

Mémoire présenté devant l'ENSAE Paris
pour l'obtention du diplôme de la filière Actuariat
et l'admission à l'Institut des Actuaire

le 05/03/2024

Par : Lucas Geraci

Titre : **Ajustement de lois comportementales Euro et UC dans un contexte de
taux volatiles**

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

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

Membres présents du jury de la filière

Nom : Nicolas BARADEL

*Membres présents du jury de l'Institut des
Actuaire*

Entreprise : Exiom Partners

Signature :



EXIOM PARTNERS SAS
24-26, rue Notre Dame des Victoires
75002 PARIS
SIRET : 851 841 944 00034
APE 7022Z RCS Paris

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom : Mathieu SCHNEIDER

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



Secrétariat :

Signature du candidat



Bibliothèque :

Résumé

Le monde a été marqué depuis quelques années par des conflits géopolitiques menant à des incertitudes politiques. L'impact est immédiat sur l'inflation qui a atteint un niveau record provoquant une action immédiate de remontée des taux par la BCE. Depuis deux décennies, les taux d'intérêt ont continuellement régressé jusqu'à atteindre des niveaux négatifs. La hausse brutale des taux place les assureurs dans un contexte économique inédit favorisant l'émergence d'épargne aux rendements concurrents à l'assurance-vie.

Dans les modèles de projection utilisés dans le cadre du calcul de la meilleure estimation des engagements, le comportement des assurés s'ajuste selon leur degré de satisfaction qui est capté par le biais de la performance relative de leur épargne. Lors d'une remontée brutale des taux les attentes des assurés sont revues à la hausse dans la mesure où des produits concurrents à l'assurance-vie offrent des perspectives de rendement à court terme plus important. Le risque induit est l'activation de l'option de rachat, total ou partiel, de la part des assurés provoquant un besoin immédiat de liquidité pour les assureurs pour honorer ces sorties. Afin de respecter ces demandes, l'assureur doit vendre une partie de son actif en étant en situation de moins-values latentes, provoquées par le contexte économique. Cet écart entre valeur de cession des actifs et valeur des provisions mathématiques à date constitue une perte nette pour l'assureur.

Les lois comportementales existantes à fin 2022 alimentées par le contexte économique à cette date amènent à prédire des niveaux de rachats nettement supérieurs aux observations faites ultérieurement. Les lois comportementales calibrées et *backtestées* dans un contexte de taux peu volatiles apparaissent inadaptés au nouveau contexte.

Ce mémoire a pour objectif d'apporter des idées d'ajustements des lois comportementales, permettant aux modèles ALM de générer des résultats plus réalistes dans un contexte de taux volatiles.

Ces ajustements sont au nombre de trois et interviennent sur la modélisation de la satisfaction des assurés :

- Une nouvelle définition du taux attendu sur le support Euro est implémentée.
- Les comportements des assurés sont affinés via la prise en compte des arbitrages entre les supports disponibles.
- La prise en compte de la performance globale du contrat (tous supports compris) est étudiée.

Ces ajustements de modèle seront étudiés grâce à la mise en place d'un modèle ALM permettant d'estimer le *Best-Estimate* et la *PVFP* (*present value of future profits*) et également le SCR de marché et le SCR de souscription en vie d'une compagnie d'assurance-vie fictive.

Mots-clés : *Assurance vie, modèle ALM, Fonds Euro et unités de compte, lois comportementales : rachats et arbitrages, Best Estimate, PVFP, SCR, Contexte économique.*

Abstract

In recent years, the world has been marked by geopolitical conflicts leading to political uncertainty. This has had an immediate impact on inflation, which has reached record levels, prompting the ECB to raise rates immediately. Over the past two decades, interest rates have fallen steadily to negative levels. The sudden rise in interest rates has placed insurers in an unprecedented economic context, encouraging the emergence of savings products with returns that compete with life insurance.

In the projection models used to calculate the best estimate of commitments, policyholders' behavior is adjusted according to their degree of satisfaction, which is captured by the relative performance of their savings. In the event of a sudden rise in interest rates, policyholders' expectations are revised upwards, as products competing with life insurance offer the prospect of higher short-term returns. The risk is that policyholders will activate their option to surrender all or part of their policy, creating an immediate need for liquidity to meet these outflows. In order to meet these demands, the insurer must sell part of its assets in a situation of unrealized capital losses, caused by the economic context. This difference between the sale value of the assets and the value of the mathematical reserves at date represents a net loss for the insurer.

Existing behavioral laws at the end of 2022, fuelled by the economic context at that date, lead us to predict levels of buybacks that are significantly higher than those observed at a later date. Behavioral laws calibrated and backtested in a context of low interest rate volatility appear ill-adapted to the new context.

The aim of this paper is to provide ideas for adjustments to the behavioral laws, enabling ALM models to generate more realistic results in a context of volatile rates.

These adjustments are three in number and concern the modeling of policyholder's satisfaction:

- A new definition of the expected rate on the Euro medium is implemented.
- Policyholder behaviors are refined by taking into account arbitrages between available products.
- The overall performance of the contract (including all supports) is evaluated.

These model adjustments will be studied using an ALM model to estimate the Best-Estimate and PVFP (present value of future profits), as well as the market SCR and life underwriting SCR of a fictitious life insurance company.

Keywords: *Life insurance, ALM model, Euro and unit-linked funds, behavioral laws: buybacks and arbitrages, Best Estimate, PVFP, SCR, Economic context.*

Note de Synthèse

Contexte et problématique

Les niveaux d'inflation atteints ont provoqué une réaction immédiate des banques centrales qui ont drastiquement remonté leurs taux directeurs, plaçant les assureurs-vie dans un contexte inhabituel. Cette situation inédite place les assureurs face à de nouveaux risques devant être appréhendés, quantifiés et maîtrisés.

Le marché propose des rendements attractifs via notamment les dépôts à terme, le livret A, les SCI, etc. Le risque induit est alors que les assurés se retirent de leurs contrats d'épargne assurance-vie, rapportant des rendements assez faibles, pour se placer sur des produits d'épargne plus lucratifs. C'est ce que l'on appelle l'activation de l'option de rachat. Dans ce contexte de taux élevés, ce risque est craint en raison du besoin immédiat de liquidité. Pour répondre à ce besoin, les assureurs doivent céder des actifs, étant en situation de moins-values latentes, réduisant de fait la rentabilité de leur activité à un point pouvant mettre en danger leur solvabilité. Même si l'année 2023 a été marquée par une hausse des rachats, les niveaux n'ont pas atteint les sorties de modèle au 31/12/2022.

Ainsi, il est possible de conclure que les modèles existants peuvent devenir inadaptés lorsqu'ils sont soumis à un contexte très éloigné de leur zone de calibration. Les résultats sont extrapolés dans des univers trop écartés de la donnée source utilisée.

L'objectif de ce mémoire est de proposer des ajustements de modèle intervenant sur le comportement des assurés permettant d'obtenir des résultats plus réalistes dans un contexte volatile.

Modélisation d'un outil ALM

Avant toute modélisation, il convient de mettre en place un algorithme de gestion actif-passif. Le modèle permet de projeter les flux de trésorerie futurs en prenant en compte les interactions existantes entre l'actif et le passif. Cela permet de s'assurer que les placements financiers actuels et futurs vont permettre de respecter les engagements. Par exemple, il est possible de citer les garanties contractuelles des assurés associés au fonds Euro telles que le taux minimum garanti (TMG) ou le taux de participation aux bénéfices (PB).

De plus, pour pouvoir déterminer le coût des options et garanties, il est nécessaire d'inclure une vision stochastique à l'aide d'un générateur de scénarios économiques. Les options du passif d'assurance étant trop complexes à être « *pricé* » par une formule fermée, le modèle ALM est alors utilisé pour effectuer des simulations Monte-Carlo. Le comportement des assurés est fortement corrélé à l'évolution des marchés et donc du contexte économique trajectoire par trajectoire.

L'outil ALM va projeter les flux de trésorerie pour des fonds Euro et des fonds en Unités de Compte. L'actif investi en représentation des passifs d'épargne Euro est composé d'obligations, d'actions, d'immobilier et de monétaire. Les fonds en unité de comptes sont investis en OPCVM

Action, OPCVM Obligation et OPCVM Monétaire avec des niveaux différents selon le niveau de risque de l'unité de compte en question.

Enfin, les *outputs* générés par le modèle sont : le *Best-Estimate* qui correspond à la moyenne actualisée par la probabilité des flux de trésorerie, la valeur actuelle des profits futurs (*PVFP*) et le capital de solvabilité requis pour le risque de marché et le risque de souscription en vie, qui sont évalués par le biais de la formule standard. Ces *outputs* permettent de pouvoir étudier l'impact des ajustements proposés durant le mémoire.

Ajustements de modèle

Afin de rendre le modèle ALM plus réaliste dans un contexte de taux très volatiles, trois ajustements sont proposés dans ce mémoire. Dans les modèles ALM classiques, le comportement de rachats des assurés est fondé sur leur satisfaction qui est appréhendée par le biais de la différence entre le taux servi (qui correspond au rendement) et le taux attendu par l'assuré (qui correspond au taux espéré). Dans les ONC¹, le régulateur français propose une loi de rachats dont les paramètres énoncés forment un plafond maximum et un plafond minimum pour les sorties. Néanmoins, le régulateur n'est pas prescriptif quant à la définition des entrées de cette même loi (aucune définition du taux attendu n'est fixée dans ce document) ce qui laisse une certaine latitude pour ajuster la loi comportementale dans son ensemble et la rendre ainsi plus proche des mouvements réellement observés. En revanche, aucune préconisation n'est émise pour une prise en compte éventuelle des arbitrages entre supports.

Les ajustements agissent au niveau du comportement des assurés et le premier concerne le taux attendu. Dans le modèle en production, le taux attendu est défini comme une pondération entre des taux servis historiques permettant de prendre en compte un effet mémoire des assurés et des taux de marché tels que le taux du livret A, le TME, le taux d'inflation, etc. En définissant le taux attendu de cette façon, il devient très dépendant du contexte économique et encaisse directement toute volatilité extrême. L'ajustement mis en place vise à limiter la dépendance au contexte économique au-delà d'un certain seuil : un cap Δ positif est calibré pour limiter la différence des taux attendus sur deux années consécutives. L'idée étant ici que les assurés voient leurs attentes de revalorisation croître avec le contexte du marché, mais dans une certaine limite. Ainsi, si un assuré espère une croissance de son taux de revalorisation en cas de hausse des taux, cette attente ne peut excéder $+\Delta\%$ par rapport à l'année précédente. L'intégration du paramètre Δ se fait dans l'algorithme ALM, lors de la définition du taux attendu. Il peut être interprété comme la variation maximale attendue pour un assuré rationnel entre 2 années consécutives. En complément, il apparaît peu probable que le marché des produits d'épargne offre des supports qui évoluent avec une corrélation totale avec les marchés financiers : le livret A peut voir son taux de rendement limité par les lobbys bancaires impactant les décisions politiques par exemple.

Le second ajustement de modèle correspond à la mise en place d'arbitrages dans le modèle ALM. Généralement, les arbitrages sont complexes à intégrer dans l'algorithme et pour cela les assureurs

¹ ACPR : Orientations Nationales Complémentaires aux Spécifications Techniques pour l'exercice 2013 de préparation à Solvabilité 2. 2013

utilisent le principe de proportionnalité indiquant que les volumes des fonds UC sont négligeables devant ceux du fonds Euros. Or, ce principe n'est plus applicable dans un contexte volatil. L'arbitrage est une réelle opportunité pour les assurés en recherche de rendement. Dans la modélisation de ce mémoire, un assuré a la possibilité d'arbitrer vers trois fonds UC ou bien un fonds Euro. Ces flux de provision mathématique sont alors intégrés dans l'algorithme ALM et les impacts sur les provisions ou sur le SCR seront présentés dans la suite.

Le dernier ajustement de modèle correspond à la prise en compte de la performance globale du contrat (tous supports compris) dans la modélisation comportementale. Contrairement au premier ajustement concernant la modification du taux attendu, cet ajustement concerne la seconde partie composant la satisfaction des assurés, qui est le taux servi. En effet, au lieu de considérer les *model points* euros et UC de manière totalement disjointe, une information complémentaire sera ajoutée pour pouvoir les lier entre eux sur des caractéristiques similaires (âge, ancienneté, TMG, PB, sexe, etc.). L'information que l'on ajoute est définie par : le montant de provision mathématique investie dans un contrat multi-support. Cette information permet de réaliser une pondération dans le taux servi final aux assurés qui va contenir un rendement Euro et un rendement UC. Cependant, la complexité dans la modélisation des contrats multi-supports réside dans la granularité des *model points*. Pour ce mémoire, ils sont créés à une maille « *pool* de contrat » permettant de regrouper des assurés ayant des caractéristiques communes. Pour pouvoir prendre en compte la performance globale du contrat de l'assuré, l'idéal aurait été d'affiner les *model points* à une maille « contrat de l'assuré ». Cependant, pour des raisons opérationnelles concernant l'optimisation du temps de calcul, il n'est pas possible d'augmenter le nombre de *model points*. Pour ces raisons, il a été nécessaire de réaliser des approximations en utilisant l'information précédemment mentionnée qui permet d'avoir un comportement « général » et « uniforme » à tous les assurés qui sont investis dans un contrat multi-support. Donc, la prise en compte d'une performance globale va influencer la métrique de décision en la rendant plus volatile en raison des supports UC qui sont par définition plus volatiles. Enfin, conditionnellement au contexte économique actuel où les UC sont plus performants que l'Euro, on peut s'attendre à une diminution des rachats.

Impact des ajustements de modèle

Cette section présente les impacts des ajustements sur le *Best-Estimate* et la *PVFP*, estimés à l'aide de la méthode de Monte-Carlo, dans un scénario central basé sur la courbe des taux EIOPA au 31/12/2022. Les résultats sont présentés par « configuration » qui sont les suivantes :

- Configuration de base : aucun ajustement de modèle ;
- Configuration n°1 : Modification de la définition du taux ;
- Configuration n°2 : Mise en place des arbitrages ;
- Configuration n°1 & 2 : Combinaison de la configuration n°1 et de la configuration n°2 ;
- Configuration n°1 & 2 & MS : Prise en compte du multi-support dans une configuration n°1 & 2.

Avant de rentrer plus en détails dans l'analyse, il est important de noter que les résultats obtenus dépendent essentiellement des hypothèses retenues et des calibrages utilisés sur le taux d'arbitrage principalement. Si le portefeuille était composé de niveau de provision ou de taux de moins-values

latentes différents, alors les impacts observés seraient différents. En fin de mémoire, des études de sensibilité à la PVFP sont présentées lorsqu'on inclut les arbitrages au modèle.

Dans le premier tableau sont présentés les résultats de *Best-Estimate* et *PVFP*, et dans le second le coût des options et des garanties (définis comme la différence entre le *Best-Estimate* stochastique et *Best-Estimate* déterministe pour un scénario central) pour chaque configuration. Les résultats sont présentés après avoir retraité les écarts de convergence de manière prudente, c'est-à-dire en ne réduisant pas le *Best-Estimate* :

- Allocation au *BE* lors d'une fuite positive
- Allocation à la *PVFP* lors d'une fuite négative

Configuration	BE Monte-Carlo	PVFP Monte-Carlo
de base	876 435 883 €	63 840 944 €
n°1	876 110 703 €	64 180 963 €
n°2	856 123 044 €	83 106 271 €
n°1 & 2	854 837 810 €	85 331 822 €
n°1 & 2 & MS	855 909 939 €	82 649 811 €

Configuration	TVOG
de base	17 614 309 €
n°1	17 289 129 €
n°2	15 601 569 €
n°1 & 2	14 316 335 €
n°1 & 2 & MS	15 387 459 €

Impact de la configuration n°1 sur les indicateurs :

Cette première configuration amène à une légère réduction du *Best-Estimate* et dans le même temps une augmentation de la *PVFP* (de l'ordre de 300.000€). Les lois comportementales des assurés sont modifiées lors de scénarios extrêmement volatiles. En effet, lors du passage en stochastique, les rachats deviennent plus sensibles car l'on augmente le risque qu'ils se déclenchent sur certaines trajectoires. Donc, cela amène à observer les comportements « extrêmes » se réaliser. En « protégeant » la provision mathématique de ces trajectoires à l'aide du *cap*, la configuration permet à l'assureur de générer des profits plus importants, notamment sur les chargements prélevés.

Impact de la configuration n°2 sur les indicateurs :

En comparant à la première configuration, celle-ci a un impact conséquent sur les métriques clés. Le *Best-Estimate* est en réduction de 20 millions d'euros ce qui entraîne une augmentation de la

PVFP. Cette configuration permet d'affiner le comportement des assurés dans le modèle et génère un fort effet de diminution du coût des options et des garanties. Lors de la prise en compte des arbitrages, la provision mathématique associée à l'Euro diminue progressivement au cours de la projection. Les rachats sont alors proportionnellement moins élevés. De même, les flux d'arbitrage les plus conséquents sont réalisés dans le sens de l'euro vers l'UC, ainsi, vers des supports qui ne sont pas garantis. Cela provient du calibrage du taux d'arbitrage mais également que la politique commerciale de l'entité qui encourage les assurés à réaliser des arbitrages dans ce sens. Cette configuration permet donc de diminuer significativement les engagements de l'assureur envers les assurés. De plus, il est important de noter que, dans ce contexte économique, cette configuration entraîne une vente supplémentaire d'actifs obligataires pouvant impacter significativement la réserve de capitalisation. Si cette provision n'est pas assez élevée, cela peut alors pénaliser le résultat de l'assureur (résultat financier).

A noter que les résultats présentés dans cette configuration proviennent du calibrage du taux d'arbitrage qui contient certaines limites fortes présentées dans le mémoire. La modélisation entraîne ici à avoir des taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC plus importants que dans le sens contraire, ce qui est à l'avantage de l'assureur (réduction importante du *Best-Estimate* et augmentation importante de la *PVFP*). Il est également important de souligner que les hypothèses initiales de RC ou de PPE permettent le bon déroulé de la projection. On peut notamment citer le fait que si la RC était plus faible, les résultats de l'assureur seraient diminués.

Impact de la configuration n°1 & 2 sur les indicateurs :

Cette configuration combine les deux effets précédemment énoncés. Cela amène à un *Best-Estimate* plus faible, une *PVFP* plus haute en découle.

Impact de la configuration n°1 & 2 & MS sur les indicateurs :

Enfin, lors de la prise en compte d'une performance globale des contrats dans les lois comportementales, on remarque une légère augmentation du BE par rapport à la configuration n°1 & 2 et tout de même une diminution par rapport à la configuration n°2 avec arbitrage. Ce mouvement peut s'expliquer par le fait que, après quelques années de développement, lorsque les moins-values latentes sont diluées dans le portefeuille d'actif, cela devient avantageux pour l'assureur que les assurés réalisent des arbitrages vers les supports UC non-garantis. Cependant, la prise en compte d'une performance globale du contrat entraîne une prise de décision plus volatile, la volatilité des supports UC étant intégrée dans le taux servi. Selon les scénarios économiques, lorsqu'ils sont positifs pour les supports UC, les assurés peuvent être enclins à être moins dynamiques et à conserver l'allocation de leur épargne. Ce qui n'est pas à l'avantage de l'assureur qui souhaite réaliser des arbitrages vers des supports non-garantis. Au contraire, dans des scénarios économiques défavorables, les flux de rachats et d'arbitrages seront plus importants, favorisant ainsi une diminution des garanties telles que le taux minimum garanti ou la participation aux bénéfices mais augmentant le coût de l'option de rachat. Cette configuration mélange ainsi plusieurs effets contraires.

En plus de ces indicateurs, il est possible d'observer l'impact des ajustements des lois comportementales sur le SCR (*solvency capital requirement*), représentant le capital nécessaire pour éviter le risque de ruine. Les modalités de calcul sont fixées par le Règlement Délégué. Le

SCR a été calculé en agréant les SCR pour le risque de marché et de souscription en vie. Le risque de marché est représenté par une baisse de la valeur initiale mettant en risque l'assureur face à ses engagements. Le risque souscription en vie prend en compte les situations de tarif ou de provisions insuffisantes.

	Configuration de base	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
BSCR	44 216 082 €	43 923 149 €	47 190 172 €	48 051 096 €	46 822 445 €
Ratio de solvabilité	144 %	146 %	176 %	177 %	176 %

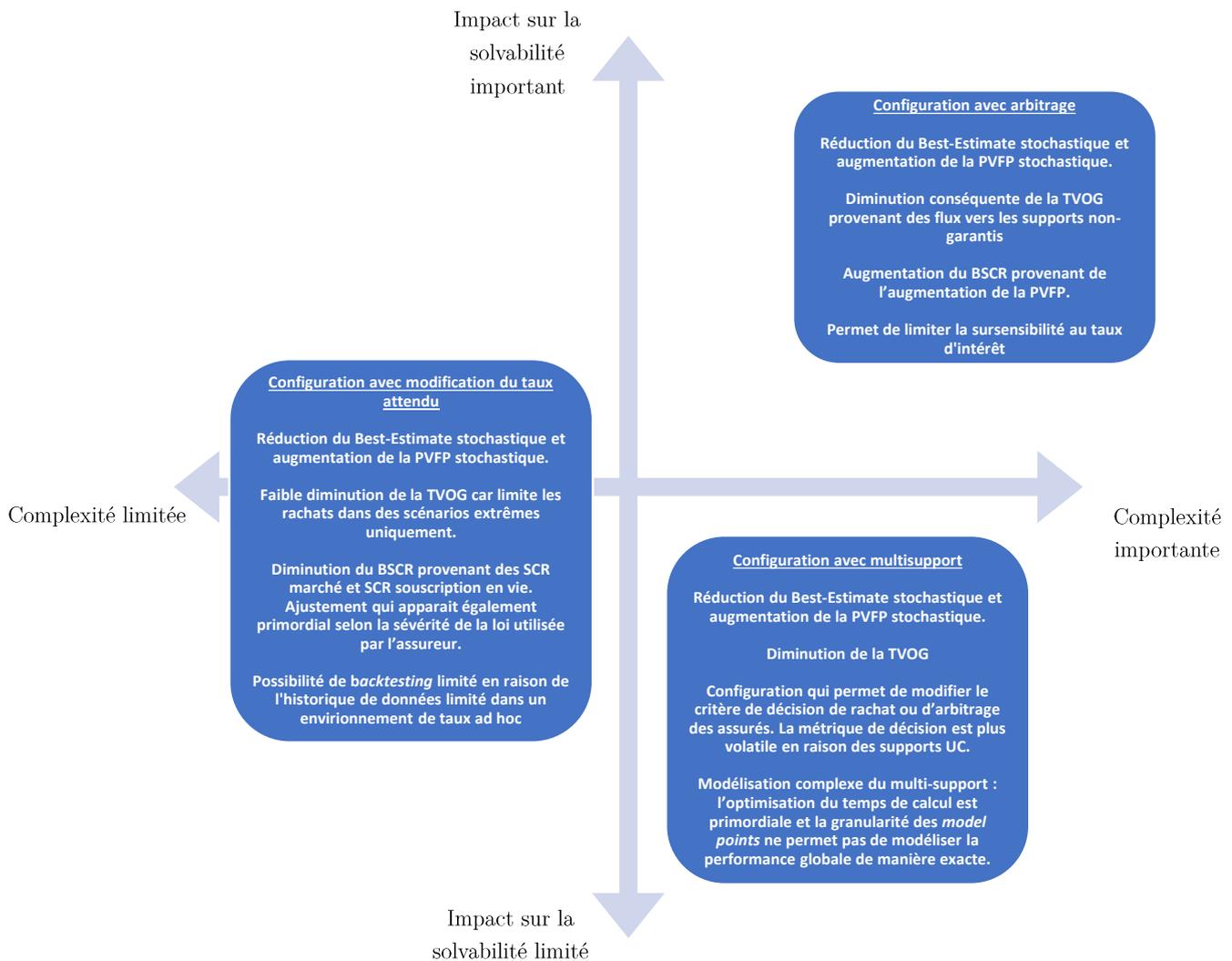
En considérant nos hypothèses et nos calibrages, il est possible d'observer une amélioration de la solvabilité de l'assureur. Si un autre portefeuille avait été utilisé pour étudier les impacts, les résultats en sortie du modèle seraient complètement différents.

Conditionnellement à la situation économique actuelle, les ajustements des lois comportementales sont bénéfiques à la compagnie d'assurance-vie. Ces ajustements agissent sur le comportement des assurés à des degrés différents. Il est possible de remarquer que les arbitrages permettent un gain de solvabilité non-négligeable.

Enfin, le premier ajustement de modèle est en réalité simple à mettre en place dans le modèle ALM en python car il suffit uniquement de modifier la définition du taux attendu. La complexité réside au niveau de la calibration du paramètre Δ , en raison d'un manque de données historiques. Une importante limite de cette modélisation réside dans le fait que les données utilisées afin de calibrer le paramètre proviennent d'un contexte économique différent de celui qui est connu actuellement. De même, en considérant l'historique disponible (avec la remontée des taux), la modélisation peut être *backtestée* de façon limitée. Au contraire, les arbitrages sont complexes à inclure dans le modèle. Il est difficile de réellement déterminer vers quels supports l'assuré souhaite arbitrer, ainsi que le montant arbitré. Également, une limite est à émettre concernant le taux d'arbitrage déterminé qui entraîne des flux importants vers les supports non-garantis durant toute la projection. Ce comportement n'a pas été observé dans l'historique est paraît peu réaliste.

Enfin, la prise en compte d'une performance globale peut être un frein dans l'algorithme ALM selon la granularité et la structure des *model points* existants. Dans ce mémoire, cela permet d'avoir un comportement uniforme pour tous les assurés ayant investis dans deux ou plusieurs supports. La modélisation aurait du sens dans le cas où les *model points* regroupent les assurés de mêmes caractéristiques et une même répartition entre les fonds Euro et UC.

Le graphique ci-dessous permet de conclure cette section, en catégorisant l'impact de chaque ajustement sur l'évolution de la solvabilité de l'assureur ainsi que sur la complexité de la mise en place dans le modèle ALM.



Conclusion

Ce mémoire a pour but de mettre en place un modèle ALM projetant les flux de trésorerie d'une compagnie d'assurance-vie fictive proposant des contrats mono-supports et multi-supports.

Ce modèle ALM servira ensuite comme base d'étude, qui permettra dans un premier temps de pouvoir implémenter les ajustements des lois comportementales, puis de pouvoir étudier les *outputs* du modèle. Pour chaque ajustement, des mesures clés sont étudiées telles que le *Best-Estimate*, la *PVFP*, la *TVOG*, le *BSCR*, ce qui permet de représenter le plus fidèlement possible la situation actuelle des organismes d'assurance-vie.

Les ajustements des lois comportementales agissent à un certain degré sur la solvabilité des assureurs. En effet, la mise en place des arbitrages, en utilisant notre calibrage du taux d'arbitrage, permet un gain significatif sur la solvabilité. Cela permet de limiter la volatilité du

ratio de solvabilité dans un contexte de taux très volatiles pour ajuster les mouvements sur les variations réelles du risque de l'assureur. Le comportement des assurés est affiné, le modèle devient plus complexe car des interactions entre l'actif et le passif sont ajoutées et une optimisation du modèle devient nécessaire. Cependant, un point d'attention sera porté dans la dernière section du mémoire permettant de mettre en évidence le caractère non-réaliste du comportement des assurés avec les arbitrages, en raison du calibrage du taux d'arbitrage, durant toute la durée de projection. Cet ajustement modifie totalement les métriques étudiées et est utilisé dans un environnement où la projection se déroule avec succès (grâce aux hypothèses) mais il s'agit d'un ajustement qui contient des limites fortes : le niveau des flux de l'Euro vers l'UC et l'UC vers l'Euro.

La modification du taux attendu accroît faiblement la solvabilité des assureurs car l'ajustement agit sur les scénarios économiques « extrêmes ». Cet ajustement est uniquement bénéfique car la modification du code est très limitée.

Enfin, la prise en compte d'une performance globale à travers le multi-support permet un gain de solvabilité limité. C'est une modélisation qui prend plus de sens lorsque la structure des *model points* de passif permet de modéliser un comportement plus fin des assurés.

Les résultats obtenus sont alors très dépendants des hypothèses et du calibrage réalisé sur les ajustements qui contiennent des limites qui sont exposées plus en détails dans le mémoire.

Executive summary

Context and issues

The inflation levels reached provoked an immediate reaction from central banks, which drastically raised their key interest rates, placing life insurers in an unusual context. This unprecedented situation presents insurers with new risks that need to be understood, quantified and controlled.

The market offers attractive yields through term deposits, Livret A passbook savings accounts, real estate investment trusts, and so on. The risk is that policyholders will withdraw from their life insurance savings contracts, which offer relatively low returns, to invest in more lucrative savings products. This is known as activating the buyback option. In this high interest rate environment, this risk is feared because of the immediate need for liquidity. To meet this need, insurers have to dispose of assets with unrealized capital losses, reducing the profitability of their business to a point that could jeopardize their solvency. Although 2023 saw an increase in buybacks, levels did not reach the model outflows at 12/31/2022.

In this way, we can conclude that existing models can become unsuitable when subjected to a context far removed from their calibration zone. Results are extrapolated in universes too far removed from the source data used.

The aim of this thesis is to propose model adjustments that affect the behavior of policyholders, enabling more realistic results to be obtained in a volatile context.

Modelling an ALM tool

Prior to any modeling, an asset-liability management algorithm needs to be set up. The model enables future cash flows to be projected, taking into account existing interactions between assets and liabilities. This ensures that current and future financial investments will meet commitments. For example, the contractual guarantees associated with the Euro fund, such as the guaranteed minimum rate (TMG) or the profit-sharing rate (PB).

In addition, to determine the cost of options and guarantees, it is necessary to include a stochastic view, using an economic scenario generator. As insurance liability options are too complex to be priced using a closed formula, the ALM model is used to run Monte-Carlo simulations. Policyholder behavior is highly correlated with market trends, and therefore with the economic environment, trajectory by trajectory.

The ALM tool will project cash flows for Euro and unit-linked funds. The assets invested to represent Euro savings liabilities are made up of bonds, equities, real estate and money-market instruments. Unit-linked funds are invested in equity UCITS, bond UCITS and money-market UCITS, with different levels of investment depending on the risk level of the unit in question.

Finally, the outputs generated by the model are the Best-Estimate, corresponding to the probability-discounted average of cash flows, and the present value of future profits (PVFP), as well as the solvency capital required for market risk and life underwriting risk, which are valued using the standard formula. These outputs enable us to study the impact of the adjustments proposed in this thesis.

Model Adjustments

In order to make the ALM model more realistic in a highly volatile rate environment, three adjustments are proposed in this thesis. In conventional ALM models, policyholders' buybacks behavior is based on their satisfaction, which is measured by the difference between the rate paid (corresponding to the yield) and the rate expected by the policyholder (corresponding to the expected rate). In NCBs, the French regulator proposes a buyback law whose stated parameters form a maximum limit and a minimum limit for withdrawals. However, the regulator is not prescriptive when it comes to defining the inputs to this same law (no definition of the expected rate is set out in this document), which leaves plenty of scope for adjusting the behavioral law as a whole and thus bringing it closer to the moves actually observed. On the other hand, no recommendation is made as to how to take account of arbitrages between media.

Adjustments affect policyholder behavior, and the first one relates to the expected rate. In the production model, the expected rate is defined as a weighting between historical rates served, to take into account the policyholders' memory effect, and market rates such as the Livret A rate, the TME, the inflation rate, etc. By defining the expected rate in this way, it becomes highly dependent on the economic context, and directly absorbs any extreme volatility. By defining the expected rate in this way, it becomes highly dependent on the economic context, and directly absorbs any extreme volatility. The adjustment implemented aims to limit dependence on the economic context beyond a certain threshold: a positive cap Δ is calibrated to limit the difference in expected rates over two consecutive years. The idea here is that policyholders should see their expectations of revaluation grow with the market context, but within a certain limit.

For example, if a policyholder expects an increase in the reset rate in the event of a rise in interest rates, this expectation cannot exceed $+\Delta\%$ compared with the previous year. The parameter Δ is integrated into the ALM algorithm, when the expected rate is defined. It can be interpreted as the maximum variation expected for a rational policyholder between 2 consecutive years. In addition, it seems unlikely that the market for savings products will offer products that evolve with total correlation to the financial markets: the Livret A savings account, for example, may see its yield rate limited by banking lobbies impacting political decisions.

The second model adjustment corresponds to the implementation of arbitrages in the ALM model. Generally speaking, arbitrages are complex to integrate into the algorithm, and insurers therefore use the principle of proportionality, which states that the volumes of unit-linked funds are negligible compared with those of the Euro fund. However, this principle is no longer applicable in a volatile environment. Arbitrage is a real opportunity for policyholders in search of yield. In the model presented in this report, a policyholder has the option of arbitrating between three unit-linked funds or one Euro fund. These mathematical reserve flows are then integrated into the ALM algorithm, and the impact on reserves and SCR is presented below.

The final model adjustment corresponds to the inclusion of the contract's overall performance (including all supports) in the behavioral model. Unlike the first adjustment related to the change in the expected rate, this adjustment is about the second component of policyholder satisfaction, which is the rate served. Instead of considering the euro points and unit-linked models completely separately, additional information will be added to link them together on the basis of similar characteristics (age, seniority, TMG, PB, gender, etc.). The information added is defined as the amount of mathematical reserve invested in a multi-support contract.

This information is used to weight the final rate served to policyholders, which will contain a Euro yield and a unit-linked yield. However, the complexity of modeling multi-support contracts lies in the granularity of the model points. For the purposes of this report, they are created at a "contract pool" level, enabling policyholders with common characteristics to be grouped together. To take into account the overall performance of the policyholder's contract, the ideal would have been to refine the model points to a "policyholder contract" mesh. However, for operational reasons concerning the optimization of calculation time, it is not possible to increase the number of model points. For these reasons, it was necessary to make approximations using the aforementioned information, which provides a "general" and "uniform" behavior for all policyholders invested in a multi-support contract. So, taking overall performance into account will influence the decision metric by making it more volatile, due to the fact that unit-linked products are, by definition, more volatile. Finally, given the current economic climate, where unit-linked products are outperforming the Euro, we can expect to see a reduction in redemptions.

Impact of model adjustments

This section presents the impacts of the adjustments on Best-Estimate and PVFP, estimated using the Monte-Carlo method, in a central scenario based on the EIOPA yield curve on date 12/31/2022. The results are presented by "configuration", which are as follows :

- Basic configuration: no model adjustment ;
- Configuration n°1 : Modification of the expected rate definition ;
- Configuration n°2 : Setting-up arbitrages
- Configuration n°1 & 2: Combination of configuration n°1 and configuration n°2 ;
- Configuration n°1 & 2 & MS: Multi-support in configuration n°1 & 2.

