesse du modèle. L'objectif était double : comprendre l'impact de chaque module de calcul et maitriser les chiffres en sortie du modèle.

Au début de l'étude, le modèle ALM de BNP Paribas Cardif fournissait les valeurs du BEL et de la PVFP sans que nous comprenions exactement les sources de ces chiffres .Or la décomposition du modèle en plusieurs modules de calcul nous a permis de comprendre d'un point de vue actuariel et business la création du BEL et de la PVFP étape par étape.

Nous avons commencé l'analyse par l'étude de l'impact des différents taux de participation aux bénéfices sur le BEL et la PVFP:

- Le taux minimum garanti
- Le taux de participation aux bénéfices réglementaire
- Le taux de participation aux bénéfices contractuel
- Le taux cible

Cela nous a permis de mettre en évidence l'importance des actions de management appliquées par l'assureur à savoir les mécanismes de financement de l'assureur pour atteindre le taux cible.

Ensuite, nous nous sommes intéressés à l'étape d'intégration de l'actif réel de BNP Paribas Cardif ainsi que l'activation des réserves d'actif :

- La réserve de capitalisation
- La provision pour dépréciation durable
- La provision pour risque d'exigibilité

L'étude de ces modules de calcul nous a permis de comprendre l'impact et l'enjeu de ces réserves par rapport à l'assureur.

Enfin, dans la dernière étape, nous avons compris l'impact des rachats dynamique sur le BEL et la PVFP.

Ainsi, l'analyse des résultats de chaque étape, nous a permis de vérifier la validité des évolutions des indicateurs attendus par l'assureur. Nous pouvons en déduire que l'impact des modules de calcul et des actions de managements est maintenant bien maitrisé par l'assureur suite à la mise en place d'un processus de validation *Bridging*. Cette méthode qui a permis à l'assureur d'avoir une meilleure visibilité sur les chiffres en sortie du modèle et donc de valider la robustesse de son modèle.

L'analyse réalisée sous l'hypothèse en situation centrale n'est cependant pas suffisante pour confirmer la robustesse du modèle. L'assureur doit appliquer cette méthode du *Bridging* sur des modèles en situation de stress "scénario choqué". Cette analyse nous permettra de valider la

véracité des conclusions énoncées précédemment en menant une étude complémentaire afin de mesurer la qualité des chiffres en sortie du modèle et ainsi valider le "bon" comportement du modèle en situation de stress.

Pour réaliser l'étude en scénario stressé, nous allons dans un premier temps définir ce que nous entendons par stress test d'un point de vue général, nous détaillerons ensuite l'application du *Bridging* à notre modèle en situation du choc Action et étudierons l'analyse des résultats en le comparant aux résultats d'analyse précédemment obtenus.

8 Application du *Bridging* en scénario stressé

8.1 Produit étudié et hypothèses de projection

L'étude sera faite sur les produits d'épargne individuelle et collective avec les mêmes hypothèses de projection qu'en scénario central. (Voir partie 7.1)

Nous utiliserons la même méthode d'analyse qu'en scénario central à savoir : l'évolution des indicateurs BEL et PVFP.

Nous nous intéressons à l'analyse du comportement du modèle en situations stressées. Des résultats cohérents et réconciliés avec l'intuition confirmeront la qualité du modèle en situation stressée. Dans la partie, analyse des résultats en situation de stress, nous discuterons plus en détails l'intérêt et l'enjeu des "*stress testing*". L'analyse sera faite de la même manière qu'en scénario central.

8.2 Méthode d'analyses des résultats

8.3 Définition des stress tests

1.101. *The insurance or reinsurance undertaking should use stress tests and scenario analysis as part of the validation of the internal model*

(cf. EIOPA 2009 [6]) Guideline 41 – Stress tests and scenario analysis (cf. EIOPA 2010 [7])

Parmi les outils de validation du modèle que propose le régulateur (cf. EIOPA 2009 [6]) , nous retrouvons " les tests du comportement du modèle en situation de scénario stressé".

Sous solvabilité 2, les "stress test" correspondent à l'analyse de l'impact d'un seul événement défavorable extrême et l'analyse de scénario représente l'analyse de l'impact d'une combinaison d'événements défavorables pour l'assureur. Ainsi, les stress test et l'analyse des scénarios permettent d'anticiper l'impact d'une variation d'un ou plusieurs facteurs de risques financiers ou assurantiels (exemple : taux d'intérêts, rendements des actions, mortalité, longévité, catastrophe..) sur le profil de risque et la solvabilité de l'assureur. Cela permet de répondre donc aux exigences réglementaires toujours plus fortes et sévères.

Les "stress test" ainsi que l'analyse des scénarios représentent donc des instruments primordiaux pour la compréhension du profil de risque de l'assureur et pour la réduction des risques.

Afin d'avoir une vision claire de la situation de l'assureur en situation de stress, l'assureur ne peut se baser que sur les chiffres en sortie de son modèle. Ces chiffres doivent donc être justifiables et communicantes, ce qui nous met dans une situation de besoin en matière de compréhension et d'analyse. La question qui se pose est de savoir si le modèle permet de fournir des résultats cohérents en situation de stress. Plus généralement, l'assureur est-il capable de projeter son image en situation de stress d'une manière efficace?

8.4 Principe du *stress testing* pour la validation des modèles

Dans la partie précédente, nous avons mené une analyse approfondie qui nous a permis de valider que le modèle fourni des résultats cohérents et justifiables en situation centrale. Cela n'est donc pas suffisant pour la validation du modèle, c'est dans cette logique que nous considérons que l'étude du modèle en situation de stress est un outil complémentaire de validation du modèle.

La décomposition du modèle en plusieurs étapes permet donc d'étudier chaque module de calcul séparément en comparant les résultats en situation de stress par rapport aux résultats en situation centrale présentés dans la partie 7.4 de l'étude. Cette étude qualitative actuarielle permettra de valider la robustesse du modèle en situation de stress.

8.5 Application

L'exercice des stress test de l'EIOPA visant à évaluer les résiliences du secteur d'assurance, consiste à effectuer un ensemble de chocs financiers et assurantiels. Dans cette étude, plusieurs chocs peuvent être étudiés, nous prenons l'exemple d'un choc de 39% de la valeur de marché des actions qui correspond au choc de la formule standard pour le calcul du SCR action.

Le *Bridging* nous permettra donc de maitriser et comprendre l'impact de ce choc sur les indicateurs de valeur et de solvabilité qui intéressent l'assureur.

Nous rappelons que dans notre étude, le *Bridging* repose sur la décomposition du modèle en 9 modules de calcul. Les quatre premières étapes consiste à investir l'actif uniquement en monétaire. Par conséquent, le choc action que nous allons appliquer impactera que les 5 étapes de *Bridging* où l'actif correspond à l'actif réel de BNP Paribas Cardif.

Afin d'analyser l'impact du choc action sur les indicateurs, nous commencerons par analyser l'étape 5 du *Bridging*, où nous modifions l'actif investi en monétaire par l'actif réel de BNP Paribas Cardif. L'analyse se fera en comparant les résultats du scénario central et du scénario choqué. Ensuite, nous activerons les modules de calcul relatifs aux réserves d'actif (RC/PDD/PRE) et nous étudierons l'impact de ces réserves sur les indicateurs stressés de l'étape 5.