Before going into more detail in the analysis, it is important to note that the results obtained depend essentially on the assumptions made and the calibrations used, mainly with regard to the arbitrage rate. If the portfolio were made up of different provision levels or unrealized capital loss rates, then the impacts observed would be different. At the end of the report, sensitivity studies to PVFP are presented when arbitrages are included in the model.

The results are then presented in the table below. The first table shows the Best-Estimate and PVFP results, while the second shows the cost of options and guarantees (defined as the difference between the stochastic Best-Estimate and the deterministic Best-Estimate for a central scenario) for each configuration. The results are presented after adjusting for convergence differences :

- Allocation to BE in the event of a positive leak
- Allocation to PVFP for negative leakage

Configuration	BE Monte-Carlo	PVFP Monte-Carlo
Basic Configuration	876 435 883 €	63 840 944 €
n°1	876 110 703 €	64 180 963 €
n°2	856 123 044 €	83 106 271 €
n°1 & 2	854 837 810 €	85 331 822 €
n°1 & 2 & MS	855 909 939 €	82 649 811 €

Configuration	TVOG
Basic Configuration	17 614 309 €
n°1	17 289 129 €
n°2	15 601 569 €
n°1 & 2	14 316 335 €
n°1 & 2 & MS	15 387 459 €

Impact of configuration n°1 on indicators :

This first configuration leads to a slight reduction in Best-Estimate and, at the same time, an increase in PVFP (of the order of €300,000). Policyholder behavior is modified in extremely volatile scenarios. In fact, when we switch to stochastics, the buybacks rates become more sensitive, as we increase the risk of them being triggered on certain trajectories. As a result, "extreme" behavior is more likely to occur. By "protecting" the mathematical reserve from extreme scenarios with the help of the cap, the configuration enables the insurer to generate higher profits, notably on the charges levied ...

Impact of configuration n°2 on indicators :

Compared with the first configuration, this one has a significant impact on the key metrics. Best Estimate is reduced by 20 million euros, resulting in an increase in PVFP. This configuration makes it possible to fine-tune policyholder behavior in the model, and generates a strong reduction in the cost of options and guarantees. When arbitrages are taken into account, the mathematical reserve associated with the euro decreases progressively over the course of the projection. Buybacks are therefore proportionally lower. Similarly, the most significant arbitrage

flows are from euros to unit-linked products, and thus to non-guaranteed products. This is due to the fact that the entity's commercial policy encourages policyholders to make arbitrages in this direction. This configuration makes it possible to significantly reduce the insurer's commitments to policyholders. Furthermore, it is important to note that, in this economic context, this configuration entails an additional sale of bond assets, which could have a significant impact on the capitalization reserve. If this reserve is not high enough, shareholders' equity may be penalized.

It should be noted that the results presented in this configuration are based on the calibration of the arbitrage rate, which contains a number of strong limitations presented in the brief. Here, the modeling leads to higher arbitrage rates from Euro to UC than in the opposite direction, which is to the insurer's advantage (significant reduction in Best-Estimate and significant increase in PVFP). It is also important to emphasize that the initial assumptions of RC or PVFP allow the projection to run smoothly. In particular, if the CR were lower, the insurer's results would be reduced.

Impact of configuration n°1 & 2 on indicators :

This configuration combines the two effects described above. It results in a lower Best-Estimate, and a higher PVFP.

Impact of configuration n°1 & 2 & MS on indicators :

Finally, when the overall performance of the contracts is taken into account in the behavioral laws, we note a slight increase in the BE compared to configuration n°1 & 2, and a decrease compared to configuration n°2 with arbitrage. This movement can be explained by the fact that, after a few years of development, when unrealized capital losses are diluted in the asset portfolio, it becomes advantageous for the insurer for policyholders to carry out arbitrages towards non-guaranteed unit-linked products. However, as explained above, taking into account the overall performance of the contract leads to more volatile decision-making, as the volatility of the unit-linked products is factored into the rate paid. However, taking into account the overall performance of the contract leads to more volatile decision-making, as the volatility of unit-linked products is factored into the rate paid. Depending on economic scenarios, when they are positive for unit-linked products, policyholders may be inclined to be less dynamic and to maintain the allocation of their savings. This is not to the advantage of the insurer, who may wish to switch to non-guaranteed products. Or, on the contrary, in unfavorable economic scenarios, the flow of surrenders and arbitrages will be greater, thus favoring a reduction in guarantees such as the guaranteed minimum rate or profit-sharing, but increasing the cost of the surrender option. This configuration thus combines several opposite effects.

In addition to these indicators, it is possible to observe the impact of behavioral law adjustments on the SCR (solvency capital requirement), representing the capital required to avoid the risk of ruin. Calculation methods are set out in the Delegated Regulation. The SCR has been calculated

by aggregating the SCRs for market risk and life underwriting risk. Market risk is represented by a fall in the initial value, putting the insurer at risk of not meeting its commitments. Life underwriting risk, on the other hand, takes into account situations involving tariffs or insufficient reserves.

	Basic configuration	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
BSCR	44 216 082 €	43 923 149 €	47 190 172 €	48 051 096 €	46 822 445 €
Solvency ratio	144 %	146 %	176 %	177 %	176 %

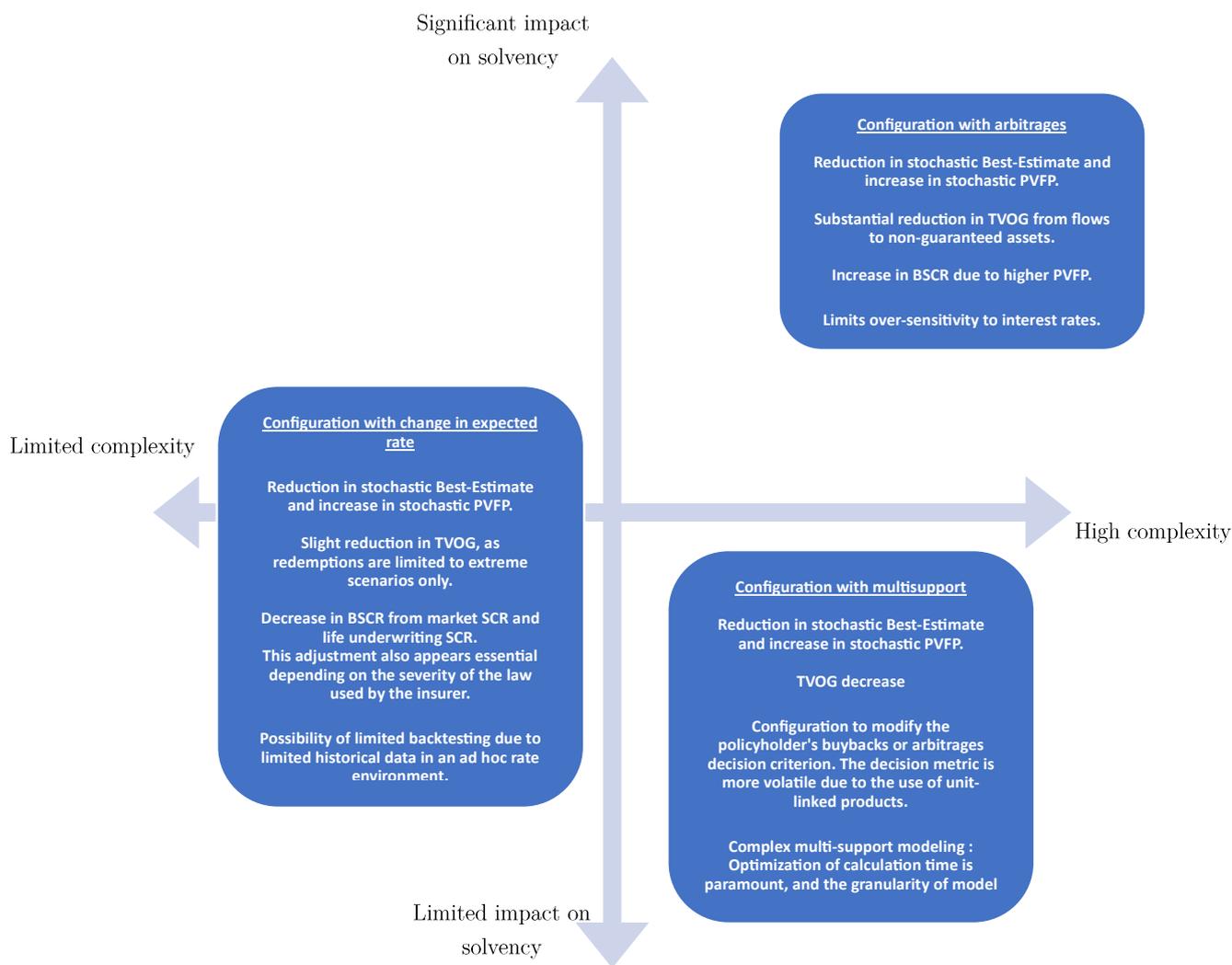
Considering our assumptions and calibrations, it is possible to observe an improvement in the insurer's solvency. If another portfolio had been used to study the impacts, the model's output results might have been completely different.

Adjustments to behavioral laws are beneficial to the life insurance company, subject to the current economic situation. These adjustments affect policyholder behavior to varying degrees. It can be seen that arbitrages result in a non-negligible gain in solvency.

At last, the first model adjustment is in fact simple to implement in the ALM model in python language, since all that's required is a change in the definition of the expected rate. The complexity lies in the calibration of the Δ parameter, due to a lack of historical data. A major limitation of this model is that the data used to calibrate the parameter comes from a different economic context than the one currently known. Similarly, considering the available history, the modeling can be backtested to a limited extent. On the contrary, arbitrations are complex to include in the model. It is difficult to really determine to which supports the insured wishes to arbitrage, as well as the amount arbitrated. There is also a limit to the arbitration rate, which leads to significant flows towards non-guaranteed products throughout the projection period. This behavior has not been observed in the historical data and seems unrealistic.

Finally, taking into account overall performance can be a hindrance in the ALM algorithm, depending on the granularity and structure of the existing model points. In the case of this thesis, this allows for uniform behavior for all policyholders who have invested in two or more supports. Modeling would make sense if the model points grouped together policyholders with the same characteristics and the same distribution between Euro and unit-linked funds.

The graph below concludes this section by categorizing the impact of each adjustment on the insurer's solvency evolution, as well as on the complexity of the implementation in the ALM model.



Conclusion

The aim of this thesis is to set up an ALM model projecting the cash flows of a fictitious life insurance company offering single and multi-support contracts.

This ALM model will then serve as the basis for a study, firstly to implement behavioral law adjustments, and then to study the model's outputs. For each adjustment, key measures such as Best-Estimate, PVFP, TVOG and BSCR are studied, enabling us to represent the current situation of life insurers as faithfully as possible.

Behavioral law adjustments have a certain impact on insurers' solvency. In fact, the implementation of arbitrages, using our arbitrage rate calibration, offers a significant gain in solvency, and therefore appears to be an essential adjustment to make. This makes it possible to limit the volatility of the solvency ratio in a context of highly volatile interest rates, by adjusting

movements to actual variations in the insurer's risk. As policyholder behavior is refined, the model becomes more complex, as interactions between assets and liabilities are added, and model optimization becomes necessary.

However, a point of attention will be made in the last section of the thesis, highlighting the non-realistic nature of policyholders' behavior with arbitrages, due to the calibration of the arbitrage rate, throughout the projection period. This adjustment totally modifies the metrics studied and is used in an environment where the projection runs successfully (thanks to the assumptions), but it is an adjustment that contains strong limits: the level of flows from Euro to UC and UC to Euro.

Modifying the expected rate only slightly increases insurers' solvency, as the adjustment acts on "extreme" economic scenarios.

Finally, taking into account global performance through multi-support provides a limited gain in solvency. This type of modeling makes more sense when the structure of liability model points can be used to model the behavior of policyholders in greater detail.

The results obtained are then highly dependent on the assumptions and calibration performed on the adjustments, which contain limitations that are set out in more details in this thesis.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de ce mémoire au sein de Exiom Partners.

Mes remerciements vont en premier lieu à Mohamed Elaroui, pour avoir autorisé et soutenu ce projet au sein de l'entreprise. Votre vision et votre soutien ont été des facteurs déterminants pour la réussite de ce travail.

Un merci spécial à Mathieu Schneider, qui a été un guide exceptionnel tout au long de ce stage. Vos conseils éclairés, votre expertise et votre disponibilité ont grandement contribué à l'enrichissement de ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères vont à ceux avec qui j'ai eu le privilège de travailler de manière étroite au quotidien. Arthur Cordier, Joffrey Suzat, et Stella Stavila, votre collaboration a été un véritable moteur pour la réussite de ce projet.

Un remerciement spécial à mon tuteur académique, Nicolas Baradel, pour sa guidance experte et ses conseils perspicaces tout au long de cette aventure académique. Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers l'ENSAE Paris pour offrir un environnement propice à l'apprentissage et à la recherche. Les ressources mises à disposition et le soutien institutionnel ont grandement facilité la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier l'ensemble de mes collègues de l'équipe Actuariat pour leur collaboration, leur partage d'expérience et leur convivialité. Les échanges fructueux avec chacun d'entre vous ont été une source d'inspiration constante.

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract	5
Note de Synthèse.....	7
Executive summary	17
Introduction	29
Chapitre 1.....	31
1. Présentation générale de l'assurance-vie.....	31
1.1. Généralité sur l'assurance-vie.....	31
1.2. Les différents contrats.....	31
1.3. Les options en assurance-vie.....	33
2. Présentation du contexte économique	35
2.1. Le contexte historique.....	35
2.2. Le contexte actuel.....	36
3. Les conséquences du changement économique.....	37
3.1. La directive Solvabilité 2.....	37
3.2. Structure d'un modèle ALM	39
3.3. Les conséquences sur l'activité d'assurance-vie	40
3.4. Comment définir le taux attendu ?.....	42
4. Présentation d'un scénario catastrophe.....	43
4.1. Le scénario catastrophe	43
4.2. Le constat sur l'année 2022	44
4.3. Conclusion du scénario catastrophe.....	46
5. Problématique.....	47
Chapitre 2.....	49
1. Le cadre réglementaire et conceptuel	49
2. La compagnie d'assurance-vie étudiée	52
2.1. Les contrats proposés.....	53
2.2. L'actif	53

2.3.	Le passif.....	55
2.4.	Bilan comptable pour l'année 2022.....	60
3.	Le Générateur de Scénarios Économiques	60
3.1.	Le modèle de Hull & White à un facteur	60
3.2.	L'action et l'immobilier - Le modèle de Black & Scholes.....	61
3.3.	Les tests de martingalité.....	61
4.	L'algorithme de gestion actif – passif	63
4.1.	Les étapes de projection du modèle ALM - Euro.....	63
4.2.	Les étapes du modèle ALM - UC	68
4.3.	Retour sur les rachats.....	72
4.4.	Mise en place des arbitrages.....	75
a.	Le multi-support	85
b.	Test de fuite et validation de l'algorithme ALM.....	89
3.	Conclusion du chapitre.....	90
	Chapitre 3	91
0.	Présentation des métriques étudiées.....	91
1.	Les résultats initiaux.....	93
1.1.	Résultats en déterministe – Scénario central sur EIOPA 2022.....	93
1.2.	Résultats stochastiques.....	101
2.	Etude du SCR.....	109
2.1.	Calcul du SCR en formule Standard	109
2.2.	SCR Souscription en vie.....	110
2.3.	SCR Marché.....	112
2.4.	Présentation des résultats.....	115
3.	Synthèse des résultats obtenus.....	122
4.	Limite de la modélisation.....	123
	Conclusion.....	125
A-	ANNEXE.....	127
	Bibliographie.....	135

Introduction

En raison de la volatilité très importante des taux durant les deux dernières années, les assureurs doivent faire face à de nouveaux défis. Ils doivent réagir à ce nouveau contexte économique en adaptant leur politique de taux servis (provenant principalement du taux de participation aux bénéficiaires) pour permettre de satisfaire les attentes des assurés. Le problème étant que le comportement des assurés, dicté par le niveau de satisfaction et calibré dans un contexte économique peu volatile n'est plus adapté. Les modèles prédisent alors des montants de rachats nettement supérieurs à ce qui s'est réellement passé au cours de l'année 2022.

Il est important pour un assureur de modéliser finement le comportement des assurés car cela impacte leurs niveaux de solvabilité. Si ce n'est pas le cas, l'assureur peut alors générer des résultats erronés qui entraîneront des actions futures ayant de graves conséquences sur l'activité de l'assurance.

Ce constat permet de définir une problématique au niveau des lois comportementales qui ne sont plus adaptées à tous les contextes économiques comme une hausse brutale et instantanée des taux d'intérêt.

Pour répondre à cette problématique, ce mémoire a pour objectif de travailler sur les lois comportementales existantes et de les modifier dans un modèle ALM permettant de générer des résultats adaptés dans un contexte de taux volatiles.

Ce mémoire se décompose en trois grandes parties. Premièrement, une description générale est réalisée à propos de l'assurance-vie, du contexte économique historique et actuel, de l'impact du changement de contexte dans les modèles ALM pour terminer sur la présentation d'un scénario catastrophe lié à la situation actuelle des taux d'intérêt. Ensuite, la seconde partie concerne la mise en place d'un modèle ALM pour les fonds Euro et UC, ainsi que tous les ajustements de lois comportementales mis en place. Enfin, la dernière partie concerne la présentation des résultats, en déterministe et en stochastique, sur les métriques clés telles que le Best-Estimate et la PVFP. La fin de ce chapitre permet aussi de calculer les SCR pour le risque de marché et pour le risque de souscription en vie. Une dernière section présentera également l'impact de la revoyure de solvabilité 2 pour le calcul du SCR pour le risque de taux.

Chapitre 1

Éléments de contexte

Ce premier chapitre présentera les fondamentaux de l'assurance-vie. Une introduction sur l'assurance-vie ainsi qu'une présentation des différents contrats et des options disponibles par les assurés seront effectuées. Ensuite sera décrite l'évolution du contexte économique, de l'historique à l'actuel, pour terminer sur la présentation d'un scénario catastrophe qui amènera sur le positionnement d'une problématique.

1. Présentation générale de l'assurance-vie

1.1. Généralité sur l'assurance-vie

L'assurance-vie est un type d'assurance qui vise à garantir le versement d'une somme d'argent, soit sous forme de capital, soit sous forme de rente, en cas d'un événement lié à l'assuré, tel que son décès ou sa survie. Il est important de distinguer l'assurance décès, qui verse le capital ou la rente en cas de décès, de l'assurance en cas de vie, qui verse le capital ou la rente à l'échéance du contrat si l'assuré est en vie à cette date (aucun versement n'est dû à la succession en cas de décès avant l'échéance).

En France, ce qu'on appelle communément « assurance-vie » est en réalité un contrat d'assurance décès, avec une « contre-assurance ». Cela signifie que si l'assuré est en vie à la fin du contrat, les primes versées pendant la durée du contrat lui sont remboursées, éventuellement majorées des intérêts techniques prévus. Cela permet de présenter ce contrat comme un produit d'épargne quasi-financier, bénéficiant des avantages fiscaux propres à l'assurance.

L'assurance-vie offre la possibilité de faire fructifier des fonds tout en poursuivant un objectif à long terme, comme la préparation de la retraite ou un investissement immobilier.

1.2. Les différents contrats

En France, il existe deux types de contrats :

- Les contrats mono-support : en général, il s'agit du support en euros
- Les contrats multi-supports qui comportent à la fois :
 - Un fonds en euros
 - Des unités de compte (UC), investis principalement en parts d'OPCVM, fonds immobiliers, produits structurés...
- Les contrats Euro-croissance

1.2.1. Les fonds Euro

Les fonds en euros sont généralement investis dans des obligations émises par des entités souveraines ou des entreprises. Chaque année, ces fonds en euros sont revalorisés en fonction d'un rendement spécifique appelé participation aux bénéfices. Ce rendement annuel dépend des performances financières des actifs détenus dans le fonds en euros, qui sont gérés par l'assureur. Pour lisser les performances du fonds d'une année sur l'autre, l'assureur peut réduire ou compléter la participation aux bénéfices grâce à des réserves appelées provisions pour participation aux bénéfices (PPB). Par ailleurs, la participation aux bénéfices (PB) comprend également une petite part garantie par contrat, appelée taux technique ou taux minimum garanti, qui peut parfois être de 0%.

Les sommes versées et capitalisées dans le fonds en euros sont garanties par l'assureur grâce à un mécanisme appelé « effet cliquet » : en dehors des frais de gestion, le montant du fonds en euros ne peut pas diminuer. Cependant, en contrepartie de cette sécurité, les gains sont généralement limités. En effet, l'assureur doit principalement investir les fonds en euros dans des actifs peu risqués et peu volatils, tels que des obligations de bonne qualité émises par des entités considérées comme sûres. Ces obligations offrent un rendement faible en raison de leur faible risque.

Les fonds dits « Euro croissance », créés en 2014 et modernisés en 2020, ont été conçus pour améliorer les rendements des fonds en euros en réduisant les contraintes d'investissement imposées aux assureurs. Ils ne garantissent le capital versé que partiellement et seulement au-delà d'un certain nombre d'années, plutôt que de le garantir totalement à tout moment. Toutefois, ces fonds sont complexes et leurs rendements ont été peu convaincants, ce qui explique leur absence de succès commercial.

1.2.2. Les contrats en Unités de Compte

Les contrats en unités de compte (UC) sont des contrats d'assurance-vie dans lesquels l'épargne est investie dans des instruments financiers. Ces contrats ne garantissent pas le capital investi et sont destinés aux épargnants qui recherchent un rendement plus élevé que celui des fonds en euros. Dans un contrat en Unités de Compte l'assureur s'engage uniquement sur le nombre d'unités de compte sur le contrat et non sur la valeur, à la différence des fonds Euros. Ils offrent la possibilité d'investir de manière diversifiée sur les marchés financiers et immobiliers.

Contrairement aux contrats d'assurance-vie en euros, qui sont principalement investis en obligations et relativement protégés contre les mouvements du marché boursier, les contrats en UC sont principalement investis dans des actions. Une unité de compte représente un support financier tel que des parts ou des actions de valeurs mobilières ou immobilières (Sicav, actions, obligations, parts de fonds communs de placement, parts de SCI, parts de SCPI). Il existe une grande diversité d'unités de compte, et c'est à l'investisseur de sélectionner celles qui correspondent le mieux à son profil et à sa tolérance au risque.

Les unités de compte sont accessibles à travers deux types de contrats : les contrats en UC et le contrat multi-support.

1.2.3. Le contrat multisupport

Les contrats multi-supports offrent la possibilité aux assurés de choisir (seul ou avec l'aide de l'assureur) la répartition du capital. Une partie sera à placer dans le fonds Euro et le reste sur divers actifs financiers qui sont les unités de compte. Le choix de la répartition se fait selon les objectifs de l'assuré en considérant son âge, son aversion au risque...

Il existe plusieurs modes de gestion des contrats multi-supports en assurance-vie :

- **La gestion libre** : l'assuré décide de construire et gérer son portefeuille seul. Il décide de répartir librement ses versements parmi le fonds euros et les unités de compte.
- **La gestion profilée** : en choisissant son profil de risque (prudent, équilibré, dynamique), l'assureur répartit l'épargne entre les différents supports disponibles. Il y a généralement un réajustement trimestriel ou annuel.
- **La gestion sous-mandat** : l'assuré est appelé « Mandant », donne un mandat de sélection à l'assureur, le mandataire. Cela va lui permettre de choisir la répartition initiale de l'épargne selon les supports d'investissement possibles, ainsi que l'autorisation d'effectuer à tout moment une réorientation de l'épargne.
- **La gestion pilotée** : la répartition dépend de l'horizon d'investissement restant ou de l'âge de l'assuré. Plus l'horizon d'investissement est lointain, plus la partie en UC sera élevée.

1.3. Les options en assurance-vie

Après avoir souscrit à un contrat d'assurance-vie, l'assuré a la possibilité d'effectuer des opérations financières. L'assuré peut choisir de retirer entièrement ou une partie de son épargne, ce qui est communément appelé sous le terme « d'option de rachat ». Par ailleurs, l'assuré peut également décider de réallouer son épargne entre les supports d'investissement disponibles pour optimiser son rendement, par exemple en profitant des conditions du marché. Cette option est appelée option d'arbitrage. Ces deux options offertes à l'assuré donnent un certain degré de flexibilité dans la gestion de son épargne.

1.3.1. L'option de rachat

Pour satisfaire par exemple un besoin de liquidité immédiat, un assuré a la possibilité à chaque instant de pouvoir mettre un terme à son contrat d'assurance-vie en récupérant tout (rachat total) ou une partie (rachat partiel) de son épargne capitalisée. On peut distinguer deux types de rachats :

- **Les rachats structurels** : cela concerne les rachats observés dans un contexte économique « normal ». Ils sont principalement liés les caractéristiques des contrats et des assurés comme le sexe, l'ancienneté du contrat, l'âge, etc. Ces rachats sont attendus par les assureurs et peuvent être modélisés avec des données historiques.
- **Les rachats conjoncturels** (ou « dynamiques ») : cela concerne les rachats liés à la conjoncture économique (remontée des taux, inflation, chômage, etc.). Les rachats conjoncturels sont principalement déclenchés du fait de la différence entre le taux servi par l'assureur et le taux attendu par l'assuré, qui évolue avec ce contexte économique. En effet, plus le taux servi par la concurrence est élevé, plus le taux attendu par l'assuré augmentera. Ces rachats sont complexes à modéliser à cause du manque de données historiques appropriées, notamment dans un contexte économique « nouveau » avec une remontée des taux.

Cette option peut devenir un risque pour l'assureur, qui est fortement lié au contexte économique et à la dynamique des taux d'intérêt. On parle alors de rachat massif. Nous reviendrons plus en détails sur ce risque lors de la présentation du scénario catastrophe de la section 4.

1.3.2. L'option d'arbitrage

Dans les contrats multi-supports l'assuré peut décider de transférer en intégralité ou une partie de son épargne vers un fonds différent. Un assuré peut décider de modifier la répartition de son épargne dans les fonds d'un contrat d'assurance-vie dans le but d'optimiser ses rendements en profitant des opportunités des marchés, sécuriser ses bénéfices en les retirant des supports ayant surperformés, ou bien restructurer ses investissements pour mieux répondre à ses objectifs. L'option d'arbitrage est disponible uniquement sur les contrats multi-supports.

2. Présentation du contexte économique

2.1. Le contexte historique

2.1.1. Maintien du niveau de l'inflation

Le niveau d'inflation reste depuis des décennies compris entre 3.2% en 1991 et 0% atteint pour la première fois en 2015 après avoir frôlé ce niveau en 2009. Un historique du niveau d'inflation en France depuis 1991 est présenté dans la figure ci-dessous :

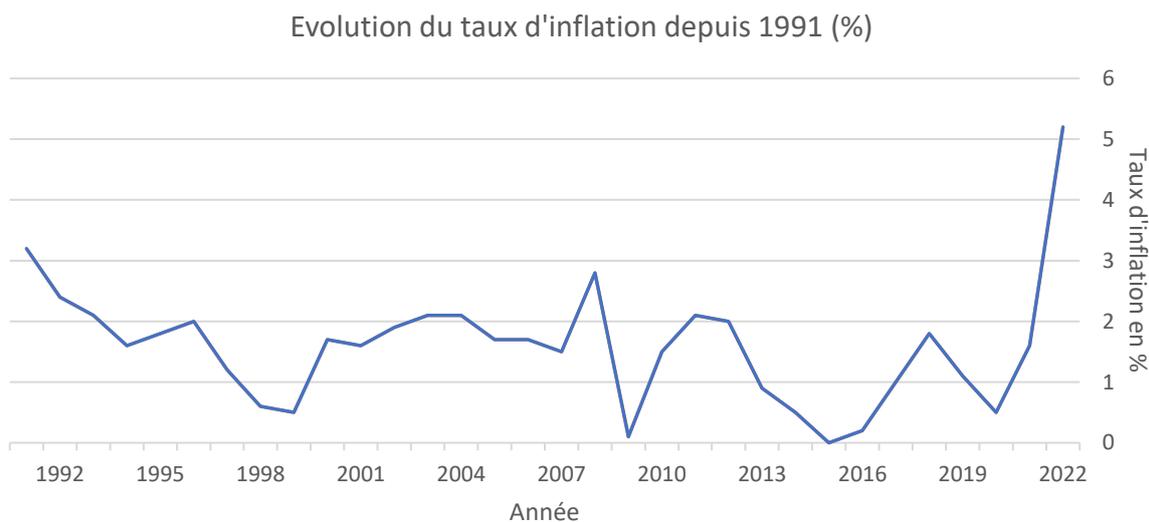


Figure 1: Evolution du taux d'inflation depuis 1991 - Source : INSEE

Une tendance baissière est observable depuis 1991 avec des pics atteignant des niveaux de plus en plus bas. A partir de 2020, la tendance est à la hausse avec un niveau d'inflation atteint en 2022 de 5.2% qui est un record depuis plus de 30 ans.

2.1.2. Les Obligations Assimilables du Trésor (OAT) - un indice de référence

Les Obligations Assimilables du Trésor sont des titres d'emprunt émis par l'Etat Français afin de financer des besoins à moyen long terme. Elles sont émises à une maturité allant de 2 à 50 ans. En France, l'OAT 10 ans fait figure d'indice de référence pour les évolutions du marché du crédit car les titres de dettes émis par un Etat sont considérés comme les placements les plus fiables. De plus, le portefeuille d'actifs d'un assureur est composé majoritairement d'obligations d'Etat Français car ce sont des placements certains. Les OAT 10 ans ont leur maturité est proche de la durée moyenne des actifs détenus par les assureurs, donc les taux des OAT 10 ans permettent de fournir un indicateur significatif pour les organismes d'assurance. L'historique du taux de l'OAT 10 ans depuis 1987 est représenté dans la Figure 2.

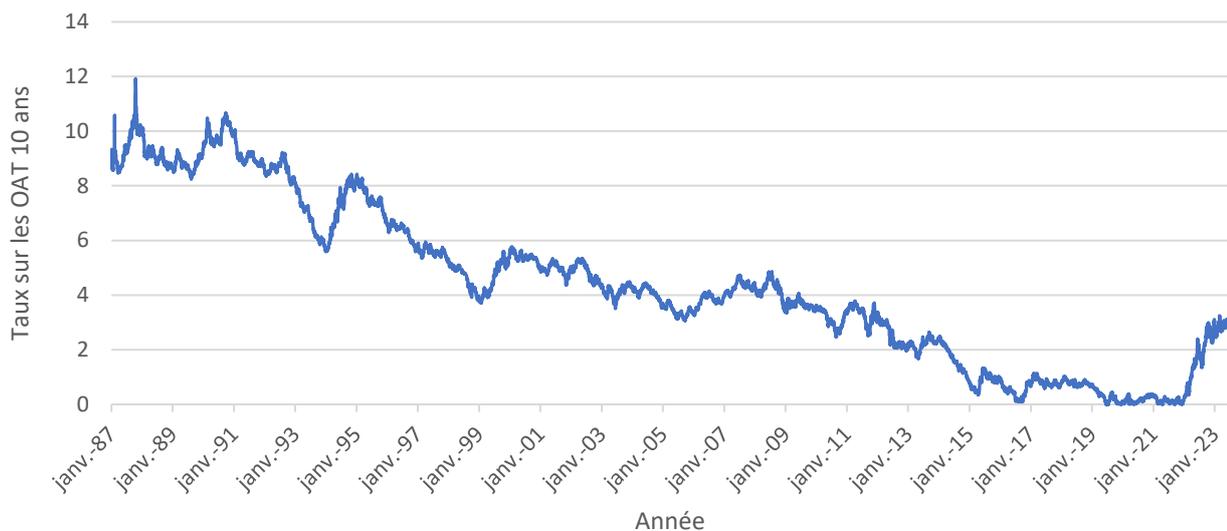


Figure 2 : Evolution quotidienne du taux OAT 10 ans depuis 1987

De même, il est important de noter une tendance baissière continue depuis 1987 où les pics (records à la baisse) atteignent progressivement des niveaux de plus en plus bas. Cette tendance est également plus marquée lorsque les taux enregistrés sont presque nuls en 2017 et 2020.

2.2. Le contexte actuel

2.2.1. Le rôle de la BCE

La Banque Centrale Européenne est l'organe central du système financier de la zone Euro. Elle est l'autorité responsable de la gestion de la monnaie Européenne dans les pays membres de la zone Euro.

La mission fondamentale de la BCE est de stabiliser les prix au sein de la zone Euro. Cela signifie que la BCE s'efforce de contrôler l'inflation en se fixant un objectif d'inflation annuelle d'environ 2%. Pour se faire, elle utilise divers instruments de politique monétaire tels que les taux d'intérêt directeurs, les opérations de refinancement et les programmes d'achat d'actifs. L'inflation est donc le critère principal de décision avant la croissance économique.

De plus, la BCE est chargée de l'émission de l'euro. Elle s'assure que la quantité d'argent en circulation est gérée de manière adéquate de sorte à pouvoir répondre aux besoins de l'économie du pays tout en maintenant la stabilité des prix.

2.2.2. L'impact des crises et des tensions

Sur le plan macroéconomique, l'année 2022 a été une période marquée par des événements majeurs ayant eu un impact significatif sur l'économie mondiale et notamment sur la zone Euro.

La première influence majeure est la crise énergétique du fait de tensions géopolitiques, caractérisée par une augmentation rapide des prix de l'énergie : pétrole, gaz etc. Cette crise énergétique a eu pour conséquence une hausse rapide et importante du niveau d'inflation dans les pays de la zone Euro. Les prix à la consommation ont donc augmenté en atteignant des niveaux qui n'ont été plus observés depuis les années 1980. L'inflation accrue a soulevé des inquiétudes quant à la perte de pouvoir d'achat des ménages et à son impact sur la stabilité économique globale.

Face à cette remontée rapide de l'inflation, la BCE a été contrainte d'opter pour un revirement abrupt de ses politiques précédentes axées sur des taux d'intérêt extrêmement bas, voire négatifs, à une politique de resserrement monétaire. Cette décision permettant de contenir l'inflation et de stabiliser les prix.

Or, ce revirement n'est pas sans conséquence sur de nombreux secteurs de l'économie et particulièrement sur les activités d'assurance. De telles modifications entraînent des répercussions importantes pour les assureurs qui ont dû réajuster leurs stratégies de gestion d'actifs et de passifs.

3. Les conséquences du changement économique

3.1. La directive Solvabilité 2

Tout d'abord, avant d'examiner les impacts de ce nouveau contexte économique sur les modèles utilisés en assurance-vie, une brève présentation de la directive Solvabilité 2 est effectuée.

La directive Solvabilité 2 indique les règles prudentielles qu'une entreprise d'assurance doit mettre en place. Cela comporte trois piliers :

- **Les exigences quantitatives** : cela concerne les modes de calculs à mettre en place pour les exigences de capital. Mais également les règles de valorisation des actifs et passifs.
- **Les exigences qualitatives** : cela concerne les règles de gouvernance et la gestion des risques ainsi que l'évaluation propre des risques de solvabilité.
- **Les informations à destination du public et du superviseur** : cela vise à harmoniser les informations publiées par les organismes d'assurance.

Il est important de noter que la directive Solvabilité 2, qui régit le secteur de l'assurance au sein de l'Union Européenne a introduit des normes spécifiques pour la valorisation des actifs et passifs des compagnies d'assurance. L'un des principes fondamentaux est l'application de la « juste valeur » ou « fair value » dans l'évaluation des éléments du bilan des assureurs.

Ainsi, les actifs détenus par les compagnies d'assurance sont évalués en fonction de leur valeur de marché. En valorisant les actifs de cette manière, cela permet à l'assureur de se rendre compte de la valeur réelle et actuelle de ses investissements plutôt que de se baser sur leur coût d'acquisition initial, que l'on appellera la « valeur nette comptable ».

Du côté du passif, la directive Solvabilité 2 introduit le concept de la « Meilleure Estimation », autrement dit *Best Estimate*. Cela signifie que l'assureur doit évaluer son passif en utilisant une estimation prudente et réaliste.

Ainsi, le bilan économique sous Solvabilité 2 est présenté :

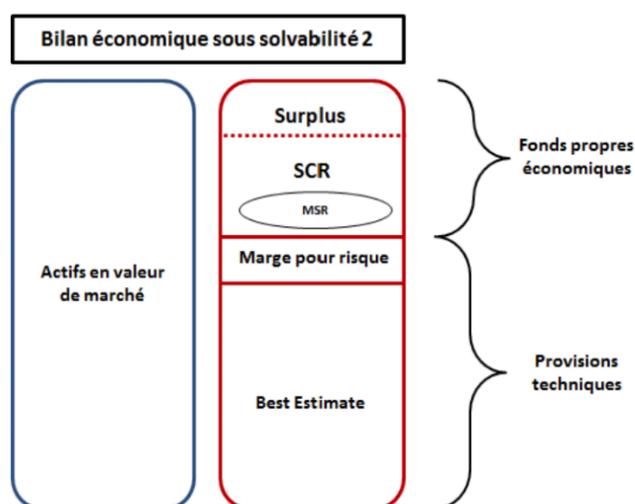


Figure 3: Bilan économique sous Solvabilité 2

Au passif du bilan on distingue donc :

- Le *Best-Estimate* (BE). D'après l'article R351-2 du Code des Assurances, transposition en droit français de l'article 77 de la Directive Solvabilité 2, cela correspond à la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs compte tenu de la valeur temporelle de l'argent estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinente, soit la valeur actuelle attendue des flux de trésorerie futurs
- La marge pour risque : cela correspond au montant supplémentaire, ajouté au Best Estimate, pour obtenir une valeur des provisions techniques cohérente avec le marché. Elle représente la valeur du coût des fonds propres pour porter les engagements jusqu'à leur extinction.
- Fonds propres économiques :
 - SCR (Solvency Capital Requirement) : cela correspond au niveau de capital nécessaire pour un organisme pour éviter une ruine dans 99.5% des cas à horizon un an.
 - MCR (Minimum Capital Requirement) : cela correspond au niveau minimum de fonds propres à détenir pour qu'une compagnie d'assurance puisse exercer son activité

3.2. Structure d'un modèle ALM

Pour valoriser le passif en vision *Best Estimate* un modèle ALM doit capter l'ensemble des interactions entre l'actif et le passif et se doit de tenir compte du comportement des assurés avec notamment les rachats et les décès.

3.2.1. Le générateur de scénarios économiques

Pour déterminer le coût des options et garanties, il est nécessaire d'inclure une vision stochastique. Le GSE va permettre de simuler des scénarios aléatoires de taux, d'actions, d'inflation, etc. Ces scénarios auront chacun une incidence sur les performances de l'actif de l'organisme d'assurance.

Le calcul du *Best-Estimate* s'appuie sur la probabilité « risque neutre », qui existe sous les hypothèses d'absence d'opportunités d'arbitrages et de complétude des marchés. Sous cette probabilité les actifs considérés rapportent en moyenne le taux sans risque et ne diffèrent que par leur volatilité.

En entrée, un GSE contient la calibration des modèles de diffusion utilisés. Par exemple les modèles de diffusion de taux, d'actifs, d'inflation, etc. En sortie, un GSE produit plusieurs scénarios économiques qui serviront comme données d'entrée à l'algorithme ALM.

3.2.2. Les données d'entrée d'un algorithme ALM

L'algorithme ALM prend en entrée l'agrégation des contrats en une seule et même police. Pour le passif, il faudra regrouper les contrats ayant des caractéristiques similaires par exemple au niveau de l'âge, du TMG, etc. Pour l'actif, il y aura un regroupement des actifs à la granularité du modèle ALM avec risque-neutralisation des actifs obligataires. Ce que l'on appellera des *model points*.

En plus des *model points*, des hypothèses supplémentaires sont à prendre en compte, comme des hypothèses comportementales qui peut contenir une loi de rachat ou une loi d'arbitrage. Mais également une hypothèse biométrique en utilisant des tables de mortalité.

La structure du modèle ALM peut être illustrée de la façon suivante :

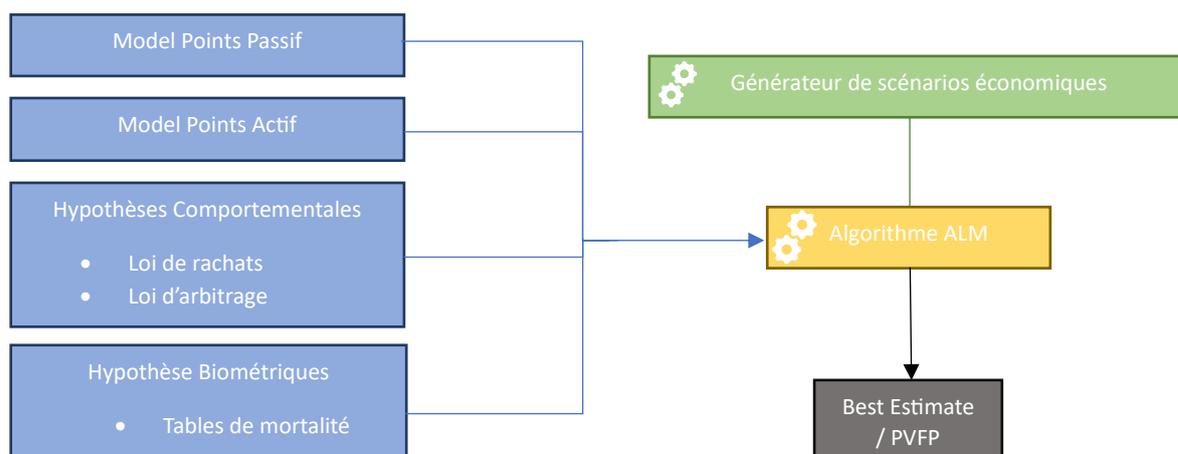


Figure 4 : Structure d'un modèle ALM

3.3. Les conséquences sur l'activité d'assurance-vie

Le contexte économique, et principalement la hausse des taux d'intérêt entraîne des répercussions immédiates sur l'activité d'une compagnie d'assurance-vie. Parmi ces conséquences, certaines se profilent comme des risques intrinsèques, agissant en tant que menaces potentielles sur la solvabilité des assureurs tandis que d'autres apparaissent comme des opportunités.

Il est ainsi possible d'énumérer :

- **Emergence d'épargnes concurrentes** : L'augmentation des taux d'intérêt a pour effet de générer des rendements plus attractifs au travers d'épargnes alternatives. Parmi ces alternatives, le livret A se distingue particulièrement en ayant atteint un taux de rendement de 3% depuis le 1^{er} février 2023.

Conséquence sur l'activité de l'assurance-vie

En présence de taux d'intérêt élevés, les assurés peuvent être enclins à activer leurs options de rachat total ou partiel de leur épargne afin de les réinvestir dans des fonds offrant des rendements plus favorables. Dans le cas d'une augmentation soudaine des taux d'intérêt, les compagnies d'assurance peuvent s'attendre à un risque de rachats massifs, une situation qui suscite une préoccupation particulière. En effet, dans cette situation, l'assureur doit répondre à un besoin de liquidité immédiat.

Face à cette situation et pour éviter les rachats massifs, les assureurs sont contraints de réévaluer leurs stratégies pour maintenir leur attractivité. L'une des actions possibles à mettre en place est de revoir le taux servi aux assurés en le rendant plus compétitif par rapport au marché.

- **Déclin du marché obligataire** : La conséquence d'une hausse des taux d'intérêt est directe sur les obligations. Les taux sont l'un des principaux facteurs d'évolution du prix

des obligations. Une hausse des taux entraîne mécaniquement une baisse du prix des obligations. En effet, les taux sont l'un des principaux facteurs d'évolution du prix des obligations.

Mathématiquement, le prix d'une obligation est donné par :

$$VA = \sum_{i=1}^n \frac{c \times N}{(1+y)^i} + \frac{N}{(1+y)^n} \quad (1)$$

Avec :

- VA : la valeur actuelle de l'obligation ;
- c : le coupon de l'obligation en % ;
- y : le taux de rendement actuariel ;
- n : le nombre de périodes jusqu'à l'échéance ;
- N : le nominal.

A la suite d'une hausse des taux d'intérêt, les nouvelles obligations émises sur le marché possèdent des rendements supérieurs aux anciennes. Le prix des anciennes obligations va donc s'ajuster (diminuer) pour ne pas les rendre moins avantageuses par rapport aux nouvelles obligations.

Conséquence sur l'activité de l'assurance-vie

Ce sujet sera abordé plus en détails dans le chapitre 2, section 2.2 qui traite de l'actif des compagnies d'assurance-vie. Cependant, pour introduire, l'actif d'une compagnie d'assurance-vie est engagé principalement dans des obligations de moyen et long terme. Comme cela a été expliqué précédemment, lorsque les taux d'intérêt augmentent, la valeur des obligations diminue pour les rendre plus attractives pour les investisseurs. En conséquence, le portefeuille d'actifs est en situation de moins-value latente.

Si l'on considère le risque de rachats massifs qui impliquerait un besoin de liquidité, l'assureur serait contraint de vendre ses obligations sur le marché et entraînerait la réalisation de moins-values importantes.

Par ailleurs, si l'on ne tient pas compte de ce risque de rachats massifs, la compagnie pourrait continuer à détenir ses obligations jusqu'à leur échéance prévue. Dans ce cas, l'assureur ne serait pas exposé à des problèmes de liquidité mais il devrait tout de même gérer la moins-value latente potentielle jusqu'à ce que les obligations parviennent à maturité.

- **Hausse de la performance des réinvestissements** : Lorsque la compagnie d'assurance-vie investit dans de nouvelles obligations après une hausse des taux d'intérêt, elle peut obtenir

des rendements plus élevés sur ces nouveaux investissements. Cela lui permettra d'améliorer la performance globale de son portefeuille d'actifs.

Une hausse des taux permettra au marché de retrouver un couple rendement-risque plus favorable, donc de permettre aux investisseurs de réduire leur risque pour un rendement espéré similaire.

Conséquence sur l'activité de l'assurance-vie

En réinvestissant dans des obligations ayant des meilleurs rendements, la compagnie d'assurance-vie peut revoir sa stratégie en servant des taux de rendement plus intéressants pour les assurés limitant ainsi le risque de rachats.

3.4. Comment définir le taux attendu ?

Dans les compagnies d'assurance ou dans les mémoires analysés, plusieurs approches sont envisagées pour définir le taux attendu par les assurés.

Premièrement il est possible d'utiliser les taux servis historiques. En effet, si l'on suppose que les assurés ayant souscrit à une assurance-vie en fonds Euro s'attendent à une revalorisation peu volatile, alors le taux attendu peut être égal au taux servi l'année passée ou bien à une moyenne mobile des trois dernières années pour capter l'inertie des assurés.

Deuxièmement, le taux attendu peut être défini comme dépendant du contexte économique. Il peut être une combinaison du taux court, du taux du livret A et du Taux Moyen des Emprunts d'Etat (TME) qui correspond au taux de rendement sur le marché secondaire des emprunts d'État, fixe supérieur à 7 ans, ou bien au taux swap 10 ans. Mais il est également possible d'utiliser d'autres taux de marché, prenant en compte l'inflation, le chômage, etc. Dans ce cas, le taux attendu dépend très fortement du contexte économique.

Cependant, une réalisation de la combinaison entre des taux servis historiques et d'un taux, que l'on appellera taux benchmark, dépendant du contexte économique actuel est couramment utilisée. Le taux attendu en année N par les assurés serait donc de la forme :

$$\forall \alpha, \beta \in [0; 1], TA_N = \alpha \times Taux_{benchmark} + \beta \times Taux_{servi\ N-1} \quad (2)$$

$$\forall \alpha, \beta \in [0,1], \alpha + \beta = 1$$

Avec :

- TA_N : taux attendu en année N ;
- $Taux_{benchmark}$: taux dépendant du contexte économique actuel
- $Taux_{servi\ N-1}$: le taux servi en année $N-1$

En définissant le taux attendu de cette manière, cela permet de tenir compte de deux éléments. En premier lieu, l'approche englobe un effet mémoire émanant du taux servi historique. Cette composante permet d'intégrer la persistance des tendances passées dans la détermination

des attentes actuelles. Puis, le modèle prend en considération l'évolution dynamique des marchés à travers le taux benchmark. Cependant, dans le contexte économique actuel, les prévisions quant à l'attente des assurés sont en forte augmentation.

4. Présentation d'un scénario catastrophe

4.1. Le scénario catastrophe

Le scénario catastrophe présenté a été établi par Exiom Partners dans lequel la définition du taux attendu fait intervenir les taux de maturité 1 an comme taux benchmark. Sur ce taux benchmark a été appliqué un choc à la hausse de sorte que la courbe des taux soit inversée pour des maturités courtes et le taux spot soit proche de 6% à $t = 0$. Les taux concurrents du marché deviennent ainsi très importants et les assurés seraient enclins à se positionner sur des placements plus attractifs. La conséquence immédiate d'un tel choc à la hausse est une augmentation soudaine du taux attendu des assurés. En conséquence, les assureurs-vie font face à une importante vague de rachats conjoncturels provoquée par l'insatisfaction des assurés suite aux taux servis qui seront bien inférieurs aux taux concurrents.

Les assureurs vont subir alors une augmentation soudaine du volume de sorties à payer et ont un besoin immédiat de liquidité. Pour répondre à ce besoin, l'assureur doit vendre une partie de son actif étant en situation de moins-values, provoqué par la situation des obligations en portefeuille. Lorsque les moins-values sont réalisées l'impact se répercute sur la réserve de capitalisation². Ainsi, dans ce scénario, une forte consommation de la réserve de capitalisation a lieu et le risque est que cette réserve soit totalement épuisée, ce qui impacterait les fonds propres de la compagnie d'assurance.

La Figure 5 illustre le développement du modèle ALM face au scénario catastrophe présenté.

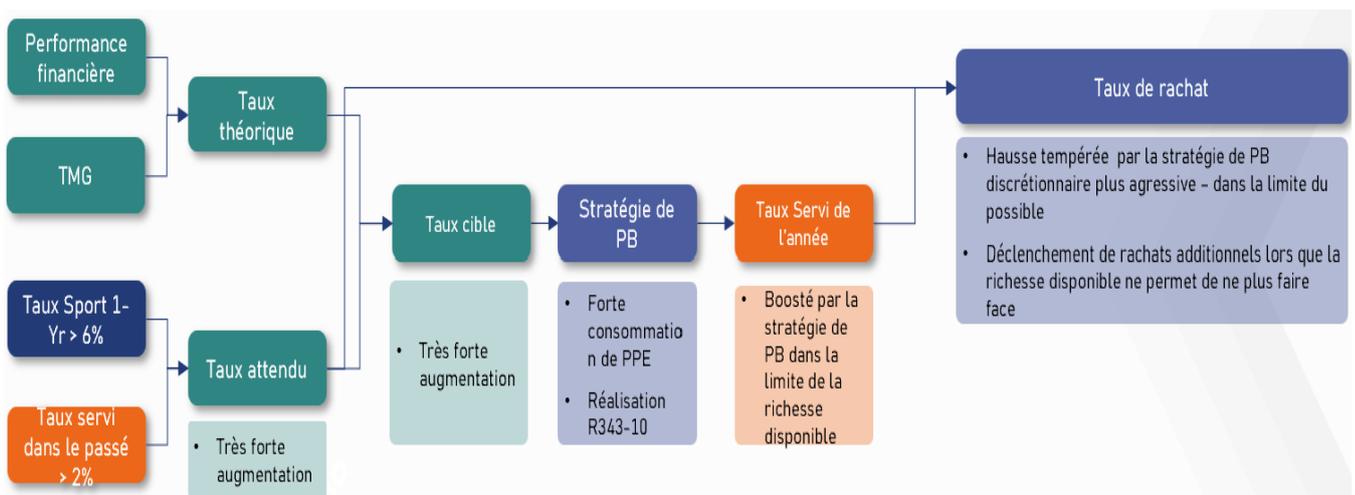


Figure 5: Les conséquences d'un changement de contexte économique sur un algorithme ALM

² Par définition, la réserve de capitalisation sert à engranger les plus ou moins-values réalisées lors de la cession d'obligations par les assureurs-vie. Cette réserve peut être ponctionnée uniquement pour compenser des moins-values obligataires réalisées.

Ainsi, ce scénario permet de mettre en avant les prévisions attendues des assureurs face au nouveau contexte économique. La remontée des taux a été considérée comme une menace pour l'activité des assureurs. Lors de la partie suivante sera évoquée le constat réel que l'on peut faire au courant de l'année 2022.

4.2. Le constat sur l'année 2022

L'ACPR a fourni une synthèse sur le marché de l'assurance-vie en 2022 (et les deux premiers trimestres de 2023)³. Cette synthèse concerne la situation des assureurs soumis à Solvabilité 2 en France.

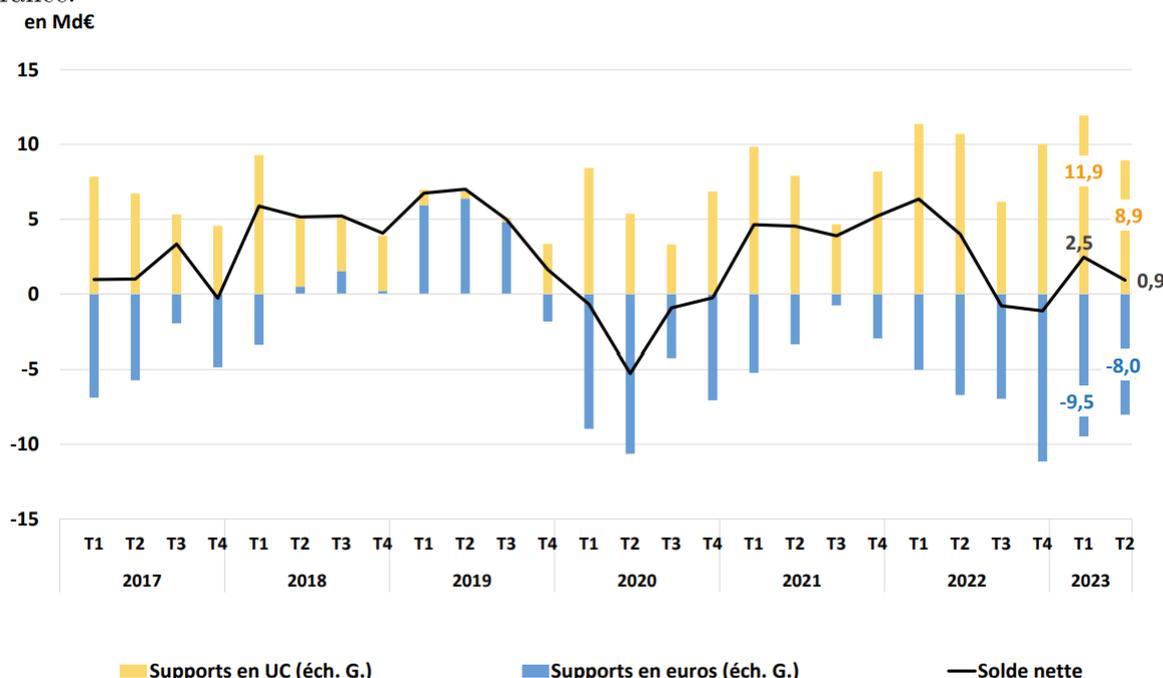


Figure 6 : Evolution trimestrielle de la collecte nette depuis 2017 – Source : ACPR

Le premier constat est que la constitution de l'épargne des Français est en légère baisse par rapport à 2021, qui était de +161 milliards d'euros, pour atteindre +155 milliards d'euros en 2022. Ce ralentissement est modéré quand l'on sait que le niveau de constitution de l'épargne atteint durant la crise sanitaire a été de +100 milliards d'euros. Dans le cas précis de l'assurance-vie, en 2022, les prestations sont en hausse de +5.2 milliards d'euros (passant de 111.0 milliards d'euros en 2021 à 116.2 milliards d'euros en 2022) et dans le même temps, les primes sont en baisse de 4.7 milliards d'euros (passant de 129.3 milliards d'euros à 124.6 milliards d'euros).

La collecte nette de l'assurance-vie atteint un niveau de +8.4 milliards d'euros, alors qu'elle atteignait -7.0 milliards d'euros durant la crise de la Covid-19 en 2020 et +18.3 milliards d'euros en 2021. L'évolution trimestrielle de la collecte nette de l'assurance-vie depuis 2017 est présentée dans la figure suivante qui illustre que l'activité a su bien rebondir après la crise sanitaire en 2020. Cependant, en 2022, il est possible d'observer une collecte nette très favorable pour les

³ ACPR (2023), La situation des assureurs soumis à Solvabilité II en France au premier semestre 2023, n°153, 1-23.

deux premiers trimestres tandis que le solde retrouvera des niveaux négatifs pour les deux derniers trimestres.

Le niveau de collecte nette de 2022 provient de deux tendances inverses. Tout d'abord, comme introduit dans le scénario catastrophe, du fait de la remontée des taux, les fonds en euros deviennent moins attractifs pour les assurés qui s'attendent à de meilleurs taux de rendement. Il est ainsi possible d'observer sur la Figure 7 que le taux de rachat a augmenté lors du 4^{ème} trimestre de l'année 2022.

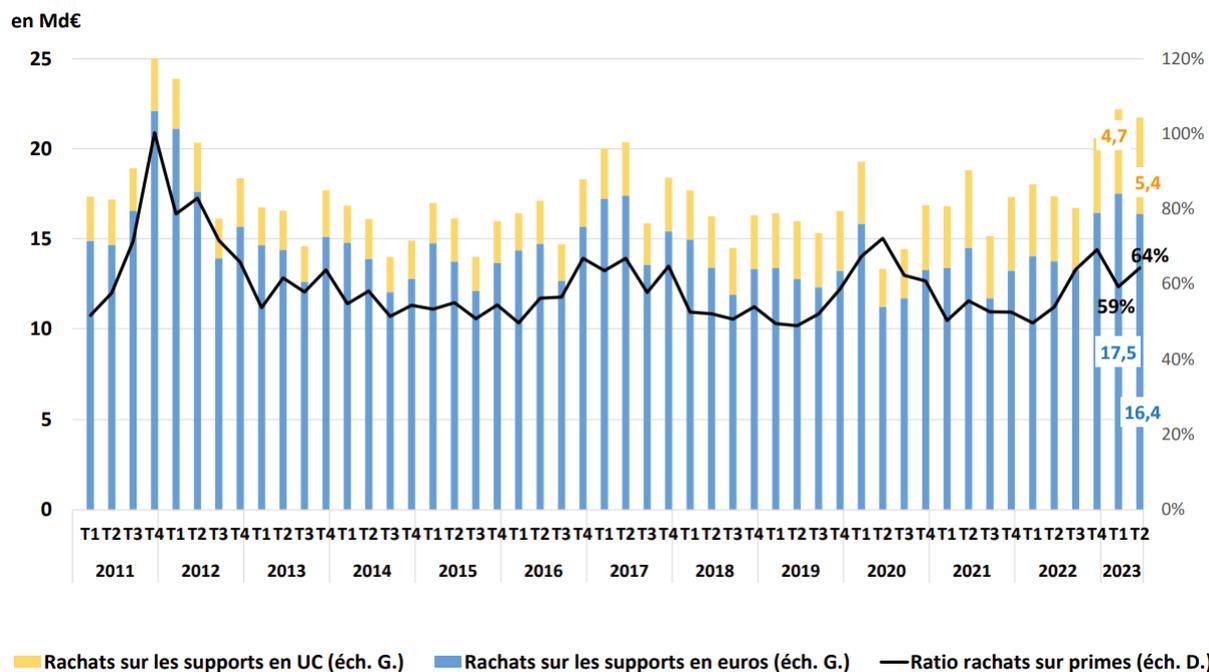


Figure 7: Evolution trimestrielle du taux de rachats de 2011 au 2ème trimestre de l'année 2023 - Source : ACPR

Les taux de rachats sont restés stables (légère diminution) durant les trois premiers trimestres de l'année 2022 malgré le choc instantané des taux. Les rachats ont toutefois subi une augmentation importante lors du dernier trimestre de 2022. Cette hausse tardive est expliquée par la conjoncture économique impactée par le conflit en Ukraine, la crise énergétique et la forte remontée de l'inflation. Ce sursaut tardif peut également être expliqué par les mesures prises par le gouvernement concernant le transfert de l'assurance-vie sur un Plan Épargne Retraite jusqu'à fin 2022, la loi PACTE.

Cependant, si la remontée des taux avait provoqué uniquement des rachats dynamiques les assureurs auraient alors fait face à une collecte nette négative. Or, le niveau de collecte nette est positif et provient du fait que les assurés ont racheté partiellement ou entièrement leurs contrats et ont arbitré sur les contrats en unités de compte. Voici les montants trimestriels d'arbitrages nets en faveur des supports en fonds Euros (montant bleu) ou bien en faveur des fonds en unité de compte (montant jaune) :

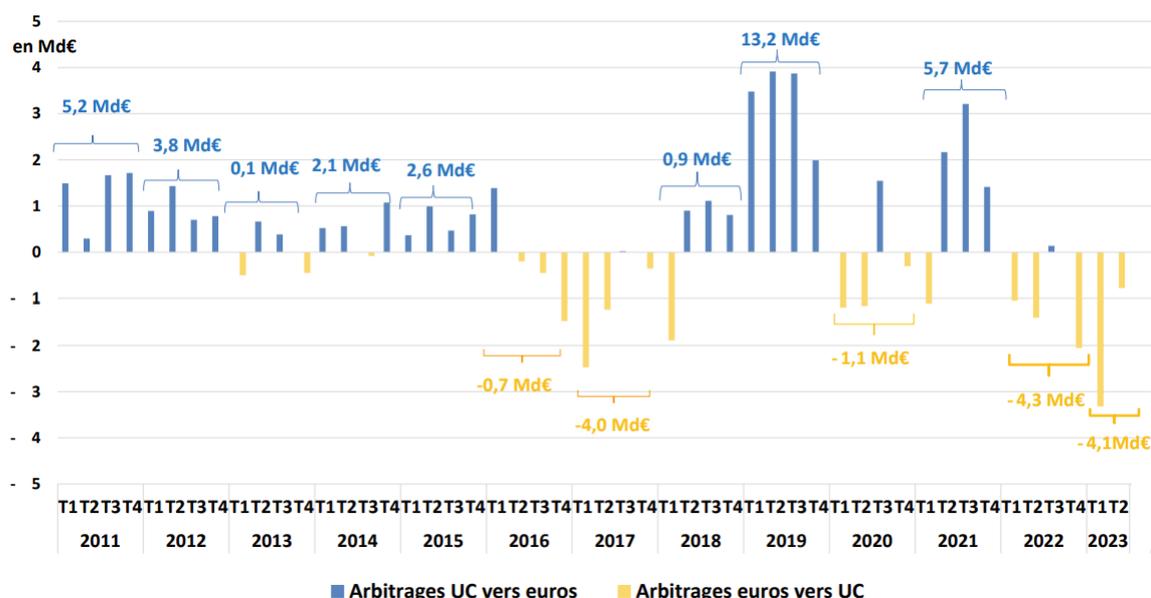


Figure 8 : Montants nets arbitrés - Source : ACPR

L'année 2022 a été marquée par un montant record depuis 11 ans d'arbitrage net en faveur du fonds en unité de compte avec 4.4 milliards d'euros. Le graphique met en avant que durant des périodes de changement économique les assurés ont tendance à arbitrer vers un fonds qui offre un meilleur rendement que les fonds euros. Les supports en unités de compte ont atteint en 2022 une collecte nette historique de +38.2 milliards d'euros.

Pour finir, les assureurs disposent d'une part importante d'actifs liquides et de bonne qualité qui leur permettrait de faire face à un besoin immédiat de liquidité.

4.3. Conclusion du scénario catastrophe

Pour conclure sur ce scénario catastrophe, l'année 2022 a été rythmée par une hausse des prestations à payer à la suite de rachats survenus tardivement dans l'année. Ce déclenchement des rachats dynamiques reste tout de même modéré et a été atténué par des arbitrages nets en faveur des fonds en unité de compte. En plus de cela, il est possible de justifier ces prestations par l'avènement de la loi PACTE en 2019 incitant les transferts vers des Plans d'Épargne Retraite (PER) ou bien vers d'autres produits d'épargne plus rémunérateurs ou bien avec des structures de frais différentes, sans perdre les droits.

Les modèles de projection n'ont pas su répondre à un tel choc de taux instantané et avaient prévu le déclenchement d'une vague de rachats massive. Les projections du modèle sont erronées et peuvent amener à des analyses et des actions inexactes.

5. Problématique

Le changement de contexte économique n'est pas sans conséquence pour les activités d'assurance-vie. En effet, les projections réalisées mènent à des résultats inquiétants mettant les acteurs dans des situations délicates. Le scénario catastrophe présente les conséquences directes du changement de contexte économique sur les projections des assureurs.

Le constat réalisé sur l'année 2022 démontre l'inadéquation des projections. Il est possible de considérer que les assureurs font face à un risque de modèle. Ce risque se matérialise par l'inadaptation des modèles face à un changement soudain du contexte économique, entraînant des interprétations erronées. Les assureurs se trouvent dans une situation où les projections générées par les modèles ne sont ni réalistes ni souhaitables, et où ces modèles ne capturent plus fidèlement les comportements des assurés.

Ce mémoire a pour objectif de se positionner sur la réflexion et l'impact de la mise en place d'ajustements au niveau du modèle ALM, permettant de représenter au mieux le comportement réel des assurés face à des taux volatiles. En analysant en profondeur les lacunes des modèles et en identifiant les facteurs spécifiques ayant conduit à des projections erronées, l'objectif final est d'optimiser la pertinence des modèles ALM dans un contexte économique caractérisé par des fluctuations rapides des taux, permettant ainsi aux assureurs de mieux anticiper et gérer les risques associés.

Chapitre 2

Présentation des données, des outils utilisés et des ajustements de modèles

Ce chapitre a pour objectif de présenter la compagnie d'assureur vie fictive qui servira de fondation pour l'établissement des résultats dans la dernière partie. Cela permettra également de présenter les outils utilisés et modélisés durant ce mémoire, comme le Générateur de Scénarios Économiques et l'algorithme de gestion actifs/passifs. Ce chapitre permet également d'exposer les différents ajustements de modèles mis en place, ainsi que la façon dont ils ont été modélisés.

Ce chapitre sera donc articulé en quatre sections distinctes :

- Un rappel du cadre réglementaire et conceptuel
- La compagnie d'assurance-vie fictive et la présentation du portefeuille étudié
- Une présentation des outils modélisés : le Générateur de Scénarios Économiques et l'algorithme de gestion actifs/passifs
- Les ajustements de modèles :
 - La nouvelle définition du taux attendu ;
 - La mise en place des arbitrages ;
 - La prise en compte de la performance des contrats multi-supports.

1. Le cadre réglementaire et conceptuel

Cette première partie a pour but d'explicitier les principales exigences réglementaires pour le calcul des provisions techniques vie sous Solvabilité 2.

Pour rappel, le Best Estimate correspond à la valeur actuelle des flux de trésorerie futurs. Le calcul du BE nécessite la mise en place d'une modélisation ALM permettant de prendre en compte les interactions entre l'actif et le passif. Ces interactions sont liées aux garanties offertes aux assurés, il est possible de citer le mécanisme de participation aux bénéfices, les options de rachats et d'arbitrages, le taux minimum garanti, etc. Ainsi, le calcul du Best Estimate doit respecter plusieurs principes.

Principe de Market Consistency

Article L351-2 du Code des Assurances

« Le calcul des provisions techniques prudentielles utilise les informations fournies par les marchés financiers et les données généralement disponibles sur les risques de souscription, en cohérence avec ces informations et données. »

Ce principe évoque la façon dont doivent être évalués l'actif et le passif des compagnies d'assurance. Cette approche vise à garantir que les évaluations sont conformes aux conditions du marché actuelles et reflètent de manière précise les engagements futurs de la compagnie d'assurance envers ses assurés. Cela passe tout d'abord lors de la génération des scénarios économiques dans le cadre des valorisations stochastiques qui doivent être en cohérence avec les marchés, mais également par la valorisation de l'actif et du passif qui doit se faire à la juste valeur. C'est-à-dire que les prix d'acquisition ou de cession doivent se faire selon le prix du marché à la date d'évaluation. L'actualisation des flux de trésorerie futurs se fait avec la courbe des taux sans risque, cohérente avec les informations de marchés.

Prise en compte des options et garanties et utilisation de modèles stochastiques

La valorisation du BE doit tenir compte des coûts que vont représenter les options et les garanties offertes aux assurés.

Article 32 du Règlement Délégué – Options contractuelles et garanties financières

« Lors du calcul de la meilleure estimation, les entreprises d'assurance et de réassurance tiennent compte de l'ensemble des éléments suivants :

- *Toutes les garanties financières et options contractuelles incluses dans leurs contrats d'assurance et de réassurance ;*
- *Tous les facteurs susceptibles d'influer sur la probabilité que les preneurs exerceront les options contractuelles ou réaliseront la valeur des garanties financières. »*

Pour appréhender la valeur des options et des garanties, il est nécessaire de simuler des scénarios stochastiques. Ces scénarios permettront de prendre en compte la gravité des situations et donc déterminer le coût réel des options et garanties. En réalité, si la valorisation des options se fait sur un scénario déterministe, alors cela ne permet pas de prendre en compte les coûts asymétriques des options et garanties. Prenons un exemple pour illustrer le caractère asymétrique des scénarios.