La compréhension de l'impact de chaque module de calcul permettra de valider le bon comportement du modèle en situation de choc action.

8.6 Présentation des résultats

Dans cette partie, nous présentons les évolutions du BEL et de la PVFP en situation de choc action :

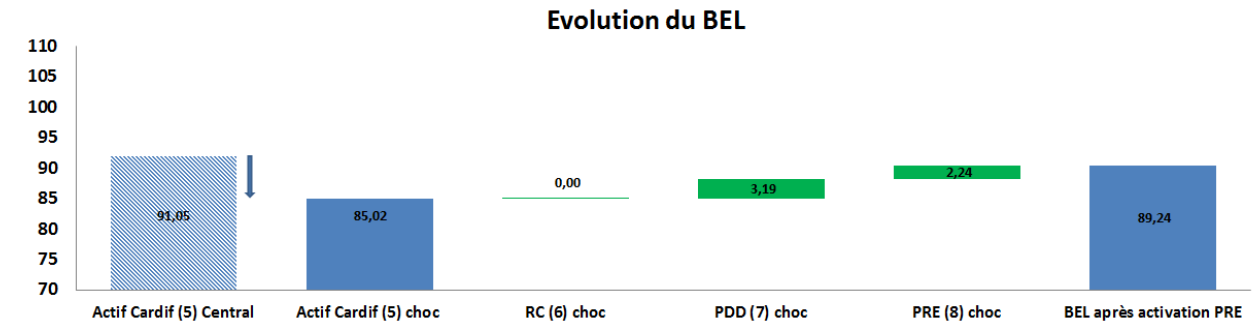


Figure 8.1: Analyse de mouvement du BEL en scénario de choc action

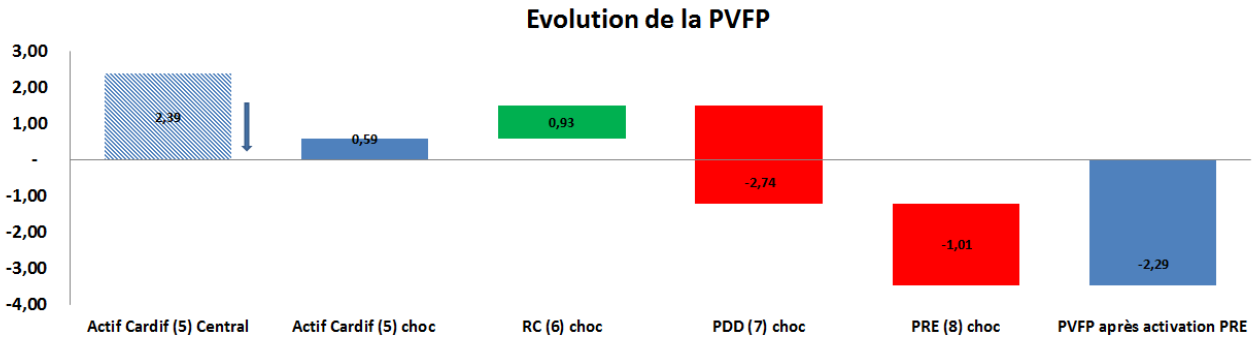


Figure 8.2: Analyse de mouvement de la PVFP en scénario de choc action

- Le premier bâton (Actif Cardif) présente les valeurs des indicateurs BEL/PVFP dans l'étape 5 du scénario central
- Bâton bleu présente les valeurs des indicateurs BEL/PVFP dans l'étape 5 (Actif Cardif) et dans l'étape 8, suite à l'activation des réserves d'actif
- Bâton rouge : Montant de diminution du BEL/PVFP suite à l'activation d'un module de calcul
- Bâton vert : Montant d'augmentation du BEL/PVFP suite à l'activation d'un module de calcul

Globalement, nous remarquons que suite au choc action, nous avons une diminution du BEL et de la PVFP par rapport au scénario central. Ensuite, l'activation de la réserve de capitalisation (RC) permet de garder le BEL constant tout en augmentant la PVFP. Par contre l'activation

de la provision pour dépréciation durable (PDD) et la provision pour risque d'exigibilité (PRE) conduisent à la diminution de la PVFP et à l'augmentation du BEL.

Dans la prochaine partie, nous analyserons plus en détails l'impact du choc action ainsi que l'enjeu des réserves d'actif sur les engagements de l'assureur et sur son résultat futur. L'analyse se déroulera comme suit :

1. Analyse de l'impact du choc action sur le BEL et la PVFP du scénario central – étape 5 du *Bridging*
2. Analyse de l'impact de l'activation de la réserve de capitalisation sur le BEL et la PVFP du scénario choqué de l'étape 5 du *Bridging*
3. Analyse de l'impact de l'activation de la provision pour dépréciation durable sur le BEL et la PVFP du scénario choqué de l'étape 6 du *Bridging*
4. Analyse de l'impact de l'activation de la provision pour risque d'exigibilité sur le BEL et la PVFP du scénario choqué de l'étape 7 du *Bridging*

8.6.1 Analyse du scénario central vs scénario choqué

Dans un premier temps nous présentons les résultats centraux et choqués de la MV, du BEL et de la PVFP :

	MV	**BEL**	**PVFP**
Situation central	93.5	91.05	2.39
Situation de choc action	85.6	85.1	0.59
Évolution	9.22%	−7%	−315.2%

Suite au choc action, nous constatons une diminution de la valeur de marché de l'actif de 7,9. Le BEL a diminué de 5,05 et la PVFP de 0.8.

L'objectif de la prochaine partie est d'analyser ces chiffres et d'étudier les indicateurs qui conduisent à ces évolutions.

- Diminution de la valeur de marché de l'actif:

En scénario central, l'actif de l'assureur a une valeur de marché de 93,5 dont 73,4 d'obligation et 20,1 d'actions. Nous nous intéressons à un choc de 39% de la valeur de marché des actions, la valeur atteint 12,2 au lieu de 20,1. Ainsi la valeur de marché de l'actif de l'assureur devient 85,6. D'où la diminution de la valeur de marché de l'actif de 7,9. Le tableau suivant explique le passage du scénario central au scénario choqué :

	MV	**MV action**	**MV obligation**
Situation central	93.44	20.1	73.4
Situation de choc action	85.6	12.2	73.4
Évolution	9.22%	−39%	00%

- Diminution du BEL :

Afin d'analyser la diminution du BEL, nous commençons par analyser le niveau du taux de rendement de l'actif suite au choc action. Nous rappelons que le taux de rendement de l'actif dépend des produits financiers liés aux actions. Ces produits sont représentés par les dividendes ainsi que les plus/moins-value latentes réalisées. Une baisse de la valeur de marché des actions impactera principalement le montant de plus/moins-value latente réalisées lors des achats/ventes pratiqués au cours de l'exécution de la stratégie financière.