Imaginons que des assurés déclenchent leurs options de rachats en dessous d'un seuil, correspondant à faible rendement, noté r . Si le rendement financier de l'année en cours est supérieur à r alors aucune option de rachat ne se déclenche et cela ne représente aucun coût pour l'assureur. Au contraire si les rendements financiers sont faibles et se situent en dessous du seuil r , alors les options de rachats se déclenchent et vont représenter un coût pour l'assureur. Pour résoudre cette problématique il est nécessaire pour un assureur d'inclure une vision stochastique comme suit :

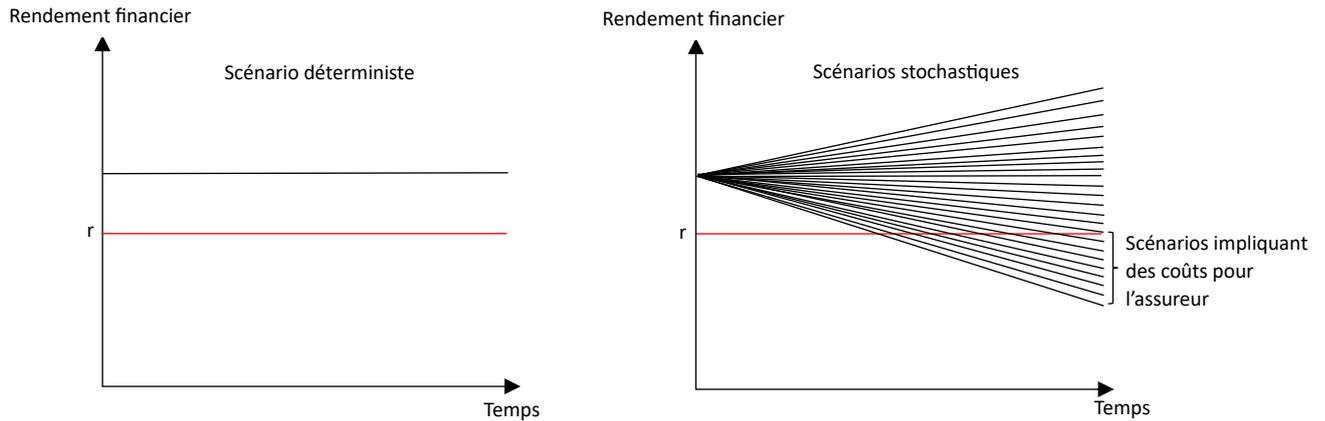


Figure 9 : Différence entre approche déterministe et stochastique pour l'évaluation des options et garanties

La méthode Monte-Carlo

L'évaluation du *Best-Estimate* nécessite donc des scénarios économiques générés de façon stochastique. Chaque scénario stochastique fera l'objet d'une projection sur 50 ans au sein de l'algorithme de gestion actif-passif et aura pour résultante, un BE.

L'estimation du *Best-Estimate* stochastique se fait via la méthode de Monte-Carlo qui consiste à estimer la moyenne d'une variable aléatoire grâce à un grand nombre de simulations. L'estimation du *Best-Estimate* stochastique est réalisée en actualisant les flux de trésorerie futurs sur la base de N simulations (trajectoires) et sur un horizon de temps T . Cette méthode est utilisée car il n'est pas possible de déterminer une formule explicite simple pour chaque garantie. Cette méthode fonctionne grâce à la loi des grands nombres qui garantit la convergence et grâce au théorème central limite permettant de donner l'erreur de convergence, proportionnelle à σ/\sqrt{N} . Ainsi, le Best-Estimate stochastique est calculé par :

$$BE^{stochastique} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T FT_{i,j} \times \delta_{i,j} \quad (4)$$

Avec :

- N : le nombre de scénarios économiques ;
- T : l'horizon de projection ;
- $FT_{i,j}$: les flux de trésorerie du scénario i pour l'année de développement j ;
- $\delta_{i,j}$: le déflateur du scénario i pour l'année j .

Le déflateur d'un scénario i est calculé par la formule suivante :

$$\delta_{i,j} = \prod_{k=1}^j \frac{1}{1+r_k}$$

Remarque : Si $k = 0$, le déflateur est logiquement égal à 1.

Il en est de même pour l'estimation de la *PVFP*, qui est la somme actualisée des profits futurs sur la base de N scénarios et un horizon de temps T :

$$PVFP_{stochastique} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \text{Résultat}_j \times \delta_{i,j} \quad (5)$$

Avec :

- *Résultat_j* : le résultat au cours de l'année de développement j ;
- *δ_{i,j}* : le déflateur du scénario i pour l'année j .

Comportement des assurés

Il est exigé pour une compagnie d'assurance d'établir des hypothèses quant à l'exercice potentiel des options par les assurés. Ces hypothèses sont établies à partir des observations passées et des anticipations futures.

Article 26 du Règlement Délégué, les hypothèses sont à établir selon les points suivants :

- *Dans quelle mesure l'exercice des options a été, ou sera, profitable aux preneurs selon les circonstances existantes au moment de l'exercice des options ;*
- *L'influence des situations économiques passées et futures ;*
- *L'incidence des décisions de gestions passées et futures ;*
- *Toute autre circonstance susceptible d'influencer la décision, par les preneurs, d'exercer ou non l'option*

La prise en compte du comportement des assurés est impérative pour une évaluation précise du BE. En effet, la meilleure estimation est calculée comme la valeur actualisée des flux de trésorerie tels que les prestations de sorties, comme les rachats, les arbitrages ou les décès. Ces sorties ne sont pas indépendantes du comportement des assurés.

2. La compagnie d'assurance-vie étudiée

Dans le but d'étudier les impacts et sensibilités du changement économique, les études se font sur la base d'une compagnie d'assurance-vie fictive. Cette première partie décrira en détails les données de cette compagnie d'assurance. Pour refléter au mieux la réalité, des études d'expert ayant connaissance de la situation actuelle des assureurs ont été menées. Cette compagnie d'assurance est, sur certains points, une simplification de la réalité pour ne pas alourdir le temps de calcul sans toutefois biaiser les résultats. Ces simplifications seront abordées en détails dans la suite de ce mémoire.

2.1. Les contrats proposés

Comme indiqué précédemment, la compagnie exerce des activités d'assurance-vie en proposant à des adhérents des contrats similaires à ceux énoncés dans le chapitre 1. Ainsi, il est possible de contracter une assurance-vie monosupport en fonds Euro ou bien si l'assuré accepte un risque, un contrat en fonds en unités de compte. Il est également possible de choisir un contrat multi-support, en investissant une partie de son épargne dans un fonds Euro ou bien dans un fonds en unités de compte. La répartition de l'investissement est un choix de l'assuré.

2.2. L'actif

2.2.1. La création de model points d'actif

Dans un but d'optimisation du temps de calcul, les polices sont regroupées dans ce que l'on appellera des « *model points* ». Le regroupement est possible lorsque les risques apportés par les polices sont similaires et lorsque cela ne vient pas changer les résultats des projections. La création des *model points* est à réaliser de façon libre et des tests sont à mettre en place pour vérifier leurs validités.

Le regroupement des actifs se fait selon des caractéristiques similaires. Parmi celles-ci, il est possible de citer, la nature des actifs, la maturité, les taux associés (fixe ou variable) etc.

2.2.2. La composition de l'actif des assureurs en 2022

Le portefeuille de notre compagnie d'assurance est constitué de cinq actifs. Principalement les obligations qui représentent de façon majoritaire le portefeuille d'actifs et sont en situation de moins-values latentes à la suite de la remontée des taux. Ensuite, pour constituer l'actif associé au fonds Euro, il est possible de citer les actions, l'immobilier et le monétaire. En ce qui concerne les contrats en unité de compte, l'actif est investi dans des Organismes de Placement Collectif en Valeurs Mobilières (OPCVM), qui sont gérés par des « gestionnaires externes ». Dans notre compagnie, l'assuré a la possibilité d'investir dans trois OPCVM différentes selon le niveau de risque. Il existe les OPCVM obligataires, actions ou monétaires. La répartition de l'actif a été faite selon des études internes permettant de représenter au mieux l'allocation d'actifs des assureurs du marché à la fin d'année 2022.

Répartition de l'actif de la compagnie d'assurance-vie

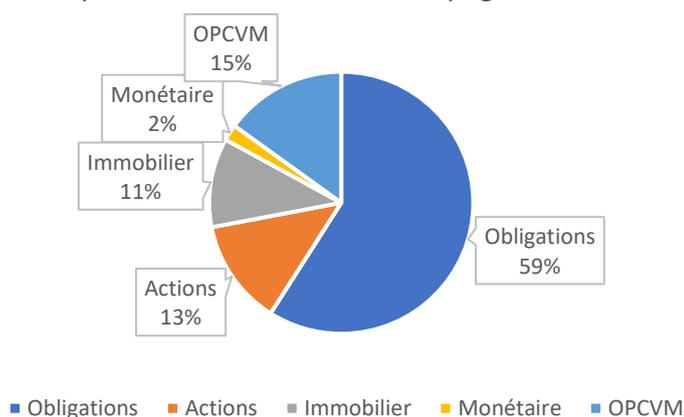


Figure 10 : Allocation de l'actif de la compagnie d'assurance-vie

Dans notre cas, des contrats mono-supports et multi-supports sont modélisés, il est donc nécessaire de pouvoir associer à chaque *model point* de passif, un actif, permettant de lier la performance de l'actif au passif. Comme précédemment mentionné, les assurés ont la possibilité d'investir dans des contrats liés à un fonds en euro ou dans trois fonds en unités de compte avec différents risques. Par conséquent, il est impératif de créer quatre identifiants distincts pour ces actifs. Cette classification est représentée dans le tableau ci-dessous :

Identifiant actif	Actif
1	Obligations/Actions/Immobiliers/Monétaire
2	OPCVM Obligataire
3	OPCVM Monétaire
4	OPCVM Action

Tableau 1 : Identifiants des actifs du portefeuille de la compagnie d'assurance

Dans le contexte économique actuel, le portefeuille d'actifs subit d'importantes variations impactant les valeurs nettes comptables, les valeurs de marché ainsi que les taux de plus ou moins-values latentes qui sont présentés dans le tableau suivant :

Classe d'actifs	VNC	VM	PMVL
Obligations	590 M €	500,9 M €	-17,8%
Actions	130 M €	132 M €	1,6%
Immobiliers	110 M €	137,2 M €	19,8%
Monétaire	20 M €	20 M €	0,0%
OPCVM Obligataire	70 M €	67,9 M €	-3,0%
OPCVM Monétaire	30 M €	30,02 M €	0,1%
OPCVM Action	50 M €	50,3 M €	0,7%

Tableau 2 : Evolution du portefeuille d'actifs suite à l'évolution du contexte économique

2.3. Le passif

2.3.1. La création de model points

Dans notre étude, la compagnie d'assurance-vie fictive a regroupé les polices ayant des caractéristiques similaires comme l'âge, l'ancienneté du contrat, le type de contrat, les options (TMG, PB) ce qui permet une étude assez fine des assurés, tout en optimisant le temps de calcul.

Les données utilisées représentent l'état des assureurs à la fin de l'année 2022. Voici un aperçu du regroupement des *model points* au sein du passif d'assurance-vie :

Model Point	Type de contrat	Ancienneté du contrat	Âges moyens des assurés	TMG	Taux PB	Identifiant actif / actif associé
1	Euro	36	100	2%	93%	1
2	Euro	40	70	0%	96%	1
3	Euro	40	80	0%	89%	1
4	UC	12	80	0	0%	2
5	UC	12	90	0	0%	3
6	UC	12	100	0	0%	4

Tableau 3 : Aperçu des model points de passif de la compagnie d'assurance-vie

Le passif est constitué de 150 *model points* dont 75 qui sont des contrats investis en fonds Euro et 75 dans des fonds en unités de compte. Chaque *model points* est associé à un type d'actifs via son identifiant. Par exemple, un model point associé à un identifiant d'actif n°2 verra son épargne investie dans des OPCVM Obligataire. De plus, les *model points* associés à un identifiant d'actif n°1 sont des contrats en fonds Euro et ceux associés à des identifiants $\neq 1$ sont des contrats investis dans des unités de compte.

2.3.2. Les hypothèses liées au passif

Comme évoqué dans le chapitre 1, l'algorithme ALM nécessite de recevoir en *input* des hypothèses comportementales et biométriques. Premièrement les décès sont calculés à l'aide de la table **TF00-02**. Ensuite, dans le modèle les chargements correspondent aux montants prélevés par la compagnie d'assurance-vie aux assurés, ce sont des gains pour la compagnie. Au contraire les frais représentent des coûts pour l'assureur. Cela permet de rémunérer les salariés, les sociétés de gestion externes, etc.

2.3.2.1. Les frais et les chargements

Les frais et chargements modélisés sont les suivants :

	Euro	UC
Chargements sur encours	Entre 0,7% et 0,85%	0,9%
Chargements sur arbitrage	0%	1%
Frais financiers	0,01%	0%

Frais sur encours	Entre 0,2% et 0,4%	0%
Frais de gestion	0%	60%

Tableau 4 : Frais et chargements dans le modèle ALM

Les chargements sur encours correspondent aux pourcentages prélevés sur les provisions mathématiques, qui sont différents selon le type de contrat. Les chargements sur arbitrage correspondent aux chargements prélevés sur chaque mouvement d'épargne. Ces chargements sont fixés à 0% pour les contrats en fonds Euro dans le but d'inciter les assurés à déplacer leur épargne vers des contrats UC. En effet, dans les contrats UC, ce sont les assurés qui portent le risque, tandis que sur les contrats Euro l'assureur est obligé de provisionner davantage en conséquence de contractions d'options tels que le TMG ou le taux de PB.

En ce qui concerne les frais, tout d'abord, les frais financiers correspondent aux frais prélevés au moment du vieillissement de l'actif et avant la tombée de coupons, de loyers ou de dividendes. Les frais sur encours sont des frais prélevés sur la provision mathématique après les prestations de sorties telles que les décès ou rachats. Enfin les frais de gestion correspondent à ce que la compagnie d'assurance reverse aux sociétés de gestion externes en charge des OPCVM (Organisme de Placement Collectif en Valeurs Mobilières).

2.3.2.2. La PPE et la RC

Pour rappel, la réserve de capitalisation est une réserve qui est alimentée par les plus-values réalisées lors de la cession des actifs obligations et est diminuée à hauteur des moins-values. Cette réserve a pour objectif de dissuader les compagnies d'assurance de vendre les obligations en cas de baisse des taux pour en dégager des bénéfices à court terme. La provision pour participation aux excédents est une provision destinée à lisser les rendements (les taux servis aux assurés). Lors d'une année où les rendements financiers sont diminués, l'assureur peut reprendre une partie de cette provision pour proposer un meilleur rendement. Au contraire, lors d'une année où les bénéfices sont importants, l'assureur peut doter la provision. La compagnie d'assurance possède 8 ans pour la reverser aux assurés.

Les montants initiaux dans le modèle ALM sont fixés à :

- $RC = 14 M \text{ €}$;
- $PPE = 43 M \text{ €}$.

Ces niveaux de PPE et de RC permettent le bon déroulé de la projection face au contexte économique où les actifs obligataires sont diminués.

Il est important de noter que d'autres niveaux de provision et de réserve peuvent amener à des résultats différents. En effet, conditionnellement au niveau actuel des moins-values latentes obligataires et au contexte économique volatile, un niveau de réserve plus faible peut amener à un impact conséquent sur les résultats. Également, si l'on considère un niveau de PPE plus faible, cela implique que la compagnie pourra moins servir aux assurés et l'assureur peut observer des rachats supplémentaires.

2.3.3. Les rachats structurels

Pour rappel, les rachats structurels correspondent aux rachats liés aux caractéristiques des assurés. Par exemple, il est possible de modéliser leurs comportements suivant leur âge, l'ancienneté de leur contrat, le support de commercialisation, le sexe, etc. Par définition, ce sont des rachats qui ne sont pas définis selon l'environnement économique.

Dans notre cas, les rachats structurels de la compagnie d'assurance-vie ont été modélisés en considérant l'ancienneté du contrat. La modélisation du rachat structurel est de la forme suivante :

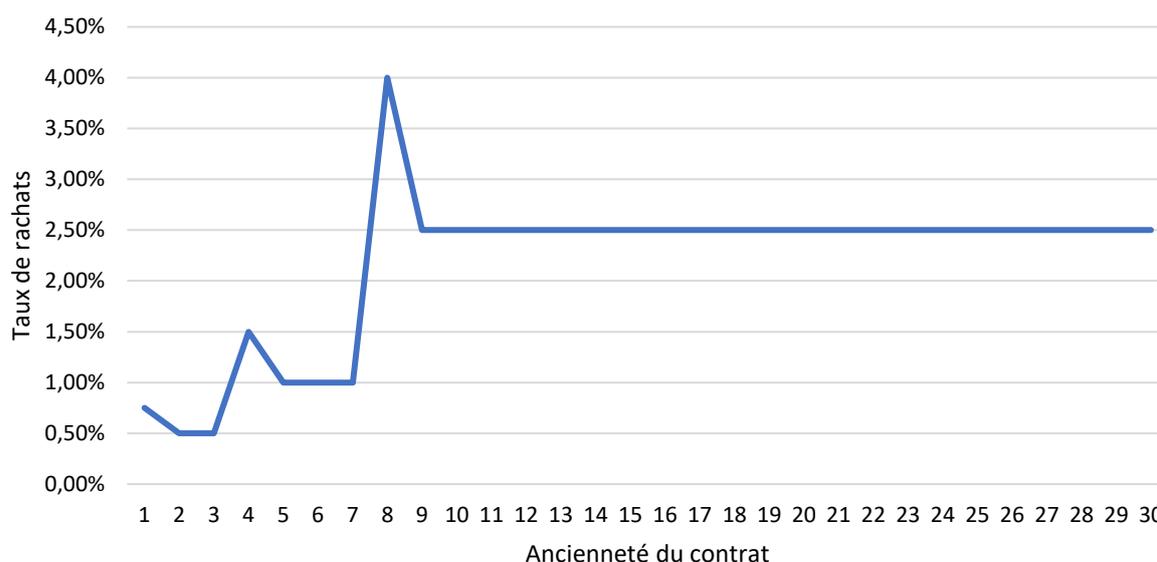


Figure 11 : Représentation graphique représentant le taux de rachats structurels selon l'ancienneté du contrat

La courbe de rachats structurels révèle deux pics distincts qui se manifestent à des durées spécifiques d'ancienneté des contrats. Le premier arrive à quatre ans, tandis que le second arrive à huit ans. Ces anciennetés représentent des moments importants en termes de fiscalité avantageuse pour les assurés. Cette courbe est déduite d'un comportement historique des assurés.

2.3.4. Les rachats conjoncturels

Les rachats conjoncturels correspondent aux rachats qui sont liés à la conjoncture économique. Ce sont les rachats additionnels (au-delà des rachats structurels) pouvant survenir lorsque l'assuré procède à un retrait total ou partiel de son contrat dans le but d'investir sur d'autres supports financiers. Ainsi, si l'on considère la conjoncture économique, ces rachats sont modélisés selon la satisfaction ou bien l'insatisfaction des assurés. Le niveau de satisfaction peut se calculer en réalisant une différence entre le taux de revalorisation servi et le taux attendu par les assurés.

En suivant cette approche, les Orientations Nationales Complémentaires (ONC) de l'ACPR en 2013 ont proposé une modélisation des rachats conjoncturels. Dans une situation où il n'y a

pas un historique de données suffisamment important, la calibration des rachats dynamiques fait intervenir un jugement d'expert.

La modélisation des rachats dynamiques est la suivante :

$$RC(TS) = \begin{cases} RC_{max} & \text{si } TS - TA < \alpha \\ RC_{max} \times \frac{(TS - TA) - \beta}{\alpha - \beta} & \text{si } \alpha < TS - TA < \beta \\ 0 & \text{si } \beta < TS - TA < \gamma \\ RC_{min} \times \frac{(TS - TA) - \gamma}{\delta - \gamma} & \text{si } \gamma < TS - TA < \delta \\ RC_{min} & \text{si } TS - TA > \delta \end{cases} \quad (6)$$

	α	β	γ	δ	RC_{min}	RC_{max}
Plafond maximum	-4%	0%	1%	4%	-4%	40%
Plafond minimum	-6%	-2%	1%	2%	-6%	20%
Moyenne	-5%	-1%	1%	3%	-5%	30%

Tableau 5 : Paramètres des lois des ONC

Avec :

- α : correspond au seuil en-deçà duquel les rachats conjoncturels sont constants et fixés à RC_{max} .
- δ : correspond au seuil au-delà duquel la diminution du taux de rachat structurel est constante et fixée à RC_{min} .
- β, γ : correspondent respectivement aux seuils d'indifférence à la baisse et à la hausse du taux servi. Entre ces 2 seuils, le comportement de l'assuré n'est pas modifié.
- TS : correspond au taux servi à l'assuré.
- TA : correspond au taux attendu par l'assuré.
- $RC(TS)$: correspond à la fonction de rachats conjoncturels prenant en paramètre le taux servi.

Une représentation graphique du taux de rachats conjoncturels suivant la proposition des Orientations Nationales Complémentaires est la suivante :

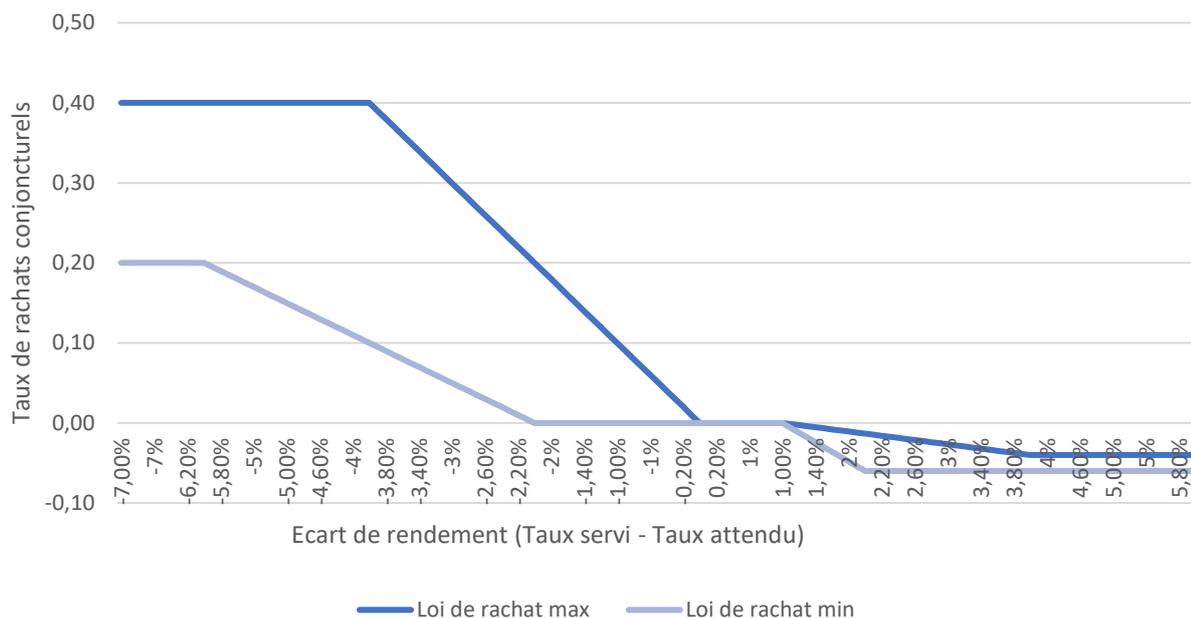


Figure 12: Représentation graphique du taux de rachats conjoncturels suivant la modélisation proposée par les ONC

Pour chaque année de développement, le rachat global est la somme des rachats structurels et des rachats conjoncturels. Le rachat s'écrit donc de la manière suivante :

$$RG(TS, TA, anc) = \min(1, \max(0, RC(TS) + RS(anc))) \quad (7)$$

Avec :

- **anc**: l'ancienneté du contrat ;
- **RS(anc)** : correspond aux rachats structurels prenant en paramètre l'ancienneté du contrat ;
- **RG(TS, TA, anc)** : correspond aux rachats globaux pour une année de développement, prenant en paramètres le taux servi, le taux attendu ainsi que l'ancienneté du contrat.

2.4. Bilan comptable pour l'année 2022

Le bilan comptable de la compagnie d'assurance-vie fictive est représenté par la figure ci-après :

		Actif	Passif
Bloc Euro		Monétaire	RC
		Immobilier	PPE
		Actions	
		Obligations	PM €
Bloc UC		OPCVM	PM UC

Le bloc Euro à l'actif sera équivalent à la somme entre les provisions suivantes : la réserve de capitalisation, la provision pour participation aux excédents et la provision mathématique associée à un support Euro. Tandis que le bloc en unité de compte sera équivalent uniquement à la provision mathématique associée aux supports en unité de compte.

3. Le Générateur de Scénarios Économiques

3.1. Le modèle de Hull & White à un facteur

Le modèle de diffusion utilisé est le modèle de Hull & White à un facteur. Il s'agit d'un modèle développé par J.C.Hull et A.White à partir de 1990. L'objectif de ce modèle est de correspondre à une courbe des taux EIOPA. La diffusion risque neutre s'écrit selon l'équation suivante :

$$dr_t = (b(t) - a \times r(t))dt + \sigma dW_t \quad (8)$$

Avec :

- $b(t)$: une fonction déterministe du temps ;
- a : vitesse de retour à la moyenne ;
- σ : volatilité du taux court ;
- r_t : le taux court à un instant t ;

- $(W_t)_{t \geq 0}$: un mouvement brownien, sous \mathbb{Q} .

A la différence d'un modèle plus simple comme le modèle de Vasicek, ce modèle se différencie par l'ajout d'un paramètre non stochastique dépendant du temps dans la *drift*.

3.2. L'action et l'immobilier - Le modèle de Black & Scholes

Les actions et l'immobilier sont diffusés à l'aide du modèle de Black & Scholes. Le prix des actifs actions et immobiliers vont ainsi évoluer, sous la probabilité risque neutre, selon la dynamique suivante :

$$dS_t = r_t \times S_t dt + \sigma \times S_t dW_t \quad (9)$$

Avec :

- S_t : le prix de l'actif à l'instant t ;
- σ : volatilité du taux court ;
- $(W_t)_{t \geq 0}$: un mouvement brownien, sous \mathbb{Q} .

Remarque : Les résolutions de ces EDS sont disponibles en annexe.

3.3. Les tests de martingalité

Les tests de martingalité et de cohérence avec les données de marché doivent permettre de prouver la conformité du GSE aux exigences de l'article 22, paragraphe 3 du Règlement Délégué 2015/35. Ces exigences sont que le modèle génère des prix d'actifs cohérents avec les prix des actifs observés sur les marchés financiers et que le modèle ne suppose aucune opportunité d'arbitrage.

Mathématiquement, ce test consiste à vérifier que la moyenne des valeurs actualisées pour chaque pas de temps, est égale à la valeur de départ, donc que l'actif est une martingale. Pour une quelconque trajectoire k cela peut s'écrire par :

$$\mathbb{E}[S_{k,t} \times \delta_{k,t}] = S_0 \quad (10)$$

En pratique, le test de martingalité est réalisé sur les 1000 scénarios et est validé si :

$$\forall t \in [1; 50], \quad \tilde{S}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{i,t} \times \delta_{i,t} ;$$

$$\forall t \in [1; 50], \quad \tilde{S}_t = S_0$$

Les résultats des tests de martingalité pour les scénarios d'actions et d'immobiliers sont à visualiser dans les Figure 13 et Figure 14.

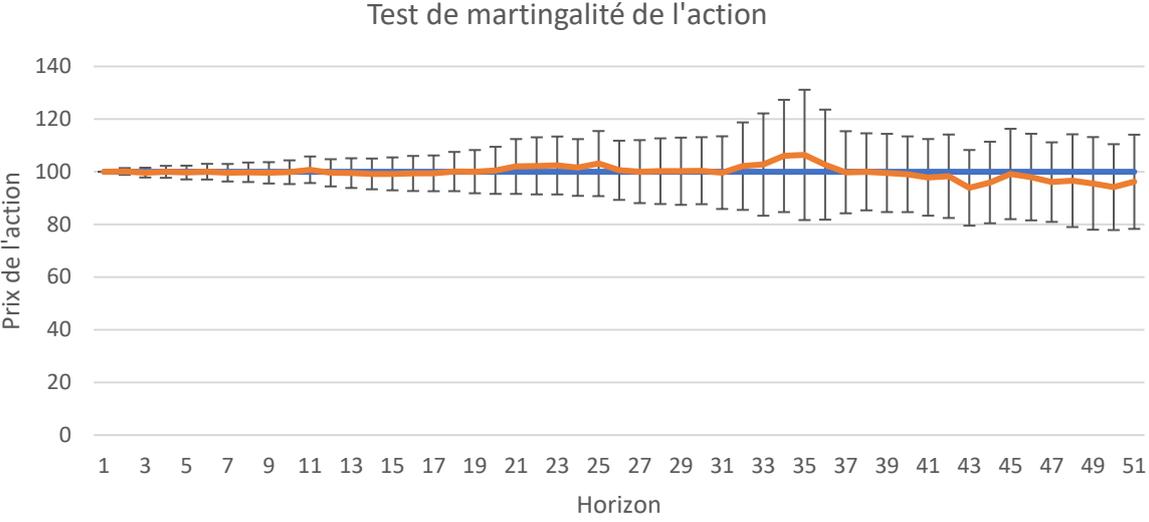


Figure 13 : Réalisation du test de martingalité action avec intervalles de confiance

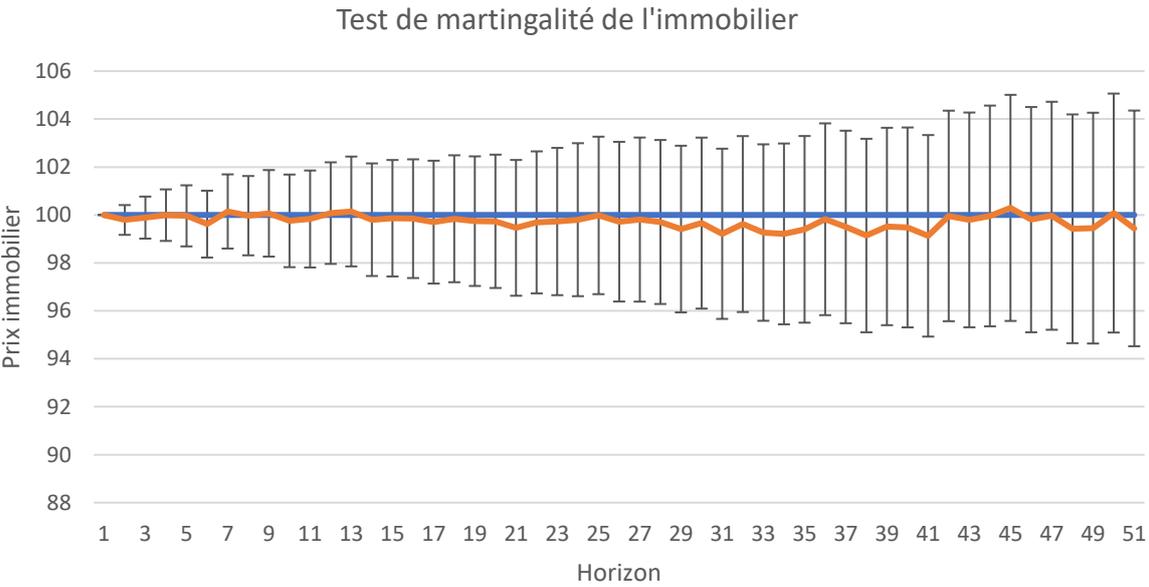


Figure 14 : Réalisation du test de martingalité immobilier avec intervalles de confiance

Les intervalles de confiance permettent de valider les tests de martingalité réalisés. Il est possible de conclure que les scénarios économiques générés respectent le principe de *market consistency* et que ces scénarios sont risques neutres, ils rapportent le taux sans risque.

4. L'algorithme de gestion actif – passif

Comme présenté dans la section 3.2.2. du chapitre 1, la Figure 4 présente les inputs nécessaires au fonctionnement de l'algorithme ALM. Pour rappel, les inputs sont :

- Les Model Points d'actif et de passif
- Les tables scénarios, générées à l'aide du Générateur de Scénarios Economiques
- Les hypothèses comportementales telles que les lois de rachats ou d'arbitrages
- Les hypothèses biométriques
- Les hypothèses de gestion liées à la compagnie d'assurance

L'algorithme ALM permet ainsi de calculer en *output* le *Best-Estimate* et la valeur actuelle de profits futurs, ou *Present Value of Futur Profits (PVFP)*. Pour obtenir ces résultats, l'algorithme ALM va projeter les actifs présentés dans la section 2.2 et le passif présenté dans la section 2.3.

Cette section présentera dans un premier temps le fonctionnement de l'algorithme ALM associé au fonds Euro et dans un second temps nous parlerons de l'implémentation des contrats UC.

4.1. Les étapes de projection du modèle ALM - Euro

Cette section présente le fonctionnement de l'algorithme associé au fonds Euro qui est présenté plus en détails dans le mémoire de Arthur Cordier, qui s'intéresse à l'étude de l'impact de la convexité de la courbe des taux dans un algorithme ALM. La première étape consiste à récolter les *inputs* qui sont stockées dans des fichiers Excel et qui sont lues par le modèle ALM réalisé en langage python.

Le déroulé de l'algorithme ALM est présenté dans l'illustration ci-après, c'est-à-dire les étapes réalisées pour une année de projection. Ensuite pour chaque étape, nous réalisons une description en détails.