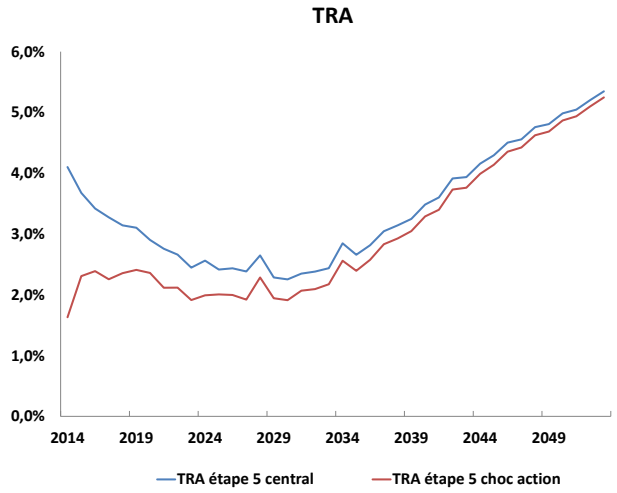


Figure 8.3: Comparaison du TRA central et choqué étape 5

Afin de respecter les allocations d'actif définies, l'assureur effectue des ventes d'actions, qui sont en situation de baisse sur le marché, réalisant ainsi une perte. Cela impacte fortement le taux de rendement des actions et explique principalement la baisse du TRA. A partir du TRA, nous définissons donc le taux de participation aux bénéfices contractuel :

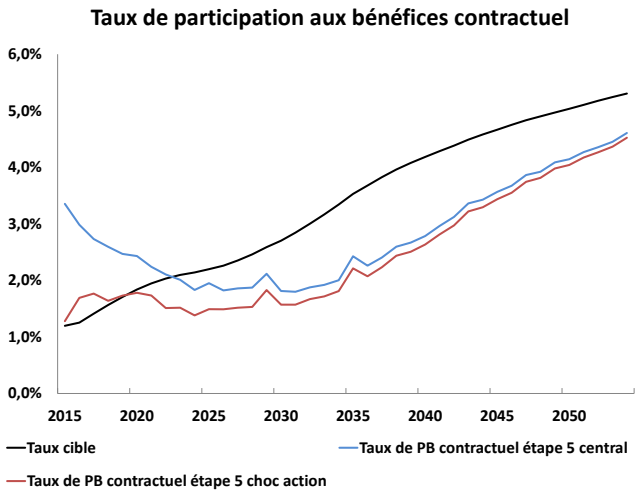
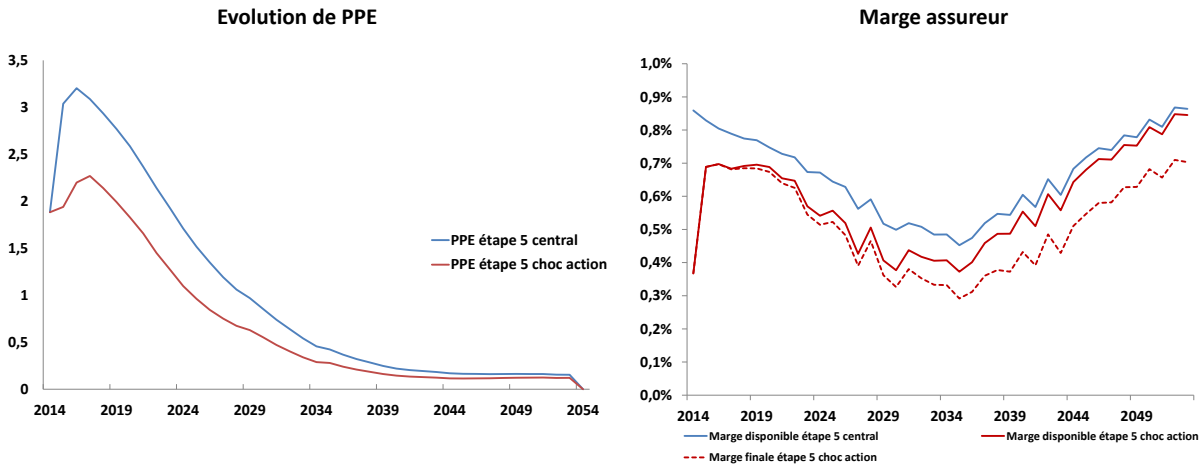


Figure 8.4: Comparaison du taux de PB contractuel central et choqué étape 5

Nous constatons que même en situation de choc action, le taux de PB contractuel reste supérieur au taux cible les premières années. Afin d'ajuster le taux servi au taux cible, l'assureur utilise donc les deux leviers : PPE et marge assureur. Dans les premières années, l'assureur dote la PPE car les produits financiers qu'il génère suffisent à servir le taux cible. La marge disponible diminue par rapport au scénario central à cause de la diminution du TRA.

1- levier "PPE" 2- levier "marge assureur"



Nous constatons qu'en situation de choc, l'assureur dote moins sa PPE les premières années. Ensuite, les reprises de PPE commencent pour s'approcher du taux cible. De même, l'assureur commence à consommer sa marge dès l'année 2016 contrairement au scénario central où la marge

n'était impactée qu'à partir de l'année 2023. Cela s'explique par la diminution de la valeur de marché des actions et ainsi l'augmentation du besoin pour atteindre le taux cible.

En plus des taux servis chaque année, l'assureur a la contrainte réglementaire de liquider la PPE des contrats qui ont 8 ans de maturités. Cette contrainte permet de stopper les dotations de PPE et commencer les reprises à partir de l'année 2018.

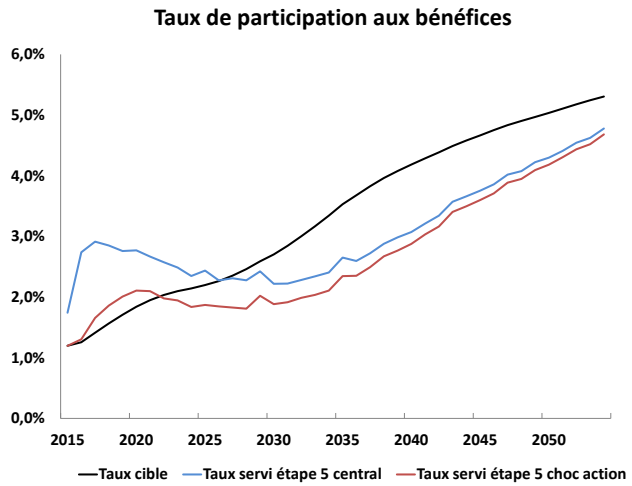


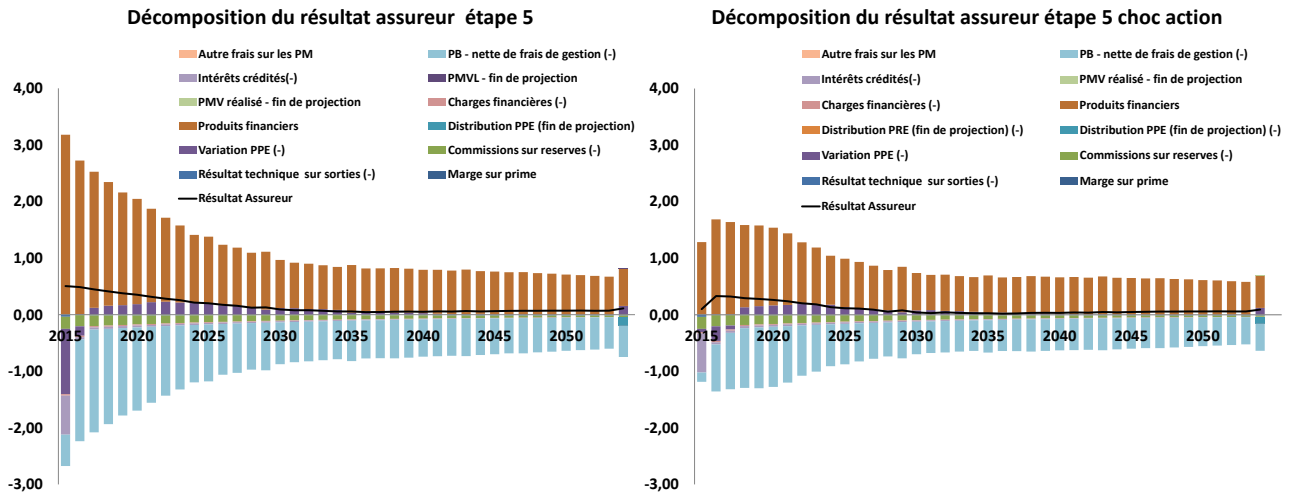
Figure 8.5: Comparaison du taux servi central et choqué étape 5

Suite à un choc de 39% de la valeur de marché des actions, nous constatons que le taux servi à l'assuré diminue tout au long de la projection. L'assureur aura alors moins d'engagements et coûts futurs. Par conséquent, nous constatons une diminution du BEL de l'ordre de 5,05.

- Diminution de la PVFP :

Suite au choc action, l'assureur dispose de moins de produits financiers. La baisse du niveau du taux de rendement de l'actif les premières années conduit à la diminution du résultat assureur. Nous présentons ci-dessous les résultats assureurs en situation centrale et stressée :

1- Résultat assureur étape 5 central	2- Résultat assureur étape 5 choqué



Nous remarquons que le choc action a un impact important sur les produits financiers la première année. En effet, nous constatons que les produits financiers diminuent de 63%, pour atteindre 1,2. Or ce montant permettra de financer le montant de PB et les couts associés mais ne permettra pas de garder un résultat assureur suffisamment important, contrairement au scénario central. Ce processus est semblable sur les années qui suivent.

La diminution des résultats assureurs futurs conduit donc à une diminution de la PVFP de l'ordre de 1,8.

Dans cette étape, l'impact d'un choc action sur le BEL et la PVFP est cohérent avec le mécanisme explicité auparavant.

Cette étape est définie comme une étape de base pour comparer les impacts de chaque module de calcul en scénario stressé.

Par la suite, nous nous intéresserons à l'étude de l'impact des réserves d'actif sur le BEL et sur la PVFP en situation de choc action à partir de l'étape 5.

8.6.2 Etape 6 : Activation de la réserve de capitalisation

Rappelons que lors de l'analyse de l'impact de la réserve de capitalisation en scénario central, nous avons constaté que la réserve de capitalisation reste constante tout au long de la projection. Cette réserve n'avait pas d'impact significatif sur le BEL puisqu'elle n'impacte pas le taux de rendement de l'actif. Cependant, elle permettait d'augmenter la PVFP grâce aux produits financiers liés à l'investissement de cette réserve et au montant de la réserve de capitalisation récupéré en fin de projection. Nous avons constaté ainsi une augmentation de la PVFP de 24%.

La réserve de capitalisation concerne les actifs obligataires. Par conséquent, suite à un choc action, la question que nous nous posons : En situation de stress, l'activation de la réserve de capitalisation aurait-il le même impact qu'en scénario central?

8.6.2.1 Résultat et analyse :

L'activation de la réserve de capitalisation permet d'obtenir les résultats suivants :

	MV	BEL	PVFP
Étape 5	85.66	85.02	0.59
Étape 6	86.57	84.99	1.51
Évolution	0.00%	−0.01%	156.89%

La valeur de marché de l'actif augmente suite à l'ajout du montant de la réserve de capitalisation initiale. Alors que le BEL reste constant. La PVFP augmente car la réserve de capitalisation permet d'augmenter les produits financiers qui impacte directement le résultat assureur à savoir une augmentation de 0.98 (soit 156.89%).

La réserve de capitalisation reste constante tout au long de la projection. Comme expliqué dans la partie 7.4.6, la stratégie d'investissement est paramétrée de telle sorte à garder la réserve de capitalisation constante. Le taux de rendement des actifs n'est pas impacté par la variation des réserves de capitalisation. Ainsi l'assureur reçoit le même taux de participation aux bénéfices qu'à l'étape 5.

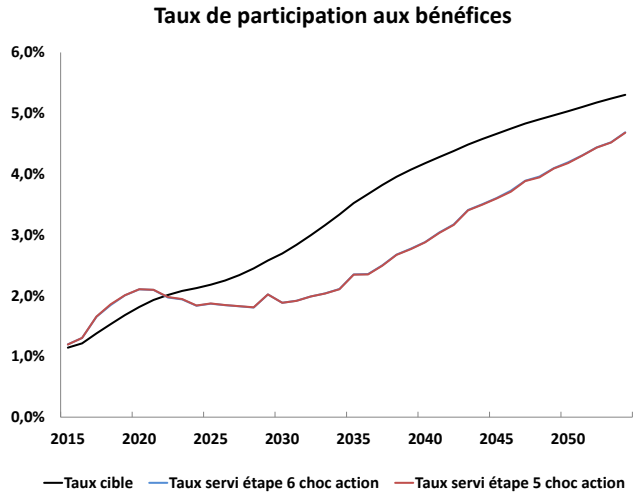


Figure 8.6: Comparaison du taux servi étape 6 - 5 choqué

Le graphique nous permet de valider le fait que le taux de participation aux bénéfices servi n'est pas impacté par le mécanisme de réserve de capitalisation donc les charges futures de l'assureur resteront constantes. Ce qui explique la stabilité du BEL entre ces deux étapes.

La réserve de capitalisation est constante tout au long de la projection, elle entraine ainsi une augmentation des produits financiers totaux. De plus, l'assureur récupère en dernière année la réserve de capitalisation et les plus/moins-values latentes, cela a pour conséquence l'augmentation du résultat.

Le graphique suivant explique la variation du résultat assureur suite à l'activation de la réserve de capitalisation :

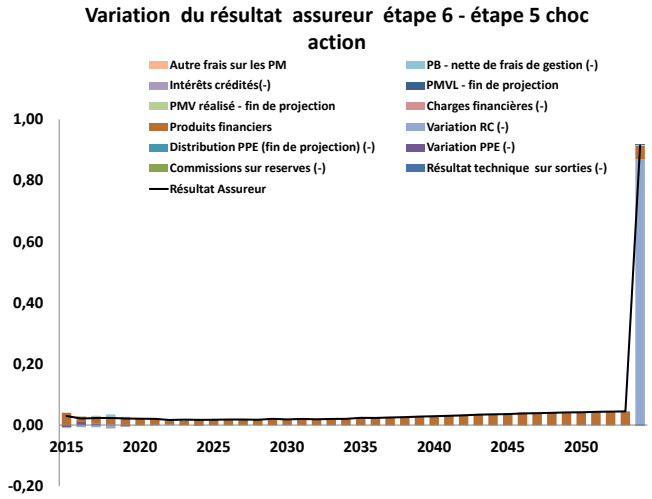


Figure 8.7: Variation du résultat assureur étape 6 - 5 choqué

Cette analyse permet de justifier l'augmentation de la PVFP de 0.99 qui correspond à 24%.