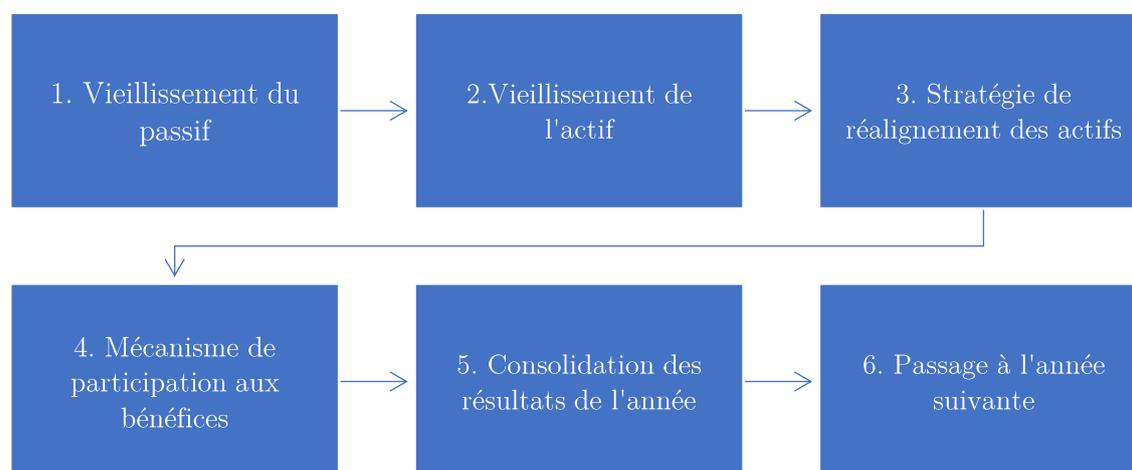


Figure 15 : Les étapes du modèle ALM pour une année de projection

1. Vieillessement du passif

L'objectif de cette étape consiste à effectuer un vieillissement naturel des *model points* de passif. Cela concerne plusieurs caractéristiques des assurés telles que : l'âge ou l'ancienneté des contrats. De plus, cette étape permet le paiement des prestations de sortie ainsi que les frais. Ainsi la provision mathématique des assurés avant le mécanisme de participation aux bénéfices est déterminée. En termes de prestations de sortie, il faut prendre en compte :

- Les taux de décès qui sont calculés à l'aide de la table de mortalité TF00-02 permettant d'être prudent.
- Les taux de rachats contenant les rachats structurels et les rachats conjoncturels présentés dans les sections 2.3.3. et 2.3.4. Le taux de rachats total est présenté dans l'équation (7).

A la suite de cela, les intérêts techniques vont venir rémunérer les assurés concernant les prestations de sorties :

$$IT_N \text{ de sortie} = Prestations_N \times TMG \quad (11)$$

Mais également au niveau de la PM restante :

$$IT_N = (PM_N - Prestations_N) \times TMG \quad (12)$$

Cette étape permet également de déterminer les chargements prélevés aux assurés ainsi que les frais :

$$Chargements_N = (PM_N - Prestations_N + IT_N) \times \text{Taux de chargements} \quad (13)$$

$$Frais_N = PMd'ouverture \times \text{Taux frais sur encours} \quad (14)$$

Enfin, la PM avant le versement de participation aux bénéfices correspond à :

$$PM \text{ avant PB} = PM_N + IT_N - Prestations_N - Chargements_N \quad (15)$$

2. Vieillessement de l'actif

Cette étape consiste à effectuer un vieillissement, selon le scénario, des *model points* d'actif. Les actifs détenus par la compagnie d'assurance prendront une année d'ancienneté et pour chaque année passée, pour certains actifs cela amène des gains financiers, autrement appelé produits financiers.

- Les obligations : Chaque année l'assureur recevra une tombée de coupon, qui est un pourcentage fixe du nominal. Le prix des obligations en valeur de marché sera recalculé selon la formule (1) du chapitre 1 et selon l'évolution des taux d'intérêt. Si une obligation arrive à maturité, alors l'assureur reçoit le nominal de l'obligation.

$$\text{Produits Financiers Obligataires} = \sum_{i=1}^{N_o} c_i \times N_i \quad (16)$$

Avec :

- N_O : le nombre d'obligations détenues en portefeuille
- c_i : le taux de coupon de l'obligation i
- N_i : le nominal de l'obligation i

- Les actions : de même, l'assureur recevra des dividendes qui seront plus ou moins importants selon l'évolution du scénario et ainsi selon le marché action. En effet, les dividendes sont calculés selon la valeur de marché de l'action.

$$Dividendes = \sum_{i=1}^{N_A} Taux\ Dividendes_i \times VM_i \quad (17)$$

Avec :

- N_A : le nombre d'actions détenues en portefeuille
- $Taux\ Dividendes_i$: le taux de dividendes de l'action i
- VM_i : la valeur de marché de l'action i

- L'immobilier : comme pour les actions, le marché de l'immobilier générera un gain, autrement appelé loyers qui seront plus ou moins importants selon l'évolution du marché de l'immobilier. Les loyers sont calculés de la même façon que les dividendes.
- Le monétaire : le monétaire ne génère aucun gain financier supplémentaire et il évolue selon le taux sans risque.

Les gains générés par les actifs vont former les produits financiers distribuables.

3. Stratégie de réaligement des actifs

A la suite des étapes 1 et 2, des flux de trésorerie vont influencer la situation financière globale de la compagnie d'assurance. Plus précisément, nous avons vu les exigences de prestations à verser (flux négatif) mais également la création de gains financiers au travers des produits financiers (flux positif). Ces flux de signes opposés vont impacter le monétaire. Pour les prestations, nous allons puiser dans le monétaire qui est l'actif liquide tandis que les produits financiers vont alimenter l'actif monétaire. Également, l'évolution de la valeur de marché suivant les scénarios économiques va modifier la répartition des actifs dans le portefeuille et cela peut créer une divergence par rapport à l'allocation cible initialement établie.

Ainsi, cette étape vient répondre à la déformation du portefeuille d'actifs en venant rééquilibrer, c'est-à-dire, acheter ou vendre des pourcentages d'actifs pour correspondre à l'allocation cible. Pour cela, il est nécessaire de calculer la part d'actifs détenue dans le portefeuille par type d'actifs, puis de vérifier si :

- La part d'actifs correspond à l'allocation cible initiale : il n'y a pas besoin de réaliser de cession/acquisition d'actifs ;
- La part d'actifs est au-dessus de l'allocation cible : le pourcentage excédentaire par rapport à l'allocation cible est à vendre ;

- La part d'actifs est en-dessous de l'allocation cible : le pourcentage manquant est à acheter pour atteindre l'allocation cible.

En réalité, pour ne pas multiplier les opérations d'achats et de ventes des actifs pour atteindre exactement l'allocation cible définie par l'assureur, nous mettons en place des *corridors* qui sont des marges de tolérance. Il est recommandé dans un premier temps que les bornes supérieures et inférieures du *corridor* doivent être respectées à chaque pas de temps pour tous les scénarios, et dans un second temps que le corridor doit être symétrique et raisonnable permettant de respecter la cohérence générale de l'allocation initiale.

Remarque : Il est important de noter que la cession d'obligations dans un contexte de remontée des taux peut entraîner la réalisation de moins-values supplémentaires et avoir un impact sur la réserve de capitalisation. C'est-à-dire que, pour réaligner les actifs, l'assureur peut être enclin à vendre des parts d'obligations supplémentaires à perte, entraînant la réalisation de moins-values, diminuant alors la réserve de capitalisation.

4. Stratégie de versement de participation aux bénéficiés

Le mécanisme de participation aux bénéficiés est une étape majeure pour les assureurs leur permettant de garantir la rentabilité et la durabilité de leurs activités en fidélisant les assurés. En effet, cette étape aura un impact sur le taux servi et sur la gestion de la PPE ou des plus moins-values latentes. Le versement de la participation aux bénéficiés correspond à un partage entre l'assureur et les assurés des résultats techniques et financiers réalisés à la fin d'année. Selon le Code des Assurances et plus particulièrement l'article A132-11, la participation aux bénéficiés réglementaires est définie par :

$$\begin{aligned}
 \text{PB réglementaire} &= 90\% \times \text{Bénéfice Technique} + 100\% \times \text{Perte Technique} \\
 &+ 85\% \times \text{Bénéfice Financier} + 0\% \times \text{Perte Financière} \quad (18)
 \end{aligned}$$

Au-delà de la participation réglementaire aux bénéficiés, un taux de participation contractuel aux bénéficiés est alors défini lors de la souscription d'un contrat d'assurance-vie (correspond à Taux de PB dans le Tableau 3). Ce taux est défini à la maille *model points* et doit être versé aux assurés chaque année.

Pour implémenter cette stratégie de participation aux bénéficiés dans l'algorithme ALM, il est nécessaire de calculer le taux théorique et le taux cible. Le taux théorique est défini en conséquence des options et garanties, et qui va différer selon les assurés telles que les TMG et les taux de PB. Ce taux permet de représenter l'objectif de revalorisation par *model points* sans prise en compte de la concurrence.

$$\text{Taux Théorique} = \max(\text{TMG} ; \text{Taux PB} \times \text{Taux Rendements Produits Financiers}) \quad (19)$$

Pour prendre en compte la concurrence, suite à la remontée des taux par exemple, ce taux théorique sera comparé au taux attendu que nous définirons plus en détail dans la section 4.3.1.1 « La modification du taux attendu ». Le taux cible est ainsi défini par :

$$\text{Taux cible} = \max(\text{Taux théorique} ; \text{Taux attendu par l'assuré}) \quad (20)$$

Une gestion importante est celle de la Provision pour Participation aux Excédents (PPE). Cette provision est alimentée par les bénéficiés financiers des fonds en euros. La PPE est dotée

grâce à l'épargne des assurés donc l'assureur est dans l'obligation de reverser ce montant dans un délai de 8 ans à partir de sa constitution aux assurés. La PPE est utilisée pour ajuster la revalorisation durant une année de mauvais rendements financiers. Cette provision permet donc de réaliser un lissage des rendements financiers. La stratégie de participation aux bénéfices utilisée sur le fonds Euro est résumé par le schéma suivant :

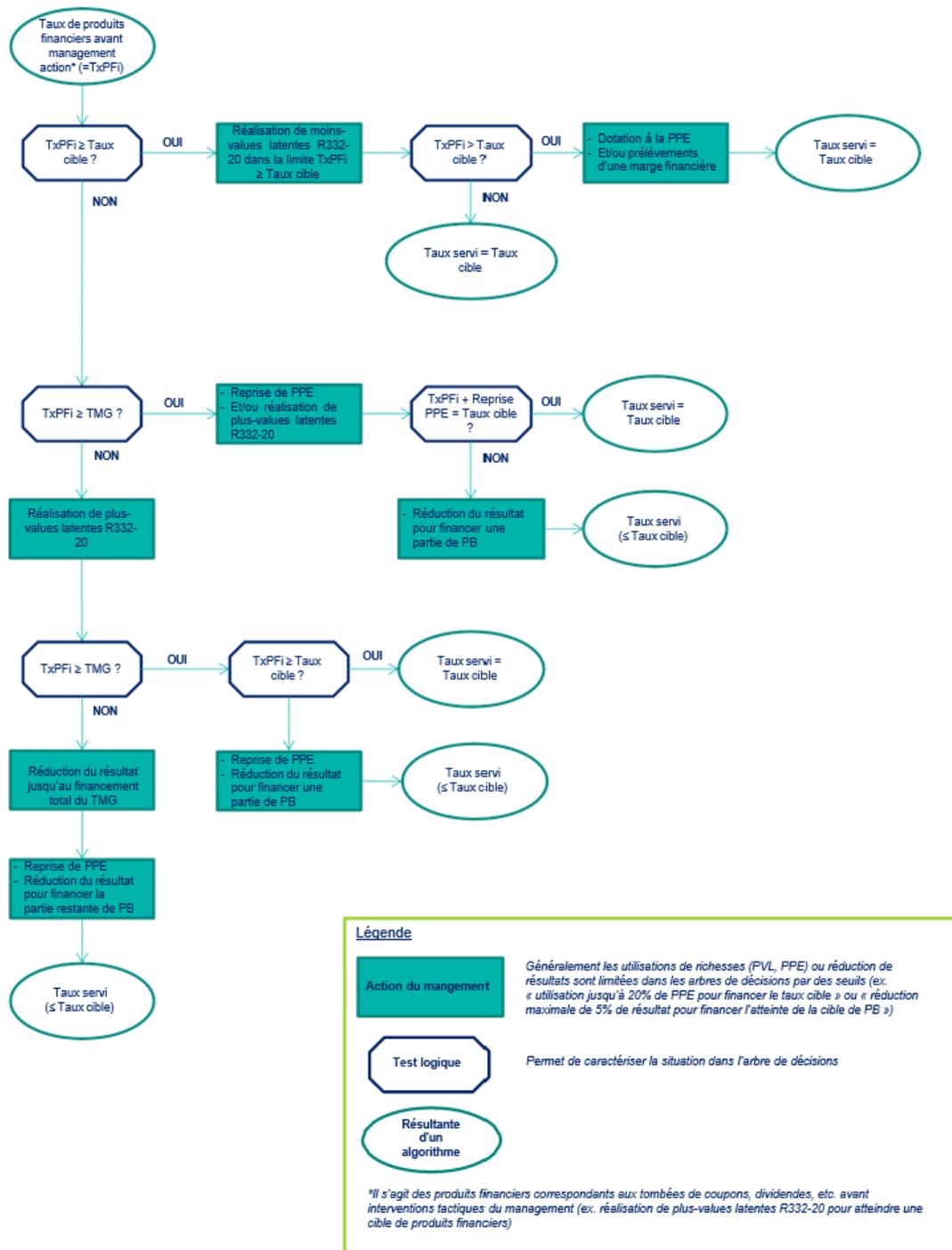


Figure 16 : Stratégie de participation aux bénéfices - Source : Document IA BEL Vie

5. Construction du compte de résultat

La dernière étape de cette année de développement consiste en la réalisation du compte de résultat. Le résultat sur l'année correspond à la somme du résultat administratif étant pénalisé des intérêts techniques sur la provision mathématique et ceux de sortie, et du résultat financier. Selon les scénarios, le résultat peut être positif ou négatif. Les fonds propres n'étant pas modélisés, le résultat doit être retiré à l'assureur pour avoir un bilan équilibré.

4.2. Les étapes du modèle ALM - UC

Dans cette partie, l'implémentation des contrats en unité de compte est présentée.

Dans les *model points* de passif donnés en *input* du modèle ALM sont renseignés, pour chaque type d'unités de compte, le nombre de parts et la valeur liquidative. La valeur liquidative correspond à la division de la valeur de l'actif par son nombre de parts. Autrement dit, il s'agit de la valeur d'une part d'un OPCVM. Il est possible de retrouver la valeur de marché par type de contrat en unité de compte en multipliant la valeur liquidative par le nombre de parts.

1. Vieillessement du passif

De même que pour le fonds Euro, les contrats UC vont subir un vieillissement naturel du passif. Les assurés, les anciennetés des contrats prendront une année supplémentaire. Durant cette étape, les décès sont calculés de la même manière que pour le fonds Euro. Les rachats sont uniquement structurels dans le cas des contrats en unité de compte car on considère que les assurés n'ont aucune attente de rendement, du fait de la non prise en compte d'options et de garanties. Ainsi, pour chaque *model points* de passif, le nombre d'UC détenu doit être actualisé du montant des sorties.

En ce qui concerne les frais et les chargements pour les contrats UC, les intérêts techniques ne sont pas considérés, ainsi ils sont simplifiés et calculés :

$$\text{Chargements } UC_N = (PM UC_N - Prestations_N) \times \text{Taux de chargements} \quad (21)$$

$$\text{Frais } UC_N = PM UC \text{ d'ouverture}_N \times \text{Taux frais sur encours} \quad (22)$$

Enfin, la PM après vieillissement du passif est donc :

$$PM \text{ avant PB} = PM UC_N - Prestations_N - \text{Chargements } UC_N \quad (23)$$

2. Vieillessement de l'actif

En ce qui concerne l'actif, les trois OPCVM évoluent de différentes manières. Les OPCVM monétaire et actions évoluent simplement avec les scénarios de taux sans risque et d'actions. Pour l'OPCVM obligataire, l'idée est de faire évoluer la valeur de marché de l'OPCVM comme une réelle obligation. C'est-à-dire que sa valeur de marché est pénalisée lors d'une augmentation des taux d'intérêt et est augmentée d'un taux correspondant à la tombée de coupon.

La sensibilité du prix d'une obligation par rapport aux taux d'intérêt :

$$dVM = -VM \times D^* \times dr \quad (24)$$

Avec :

- VM : La valeur de marché de l'obligation ;
- D^* : L'élasticité (ou Modified Duration) du prix de l'obligation au taux actuariel ;
- r : le taux d'actualisation.

Par exemple, en fixant $D^* = 6$, l'augmentation d'un point du taux d'actualisation pénalisera la valeur de marché de l'obligation de -6% .

Ainsi, pour reproduire l'évolution classique d'une obligation, en fixant $D^* = 6$, permettant de se rapprocher de la duration du portefeuille obligataire du fonds Euro, la définition de l'OPCVM obligataire est de la forme :

$$Evolution\ OPCVM = (1 + Taux\ sans\ risque) \times (1 - D^* \times dr) \quad (25)$$

Le calcul de la sensibilité aux taux d'actualisation est réalisé à l'aide d'une variation des taux entre les taux observés de maturité 6 ans de la courbe des taux et du taux Forward 1 an de maturité 6 ans.

Rappel sur le taux Forward

Un taux Forward correspond à un taux proposé sur le marché à terme et est utilisé lorsqu'un intervenant s'engage à un taux donné pour une date ultérieure. Ainsi, pour calculer le taux forward, il doit être équivalent pour un individu d'investir à court terme et de réinvestir au taux forward ou investir à long terme. En effet, pour des maturités arbitraires notées $T1$ et $T2$, nous avons la relation suivante :

$$(1 + r_{T1})^{T1} \times (1 + F(T1, T2 - T1))^{T2 - T1} = (1 + r_{T2})^{T2}$$

$$\Leftrightarrow F(T1, T2 - T1) = \left(\frac{(1 + r_{T2})^{T2}}{(1 + r_{T1})^{T1}} \right)^{(1/T2 - T1)} - 1 \quad (26)$$

Avec :

- $T1$: maturité de l'investissement court terme ;
- $T2$: maturité de l'investissement long terme ;
- r_{T1} : taux court de maturité $T1$;
- $F(T1, T2 - T1)$: taux Forward qui débute en $T1$ et de maturité $T2 - T1$.

De cette manière, en considérant toutes les maturités, il est possible de reconstruire la courbe des taux Forward.

La sensibilité au taux de l'évolution de l'OPCVM est déterminée comme la différence entre le taux de maturité 1 an et le taux Forward 1 an de maturité 1 an. Pour valider cette modélisation de l'OPCVM, un test de martingalité est réalisé sur l'évolution de l'OPCVM. Pour cela, les tests sont réalisés et sont représentés par les Figure 17 et Figure 18.

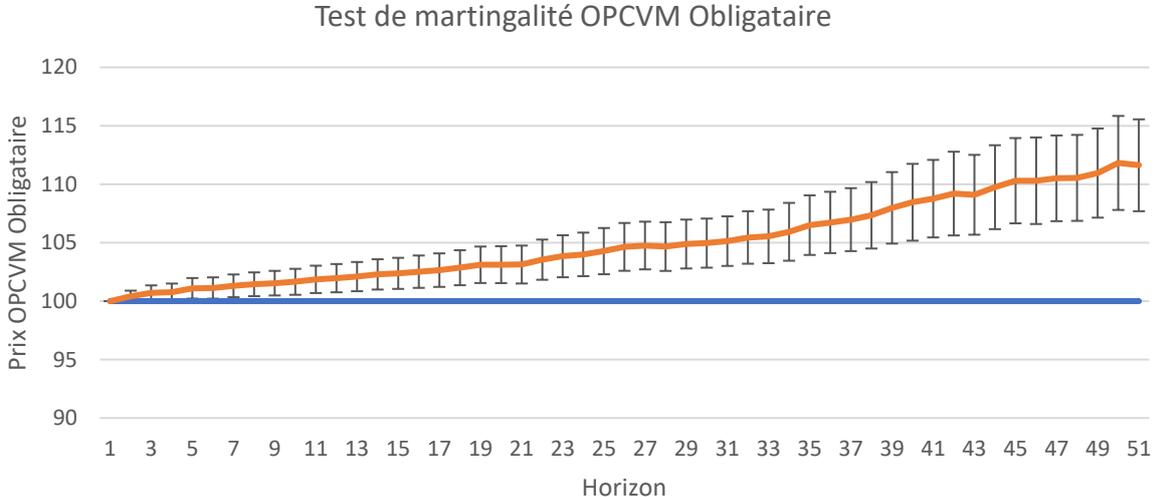


Figure 17: Test de martingalité pour $D^* = 6$

Ce graphique illustre que les prix moyens actualisés sont supérieurs au prix théorique de 100. A l'aide des intervalles de confiance, il est possible de conclure qu'avec une telle modélisation, une large création de valeur risque d'impacter l'écart de convergence lors du calcul du BE en stochastique. Pour ces raisons, la Modified Duration D^* est fixé à 2 et nous cherchons à reconstruire le taux forward de maturité 1 an dans 1 an. Le test de martingalité est reproduit :

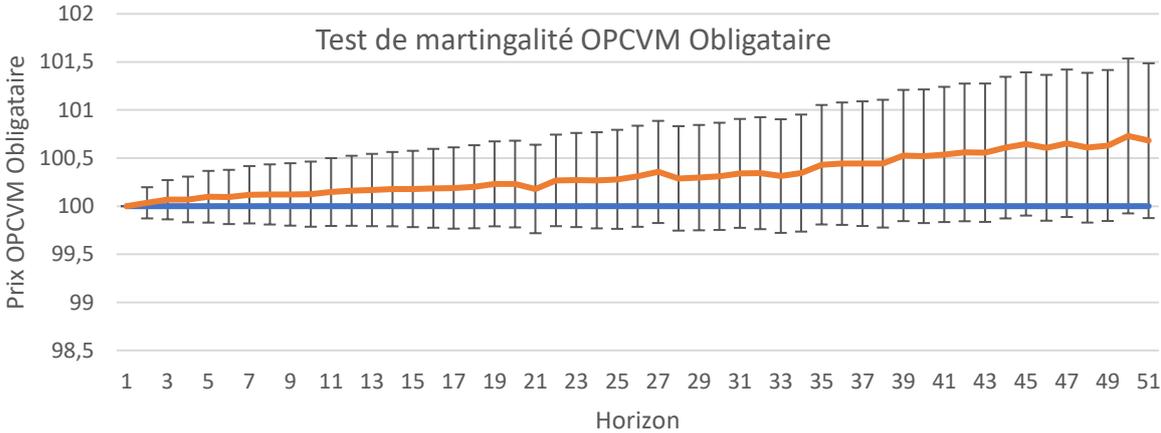


Figure 18 : Test de martingalité pour $D^* = 2$

Le nouveau test de martingalité de la Figure 18 permet de conclure avec les intervalles de confiance que les prix moyens actualisés sont proches du prix théorique. Les exigences précédemment citées du règlement délégué sont respectées. La création de valeur dans un scénario

stochastique sera moins importante avec cette modélisation, qui sera utilisée pour la suite du mémoire.

Remarque : La non-martingalité de l'évolution de l'OPCVM obligataire est due au modèle de Hull & White à un facteur qui est un modèle ne regardant uniquement les taux courts et ne permet pas de capter toute la structure des taux *forwards*.

3. Réalignement des actifs

Pour cette étape, il n'y a aucun ajout par rapport au fonds Euro. En effet, aucune garantie n'est modélisée pour le fonds UC, donc aucune allocation ne doit être respectée pour les OPCVM. Leurs valeurs de marché évoluent librement selon le scénario économique. Ainsi, il est possible que la valeur de marché d'un OPCVM soit nulle.

4. Mécanisme de participation aux bénéfices

Pour le fonds Euro, à la fin de cette étape est déterminée la PM finale des assurés à la fin d'année de développement. C'est donc durant cette étape qu'est déterminée la PM finale des assurés ayant investi dans des unités de compte. Cependant, ces contrats ne sont pas concernés par la stratégie de PB. La PM finale des assurés à la fin de l'année pour les contrats UC est déterminée en calculant les nouvelles valeurs liquidatives des OPCVM. Après avoir évolué selon les scénarios économiques, les valeurs de marché sont utilisées pour le calcul, ainsi,

$$\text{Valeur Liquidative OPCVM}_i = \frac{\text{Valeur de marché OPCVM}_i}{\sum_{j \in MP_i} n_j} \quad (27)$$

Avec :

- i : l'indice des OPCVM (monétaire, obligataire, action) ;
- MP_i : l'ensemble des *model points* investis dans l'OPCVM i ;
- n_j : le nombre d'unités de compte i détenu dans le *model points* j .

Enfin, déterminons la PM de clôture pour chaque *model points*,

$$PM \text{ Finale}_j = n_j \times \text{Valeur Liquidative OPCVM}_i \quad (28)$$

5. Construction du compte de résultat

Le résultat pour l'assureur pour les contrats UC est uniquement du résultat administratif. Il se calcule simplement comme la différence entre les chargements et les frais des UC. A cela, il est possible d'ajouter les chargements prélevés sur chaque mouvement de provisions mathématiques, notamment les arbitrages.

4.3. Retour sur les rachats

4.3.1. Le taux attendu

4.3.1.1. La modification du taux attendu

Comme présenté dans le chapitre 1, le taux attendu fait généralement intervenir des données de marché (rendement du CAC40, livret A, inflation etc.) le rendant par conséquent très dépendant du contexte économique et des volatilités du marché. Cela implique que lors d'un changement très rapide et important des taux directeurs par la BCE, le taux attendu par les assurés subira un choc instantané. Cependant, nous sommes en mesure de nous interroger si ce choc instantané à la hausse (augmentation très rapide d'une année sur l'autre) représente réellement les attentes et correspond aux comportements des assurés. En effet, si les taux attendus sont trop volatiles alors les comportements ne semblent pas réalistes.

L'attente des assurés est indéniablement plus importante que dans un contexte de taux faible. Néanmoins, l'assuré ne trouvera pas forcément un investissement équivalent à l'assurance-vie sur le marché. L'immobilier est en baisse, le livret A est plafonné à 22 950€ mais encore, il est difficile pour un assuré n'ayant pas de réelles connaissances des marchés financiers d'investir sur le CAC40. La conclusion est que le choc instantané du taux attendu ne correspond pas aux comportements des assurés.

Pour modéliser au mieux le comportement des assurés, une modification sera ainsi apportée sur la définition du taux attendu. L'idée derrière cette modification serait de ne pas le rendre entièrement dépendant des données du marché actuel. Autrement dit, à la suite du changement de contexte économique, le taux attendu ne subirait pas un choc instantané mais l'assuré aurait tout de même une attente plus élevée. Pour ces raisons, un mécanisme de majoration de la différence de taux attendu entre deux années consécutives est mis en place. En majorant cette différence à l'aide d'un *cap* que l'on appellera Δ avec $\Delta \geq 0$, plusieurs effets sont pris en compte :

- L'inertie du comportement des assurés grâce au Δ positif. En effet, les assurés s'attendent à un meilleur taux de rendement que l'année précédente (recherche de performance). Entre deux années consécutives, le taux espéré correspond soit au taux espéré calculé sur l'année soit un taux légèrement supérieur. L'attente ne peut excéder $+\Delta\%$ par rapport à l'année précédente.
- Un effet atténué du changement de contexte économique. En fixant ce paramètre de majoration Δ à une faible valeur, le taux attendu ne peut subir un choc instantané. Il est possible de faire le parallèle avec une option d'achat, plus communément appelé un Call. La valeur d'achat du sous-jacent sera capée à une valeur appelée le strike. Ici, l'idée est de prendre le sous-jacent correspondant au taux attendu du marché des assurés et le strike correspondant la somme entre Δ et le taux attendu de l'année précédente. Au moment du calcul du taux attendu, soit il est inférieur et alors le Call n'est pas exercé, soit il est supérieur et sa valeur correspond au strike.

En réalité le paramètre Δ à calibrer correspond à la variation maximum de rendement attendu par l'assuré sur une année.

4.3.1.2. Le calibrage du paramètre Δ

En utilisant un seuil sur la différence du taux attendu entre deux années consécutives, la définition de ce taux attendu est modifiée. Le paramètre de variation maximum de rendement est à inclure dans sa définition. Ainsi, le taux attendu sera défini par la formule suivante :

$$\forall \Delta \geq 0, \quad TA_N = \min(TA_I, TS_{N-1} + \Delta) \quad (29)$$

Avec :

- TA_I : correspond au taux attendu intermédiaire de l'année en cours, qui est égal au taux attendu présenté dans le chapitre 1 ;
- TS_{N-1} : correspond au taux de revalorisation servi l'année précédente ;
- Δ : correspond paramètre de variation maximale de rendement attendu par l'assuré d'une année à l'autre ;
- TA_N : correspond au taux attendu de l'année en cours.

Remarque : Suite à la stratégie de participation aux bénéfices, le taux de revalorisation doit s'approcher du taux attendu, voire le dépasser, et atteindre le taux cible. Pour ces raisons, la formule du taux attendu de l'année N, TA_N fait intervenir ce taux de revalorisation et non le taux attendu de l'année précédente.

La calibration du paramètre peut se faire grâce à l'utilisation d'une chronique historique de rachats conjoncturels. Il est possible de considérer la minimisation suivante :

$$\min_{\Delta \geq 0} \|R_H - R_T\| \quad (30)$$

Avec :

- R_H : correspond à une chronique de rachats historiques ;
- R_T : correspond au taux de rachats conjoncturels déterminé, dépendant de TA_N pour N variant de l'année du début à la fin de l'historique et ainsi de Δ .

Le programme de minimisation est réalisé en plusieurs étapes :

- I. La première étape consiste à récolter les données nécessaires au calcul, qui sont :
 1. Des taux de revalorisation des compagnies d'assurance-vie TS_{N-1} (29)
 2. Des données de marché pour le calcul du taux attendu intermédiaire TA_i (29)
 3. Une chronique de rachats historiques R_H (30)
- II. La seconde étape consiste à calculer les taux de rachats conjoncturels déterminés à l'aide de l'équation (6) et les paramètres de la loi minimale
- III. La dernière étape consiste à réaliser la minimisation et trouver la valeur de Δ rendant le programme (30) minimal.

Après avoir présenté les étapes, nous passons à la résolution de la première étape :

I. Récolte des données

1. La chronique de rachats historiques

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Rachats historiques	6,10%	5,20%	4,90%	4,80%	5,00%	5,40%	4,50%	4,10%	4,30%	4,50%	4,90%

Tableau 6 : Chronique historique de rachats conjoncturels - Source : ACPR⁴

2. Les taux de revalorisation

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TS_I	3,00%	2,80%	2,54%	2,27%	1,93%	1,83%	1,83%	1,46%	1,28%	1,28%	2,00%

Tableau 7 : Taux de revalorisation du marché de l'assurance – Source : ACPR⁵

3. Les données de marché

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Taux livret A	2,25%	1,60%	1,15%	0,90%	0,75%	0,75%	0,75%	0,75%	0,52%	0,50%	1,38%
Taux OAT 10 ans	2,40%	2,25%	1,70%	0,80%	0,49%	0,75%	0,75%	0,20%	0,20%	0,10%	1,65%
Taux d'inflation	1%	0,90%	0,50%	0%	0,25%	1%	1,82%	1,10%	0,50%	1,30%	5,30%

Tableau 8 : Données de marché - Source : Banque de France et INSEE⁶

Le taux benchmark peut ainsi être calculé. La pondération utilisée est prise de façon arbitraire de sorte à avoir un taux de marché élevé :

$$Taux_{benchmark} = \alpha \times Taux_{Livret A} + \beta \times Taux_{OAT 10ans} + \gamma \times Taux_{inflation} \quad (31)$$

A la suite de ce calcul du taux benchmark, il est possible de calculer le taux attendu intermédiaire TA_i . Le calcul est réalisé de la manière suivante :

$$TA_i = \alpha \times Taux_{Benchmark} + \beta \times TS_i \quad (32)$$

On obtient ainsi les résultats suivants :

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
TA_I	2,46%	2,24%	1,83%	1,25%	1,04%	1,13%	1,19%	0,86%	0,47%	0,64%	1,88%

⁴ ACPR (2023), Le marché de l'assurance-vie en 2022, n°146, page 12

⁵ ACPR (2023), Le marché de l'assurance-vie en 2022, n°146, page 11

⁶ Liens disponibles dans la bibliographie

Tableau 9 : Taux attendu intermédiaire déterminé à l'aide des données de marché

À la suite de ces étapes, remarquons pour chaque année que le taux de revalorisation est supérieur au taux attendu intermédiaire. Or, la nouvelle définition du taux attendu donnée par l'équation (30) fait intervenir la fonction minimum. Le résultat de cette fonction donnera pour chaque année, le taux attendu intermédiaire impliquant que notre modélisation du taux attendu ne fonctionne pas. C'est-à-dire que pour chaque année, quel que soit le niveau de $\Delta \geq 0$, le taux attendu correspondra au taux attendu intermédiaire qui est le taux de marché. Cela provient du contexte économique historique combinant des taux atteignant des niveaux de plus en plus bas, une volatilité faible et une inflation proche de 0 ou autour de la cible de la BCE qui est de 2%. Dans un tel contexte, les attentes des assurés sont modestes car il existait peu d'opportunités d'investissement offrant des rendements significatifs sur les marchés financiers. Pour ces raisons, toutes les étapes de la minimisation présentée ne peuvent être résolues. En effet, il ne serait pas possible d'atteindre une convergence de Δ . La résolution des étapes aurait été envisageable si l'historique de données avait été plus étendu, dans un contexte économique présentant des variabilités.

La calibration du paramètre se fait donc via un jugement d'expert et suivant une étude du marché actuel, le paramètre est fixé à : $\Delta = 1,5\%$.

Cette nouvelle définition est intégrée à l'algorithme ALM lors de la phase de vieillissement du passif. Son inclusion est indispensable à ce stade car elle permet le calcul du taux de rachats et d'arbitrage.

Limite : Le calibrage du paramètre n'a pas pu aboutir en raison de l'historique de données. En réalité, les données utilisées proviennent d'un environnement économique « différent » de celui connu actuellement. L'historique de données est également assez faible car uniquement dix années sont utilisées. Cette modélisation peut ainsi être difficilement acceptée par le régulateur actuellement en raison du calibrage par le jugement d'expert.

4.4. Mise en place des arbitrages

Pour la mise en place des arbitrages, les assurés sont tous supposés avoir une gestion qui dépend de leur comportement : ils ont donc un mode de gestion libre. Les arbitrages sont complexes à introduire dans l'algorithme ALM car cela amène des mouvements de provisions mathématiques au sein du passif mais également des mouvements d'achat et de vente au sein de l'actif. C'est pourquoi les arbitrages augmentent grandement le temps d'exécution des calculs.

Pour les raisons évoquées, les compagnies d'assurance utilisent le principe de proportionnalité⁷. Ce principe permet à une compagnie d'assurance de ne pas modéliser les arbitrages ou bien de limiter l'option à un taux fixe correspondant à l'arbitrage structurel (indépendant de la situation économique). Ce principe s'applique notamment lorsque les volumes des fonds UC sont négligeables devant ceux des fonds Euro.

⁷ Les conditions d'application du principe de proportionnalité sont définies dans l'article 56 du Règlement Délégué (UE) n°2021/1256 de la Commission du 21 avril 2021.

En reprenant le constat de l'année 2022 avec des taux volatiles présentés dans le chapitre 1, le volume de fonds UC et les montants d'arbitrages ne sont plus négligeables. Le principe de proportionnalité n'est plus applicable, il devient nécessaire de modéliser les arbitrages. La mise en place des arbitrages correspond à un ajustement de modèle, venant s'implémenter dans l'algorithme de gestion actif-passif.