Dans cette étape, l'activation de la réserve de capitalisation suite à un choc action n'impacte pas le BEL mais permet d'augmenter la PVFP. Nous avons constaté aussi que la même analyse faite en scénario centrale est reproduite en situation de choc. En effet, étant donné que le choc action ne concerne pas les actifs obligataires, le mécanisme de la réserve de capitalisation n'est donc pas impacté. Par conséquent, les résultats obtenus sont intuitifs et valides. A ce stade de l'analyse, nous validons cette étape 6, ce qui nous permet en scénario stressé de passer à l'étape suivante.

8.6.3 Etape 7 : Activation de la provision pour dépréciation durable

En scénario central, la PDD évoluait différemment sur les 40 années de projection. Au début de projection, nous avions constaté des reprises de PDD, ensuite, des dotations avaient lieu jusqu'à l'année 2035 suivies des reprises.

Nous avions conclu ainsi que les reprises de PDD permettent à l'assureur d'augmenter les produits financiers ainsi que le taux servi à ses assurés. Inversement, les situations de dotations coûtes chères à l'assureur car elles conduisent à la diminution des produits financiers de l'assureur sans pour autant diminuer le taux servi. Ce dernier est donc lissé grâce au mécanisme de financement du besoin "PPE" et "marge assureur". Ainsi, l'activation de la PDD conduisait à l'augmentation du BEL et à la diminution de la PVFP.

Dans cette partie, nous allons étudier l'impact de l'activation de la provision pour dépréciation durable en situation de choc action sur le BEL et la PVFP.

8.6.3.1 Résultat et analyse

L'activation de la provision pour dépréciation durable permet d'obtenir les résultats suivants :

	MV	BEL	PVFP
Étape 6	86.57	84.99	1.51
Étape 7	87.03	88.18	−1.23
Évolution	0.54%	3.75%	−181.04%

Nous remarquons que l'activation de la PDD entraine une augmentation du BEL de 3,75% et une diminution de la PVFP de 181,04%.

Tout d'abord, nous commençons l'analyse par une comparaison de l'évolution de la provision pour dépréciation durable du scénario central et choqué :

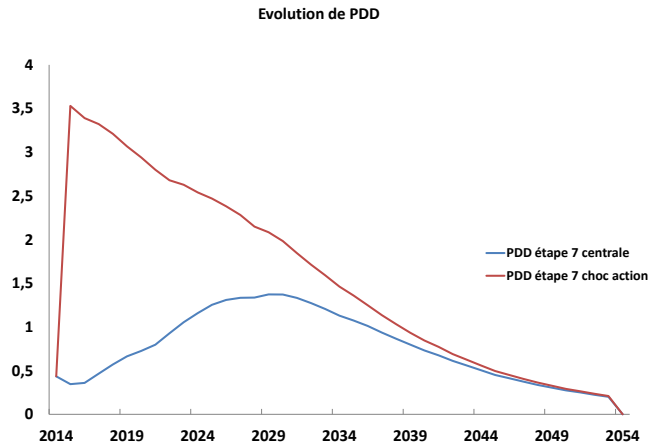


Figure 8.8: Evolution de la PDD centrale et choquée étape 7

La PDD est calculée sur deux années consécutives, si la différence entre la valeur comptable et la valeur de marché est supérieure à 20% de la valeur comptable, alors il y a lieu à une dotation à la PDD si (valeur comptable-valeur de marché $\geq$ 20% valeur comptable).

Nous constatons que suite au choc action, l'assureur est contraint de doter sa PDD la première année d'un montant de 3. Cette dotation s'explique principalement par l'écart entre la valeur de marché des actions et la valeur comptable dû au choc de la valeur de marché des actions.

Via la stratégie financière, la prise en compte de la dotation de PDD dans le calcul de la valeur de marché des actions conduit à l'amélioration de la qualité des actions en portefeuille. Par

conséquent, à partir de la deuxième année, nous remarquons que l'actif n'est plus en situation de dépréciation durable. Ainsi l'assureur profite des reprises de PDD.

L'activation de la provision pour dépréciation durable impacte le taux de rendement des actifs. Comme présenté dans la partie 7.4.7, une situation de dotation conduit à la diminution des produits financiers d'un montant égal à la variation de la PDD. Inversement, les reprises de PDD permettent l'augmentation du taux de rendement de l'actif.

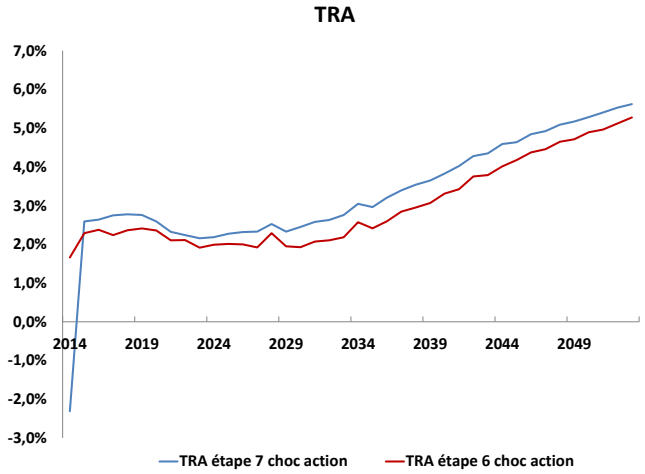


Figure 8.9: Compraison du TRA étape 7 - 6 choqué

Nous constatons que le taux de rendement de l'actif est négatif la première année. Le taux de participation aux bénéfices doit correspondre donc au taux minimum garanti ce qui est expliqué dans le graphique suivant :

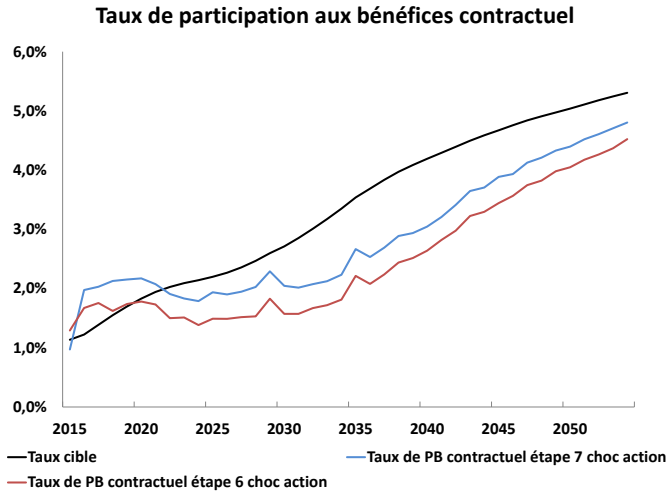


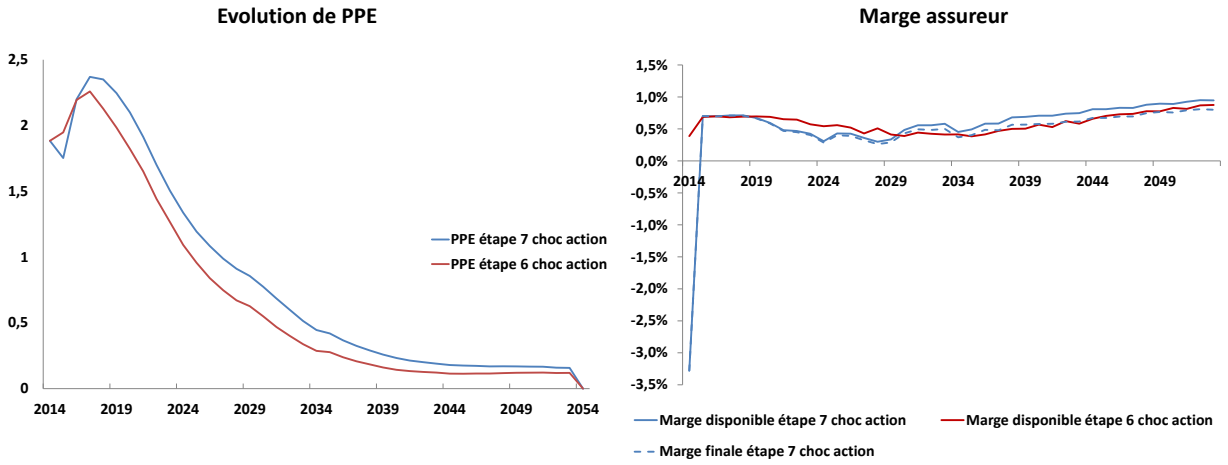
Figure 8.10: Comparaison du taux de PB contractuel étape 7 - 6 choqué

La première année, le taux de participation aux bénéfices contractuel correspond au taux minimum garanti. Ce taux reste inférieur au taux cible.

Par conséquent, nous remarquons, ci-dessous, une reprise de PPE la première année.

Ensuite, nous remarquons que le taux de PB contractuel dépasse le taux cible. Cela conduit à des dotations de PPE jusqu'à l'année 2020, puis nous remarquons des reprises.

1- levier "PPE" 2- levier "marge assureur"



Suite à l'utilisation des deux leviers de financement du besoin pour atteindre le taux cible, Nous constatons une augmentation du taux servi sur toute la durée de projection.

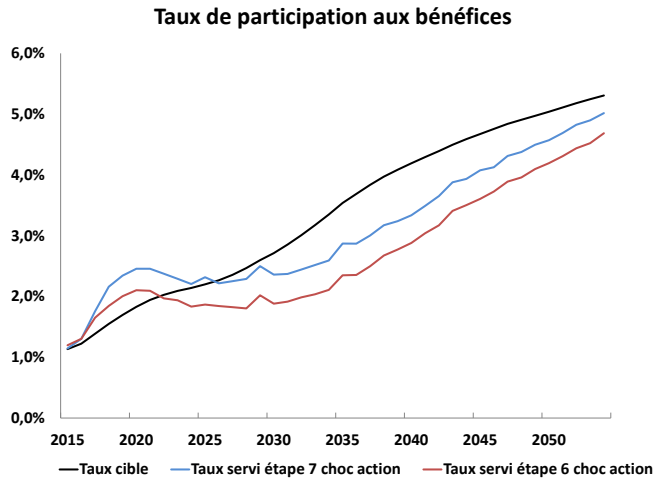


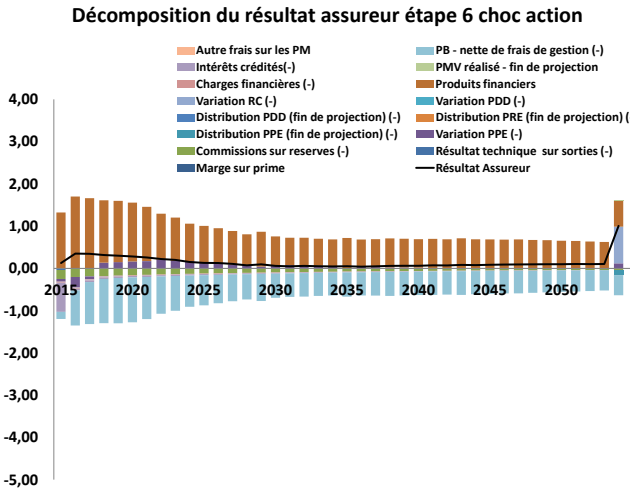
Figure 8.11: Comparaison du taux servi étape 7 - 6 choqué

En effet, la forte dotation de la PDD la première année ne conduit pas à la diminution du taux servi. L'assureur arrive à servir le taux cible en utilisant la marge initiale ainsi que la PPE.

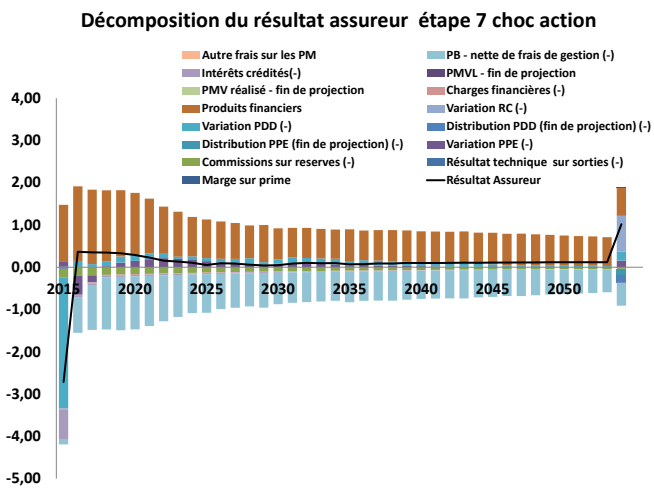
Sur les autres années de projection, l'augmentation du taux servi s'explique par l'augmentation des produits financiers suite aux reprises de PDD. Cela entraine donc une augmentation des engagements futurs de l'assureur ainsi que les coûts liés à cette activité. Par conséquent, le BEL augmente de 3,19.

Concernant le résultat assureur, la forte dotation de PDD la première année conduit à une diminution du résultat la première année de l'ordre de 3. Cette diminution explique principalement la baisse de la PVFP de 2,7 ce qui correspond à -181%.

1- Résultat assureur étape 6 choqué



2- Résultat assureur étape 7 choqué



Dans cette étape, l'activation de la provision pour dépréciation durable suite à un choc action conduit à l'augmentation du BEL et la diminution de la PVFP. Dans l'étape de l'activation de la RC, nous avons conclu qu'un choc action n'a pas d'impact sur le mécanisme de la réserve de capitalisation. En revanche, la PDD concerne les actifs non-obligataires. Il est donc cohérent qu'un choc action mène une évolution différente de la PDD impactant ainsi le BEL et la PVFP. les résultats de cette étape sont cohérents et intuitifs. A ce stade de l'analyse nous validons cette étape 7, ce qui nous permet de passer à l'étape suivante.