Tout comme les rachats, les arbitrages sont constitués des deux mêmes composantes. La première étant les arbitrages structurels qui correspond à la provision mathématique déplacée dépendante des caractéristiques de l'assuré et non du contexte économique. La seconde étant les arbitrages conjoncturels dépendants des performances réalisées par les fonds.

4.4.1. Les arbitrages dynamiques

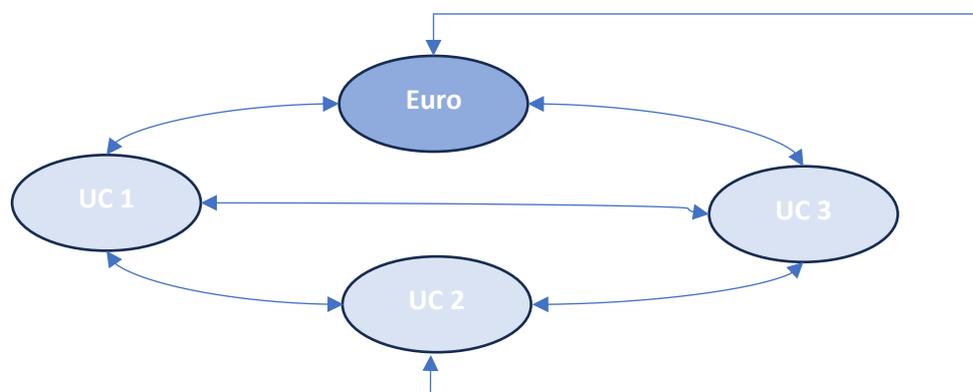
Contrairement aux rachats dynamiques, les arbitrages dynamiques ne font l'objet d'aucune recommandation par l'ACPR. Ils sont à modéliser par les compagnies d'assurance-vie selon les variables explicatives choisies.

La modélisation des arbitrages conjoncturels dans un contexte de taux volatile et un changement instantané du contexte économique est indispensable. En effet, des effets indésirables et peu réalistes peuvent être captés dans les modèles si les arbitrages entre les fonds ne sont pas considérés. Cette modélisation est un ajustement de modèle venant répondre au constat de l'année 2022 qui a été marquée par des mouvements de provision mathématique entre les fonds. Effectivement, les rachats sont survenus au cours du troisième trimestre, mais une partie a fortement été arbitrée pour pouvoir profiter de rendements plus attractifs. Une répartition s'est produite entre les sorties du fonds Euro et les entrées de l'UC, ce qui implique que le bilan des assureurs n'est pas alarmant suite à la remontée rapide des taux d'intérêt.

Ainsi, dans le modèle les arbitrages sont calculés comme :

$$\text{Montant Arbitré} = PM_{\text{ouverture}} \times \text{Taux d'arbitrage} \quad (33)$$

Dans le modèle, plusieurs fonds sont disponibles et les impacts sont différents. Voici l'architecture et les mouvements d'arbitrage possibles dans le modèle ALM.



○ : fonds disponible dans l'algorithme ALM

→ : flux d'arbitrage possible dans l'algorithme ALM

Figure 19 : Architecture et flux d'arbitrage possibles dans l'algorithme de gestion actif-passif

La Figure 19 met en avant les interactions entre les fonds qui sont liées à l'option d'arbitrage.

Dans l'algorithme ALM, cela se retranscrit sur les composantes de l'actif et du passif. En effet, un arbitrage correspond à la combinaison d'un flux sortant suivi d'un flux entrant dans différents *model points*. Au niveau de l'actif, pour réaliser ce transfert de flux, le mécanisme entrainera une vente d'une partie d'un actif (associé au flux sortant) et l'achat d'une partie d'un autre actif (associé au flux entrant).

4.4.2. Le choix d'arbitrage des assurés

Dans la modélisation, un assuré décidant d'arbitrer une partie de son épargne a la possibilité de répartir son montant arbitré entre plusieurs contrats. Pour rappel, quatre fonds sont disponibles : le fonds Euro et trois fonds en unité de compte. Plus précisément, lors d'un arbitrage de l'euro vers l'UC, l'assuré a la possibilité d'arbitrer vers les trois fonds en UC et dans le cas d'un arbitrage de l'UC vers l'euro, l'assuré n'a pas d'autres choix que d'arbitrer vers le fonds Euro qui est unique.

4.4.2.1. L'arbitrage Euro vers UC

Dans ce cas précis, il est important de modéliser le choix d'arbitrage des assurés, c'est-à-dire vers quels fonds l'assuré décidera de placer son épargne. Dans l'algorithme ALM, un assuré peut arbitrer vers un ou plusieurs supports. Soit un transfert total vers un fonds UC soit plusieurs transferts partiels vers les fonds UC disponibles. Pour modéliser ce comportement de l'assuré, des notions provenant de la logique floue sont introduites.

4.4.2.1.1. La théorie de la logique floue

La logique floue a été développée par Lofti Zadeh en 1965. La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous, qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques. Pour comprendre ce qu'est la logique floue, il faut introduire les notions d'ensembles flous et variables linguistiques. Si l'on considère un ensemble E , un sous-ensemble flou A de E est caractérisé par sa fonction d'appartenance. $\mu_a : E \rightarrow [0,1]$. Par comparaison à la théorie des ensembles classiques, si l'on considère un ensemble E , sa fonction d'appartenance est : $f(x) = \begin{cases} 1, & x \in E \\ 0, & x \notin E \end{cases}$. Il s'agit simplement de la fonction indicatrice.

Une variable linguistique est définie par le triplet noté (X, U, R) où

- X : correspond à la variable. Par exemple la taille d'une personne ;
- U : correspond à l'univers du discours, autrement dit les valeurs prises par la variable. Par exemple en mètre : $[1m50, 2m10]$;
- R : correspond à l'ensemble de sous-ensembles flous. Par exemple, {petit, moyen, grand}.

Une représentation graphique de la différence entre les deux ensembles est la suivante :

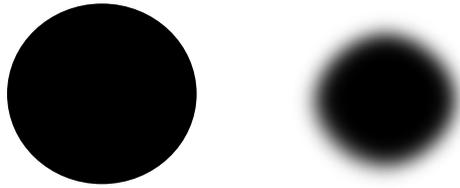


Figure 20 : Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou

Prenons un exemple également pour représenter les fonctions d'appartenance dans le cas des deux ensembles. Si nous nous plaçons dans l'ensemble « Taille » et que nous regardons le sous-ensemble « Grand », les fonctions d'appartenance pour les deux ensembles sont représentées dans la Figure 21.

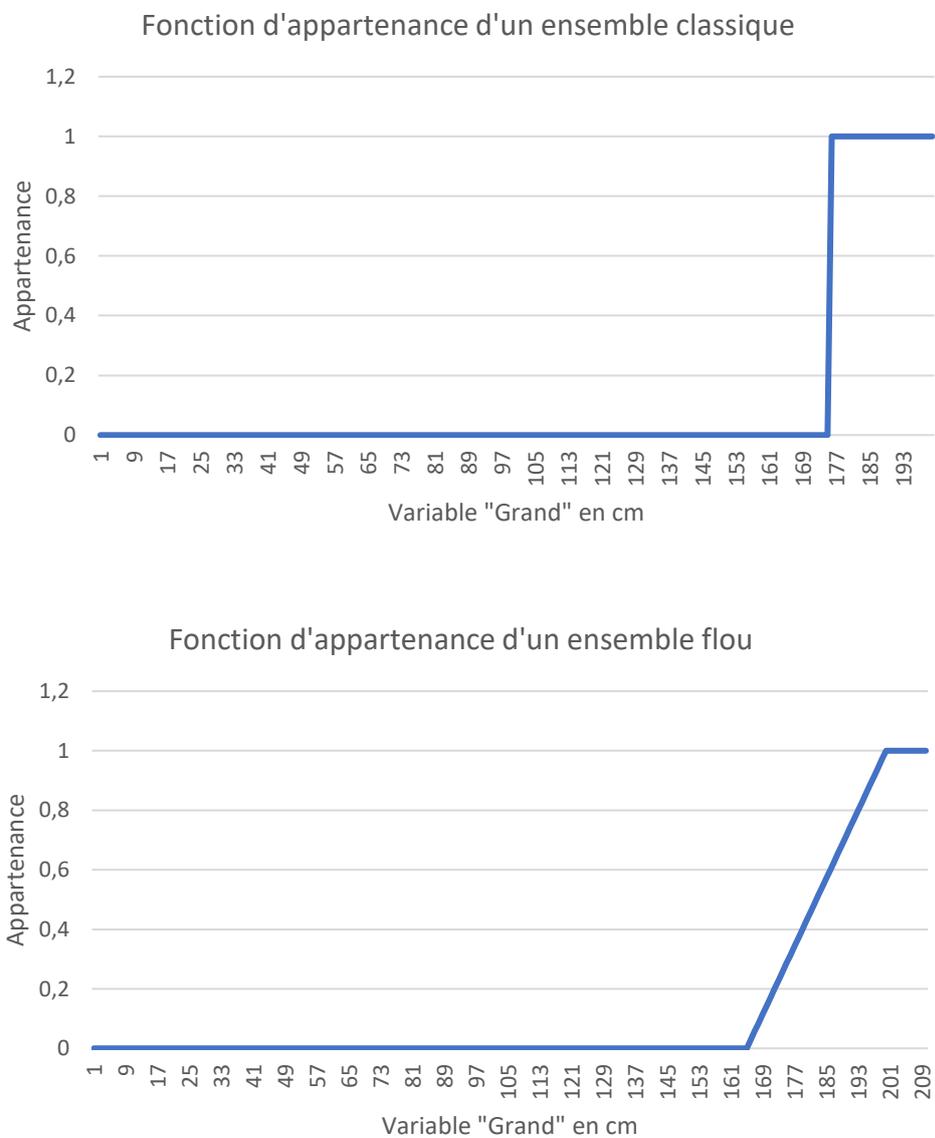


Figure 21 : Fonction d'appartenance pour un ensemble classique (au-dessus) et pour un ensemble flou (en-dessous)

Comme indiqué précédemment, la fonction d'appartenance pour un ensemble classique est représentée par une indicatrice. En effet, à partir d'une taille (ici 175 cm) l'individu est considéré comme grand. A la différence d'un ensemble flou ou l'individu est considéré comme grand à 29% pour une taille de 175 cm.

Pour conclure, il est possible d'appartenir à plusieurs sous-ensembles flous permettant de définir plus finement l'individu. Cette utilisation de la logique floue permet d'avoir une modélisation plus appropriée et dynamique concernant le comportement de l'assuré au niveau de son choix d'arbitrage.

4.4.2.1.2. La modélisation du comportement des assurés à l'aide de la théorie de la logique floue

La modélisation a pour objectif de déterminer le choix de l'assuré concernant le placement de son épargne. Pour cela, il est nécessaire de définir le sous-ensemble flou ainsi que la variable linguistique utilisée. Tout d'abord, définissons la variable linguistique. La variable utilisée est la satisfaction des assurés. Nous considérons que plus un assuré est insatisfait de ses rendements, plus il aura tendance à vouloir chercher du rendement en prenant plus de risque. Ainsi, X correspond au niveau de satisfaction de l'assuré, calculé à partir de l'écart entre le taux servi et le taux attendu. L'univers du discours a été déterminé sur la base de jugement d'expert. Nous considérons donc que l'univers du discours pour la satisfaction de l'assuré provoquée par l'écart de rendement est $U = [0; +\infty[$ en pourcentage. Enfin, l'algorithme ALM gère trois fonds en unité de compte, donc nous jugeons pertinent de générer un ensemble flou contenant trois sous-ensembles flous. Ainsi, nous obtenons

$$R = \{\textit{faiblement insatisfait}, \textit{insatisfait}, \textit{fortement insatisfait}\}.$$

Après avoir défini la variable linguistique, il faut définir les sous-ensembles flous et notamment les fonctions d'appartenance les caractérisant. Il existe des fonctions d'appartenance plus ou moins complexes et dans ce mémoire les fonctions d'appartenance sont définies à l'aide de bornes, définies également à l'aide de jugements d'expert. La modélisation à l'aide de bornes permet de générer des fonctions d'appartenance de type trapèze. Les bornes choisies sont les suivantes :

- $B1 = 1\%$
- $B2 = 1,75\%$
- $B3 = 2,75\%$
- $B4 = 4,5\%$

En notant x comme l'écart de rendement, autrement dit comme la satisfaction des assurés, les trois fonctions d'appartenance sont modélisées de la façon suivante :

$$\bullet \mu_{\text{faiblement insatisfait}} = \begin{cases} 1 & \text{si } x \leq B1 \\ \frac{(x-B2)}{(B1-B2)} & \text{si } B1 < x \leq B2 ; \\ 0 & \text{si } x > B2 \end{cases}$$

$$\bullet \mu_{\text{insatisfait}} = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq B1 \\ \frac{(x-B1)}{(B2-B1)} & \text{si } B1 < x \leq B2 \\ 1 & \text{si } B2 < x \leq B3 ; \\ \frac{(x-B4)}{(B3-B4)} & \text{si } B3 < x \leq B4 \\ 0 & \text{si } x > B4 \end{cases}$$

$$\bullet \mu_{\text{fortement insatisfait}} = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq B3 \\ \frac{(x-B3)}{(B4-B3)} & \text{si } B3 < x \leq B4. \\ 1 & \text{si } x > B4 \end{cases}$$

Les fonctions d'arbitrage sont représentées graphiquement dans la figure ci-dessous

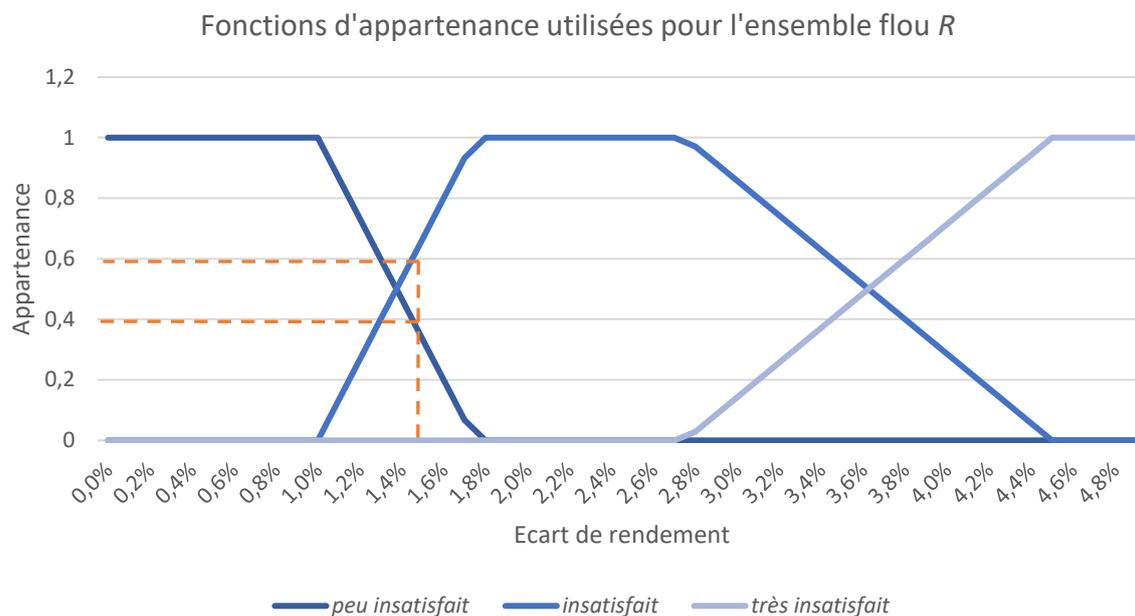


Figure 22: Fonctions d'appartenance utilisées lors de la modélisation du choix d'arbitrage des assurés

Ainsi, les fonctions d'appartenance permettent de donner l'information suivante : l'appartenance d'un individu à un sous-ensemble pour l'ensemble R . Autrement dit, à quel pourcentage l'individu appartient aux sous-ensembles possibles de l'ensemble flou R . Ainsi, en se basant sur les caractéristiques des traits oranges représentés en pointillé sur la Figure 22, qui est associé à un écart de rendement $x = 0,0145$, on peut déterminer que l'individu appartient à 40% au sous-ensemble « faiblement insatisfait » et à 60% au sous-ensemble « insatisfait ».

4.4.2.1.3. La décision d'arbitrage

Des lors que la satisfaction de l'assuré est déterminée au travers des fonctions d'appartenance, il convient de réaliser les mouvements d'arbitrage. Comme introduit au début de cette section, trois sous-ensembles flous ont été créés dans le but de correspondre aux trois fonds en unité de compte. Ainsi, pour un individu faiblement insatisfait le choix se portera vers le fonds en unité de compte le moins risqué, le fonds UC associé à l'OPCVM monétaire. Un individu insatisfait sera à la recherche d'un rendement meilleur et est prêt à supporter du risque, il orientera son choix d'arbitrage vers le fonds UC associé à l'OPCVM obligataire. Pour finir, un individu fortement insatisfait serait enclin à arbitrer vers le fonds UC le plus risqué pour obtenir le meilleur rendement et irait vers les OPCVM action.

Prenons un exemple simple :

Soit un individu réalisant un arbitrage de 100€ du fonds Euro vers les fonds UC. Supposons que ce même individu, ayant des rendements plus faibles par rapport à ses attentes, se trouve

avec un écart de rendement $TA - TS$ de 0,0145 (dans le même cas que la Figure 22). Son appartenance aux sous-ensembles flous se décompose donc de la façon suivante : $appartenance = [0.4 ; 0.6 ; 0]$.

Le flux d'arbitrage vers le fonds UC associés à l'OPCVM monétaire est donc :

$$MontantArbitré_{UC_1} = 0.4 \times 100 = 40$$

Le flux d'arbitrage vers le fonds UC associés à l'OPCVM obligataire est donc :

$$MontantArbitré_{UC_2} = 0.6 \times 100 = 60$$

Le flux d'arbitrage vers le fonds UC associés à l'OPCVM action est donc :

$$MontantArbitré_{UC_3} = 0 \times 100 = 0$$

4.4.2.1.4. La complexité de la modélisation

La complexité de la modélisation réside dans le fait que chaque *model points* est associé à un portefeuille d'actifs. C'est-à-dire que les fonds Euro sont associés à un portefeuille d'actifs composés d'obligations, d'actions, d'immobiliers et de monétaire. Et les fonds UC sont associés soit à des OPCVM monétaires, obligataires ou action. Cependant, l'*input* de *model point* UC donné à l'algorithme ALM, ne considère pas que chaque *model points* aux caractéristiques similaires des assurés comme l'âge ou ancienneté du contrat, etc est associé à tous les actifs existants.

Prenons également un exemple simple pour illustrer les actions à réaliser par l'algorithme ALM

Input				Flux d'arbitrage	Algorithme ALM			
Type de contrat	Ancienneté du contrat	Âges Moyens des assurés	Actif Associé		Type de contrat	Ancienneté du contrat	Âges Moyens des assurés	Actif Associé
UC	12	80	2	→	UC	12	80	2
					UC	12	80	3
					UC	12	80	4

Tableau 10 : Modification de la structure du passif suite à la décision d'arbitrage

Suite à un comportement des assurés modélisé grâce aux fonctions d'appartenance, il est possible que les assurés ayant 80 ans et 12 ans d'ancienneté souhaite arbitrer vers les fonds en unité de compte ou l'actif associé est 3, OPCVM obligataire ou 4, OPCVM action. Or ces lignes n'existent pas dans l'*input* du modèle. La fonction d'arbitrage doit pouvoir créer dynamiquement les lignes de passifs et associer les flux entrants de provisions mathématiques aux *model points* correspondants. L'inconvénient de cette modélisation provient dans le nombre de *model points* qui augmente considérablement avec les flux d'arbitrage. En effet, l'*input* du modèle contient 75 *model points* UC et en considérant l'option d'arbitrage il est possible que chaque *model points*

UC soit triplé. Il sera alors possible de manipuler 225 *model points* UC. En prenant en compte les *model points* Euro, le nombre maximum de *model points* dans le passif est de 300.

Dans un algorithme ALM il est important de minimiser le nombre *model points* car cela peut allonger significativement les temps de calcul. C'est un sujet majeur que les assureurs doivent prendre en compte.

4.4.2.2. L'arbitrage UC vers EURO

Dans le cas d'arbitrage du fonds UC vers le fonds Euro, les flux générés sont plus simples à modéliser. En effet, l'assuré n'a pas d'autres choix que de déplacer son épargne vers le fonds Euro qui est unique. Le montant arbitré n'est donc pas modifié une fois qu'il est déterminé avec le taux d'arbitrage et correspond à l'égalité **(33)**. Pour rappel, l'exercice de l'option d'arbitrage pour un assuré représente un coût. Ce coût est non-nul à la différence de l'arbitrage de l'Euro vers l'UC car l'assureur ne souhaite pas supporter le risque à la place de l'assuré. Ce coût représente 1% du montant arbitré.

Le montant à arbitrer est déterminé à l'aide de la composante structurelle uniquement. Lorsque l'on traite les contrats UC, la satisfaction des assurés ne peut être calculée, car il n'existe pas de taux attendu. Il n'y a pas un rendement espéré d'une année à l'autre, le rendement évoluant en fonction de la valeur de marché de l'actif. De plus, chez les assureurs-vie du marché, le comportement conjoncturel pour les contrats UC n'est pas modélisé chez les assurés. Cela paraît cohérent car les assurés ont un horizon très long terme et souhaitent profiter de la volatilité conséquente de ces contrats. Ainsi, les assurés se basent moins sur les performances historiques pour agir et influencer leurs comportements (arbitrages ou rachats).

Cependant, il est donc nécessaire de définir un taux d'arbitrage structurel des contrats UC vers les contrats Euro. Ce taux sera fixé à 3% de la provision mathématique, quelle que soit l'ancienneté du contrat.

4.4.3. Détermination du taux d'arbitrage dynamique

Pour en revenir à l'égalité **(33)**, le montant d'arbitrage est logiquement calculé avec un taux d'arbitrage. Ce taux d'arbitrage représente un taux d'arbitrage total, c'est-à-dire contenant une composante structurelle et une composante conjoncturelle. Ce taux est à calculer pour chaque assuré et pour chaque pas de projection.

Pour déterminer ce taux, nous allons mettre en lien des données de taux d'arbitrage disponibles avec la satisfaction des assurés pour en tirer une loi. La première étape consiste à récolter des données de marché, notamment des taux d'arbitrage sur les dernières années. Dans le mémoire présenté par Robin MIRALLES traitant de « Analyse des grandeurs explicatives des arbitrages des contrats d'assurance vie en mode de gestion libre par méthodes d'apprentissage statistique », des données annuelles d'arbitrage y sont indiquées et sont présentées dans le tableau suivant :

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Taux d'arbitrage	6,74%	6,71%	6,09%	5,76%	8,09%	4,76%	8,88%

Tableau 11 : Taux d'arbitrage par année - Source : Mémoire Robin Miralles⁸

Ensuite, la satisfaction des assurés, qui est calculée comme l'écart entre les taux de revalorisation du Tableau 7 et la performance annuelle des UC sur le marché de l'assurance-vie, permet de calibrer le taux d'arbitrage utilisé dans l'algorithme ALM. Ces données sont représentées dans le tableau ci-dessous

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Performance des UC	4,10%	2,90%	5,80%	-8,10%	13,90%	1,90%	9,90%

Tableau 12 : Performance annuelle des contrats en unité de compte sur le marché de l'assurance-vie - Source⁹

La dernière étape consiste à calculer l'écart entre les taux de revalorisation et les performances des contrats UC ($Ecarterendement = TauxRevalorisation - PerformanceUC$). Les résultats sont mis en évidence dans le Tableau 13.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Écart de rendement	-1,83%	-0,97%	-3,97%	9,93%	-12,44%	-0,62%	-8,62%

Tableau 13 : Mesure de la satisfaction des assurés

Les données récoltées des taux d'arbitrage ainsi que les écarts de rendements permettent de tracer un nuage de points sur lequel nous approchons une courbe de tendance. La formule de la courbe de tendance nous permet de prédire ainsi un taux d'arbitrage à partir d'un écart de rendement.

La figure ci-dessous illustre le nuage de points ainsi que la courbe de tendance déduite

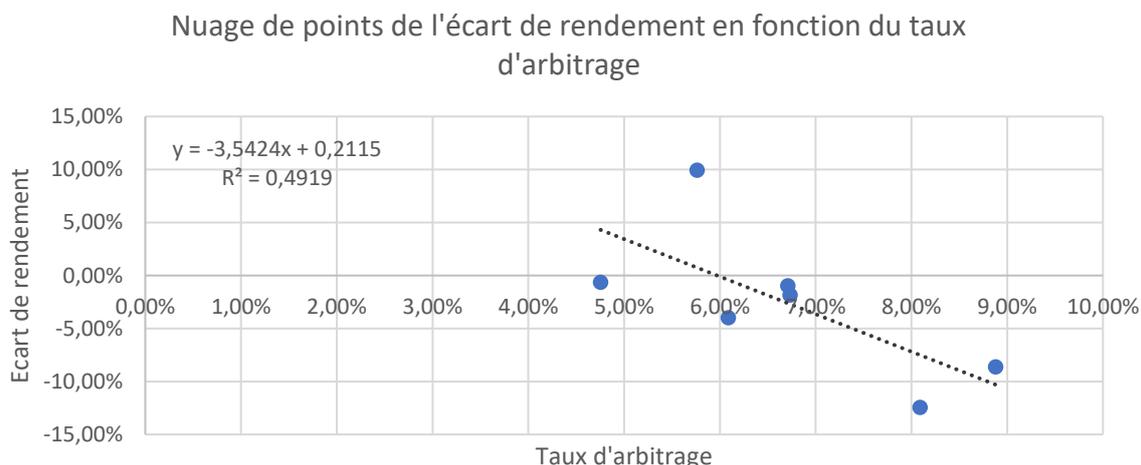


Figure 23 : Nuage de points et courbe de tendance pour la détermination des taux d'arbitrage

⁸ MIRALLES R. (2021), Analyse des grandeurs explicatives des arbitrages des contrats d'assurance vie en mode de gestion libre par méthodes d'apprentissage statistique, Mémoire d'actuariat, EURIA, page 114.

⁹ assurancevie.com (2022), Les performances des unités de compte.

La courbe de tendance tracée est une courbe de tendance linéaire dont l'équation est définie par :

$$y = -3,5424x + 0,2115 \quad (34)$$

La tendance obtenue est cohérente. En effet, on considère que plus l'écart est négatif plus le taux d'arbitrage aura tendance à être élevé. Autrement dit, plus les contrats UC ont performé par rapport aux contrats Euro, plus les assurés décideront d'arbitrer une partie de l'épargne vers des contrats UC. Cependant le coefficient de détermination noté R^2 , qui est une mesure statistique permettant d'évaluer la qualité d'ajustement de la courbe de tendance (permet de mettre en évidence à quel point le modèle est en adéquation avec les données), est assez faible. Cela est principalement dû à un faible nombre de données composant le nuage de points. Le taux d'arbitrage prédit détient une composante structurelle et une composante conjoncturelle. La première est déterminée lorsque l'écart de rendement est nul, le taux d'arbitrage structurel est légèrement inférieur à 6%. La composante conjoncturelle va venir augmenter ce taux pour des écarts de rendement négatif et au contraire, le taux d'arbitrage structurel sera diminué dans le cas où l'écart de rendement est positif. Au final, la relation suivante est obtenue :

$$\text{Taux d'Arbitrage} = - \frac{(\text{Ecart de rendement} - 0,2115)}{3,5424} \quad (35)$$

Limite :

1. Il est important de noter que ce taux d'arbitrage a été déterminé dans le cas d'un manque de données. Dans l'idéal, il aurait été possible de déterminer une loi d'arbitrage dynamique¹⁰ à l'aide de méthode de *machine learning* en utilisant des données historiques¹¹. La méthode utilisée n'est alors pas optimale mais a permis de générer un taux d'arbitrage sans données clients.
2. La modélisation et le calibrage du taux d'arbitrage amène à avoir des flux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC supérieurs ou égaux à 0. Cette modélisation entraîne donc des flux plus importants vers des supports non-garantis (UC) tout au long de la projection. Ainsi, une réserve est à émettre quant à ce comportement non forcément réaliste lorsque le contexte économique redeviendra plus « stable ».

a. Le multi-support

Pour rappel, un contrat multi-support offre la possibilité de détenir au sein du même contrat une partie investie sur un support Euro et une autre partie sur un ou plusieurs OPCVM disponibles. Cette configuration permet à l'assuré de diversifier son portefeuille d'investissements, recherchant un rendement potentiellement supérieur à celui d'un fonds en euro, tout en étant conscient du risque associé aux fonds en unités de compte.

¹⁰ Méthode utilisée dans le mémoire de Germain NGOUANA : « Options de rachat et d'arbitrage : quels effets sur le bilan d'un assureur ? »

¹¹ Méthode utilisée dans le mémoire de Jean BERGOT : « Modélisation des comportements d'arbitrages : approche dynamique basée sur les performances d'un portefeuille UC »

Dans un modèle ALM conventionnel, le comportement des assurés est modélisé en prenant en compte de manière distincte les contrats Euros et en unités de compte. Toutefois, l'avantage de modéliser les contrats UC est de pouvoir ensuite intégrer les contrats multi-supports.

L'ajout des contrats multi-supports va engendrer des différences comportementales entre les assurés. En effet, la performance considérée dans ce cas est un mélange entre la performance du fonds Euro et du fonds UC. De façon intuitive dans un univers « monde réel » et dans un contexte économique de taux bas, la performance globale attendue les contrats multi-supports doit être supérieure à celle du fonds euro, limitant ainsi les flux entre supports et les rachats.

4.4.1. La complexité de la modélisation des contrats multi-supports

4.4.1.1. La contrainte du temps de calcul

Dans la mesure où l'optimisation du temps de calcul est un enjeu majeur pour les assureurs pour obtenir un Best-Estimate ou même un SCR, une contrainte sur le nombre de *model points* a été imposée. Cette contrainte impose de ne pas augmenter le nombre de *model points* déjà existants de sorte à affiner la granularité. En fixant une telle contrainte, il est nécessaire d'utiliser quelques approximations.

4.4.1.2. La granularité des *model points*

Dans un univers sans contrainte en termes d'optimisation du modèle ou de temps d'exécution, il aurait été possible de générer des *model points* à une maille contrat d'un **assuré**, une granularité très fine et ainsi d'associer directement les performances de l'Euro avec celles de l'UC. Pour la modélisation des contrats multi-supports, il a été nécessaire de se placer dans les réalités opérationnelles d'une compagnie d'assurance-vie, ayant les contraintes mentionnées précédemment.

Une mise en place des contrats multi-supports se révèle complexe en raison de la granularité des *model points* qui ne permet pas de le réaliser de façon immédiate. De manière générale chez les assureurs et dans le cadre de notre modélisation durant ce mémoire, les *model points* sont créés à une maille *pool* de contrats ou « produits » (donc pour des produits ayant des contrats partageant des caractéristiques similaires comme l'âge ou l'ancienneté). Cette approche rendant la liaison entre un support Euro et un ou plusieurs supports UC par **assuré** impossible.

La complexité de cette modélisation réside dans l'intrication des *model points* Euro et UC ayant des caractéristiques similaires. Une granularité à une maille plus large qu'une maille **assuré** permet de modéliser un comportement général et uniforme au sein d'un *model point*. Illustrons cette uniformisation du comportement à l'aide d'un schéma :

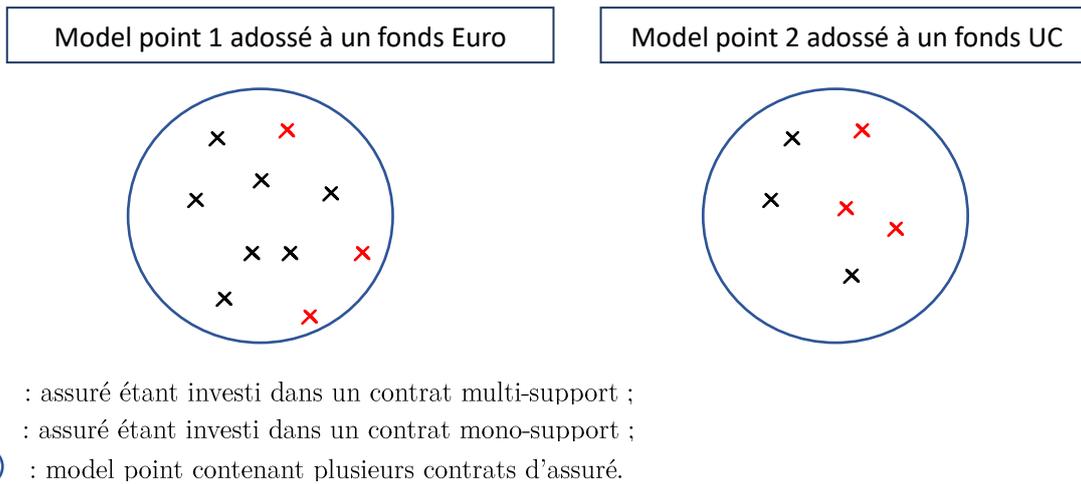


Figure 24 : Représentation des assurés dans un model point Euro et UC

Avec une modélisation comme ci-dessus des *model points*, il est impossible de connaître la répartition de PM des assurés entre le fonds Euro et le fonds UC. La seule information connue est la répartition globale de PM, qui est la somme des PM des assurés des contrats investis en multi-supports. Ainsi, les assurés vont se comporter de la même manière face aux rachats et ou arbitrages.

Etablissons un exemple simple permettant de mettre en évidence l'uniformisation du comportement des assurés. Supposons que, pour le *model point* Euro, les assurés détiennent 1000 de PM dont 100 qui sont investies dans un contrat multi-support. Et de même pour le *model point* UC, les assurés détiennent 500 de PM dont 100 qui sont investies dans un contrat multi-support. Ainsi, nous savons que les croix rouges, représentant 200 de PM, doivent avoir un comportement différent des croix noires. Cependant, la répartition au sein des contrats multi-supports (les croix rouges) n'est pas connue. Il se pourrait qu'une répartition soit :

	Répartition Euro (en %)	Répartition UC (en %)
Assuré n°1	5	90
Assuré n°2	5	5
Assuré n°3	90	5

Tableau 14 : Exemple d'une répartition possible au sein d'un contrat multi-support

Avec une telle répartition, les comportements doivent également être divergents car l'assuré n°1 profite à 90% du revalorisation de sa PM à un rendement provenant des UC contrairement à l'assuré n°3 qui profite à 90% d'une revalorisation de sa PM à un rendement provenant du fonds Euro. Cela implique que, pour appliquer le multi-support de façon juste, l'unique solution est d'affiner les *model points*. Cette modélisation a du sens lorsque le produit au sein du *model point* est unique avec une répartition à 70% pour l'Euro et 30% pour l'UC.