8.6.4 Etape 8 : Activation de la provision pour risque d'exigibilité

En situation centrale, nous avons vu que l'activation de la provision pour risque d'exigibilité impact le montant réglementaire (Définition 6.3.3.4). Par conséquent, une reprise de PRE permet d'augmenter le montant réglementaire. Ainsi, si ce dernier dépasse le montant contractuel, la différence est dotée à la PPE. Cela conduit à l'augmentation du montant de PPE tout au long de

la projection. L'augmentation du niveau de PPE permet de financer encore plus le besoin pour atteindre le taux cible, ainsi, nous avons constaté une augmentation du taux servi. (Voir la partie 7.4.8 pour l'analyse complète).

Cela a expliqué l'augmentation du BEL et la diminution de la PVFP. Dans cette partie, l'objectif est de savoir si le mécanisme d'activation de la provision pour risque d'exigibilité en scénario stressé sera le même qu'en scénario central et si nous aurions les mêmes analyses.

8.6.4.1 Résultat et analyse

L'activation de la provision pour risque d'exigibilité permet d'obtenir les résultats suivants :

	MV	BEL	PVFP
Étape 7	87.03	88.18	−1.23
Étape 8	87.03	90.42	−3.47
Évolution	0.00%	2.54%	−182.71%

Premièrement, nous commençons par présenter les évolutions de PRE en situation centrale et choquée :

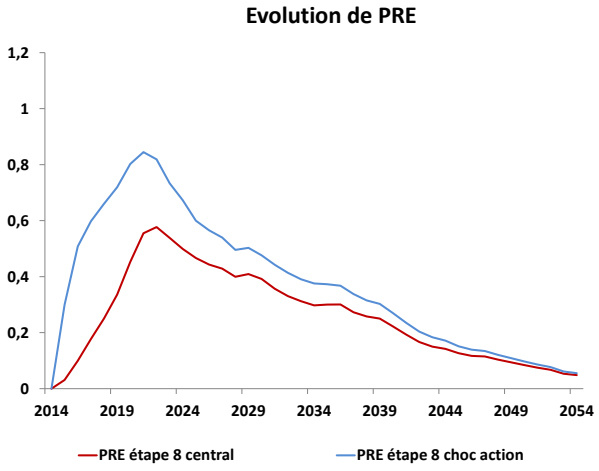


Figure 8.12: Evolution de la PRE centrale et choquée

Sur les 10 premières années, suite au choc action, l'actif de l'assureur éligible à la PRE est de plus en plus en situation de moins-value d'où l'augmentation des dotations de PRE. A partir de l'année 2024, la PRE est en situation de reprise.

De la même manière que l'analyse faite dans la partie (analyse scénario central étape 7). Nous constatons une augmentation du taux servi suite à l'augmentation du niveau de PPE servant à financer le besoin pour atteindre le taux cible. Cette augmentation correspond à l'écart entre le montant contractuel et le montant réglementaire (Définition de ces montants : partie 6.3.3).

Rappelons que le montant réglementaire est calculé en fonction de la variation de PRE. Si le montant réglementaire dépasse le montant contractuel, la différence est dotée à la PPE. Ainsi en situation de reprise de PRE, le montant de PPE augmente permettant l'augmentation des taux servis que nous constatons sur le graphe suivant:

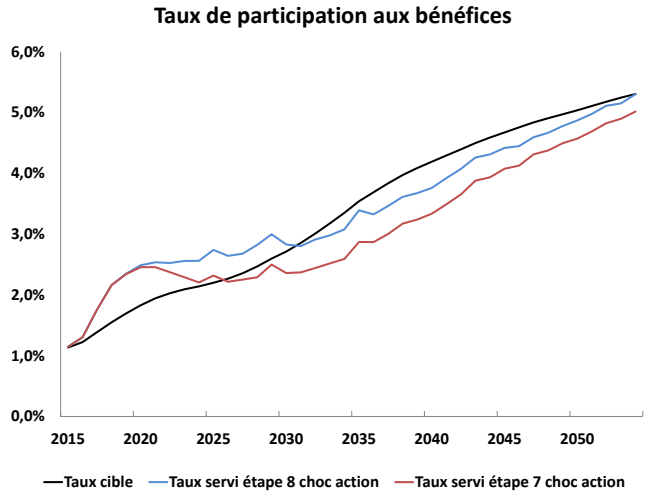


Figure 8.13: Comparaison du taux servi étape 8 - 7 choqué

L'augmentation des taux servis conduit donc à l'augmentation du BEL de 2.24.

Concernant le résultat assureur, nous présentons dans le graphique suivant la variation du résultat assureur entre l'étape 8 et l'étape 7 :

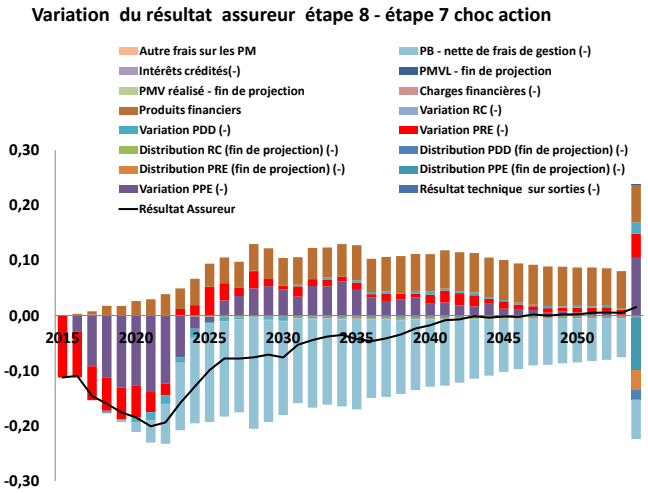


Figure 8.14: Variation du résultat assureur étape 8 - 7 choqué

La diminution du résultat assureur les premières années est due aux dotations de provision de risques d'exigibilité (PRE) et à la diminution du montant de reprises de provision pour participation

aux excédents (PPE) par rapport à l'étape 7 d'où la diminution de la PVFP de 2,24.

Dans cette étape, nous avons étudié l'impact du choc action sur l'évolution des indicateurs. Nous avons constaté que le choc action impacte l'évolution de la PRE. Ce qui a conduit à l'augmentation des dotations de PRE par rapport au scénario central. L'évolution du BEL et de la PVFP ont été expliquées de la même manière que les analyses faites dans l'étape 7 du scénario central.

Nous pouvons donc conclure avec certitude qu'à l'étape 8 l'activation provision pour risque d'exigibilité permet à l'assureur de servir plus à l'assuré au détriment de son résultat futur, ce qui nous permet à ce stade de valider cette étape et ainsi de valider ces étapes du Bridging.

8.7 Conclusion de l'analyse scénario choqué

Une première analyse a été faite en situation central. Nous avons ainsi pu valider par cette étude l'impact de chaque module de calcul sur l'évolution du BEL et de la PVFP et d'en comprendre les mécanismes dans le détail. Nous en déduisons que la maitrise de ces étapes nous a permis de juger la qualité de la robustesse du modèle en situation central.