Toutefois, une telle liaison de *model points* vise à établir une distinction dans le comportement de l'assuré par rapport à un contrat monosupport. La modélisation dans l'algorithme ALM est ainsi réalisée, avec une uniformisation du comportement des assurés qui ont investi dans un contrat monosupport et dans un contrat multi-support.

4.4.2. Implémentation des contrats multi-support dans le modèle ALM

4.4.2.1. Information complémentaire dans les model points de passifs

En adhérant à la contrainte énoncée, il devient impératif de modifier la structure d'*input* du *model point* de passif en ajoutant l'information de : répartition de provision mathématique investie dans un contrat multisupport. Illustrons ce concept par un exemple simplifié :

Model Point	Type de contrat	Ancienneté du contrat	Âges moyens des assurés	PM	Identifiant actif / actif associé	% PM investie en multi-support
1	Euro	6	40	100	1	10%
2	UC	6	40	20	2	50%

Tableau 15 : Ajout de la répartition de PM investie en multi-support dans les model points de passif

Ainsi, l'information complémentaire permet de savoir que parmi la provision mathématique du MP n°1, 90% de la PM doit se « comporter » comme un contrat mono-support, et les 10% restant de PM comme un contrat multi-support. De même, pour le raisonnement du MP n°2.

4.4.2.2. L'implémentation des contrats multi-supports

Lorsque l'on évoque un comportement différent des assurés dans un contrat mono-support par rapport à un contrat multi-support, cela concerne les lois comportementales : rachats et arbitrages. En effet, dans le cas du multi-support, l'évaluation repose sur la performance globale du contrat combinant ainsi la performance de l'Euro et celle des UC. Il convient alors de déterminer la performance des contrats multi-supports, logiquement cela s'écrit par la formule :

$$Taux\ servi_{multi-support} = \alpha \times Taux\ servi_{fonds\ \text{€}} + \beta \times Taux\ servi_{fonds\ UC} \quad (36)$$

Avec :

$$\begin{aligned} - \alpha &= \frac{PM\ investie\ dans\ le\ fond\ \text{€}}{PM\ totale\ du\ contrat\ multi-support} \\ - \beta &= \frac{PM\ investie\ dans\ le\ fond\ UC}{PM\ totale\ du\ contrat\ multi-support} \end{aligned}$$

En considérant les contrats multi-supports, la structure du passif dans l'algorithme ALM subit des ajustements. En effet, les taux servis aux assurés sont doublés permettant de considérer la performance du mono-support et du multi-support. Les lois comportementales sont adaptées et deviennent des matrices de dimension $N \times 2$ avec N qui correspond au nombre de *model points* de passif. La première colonne étant dédiée pour le comportement du mono-support et la seconde pour le multi-support. Ainsi, le montant total racheté par *model point* durant chaque année de projection s'écrit par la formule :

$$\begin{aligned}
TauxRachat &= PM \\
&\times [\alpha \times (TauxRachatStructurel + TauxRachatDynamique_{mono-support}) \\
&+ \beta \times (TauxRachatStructurel + TauxRachatDynamique_{multi-support})] \quad (37)
\end{aligned}$$

Le raisonnement est similaire concernant les arbitrages. La métrique de décision calculée sur la base de la satisfaction de l'assuré est modifiée avec l'équation (36).

Au cours de la projection de l'algorithme ALM, l'information ajoutée dans les *model points* qui est la répartition de PM investie dans un contrat multi-support est modifiée. En effet, durant chaque année, les PM sont pénalisées des prestations de sorties qui sont « proportionnelles » à la répartition de PM. La répartition est également impactée dans une configuration avec arbitrage. En effet, tout mouvement de PM lié à un arbitrage s'ajoute à la PM du multi-support dans le model point concerné. Un contexte économique favorisant les mouvements d'arbitrage vers les contrats UC favoriserait grandement la place des multi-supports. Il est important d'établir la nouvelle répartition de PM investie en multi-support pour ne pas fausser les comportements et les résultats sur l'année de développement suivante.

4.4.3. Conclusion sur le multi-support

La prise en compte des contrats multi-supports est un ajustement de modèle ayant des implications notables sur les taux de rachats conjoncturels. Autrement dit, la présence d'un contrat multi-support dans un *model point* agit comme un abattement sur la partie positive de la loi des ONC dans un univers « monde réel ». Cela peut être un élément explicatif du constat réalisé sur l'année 2022.

Cependant, il est essentiel de souligner que cette modélisation n'est pas exempte de limites. L'une de ces limites réside dans les approximations nécessaires pour parvenir à inclure les contrats multi-supports, menant à une uniformisation du comportement des assurés. Cette modélisation implique des biais pouvant être significatifs à une maille de l'assuré. Il est important de rester conscient des compromis inhérents à cette approche. Les résultats et les impacts d'une telle modélisation seront explicités dans le chapitre 3.

b. Test de fuite et validation de l'algorithme ALM

Avant de réaliser les études et les analyses dans le chapitre 3, il est important de valider le modèle ALM. Le test de fuite permet de vérifier que le modèle ne crée pas ou ne perd pas de valeur. Le test vérifie que la valeur de marché des actifs à la date $t = 0$ soustrait par la somme de la PVFP et du BE soit égal à 0. Autrement dit,

$$Fuite = VM_0 - (BE + PVFP) \quad (38)$$

Il est possible de définir l'écart de convergence par :

$$\text{Ecart de convergence} = 1 - \frac{VM_0}{(BE + PVFP)} \quad (39)$$

L'objectif est de minimiser cet écart de convergence. Dans un scénario déterministe, le modèle ne doit pas créer de valeurs car les actifs évoluent comme le taux sans risque. Dans un scénario stochastique, l'écart est non nul mais doit être faible et cela provient de la plus ou moins martingalité des actifs. Le résiduel peut être alloué prudemment. Si l'écart est positif, il peut venir s'ajouter au BE, et s'il est négatif, il peut venir diminuer la PVFP.

3. Conclusion du chapitre

L'outil ALM a été agrémenté des contrats UC et multi-supports. Cela a permis d'ajouter les ajustements de modèle dont l'objectif sera de répondre au constat de l'année 2022. Pour récapituler, les ajustements sont au nombre de trois :

- La modification du taux attendu permettant de diminuer sa dépendance au marché spot. Elle permet de *cap*er la valeur du taux attendu à une augmentation réaliste des attentes des assurés limitant les prestations de rachats dans des scénarios extrêmes.
- La mise en place des arbitrages Euro et UC permettant d'affiner le comportement des assurés et permet de répondre au principe de proportionnalité qui n'est plus applicable. Cela permet aux assurés de profiter de meilleurs rendements ou de prendre moins de risque et cela permet une dynamisation du fonds Euro et UC.
- Mise en place du multi-support permettant de différencier le comportement des assurés, qui est non-négligeable lors d'une remontée rapide des taux d'intérêt. La modélisation impacte la métrique de décision des assurés qui apparaît plus volatile en raison des supports UC.

Chapitre 3

Impact sur les métriques clés de solvabilité

Le dernier chapitre a pour objectif de comprendre et analyser comment le modèle ALM construit réagit face aux ajustements mis en place. Pour réaliser les études de sensibilité, le modèle sera testé à partir de plusieurs configurations qui sont :

- Configuration de base : sans aucun ajustement de modèle ;
- Configuration n°1 : modification du taux attendu ;
- Configuration n°2 : mise en place des arbitrages ;
- Configuration n°1 & 2 ;
- Configuration n°1 & 2 & Multi-supports

Une première partie sera consacrée à la validation du modèle dans un scénario central déterministe qui est généré à partir de la courbe des taux EIOPA à fin 2022, ensuite une étude de l'impact des configurations sur les éléments de l'actif et du passif. S'en suivra la validation du modèle ALM dans des scénarios stochastiques, pour terminer sur la sensibilité du SCR par rapport aux configurations mis en place.

0. Présentation des métriques étudiées

Dans un scénario central, plusieurs métriques clés seront étudiées. Le modèle ALM permet d'obtenir une mesure de rentabilité avec la PVFP, où l'on peut avoir le détail entre les profits générés par le support Euro et par les supports UC et une mesure de solvabilité avec le Best-Estimate où l'on a également le détail de l'engagement de l'assureur envers les assurés du support Euro et UC.

Pour rappel, la PVFP correspond à la valeur actualisée des profits futurs. Dans le modèle ALM, cette métrique est calculée par la somme entre le résultat des fonds UC et le résultat du fonds Euro :

- Le résultat de l'Euro est déterminé par la somme entre (pour chaque année de projection i) :
 - *Résultat administratif_i = Chargements sur encours – (Frais sur encours – Frais de gestion)*
 - *Résultat Financier_i = Produits financiers – Intérêts techniques – (impact moins – values obligataires $\times \mathbb{1}_{RC < 0}$)*

- Le résultat des fonds UC correspond uniquement au résultat administratif sur lequel il est possible d'ajouter des frais d'arbitrage qui seront prélevés par l'assureur.

Le contexte économique peut influencer de manière très importante le résultat de l'assureur. Dans notre cas par exemple, suite à des sorties du fonds Euro (rachats, décès, arbitrages, etc.), les moins-values obligataires seraient réalisées et encaissées par la réserve de capitalisation. Si cette réserve n'est pas suffisante pour encaisser toutes les moins-values obligataires, le résultat financier est impacté et diminuera alors la PVFP.

Le Best-Estimate est calculé comme la somme actualisée de toutes les sorties (décès, rachats) pour chaque année de projection.

Le modèle ALM peut réaliser les projections dans un environnement soit déterministe, soit stochastique. Dans le cas d'un développement dans un environnement stochastique, le modèle projette 1000 scénarios économiques sur **50** années. Ainsi, à la fin de la projection, il est possible que des provisions soit non-nulles (PM, PPE ou RC). Une répartition est réalisée entre l'assureur et les assurés. La provision mathématique restante dans le portefeuille revient aux assurés, tout comme la PPE qui est dotée par la participation aux bénéfices non-distribués. Au contraire, la réserve de capitalisation est générée par les plus-values réalisées (lors d'une vente) du portefeuille obligataire. Cette réserve appartient donc à l'assureur à la fin de la projection.

Enfin, la courbe des taux utilisée est la courbe des taux EIOPA au 31/12/2022 :

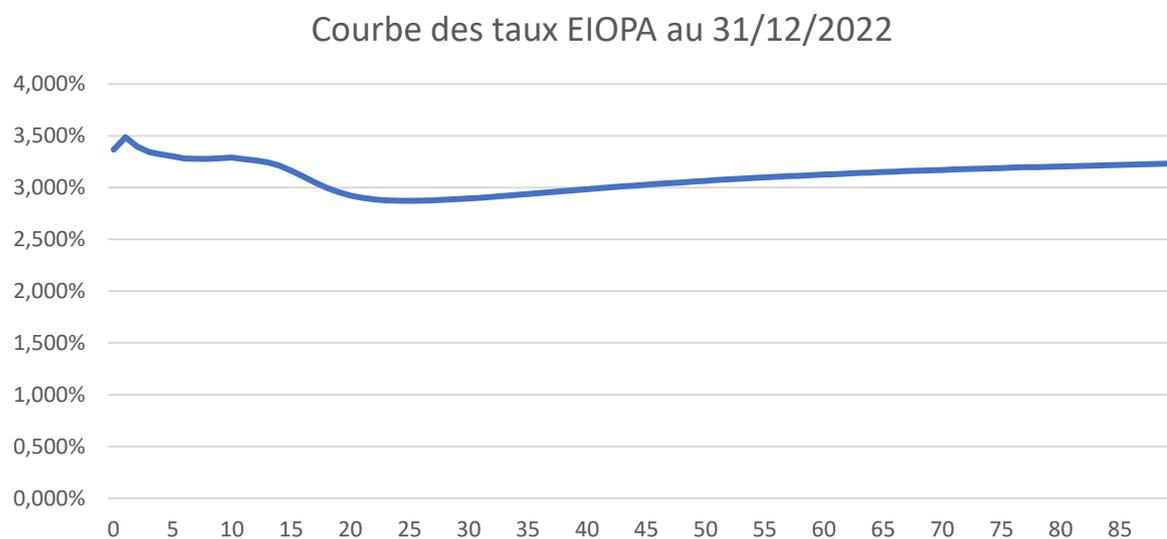


Figure 25: Courbe des taux EIOPA au 31/12/2022 utilisée dans le modèle ALM

Cette première section avait pour objectif de présenter les formules des métriques clés étudiées dans ce dernier chapitre. La prochaine section permettra de « valider » le modèle ALM développé et présentera une étude en déterministe.

1. Les résultats initiaux

Tout d'abord, avant d'établir les études, il est important de valider la modélisation de l'algorithme de gestion actif-passif en établissant le test de fuite présenté initialement. Il est également possible de vérifier durant chaque année de projection que l'actif d'ouverture et le passif d'ouverture, ainsi que l'actif et le passif de clôture sont égaux. Cette première sous-section permet de démontrer la validation de l'algorithme ALM et permet de mettre en avant des premières études en déterministe sur les indicateurs tels que le *Best-Estimate* ou la *PVFP* et les provisions de notre assureur-vie fictif.

1.1. Résultats en déterministe – Scénario central sur EIOPA 2022

1.1.1. Validation de l'algorithme ALM

Comme introduit, la validation du modèle ALM est déterminée à partir de l'écart de convergence. Autrement dit, si le modèle ne génère ou ne perd pas de la valeur (fuite dans le modèle). Dans un premier temps, les résultats sont présentés dans un environnement déterministe, qui est le scénario central se basant sur la courbe des taux EIOPA au 31/12/2022, disponible en annexe. La validation du modèle ALM doit être effectuée pour toutes les configurations présentées dans la conclusion du chapitre 2. Dans le tableau suivant sont présentés les résultats initiaux contenant le *Best-Estimate Euro*, le *Best-Estimate UC*, la *PVFP Euro* et *UC*, ainsi que les écarts de convergence. Les résultats sont calculés à partir d'une loi de rachat moyenne.

Configuration	$VM_{t=0}$	BE €	BE UC	PVFP €	PVFP UC
de base	938,5 M €	725,78 M €	134 M €	65,42 M €	14,31 M €
n°1	938,5 M €	725,78 M €	134 M €	65,42 M €	14,31 M €
n°2	938,5 M €	524,13 M €	316,39 M €	47,21 M €	50,82 M €
n°1 & 2	938,5 M €	524,13 M €	316,39 M €	47,21 M €	50,82 M €
n°1 & 2 & MS	938,5 M €	524,16 M €	316,35 M €	47,22 M €	50,81 M €

Tableau 16 : Résultats sur scénario central EIOPA 2022 déterministe selon les configurations

Configuration	BE final	PVFP finale	Ecart de convergence
de base	858,82 M €	79,73 M €	0%
n°1	858,82 M €	79,73 M €	0%
n°2	840,52 M €	98,03 M €	0%
n°1 & 2	840,52 M €	98,03 M €	0%

n°1 & 2 & MS	840,52 M €	98,03 M €	0%
--------------	------------	-----------	----

Tableau 17 : Résultats en déterministe du Best-Estimate et de la PVFP selon les configurations

Les écarts de convergence obtenus permettent de valider le modèle ALM pour chaque configuration. Il est important de vérifier tout de même que l'écart de convergence n'explose pas lors du passage en stochastique.

1.1.2. Etude de l'impact de la modification du taux attendu dans un scénario central déterministe

Le modèle étant validé, un premier constat est réalisé concernant l'impact de la configuration n°1, correspondant à la modification du taux attendu avec la nouvelle définition (29). En effet, les indicateurs présentés et utilisés qui sont le *Best-Estimate* et la *PVFP* sont égaux lors de l'ajout de cet ajustement de modèle. Il est possible d'en déduire que la configuration de base et la configuration n°1 offrent les mêmes taux attendus pour un scénario central 2022. Ces taux attendus sont présentés dans la Figure 26.

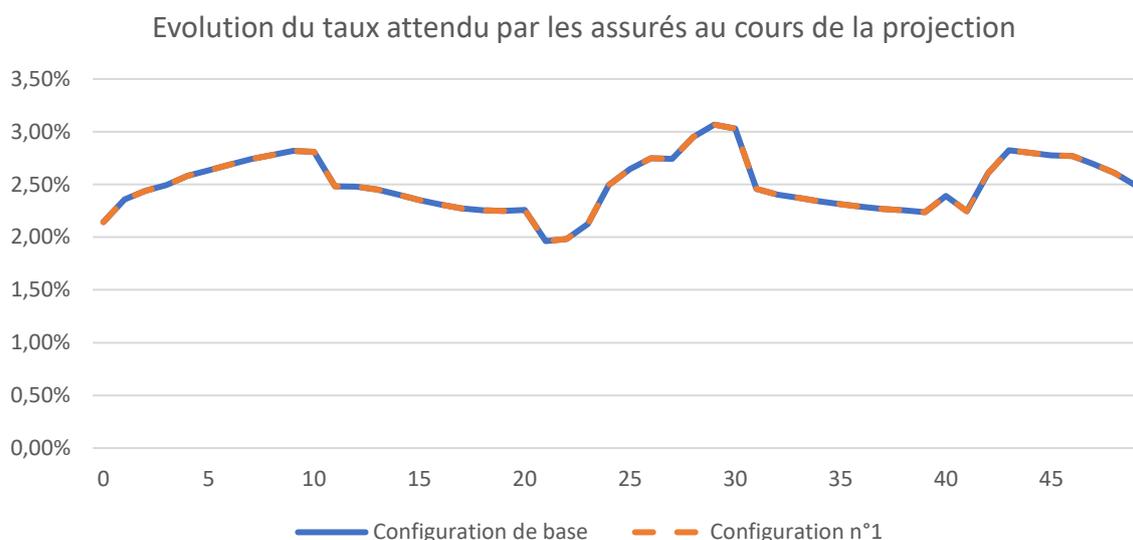


Figure 26 : Evolution du taux attendu (%) au cours de la projection du modèle ALM

Ce graphique permet de déduire que pour ce scénario, les taux attendus dans les deux configurations sont égaux pour chaque année de projection et donc que la modélisation utilisée du taux attendu de l'équation (29) n'intervient pas. Autrement dit, la fonction minimum renvoie, pour chaque année de projection, ce que l'on a défini comme le taux attendu intermédiaire TA_I . Cela est expliqué par le scénario central qui permet de générer des taux attendus variant entre 2% et 3%, selon la Figure 26. Pour de tels taux attendus, il n'est pas problématique pour la

compagnie d'assurance-vie fictive de servir les taux attendus, elle qui détient un stock important de PPE et qui peut utiliser la génération de plus-values pour distribuer aux assurés. Ainsi, illustrons l'évolution du taux servi et du taux attendu. Dans la Figure 27, lors de la quasi-totalité de la projection, le taux servi est supérieur au taux attendu, ainsi aucun rachat dynamique n'est déclenché. Cependant, durant les dix premières années de projection, le taux attendu est plus élevé que le taux servi. Cela provient de l'initialisation à 1,8% du taux servi pour l'année « 0 » qui est finalement trop faible par rapport au taux de marché. L'écart reste toutefois minime car il est en moyenne égal à 0,15% sur les dix années.

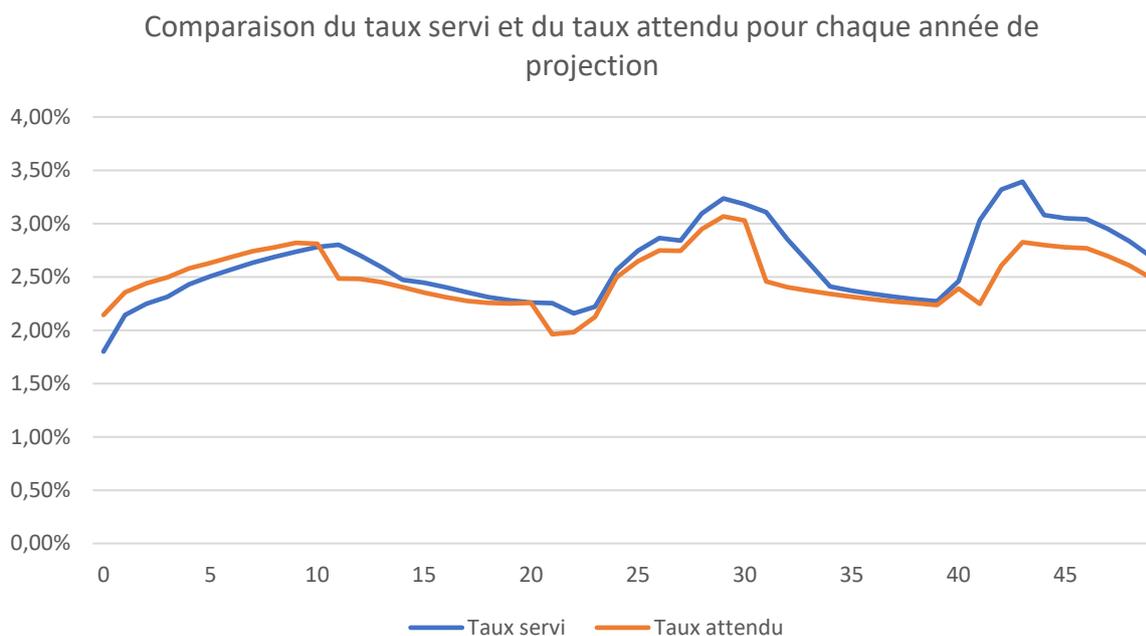


Figure 27 : Evolution conjointe du taux servi et du taux attendu pour une configuration de base

Pour réellement illustrer l'utilité et l'intérêt de la modification du taux attendu, il faut se positionner dans des scénarios extrêmes en stochastique ou l'assureur doit faire face à une augmentation rapide des taux d'intérêt. En réalité, la modification du taux attendu sera utilisée sur une année de développement lorsque la différence entre le taux attendu à l'année N et le taux attendu à l'année N-1 est inférieur au *cap* Δ . Les résultats seront présentés lors de la section 1.1.3. « Résultats en stochastique ».

1.1.3. Etude de l'impact de l'arbitrage dans un scénario central déterministe

Les Tableau 16 et Tableau 17 permettent de mettre en avant le second constat concernant les configurations avec l'intégration des arbitrages qui permettent de générer une PVFP très supérieure en UC passant de 14,3M à 50,8M. Dans le même temps, la PVFP en Euro devient plus faible avec un passage de 65,4M à 47,7M. Ces résultats impliquent logiquement une forte augmentation de PVFP finale et dans le même temps une diminution du BE final.

1.1.3.1. Etude du Best-Estimate Euro et UC

Comme exposé précédemment, la PVFP provenant du passif Euro subit une diminution significative, tandis que le BE connaît une forte augmentation par rapport à une configuration sans arbitrage. Ces variations découlent de plusieurs phénomènes.

En premier lieu, la répartition initiale de PM au sein du fonds Euro par rapport à l'UC joue un rôle déterminant. Initialement, à $t = 0$, la répartition est de 85% pour le passif Euro contre 15% pour le passif UC. L'introduction des arbitrages induit un rééquilibrage, générant des flux plus importants en direction du passif UC. En conséquence la PM Euro décroît plus rapidement que si les arbitrages ne sont pas pris en compte. Ce phénomène a pour effet de réduire considérablement le montant des prestations à payer du fonds Euro. En effet, les taux de décès, de rachats conjoncturels et structurels seront moins importants sur une PM plus faible. Ce phénomène entraîne donc une diminution du BE Euro.

La Figure 28 illustre l'évolution de PM dans une configuration avec et sans arbitrage, mettant en évidence l'impact significatif de cette stratégie sur les flux monétaires. De manière similaire, la Figure 29 présente les prestations de sortie, où l'on peut souligner les différences notables entre les scénarios avec et sans considération des arbitrages.

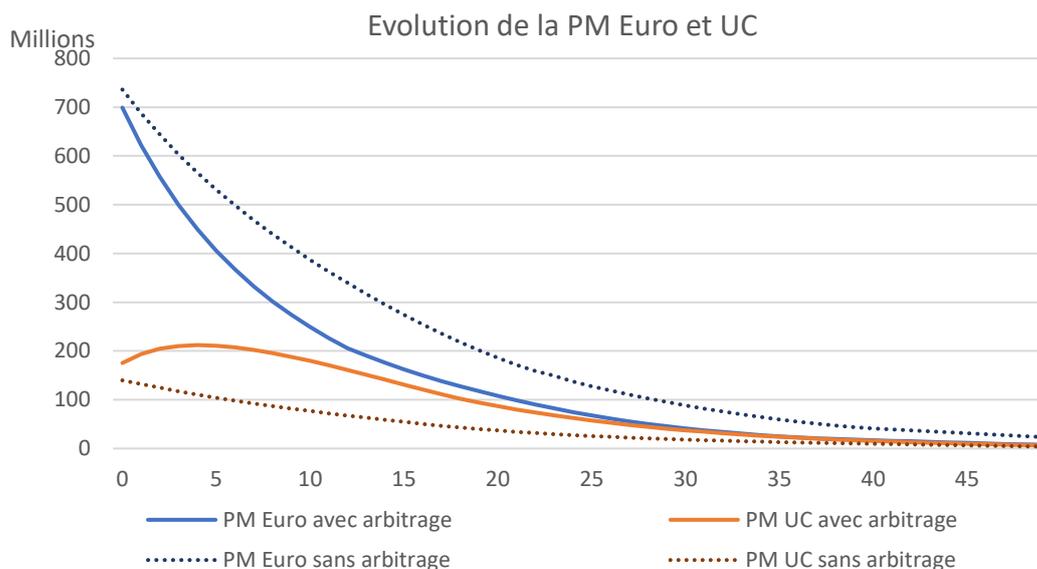


Figure 28 : Evolution des provisions mathématiques Euro et UC au cours du modèle de projection

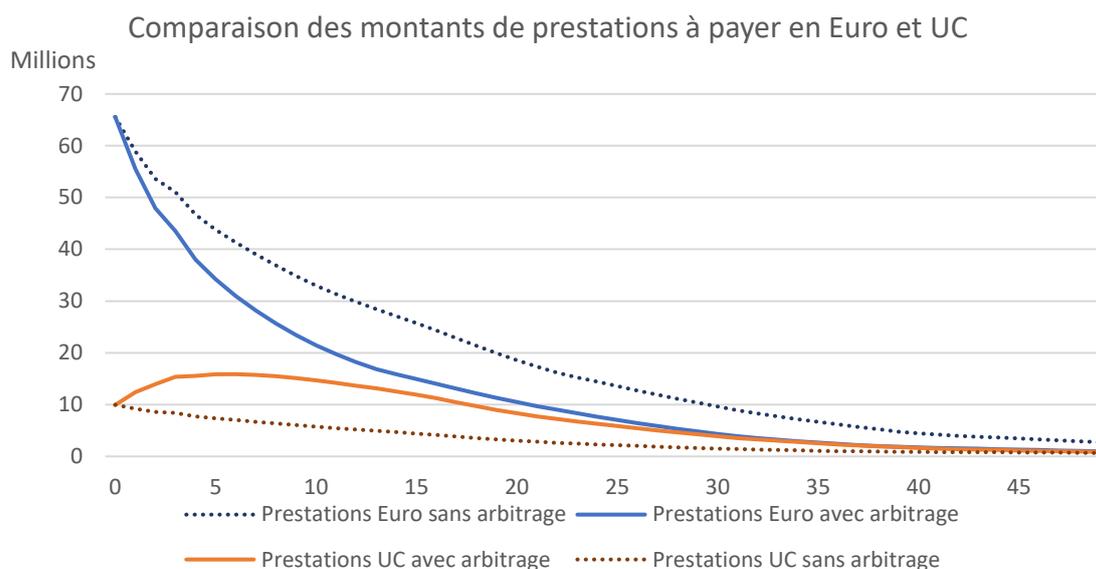


Figure 29 : Comparaison des prestations de sortie

Comme indiqué dans une configuration avec arbitrage, la PM Euro décroît plus rapidement et la PM UC est croissante durant les premières années de développement avant de diminuer suite aux prestations de sortie. Ces résultats permettent de conclure que la diminution du BE Euro provient d'une répartition plus égale entre les passifs Euro et UC. Dans le même temps, il est possible de conclure que l'augmentation du BE UC par rapport à une configuration sans arbitrage provient de l'augmentation de PM UC au cours de la projection, et donc des prestations à sortir en hausse.

1.1.3.2. Etude de la PVFP Euro et UC

En considérant les arbitrages, la PVFP est en nette augmentation mais provient de deux phénomènes inverses :

- Une diminution de la PVFP Euro
- Une augmentation de la PVFP UC

Dans un premier temps, rappelons que la PVFP Euro correspond à la valeur actualisée des profits futurs, qui sont composés du résultat administratif et du résultat financier. Le résultat administratif est calculé comme la différence entre les chargements et les frais, le résultat financier étant calculé par les produits financiers générés par les actifs et pénalisé par les mouvements de provisions comme la PPE et la RC, présenté dans la section 0. **Présentation des métriques étudiées.** Comme expliqué précédemment, la PM Euro est amoindri et impacte les lignes d'actif. En effet, les actifs doivent être réalignés à un mouvement de provision mathématique car le passif doit être adossé à son actif correspondant. Cet ajustement des actifs n'est pas sans conséquence puisque, dans le cas d'un flux sortant du fonds Euro, l'assureur doit vendre une partie son portefeuille d'actifs associé au fonds Euro.

L'algorithme de réallocation d'actifs est construit pour acheter/vendre en premier lieu les obligations, ensuite les actions, l'immobilier. Les conséquences de la vente d'actifs en moins-values sont négatives pour l'assureur :

1. Le volume d'actifs associé au fonds Euro est moins important ce qui implique une baisse des produits financiers et donc une diminution non négligeable du résultat financier ;

Le volume d'actifs est lié à la somme des provisions mathématiques, qui sont représentées par la Figure 28. La déduction réalisée en incluant les arbitrages est que le montant de PM Euro sera moins important, ce qui implique que le portefeuille d'actifs est également aussi moins important. Ainsi, la comparaison des résultats financiers est représentée par la figure ci-contre.

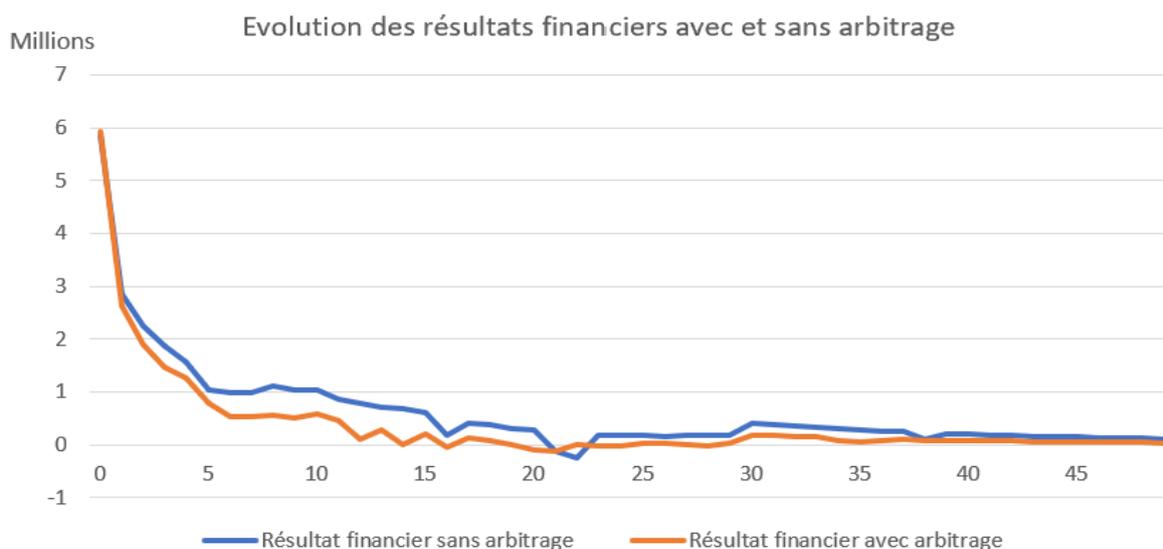


Figure 30 : Evolution des résultats financiers avec et sans arbitrage au cours de la projection

Les écarts sont conséquents durant les premières années de la projection. Cela fait sens car il s'agit de cette période où les montants arbitrés de l'Euro vers l'UC sont les plus importants.

- La réserve de capitalisation est impactée par la vente d'obligations étant en situation de moins-values. Cette vente d'obligations est d'autant plus importante lorsque l'on considère les arbitrages. De plus, à la fin de la projection, la réserve de capitalisation appartient à l'assureur puisqu'elle a été générée à partir d'anciennes plus-values réalisées. Le flux final de l'assureur provenant de cette réserve est alors très diminué.

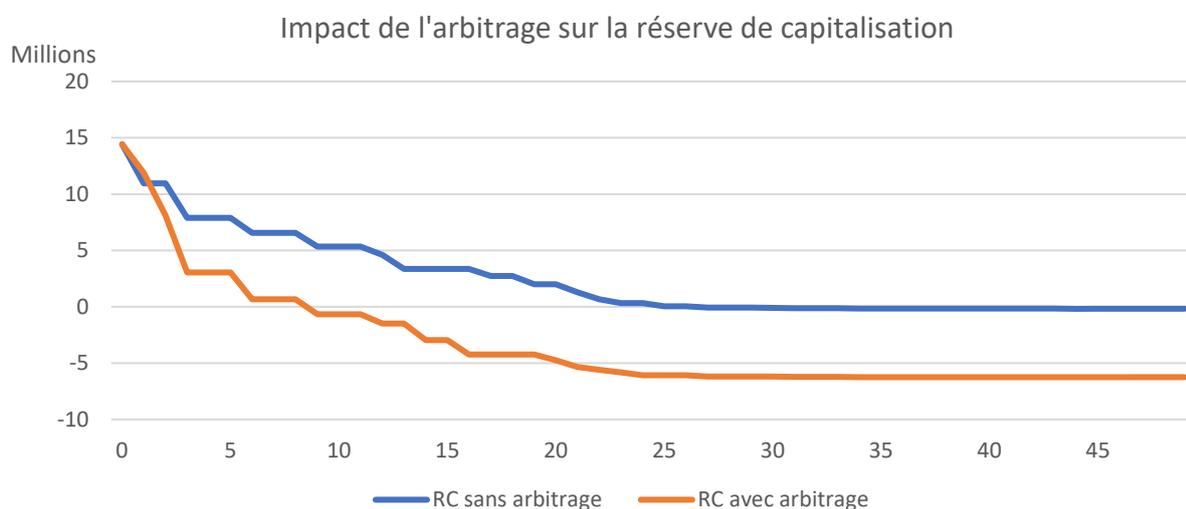


Figure 31 : Evolution de la réserve de capitalisation en utilisant une configuration avec et sans arbitrage

La Figure 31 illustre l'évolution des réserves de capitalisation en considérant ou non les arbitrages. En général une fois que la réserve de capitalisation est épuisée, les fonds propres économiques sont affectés. Dans notre cas, les fonds propres ne sont pas modélisés. Cependant, ce montant négatif a des répercussions car à la fin de projection divers flux sont attribués à l'assuré tels que les PM, la PPE et d'autres à l'assureur comme la réserve de capitalisation.