Le but d'étudier le comportement des modules de calcul en scénario stressé sur un choc de 39% de la valeur de marché des actions, nous permet de tester le comportement du modèle dans des situations extrêmes où le modèle pourrait montrer ses limites.

Ainsi, nous avons analysé l'impact de ce choc sur les réserves d'actif :

- La réserve de capitalisation
- La provision pour dépréciation durable
- La provision pour risque d'exigibilité

Nous avons conclu que la réserve de capitalisation joue le même rôle qu'en situation centrale. Son évolution reste stable tout au long de la projection. Cela est dû au fait qu'un choc action ne concerne pas les actifs obligataires et donc n'impacte pas la réserve de capitalisation. Par conséquent, l'activation de la RC n'a pas impacté le BEL et a conduit à l'augmentation de la PVFP.

En revanche, nous avons constaté qu'un choc action conduit à une forte dotation de provision pour dépréciation durable la première année, suivie des reprises. Ce qui explique la diminution significative de la PVFP. Nous avons aussi vu que les reprises de PDD des années qui suivent permettent d'augmenter le taux de rendements de l'actif et le taux servi. Ainsi, nous avons constaté une augmentation du BEL. Même si les conclusions d'analyse ne sont pas semblables au scénario central, elles restent fidèles à la compréhension globale des mécanismes et des interactions entre les différentes composantes constitutives du BEL et de la PVFP. L'étape de validation du modèle en scénario central a été nécessaire et un pré-requis obligatoire pour pouvoir valider la cohérence des mécanismes en scénario stressé et nous a ainsi permis de valider le résultat attendu afin de passer à l'étape suivante.

Concernant la provision pour risque d'exigibilité, nous avons constaté que le choc action conduit à plus de dotations de PRE les premières années par rapport au cas central. Cela conduit ainsi à la

diminution de la PVFP et l'augmentation du BEL. Les résultats restent donc cohérent en scénario stressé.

Les deux analyses en scénario central et scénario stressé produites pour la compréhension et la validation de l'évolution de deux indicateurs clefs pour l'assureur nous permettent aujourd'hui d'affirmer que les résultats en sorties du modèle sont cohérents et ainsi valider la robustesse du modèle dans les deux situations étudiées.

Conclusion

Nous avons pu constater au cours de cette étude, la complexité de la modélisation de l'activité d'épargne individuelle et collective en raison des nombreuses spécificités qui encadrent cette activité. L'interaction étroite entre l'actif et le passif, les options et garanties incluses dans les contrats, la modélisation des comportements des assurés et des actions de management de l'assureur sont autant de points qui complexifient cette modélisation.

Afin de répondre aux exigences réglementaire, les assureurs doivent se doter d'un modèle permettant de modéliser les interactions actif/passif pour ensuite réaliser la projection du bilan et du compte de résultat le plus fidèlement possible avec la réalité, tout en restant un outil d'aide à la prise décision d'un point de vue stratégique.

Par ailleurs, le modèle utilisé par l'assureur doit être robuste et validé afin qu'il puisse se baser sur les résultats produits par celui-ci. Cependant, il devra être également en mesure de connaître et justifier les différents choix de modélisation fait à l'intérieur de celui-ci.

Durant notre étude, nous nous sommes intéressés à la mise en œuvre de la méthode du *Bridging* qui permet de comprendre et de maîtriser le fonctionnement du modèle ALM de BNP Paribas Cardif. Cette méthode consiste à décomposer le modèle en une suite de modules de calcul en gardant une cohérence avec les étapes du processus de modélisation. Ensuite, l'analyse, faite étape par étape, nous a permis de démontrer le caractère analysable des flux du modèle à différentes mailles de calcul, ce qui permet de suivre et de comprendre les impacts liés aux évolutions futures apportées dans le modèle.

L'étude réalisée nous a également permis de définir une méthodologie d'analyse applicable au modèle utilisé chez BNP Paribas Cardif, qui servira d'outil aux actuaires lors des analyses de mouvement entre deux arrêtés prudentiels. L'étude a été menée dans un premier temps en situation "centrale" puis en situation de "choc action". L'application du Bridging sur ces deux situations, a permis de valider les résultats et la robustesse du modèle utilisé.

En revanche, plusieurs scénarios de stress peuvent être envisagés (en lien avec les exigences de la formule standard pour le calcul du capital réglementaire), des situations pour lesquelles le modèle doit être capable de fournir des chiffres justifiables. Or, des situations plus sévères montreront certainement des limites du modèle qui, dans les cas étudiés dans ce mémoire, n'ont pas été atteintes.

Le *Bridging* aura donc un intérêt particulier dans la détection et la compréhension des modules de calcul qui peuvent présenter des limites dans la modélisation actuelle. Il sera un outil primordial pour décider des évolutions futures du modèle en permettant d'améliorer la précision de la

modélisation et d'élargir son champs d'utilisation en situation extrême. Le *Bridging* est donc un outil qui permet à l'assureur de prendre du recul par rapport à son modèle et de valider les chiffres produits pour devenir un véritable outil d'aide à la prise de décision.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la compréhension et à la validation des choix de modélisation pris par l'assureur dans le cadre des interactions actif-passif et des actions de management sous-jacentes. Le lecteur doit être conscient que la validation complète du modèle nécessite des études complémentaires sur les autres parties du modèle, à savoir :

- Le modèle de passif : justification des méthodes de construction des models points de passif et des méthodes de projection des flux, dont le respect de la récurrence des provisions mathématiques par exemple
- Le générateur économique de scénarios : justification et mise en évidence des limites associées aux méthodes utilisées par l'assureur pour calibrer l'ESG, mais aussi dans le choix des indices à projeter
- Les tables d'actif en situation initiale : justification des méthodes d'agrégation des différents titres détenus par l'assureur et analyse de l'impact des models points d'actif sur le méta-modèle

L'ensemble de ces études, combinées au bridging, permet d'apporter une réponse au souhait de validation du modèle en passant par la compréhension de ses limites intrinsèques. Le lecteur doit garder à l'esprit que le modèle n'a pas vocation à répliquer parfaitement la réalité, ce qui serait illusoire, mais bien de donner la meilleure lecture possible des indicateurs en sortie du modèle. Ce qui est concrètement demandé par la directive avec l'information à apporter à l'AMSB sur la compréhension des grands principes de modélisation et de leurs limites.

Bibliographie

[1] EIOPA, Article 75 de la Directive Solvabilité 2, 2009.

[2] DEVINEAU L. LOISEL S., Construction d'un algorithme d'accélération de la méthode simulations dans les simulations pour le calcul du capital économique Solvabilité II, Bulletin Français d'Actuariat, 9(17), 2009.

[3] Shaun Wang, Markus Stricker, Stephen J. Strommen. Model Validation for Insurance Enterprise Risk and Capital Models." 2014.

[4] LALLEMENT T., NISIPASU E., TOPUZU M. et ALBAHTOURI L. Le risque de modèle, 2014.

[5] THEROND P., Cours d'introduction aux normes IFRS et à Solvabilité 2, Université Claude Bernard-Lyon I/ISFA, 2008.

[6] CEIOPS, Consultation Paper 56, Validation, 2009.

[7] EIOPA, Guideline 41 – Stress tests and scenario analysis, 2010.