Ainsi, dans une configuration sans arbitrage, le flux final associé à cette réserve est très légèrement négatif, ce qui influe brièvement la PVFP Euro. Or, dans le cas d'une configuration avec arbitrage, les montants négatifs atteints sont non-négligeables, chiffrant jusqu'à -5M d'euros et exercent donc un impact substantiel sur la PVFP Euro.

Les points énumérés justifient la baisse de PVFP de l'Euro dans une configuration utilisant les arbitrages. Pour terminer cette courte étude en déterministe, il est également essentiel de comprendre ce qui a influé sur la PVFP UC.

Le gain de PVFP UC peut être justifié par la Figure 28 également. Pour rappel, les profits générés par les contrats UC proviennent uniquement des chargements (en ayant soustrait les frais de gestion). Dans une configuration avec arbitrage, le volume de PM UC est bien supérieur. Ainsi, les chargements calculés sont également plus importants et permettent de générer plus de résultat pour l'assureur. Une raison expliquant l'augmentation de PVFP est la mise en place des chargements prélevés sur chaque mouvement de PM. Autrement dit, pour un arbitrage sortant de l'UC, un certain pourcentage est prélevé sur le montant arbitré. Avec un nombre important de *model points*, les chargements prélevés sur les 50 années de projections sont conséquents et constituent des profits significatifs.

Dans un scénario central déterministe, la mise en place des arbitrages dans le modèle ALM a permis une réduction non-négligeable du *Best-Estimate* et dans le même temps, par la relation (38), la *PVFP* a augmenté. De plus, la mise en place du multi-support apporte des résultats similaires, l'engagement de l'assureur envers les assurés est moins important. Cependant, cet ajustement dans un scénario déterministe n'a pas de réel impact. Cela provient du fait que les rendements du fonds Euro et du fonds UC sont similaires. Pour réellement capter les effets des ajustements, les tables stochastiques sont indispensables.

Remarque : La Figure 31 présente l'évolution de la réserve de capitalisation avec ou sans arbitrage. On remarque sur le graphique que la réserve de capitalisation (avec arbitrage) devient négative : en réalité dans le modèle ALM la réserve de capitalisation ne peut devenir négative, elle est « *floorée* » à 0. Cependant, ce graphique permet d'illustrer l'impact de l'arbitrage sur la RC et par conséquent sur le résultat financier de l'assureur.

Limites : Les résultats et les impacts obtenus en déterministe sont conditionnels au calibrage du modèle. En effet, il est possible d'observer que le modèle agit très différemment lorsqu'on y ajoute les arbitrages. Pour rappel, le taux d'arbitrage a été calibré avec une profondeur d'historique assez faible où le contexte économique ne correspond pas au contexte actuel.

Observons avec le graphique ci-dessous les taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC obtenus au cours de la projection en déterministe et en stochastique (à des pas de projection arrêtés) :

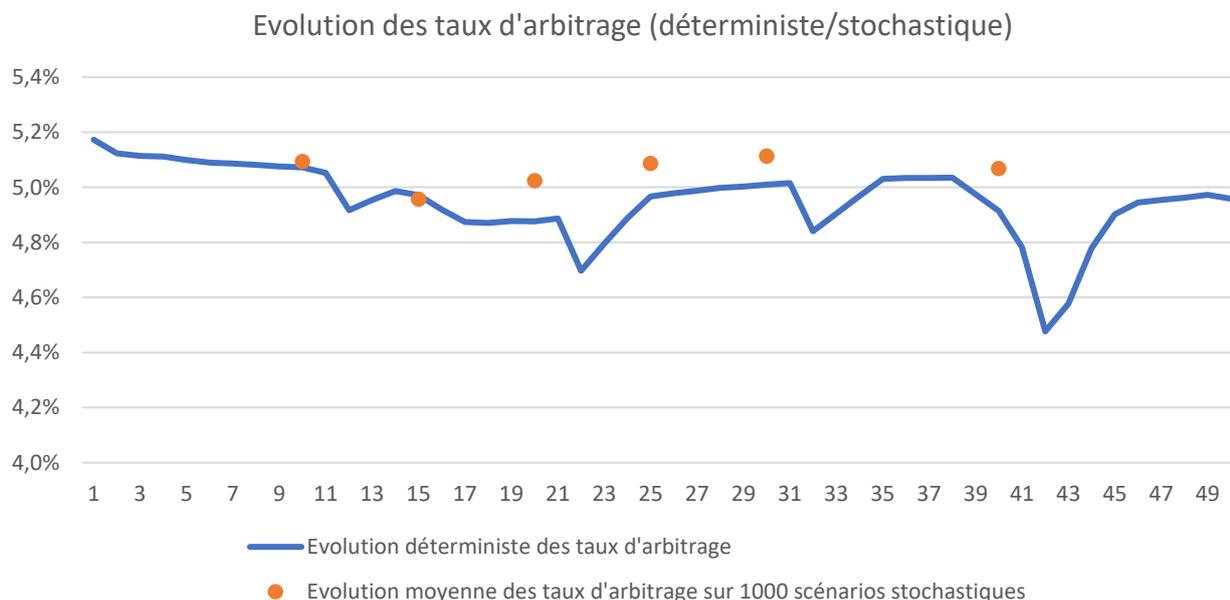


Figure 32 : Evolution des taux d'arbitrage déterministe pour chaque pas de projection et en moyenne sur les scénarios stochastiques

Ce graphique permet d'observer que les taux d'arbitrage vers les supports non-garantis sont assez élevés car en moyenne ils sont proches de 5%. Par conséquent, dans le sens de l'Euro vers l'UC, les flux seront plus importants (car le taux de rachat structurel a été fixé à 3% dans le sens de l'UC vers l'Euro).

Les taux d'arbitrage obtenus permettent alors d'expliquer la Figure 28 qui présente la répartition de la provision mathématique au cours de la projection. La répartition initiale de la provision mathématique est de l'ordre de 80% pour le fonds Euro et 20% pour le fonds UC. Or, au bout de la 15^{ème} année on remarque que la répartition est de l'ordre de 50% pour le fonds Euro et 50% pour le fonds UC.

Cependant, il est possible d'émettre une limite concernant la justesse du calibrage du taux d'arbitrage. Dans la réalité, et historiquement, nous n'avons pas observé une telle répartition au sein des différents supports chez les assureurs-vie. Les assurés restent toujours prudents en ayant une partie conséquente de l'épargne sur le support Euro qui est garanti. Il est possible d'observer de tels arbitrages lorsque le contexte économique est volatile pendant lequel les assurés sont à la recherche de rendement, mais observer un niveau d'arbitrage aussi élevé sur les 50 années de projection paraît peu réaliste.

Pour ces raisons, nous faisons un rappel des impacts et des limites du calibrage des taux d'arbitrage dans les modèles :

- La répartition de la provision mathématique est modifiée rapidement au cours de la projection pour atteindre une répartition de 50% sur le fonds Euro et 50% sur le fonds UC (limite) ;
- Un niveau d'arbitrage important dans le sens Euro vers UC favorise la réalisation des moins-values obligataires et l'impact est observable sur la réserve de capitalisation, Figure 31 (impact) ;
- Le résultat financier de l'Euro est diminué en raison de la réalisation des moins-values obligataires lorsque la réserve de capitalisation est nulle (impact).

Ainsi, pour la suite du mémoire, il est important de prendre en considération les limites présentées du calibrage du taux d'arbitrage et que les résultats qui seront présentés sont très dépendants du calibrage de ce taux.

1.2. Résultats stochastiques

Dans un premier temps, il est important de vérifier que l'écart de convergence, en utilisant des scénarios stochastiques, soit négligeable. En effet, cet écart ne peut être nul mais il doit être minimisé. Les scénarios sont générés à l'aide du *GSE* présenté dans le chapitre 2. Suite aux recommandations de l'ACPR, 1000 scénarios ont été générés et projetés sur 50 ans. Les résultats sont présentés dans le Tableau 18 et le Tableau 19.

Configuration	$VM_{t=0}$	BE Euro	BE UC	PVFP Euro	PVFP UC
de base	938,5 M €	742,35 M €	134,08 M €	48,66 M €	14,31 M €
n°1	938,5 M €	742,02 M €	134,08 M €	48,99 M €	14,31 M €
n°2	938,5 M €	538,42 M €	317,70 M €	32,80 M €	50,30 M €
n°1 & 2	938,5 M €	536,89 M €	318,94 M €	33,22 M €	51,30 M €

n°1 & 2 & MS	938,5 M €	540,36 M €	312,88 M €	32,65 M €	49,99 M €
-----------------------------	-----------	------------	------------	-----------	-----------

Tableau 18 : Résultats du modèle ALM pour des scénarios stochastiques

Configuration	BE Monte-Carlo	PVFP Monte-Carlo	Ecart de convergence
de base	876,43 M €	62,98 M €	-0,0914%
n°1	876,11 M €	63,31 M €	-0,0922%
n°2	856,12 M €	83,10 M €	-0,0713%
n°1 & 2	854,83 M €	84,52 M €	-0,0857%
n°1 & 2 & MS	853,24 M €	82,64 M €	0,2844%

Tableau 19 : Résultats en stochastique du BE et de le PVFP selon les configurations

A la suite de ces résultats, il est possible de confirmer que les écarts de convergence sont acceptables puisqu'ils sont de l'ordre de -0,08%. Cependant, l'écart est plus élevé dans une configuration avec multi-support, ce qui peut être dû aux approximations réalisées dans la modélisation. De plus, la fuite peut être allouée de façon différente selon son signe :

- Une fuite positive implique une allocation au *Best-Estimate*.
- Une fuite négative implique une allocation à la *PVFP*.

Ainsi, après réallocation, les résultats finaux sont les suivants :

Configuration	BE Monte-Carlo	PVFP Monte-Carlo
de base	876,43 M €	63,84 M €
n°1	876,11 M €	64,18 M €
n°2	856,12 M €	83,10 M €
n°1 & 2	854,83 M €	85,33 M €
n°1 & 2 & MS	855,90 M €	82,64 M €

Tableau 20 : Résultats en stochastique après réallocation de la fuite

Par comparaison au scénario central déterministe, les indicateurs présentés sont en augmentation. Cela provient du caractère asymétrique des scénarios.

1.2.1. Etude de la TVOG (Time Value of Options and Guarantees)

La TVOG représente la valeur temps des options et des garanties. Dans la situation de notre assureur-vie, les options sont au nombre de deux et sont : les rachats et les arbitrages. Les garanties sont également au nombre de deux et sont les garanties financières telles que le TMG et le taux de participation aux bénéficiaires. Mathématiquement cela se définit par la différence entre le *Best-Estimate* obtenu dans un scénario central déterministe et celui calculé à partir de scénarios stochastiques.

$$TVOG = BE^{stochastique} - BE^{déterministe} \quad (40)$$

Pour chaque configuration il est possible de calculer le coût des options et des garanties. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Configuration	TVOG
de base	17,61 M€
n°1	17,28 M €
n°2	15,60 M €
n°1 & 2	14,31 M €
n°1 & 2 & MS	15,38 M €

Tableau 21 : Sensibilité de la TVOG aux ajustements de modèle

Les ajustements de modèle vont réduire le coût des options et des garanties. La configuration n°1 permet de modifier le comportement des assurés en termes de rachat dans des scénarios très volatiles. La configuration n°2 permet de prendre en compte un comportement non-négligeable des assurés qui est celui des arbitrages. Les assurés se comportent alors comme des investisseurs, agissant en fonction du niveau de satisfaction, en plaçant l'épargne vers des supports avec un meilleur rendement. Ce comportement induit une diminution des rachats et une libération des garanties contractuelles. Enfin, dans un développement en stochastique la métrique de décision devient plus volatile en raison du support UC. Ainsi, l'acte de décision est basé sur un comportement plus volatile impliquant donc que les flux de PM sont également plus volatiles.

Il est ainsi possible d'observer l'évolution des options et des garanties dans des scénarios stochastiques. Pour cela, l'observation sera fixée lors de la 10^{ème} année de développement et l'on sélectionne trois variables :

- Les rachats moyens sur tous les *models points* ;
- Le montant de PB versé moyen sur tous les *models points* ;

- Le volume moyen d'intérêts techniques.

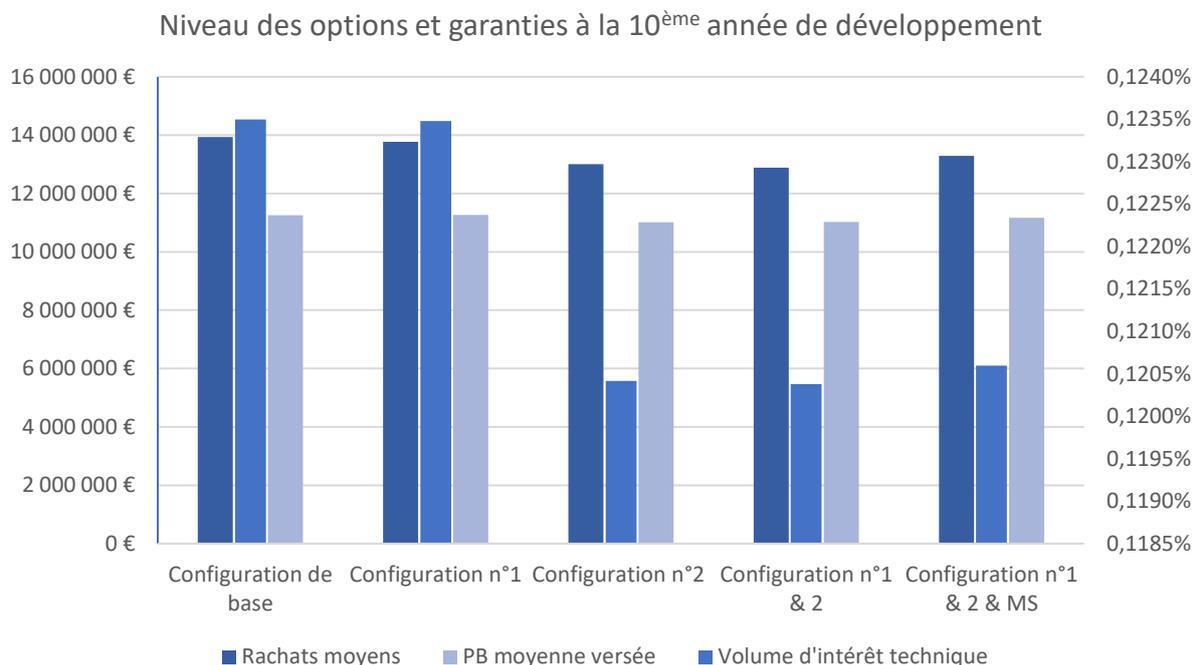


Figure 33 : Observation moyenne du niveau des options et garanties octroyé à l'assuré dans des scénarios stochastiques

Si l'on compare le coût des options et des garanties accordées à l'assuré dans une configuration de base avec les autres configurations, on remarque un effet de diminution comme attendu. Dans la configuration n°1, l'effet se fait principalement ressentir au niveau des rachats moyens, ce qui est cohérent car cet ajustement vise à réduire les rachats dans des scénarios extrêmes. En ce qui concerne les autres configurations, la diminution sur les rachats est importante mais l'effet le plus conséquent est celui sur le volume d'intérêts techniques. Cela est en accord avec la Figure 28 qui expose qu'en ajoutant les arbitrages, la provision mathématique du fonds Euro est amoindrie, diminuant alors les intérêts techniques. Plus particulièrement pour la configuration n°1 & 2 & MS, donc en tenant en compte les performances des contrats multi-supports, les options et garanties coûtent plus cher que les configurations avec arbitrages. Également, cela paraît cohérent car les scénarios économiques stochastiques vont entraîner plus de volatilité. Lors d'une performance positive du contrat multi-support, les assurés deviennent moins dynamiques car sont satisfaits du rendement servi. Au contraire, lors d'un scénario qui engendre des mauvaises performances du contrat multi-support, les assurés sont insatisfaits entraînant des flux d'arbitrage et de rachat plus importants.

1.2.2. Impact des configurations sur le BE, PVFP et TVOG

Impact de la configuration n°1 sur les indicateurs :

La première configuration étudiée entraîne une légère réduction du *Best-Estimate* et dans le même temps une augmentation de la *PVFP* (de l'ordre de 300.000€). Cela est expliqué par le fait que dans cette configuration les lois comportementales des assurés sont modifiées uniquement lors de

scénarios extrêmement volatiles. En effet, lors du passage en stochastique, les rachats deviennent plus sensibles car l'on augmente le risque qu'ils se déclenchent sur certaines trajectoires. Donc, cela amène à observer les comportements « extrêmes » se réaliser. En « protégeant » la provision mathématique des scénarios extrêmes à l'aide du *cap*, la configuration permet à l'assureur de générer des profits plus importants, notamment sur les chargements prélevés ...

Impact de la configuration n°2 sur les indicateurs :

En comparant à la première configuration, celle-ci a un impact conséquent sur les métriques clés. Le *Best-Estimate* est en réduction de 20 millions d'euros ce qui entraîne une augmentation de la *PVFP*. Cette configuration génère un fort effet de diminution du coût des options et des garanties. Lors de la prise en compte des arbitrages, la provision mathématique associée à l'euro diminue progressivement au cours de la projection. Les rachats sont alors proportionnellement moins élevés. De même, les flux d'arbitrage les plus conséquents sont réalisés dans le sens de l'euro vers l'UC, ainsi, vers des supports qui ne sont pas garantis. Cela est dû au fait que la politique commerciale de l'entité qui encourage les assurés à réaliser des arbitrages dans ce sens. Cette configuration permet donc de diminuer significativement les engagements de l'assureur envers les assurés. De plus, il est important de noter que, dans ce contexte économique, cette configuration entraîne une vente supplémentaire d'actifs obligataires pouvant impacter significativement la réserve de capitalisation. Si cette provision n'est pas assez élevée, cela peut alors pénaliser les fonds propres.

Impact de la configuration n°1 & 2 sur les indicateurs :

Cette configuration combine les deux effets précédemment énoncés. Cela amène à un *Best-Estimate* plus faible, une *PVFP* plus haute en découle.

Impact de la configuration n°1 & 2 & MS sur les indicateurs :

Enfin, lors de la prise en compte d'une performance globale des contrats dans les lois comportementales, on remarque une légère augmentation du BE par rapport à la configuration n°1 & 2 et tout de même une diminution par rapport à la configuration n°2 avec arbitrage. Ce mouvement peut s'expliquer par le fait que, après quelques années de développement, lorsque les moins-values latentes sont diluées dans le portefeuille d'actifs, cela devient avantageux pour l'assureur que les assurés réalisent des arbitrages vers les supports UC non-garantis. Cependant, la prise en compte d'une performance globale du contrat entraîne une prise de décision plus volatile, la volatilité des supports UC étant intégrée dans le taux servi. Selon les scénarios économiques, lorsqu'ils sont positifs pour les supports UC, les assurés peuvent être enclins à être moins dynamiques et à conserver l'allocation de leur épargne. Ce qui n'est pas à l'avantage de l'assureur qui souhaite réaliser des arbitrages vers des supports non-garantis. Ou au contraire, dans des scénarios économiques défavorables, les flux de rachats et d'arbitrages seront plus importants, favorisant ainsi une diminution des garanties telles que le taux minimum garanti ou la participation aux bénéfices mais augmentant le coût de l'option de rachat. Cette configuration mélange ainsi plusieurs effets inverses.

1.2.3. Etude de sensibilité de la PVFP

Cette section a pour objectif de présenter les sensibilités de la configuration n°2 (modélisation des arbitrages) à des paramètres tels que : la réserve de capitalisation, la provision pour participation aux excédents, le taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC uniquement et enfin le taux de moins-values obligataires.

1.2.3.1. Sensibilité de la PVFP à la RC – Configuration avec arbitrage

L'étude réalisée consiste à étudier le comportement du modèle lorsque la réserve de capitalisation initiale est divisée par deux. Comme cela a été exposé, dans ce contexte économique où les actifs obligataires sont en moins-values latentes, la mise en place des arbitrages entraîne la réalisation de moins-values supplémentaires. L'impact est observable sur le résultat financier de la Figure 30. Cependant, le niveau actuel de RC permet d'observer un bon déroulé de la projection. Etudions alors ici la sensibilité de la richesse de l'assureur à la réserve de capitalisation :

Richesse	Initial	50% x RC
PVFP Euro	32,8 M €	31,2 M €
PVFP UC	50,3 M €	51 M €
Total	83,1 M €	82,4 M €

Tableau 22 : Sensibilité de la PVFP à la RC

En diminuant le niveau de RC, l'assureur absorbe de façon limitée les moins-values obligataires. Lorsque la réserve est totalement consommée, les moins-values réalisées diminuent alors la richesse de l'assureur. En conséquence, la valorisation de la PVFP est alors amoindrie uniquement au niveau de la PVFP de l'Euro, provenant du résultat financier. Également, la réduction du résultat peut s'expliquer par la répartition finale réalisée entre assureur et assuré. Si la réserve est non-nulle en fin de projection (50^{ème} année) alors elle représentera une richesse pour l'assureur. Or, dans ce contexte économique et avec un niveau de réserve diminué, le flux final sera très faible voire nul.

Au niveau de la PVFP Euro, une réserve de capitalisation diminuée entraîne 1,6 M € de PVFP en moins. Le niveau global de richesse est diminué de 0,7 M €.

Il est possible d'en conclure que les arbitrages jouent un rôle important dans le niveau de richesse de l'assureur qui devient plus volatile lorsque le niveau de RC n'absorbe que faiblement les moins-values obligataires.

1.2.3.2. Sensibilité de la PVFP à la PPE

L'étude ici consiste à évaluer le comportement du modèle lorsqu'on divise la provision pour participation aux excédents initiale par deux. Pour rappel, cette provision joue un rôle important car permet de lisser les taux servis aux assurés en dotant ou en reprenant la provision. Les résultats sont alors présentés dans le tableau suivant :

Richesse	Initial	50% x PPE
PVFP Euro	32,8 M €	31,1 M €
PVFP UC	50,3 M €	50,5 M €
Total	83,1 M €	81,8 M €

Tableau 23 : Sensibilité de la PVFP à la PPE

Dans les scénarios économiques volatiles, le modèle va entraîner une libération rapide de la provision initialement amoindrie. Ainsi, si la provision n'est pas suffisante, l'assureur peut faire face à une vague de rachats dynamiques, provoqué par l'insatisfaction des assurés, faisant croître le coût des options et garanties. Cet effet se répercute alors au niveau des profits de l'Euro où la PVFP diminue de 1,7M €. Au niveau de la richesse globale, la diminution est de 1,3M €.

1.2.3.3. Sensibilité de la PVFP au taux d'arbitrage

Comme évoqué précédemment, les limites du calibrage des taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC sont que :

- Les taux déterminés à chaque pas de projection sont élevés : en moyenne de 5% sur toute la projection (déterministe ou stochastique). Cela implique que les flux de PM de l'Euro vers les UC sont plus importants que dans l'autre sens ;
- Les taux d'arbitrage déterminés sont supérieurs ou égaux à 0%.

Ces limites sont très bénéfiques pour l'assureur-vie fictif en raison des flux importants vers les supports non-garantis (l'on observe un effet de diminution de la TVOG, Tableau 21).

Ainsi, cette étude a pour objectif d'observer la réaction du modèle ALM quand le comportement est inversé, c'est-à-dire quand les flux d'arbitrage de l'UC vers l'Euro sont plus importants. Pour mettre en place cela, on diminue les taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC de 3,5%. Il est ainsi possible d'observer le mouvement de PVFP dans le tableau suivant :

Richesse	Initial	Tx arbitrage – 3,5%
PVFP Euro	32,8 M €	44,8 M €
PVFP UC	50,3 M €	27,9 M €
Total	83,1 M €	72,8 M €

Tableau 24 : Sensibilité de la PVFP au taux d'arbitrage

On observe une augmentation conséquente de la PVFP Euro qui provient de deux effets :

- Le taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC est diminué ce qui implique la cession d'actifs Euro est réduite entraînant une augmentation de la richesse de l'assureur. De plus, cette diminution permet également aux obligations détenues initialement dans le portefeuille de se dérouler jusqu'à la maturité, limitant le taux de moins-values global dans le portefeuille.
- Hausse de la performance des réinvestissements (comme mentionné dans la section 3.3 du chapitre 1) : les flux de l'UC vers l'Euro vont permettre à l'assureur d'investir sur des actifs proposant des rendements corrélés avec l'augmentation des taux. L'assureur peut ainsi générer plus de produits financiers faisant logiquement croître sa richesse.

Au contraire, la PVFP UC diminue en raison d'un résultat administratif plus faible. Les flux de PM de l'Euro vers l'UC seront moins importants. Ainsi, les chargements seront plus faibles que dans la précédente configuration faisant diminuer la richesse de l'assureur-vie.

D'une manière générale, la configuration **initiale** permet à l'assureur de se libérer des garanties contractuelles, Figure 33, qui ont un coût important dans ce contexte économique. Dans cette situation où les taux d'arbitrage sont diminués, l'assureur ne profite pas de l'effet de diminution de TVOG et voit sa richesse diminuer de 10,3 M €

1.2.3.4. Sensibilité de la PVFP au taux de moins-values obligataires

Cette dernière étude a pour objectif d'observer les impacts d'un « choc » de la valeur de marché des obligations sur la PVFP. Le choc consiste à obtenir 25% de moins-values latentes (au lieu de 17,8%) sur l'entière du portefeuille obligataire. Les impacts sont présentés dans le tableau suivant :

Richesse	Initial	-25% MVL
PVFP Euro	32,8 M €	-23,6 M €
PVFP UC	50,3 M €	51,1 M €
Total	83,1 M €	27,6 M €

Tableau 25 : Sensibilité de la PVFP au taux de moins-values latentes obligataires

Les résultats présentent une diminution conséquente de la richesse globale de l'assureur-vie, causée uniquement par la PVFP Euro qui est négative. Le résultat paraît cohérent en raison de l'activation des arbitrages qui vont déclencher la cession d'actifs en moins-values latentes plus importantes et font grandement diminuer le résultat financier. Au contraire, la PVFP UC n'est pas modifiée et suit le même comportement que dans les configurations précédentes. Le résultat final est alors diminué à hauteur de 55,5 M €.

Pour conclure, cette section avait pour objectif de présenter la sensibilité de la richesse de l'assureur envers des hypothèses initiales telles que les niveaux de réserve de capitalisation, de provision pour participation aux excédents et de moins-values latentes obligataires, mais également envers le calibrage du taux d'arbitrage utilisé. La modification de ces hypothèses/calibrages entraîne des mouvements conséquents sur la PVFP.

2. Etude du SCR

2.1. Calcul du SCR en formule Standard

Pour notre étude, il est important de se référer à la composante principale des fonds propres économiques sous Solvabilité 2, le SCR. Le SCR en formule standard se calcule en modules et sous-modules comme l'illustre la Figure 34. Pour notre étude, la compagnie d'assurance-vie fictive est exposée aux risques liés à la vie et au marché. Pour ces raisons, une attention particulière sera portée sur le calcul du SCR marché et SCR Vie. Une partie sera également consacrée à l'impact de la revoyure Solvabilité 2 sur le SCR de taux.

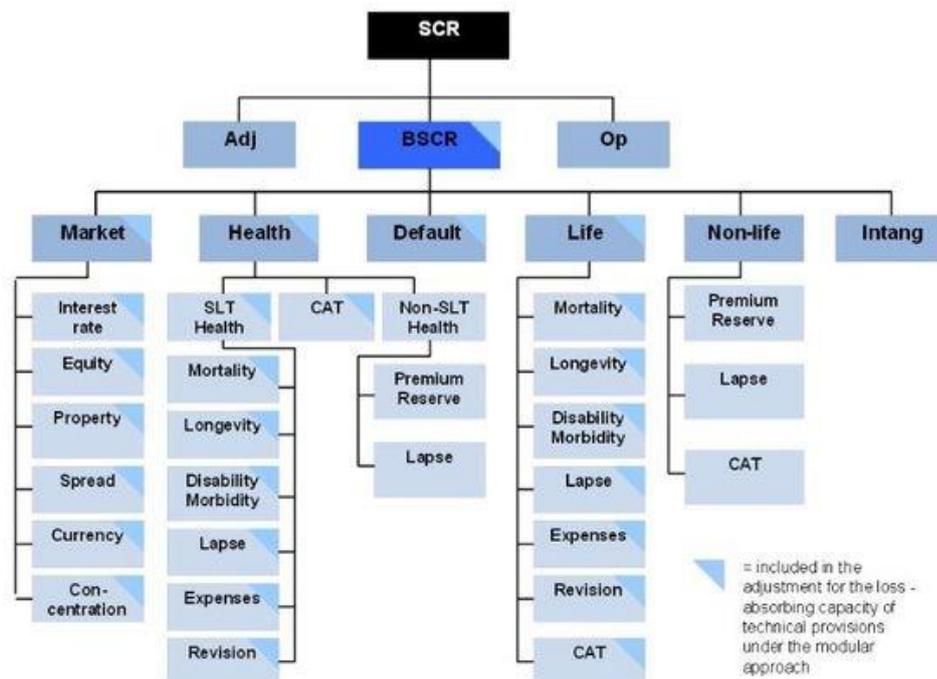


Figure 34 : Décomposition du SCR en formule standard

Le SCR de base représente le besoin en capital des différents sous-modules de risque et est calculé par agrégation des modules SCR à l'aide de matrice de corrélation. Les matrices de corrélation sont explicitées dans la Directive 2009/138/CE. Ainsi, le BSCR est calculé par :

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} \rho_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} \quad (41)$$

Avec :

- SCR_i : le SCR du module i ;
- $\rho_{i,j}$: le coefficient de corrélation entre le module i et le module j .

Les sous-modules des modules SCR sont calculés à l'aide de chocs réglementés qui seront détaillés dans les sections suivantes. Les sous-modules SCR sont ainsi calculés comme :

$$SCR = (VM_{t=0}^{central} - VM_{t=0}^{choc}) - (BE_{sto}^{central} - BE_{sto}^{choc}) \quad (42)$$

Autrement dit,

$$SCR = \max(0, \Delta NAV) \quad (43)$$

Avec :

- $\Delta NAV = NAV_{central} - NAV_{choc}$
- $NAV_i = VM_{t=0}^i - BE^i$

2.2. SCR Souscription en vie

Le risque de souscription en assurance vie se réfère à la possibilité que les engagements pris par une compagnie d'assurance vie, tels que le paiement des prestations aux assurés ou bénéficiaires, excèdent les provisions ou les actifs disponibles. Ce risque découle de l'incertitude liée aux caractéristiques démographiques, aux comportements de souscription, aux taux d'intérêt et à d'autres facteurs susceptibles d'affecter les engagements de l'assureur vie.

Le SCR souscription vie est décomposé en sept sous-modules et reflète le risque découlant des engagements d'assurance-vie. Les chocs à appliquer pour chaque sous-modules sont résumés dans le tableau suivant :

Sous-modules	Choc à appliquer	Source
Mortalité	Hausse permanente de 15% des taux de mortalité	Article 137 du Règlement Délégué 2015/35
Longévité	Baisse permanente de 20% des taux de mortalité	Article 138 du Règlement

		Délégué 2015/35
Catastrophe	Hausse soudaine de 0,15 point de pourcentage des taux de mortalité exprimé en pourcentage au cours des 12 prochains mois	Article 137 du Règlement Délégué 2015/35
Frais/Dépenses	Combinaison de deux chocs : <ul style="list-style-type: none"> • Hausse de 10% des frais de gestion • Augmentation d'un point de pourcentage du taux d'inflation pour les dépenses indexées sur l'inflation 	Article 140 du Règlement Délégué 2015/35
Rachats	Choc le plus impactant entre : <ul style="list-style-type: none"> • Hausse de 50% des rachats durant toute la projection • Diminution de 50% des rachats durant toute la projection • Les taux de rachats sont fixés à 40% durant la première année de projection (rachat de masse) <p>Le SCR Rachats correspond donc à :</p> $SCR_{rachat} = \max(SCR_{rachat}^{up}, SCR_{rachat}^{down}, SCR_{rachat}^{massif})$	Article 142 du Règlement Délégué 2015/35

Tableau 26 : Détails des chocs à appliquer pour le calcul du SCR souscription en vie

L'agrégation des sous-modules s'effectue à l'aide de la matrice de corrélation¹² suivante :

matrice de corrélation =

	Mortalité	Longévité	Catastrophe	Dépenses	Rachats
Mortalité	1	-0,25	0,25	0,25	0
Longévité	-0,25	1	0	0,25	0,25
Catastrophe	0,25	0	1	0,25	0,25
Dépenses	0,25	0,25	0,25	1	0,5
Rachats	0	0,25	0,25	0,5	1

¹² La matrice de corélation est disponible dans le paragraphe 3, article 136 du Règlement Délégué (UE) n 2021/1256 de la Commission du 21 avril 2021.

2.3. SCR Marché

2.3.1. Sous solvabilité 2

Selon la directive Solvabilité 2, « Le module « risque de marché » reflète le risque lié au niveau ou à la volatilité de la valeur de marché des instruments financiers ayant un impact sur la valeur des actifs et des passifs de l'entreprise concernée. Il reflète de manière adéquate toute inadéquation structurelle entre les actifs et les passifs, en particulier au regard de leur durée. »

L'actif de la compagnie d'assurance vie est soumis à un risque de marché qui est composé de plusieurs sous-modules. Le module du SCR marché est calculé à l'aide de la même équation que l'équation (43).

Une simplification a été réalisée dans le calcul du SCR marché car en réalité il est composé de 6 sous-modules mais un focus a été fait sur les trois sous-modules les plus importants et qui concernent l'activité de la compagnie d'assurance-vie fictive particulièrement. Les sous-modules ainsi que les chocs à appliquer sont présentés dans le tableau ci-après :

Sous-modules	Choc à appliquer	Source
Action	Réduction de la valeur de marché du portefeuille action de 39%	Article 169 du Règlement Délégué 2015/35
Immobilier	Réduction de la valeur de marché du portefeuille immobilier de 25%	Article 175 du Règlement délégué 2015/35
Taux	<p>Le taux fait l'objet de deux chocs à appliquer :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $r_t^{up}(m) = r_t(m) + \max(1\% ; \text{Choc à appliquer} \times r_t(m))$ • $r_t^{down}(m) = r_t(m) \times (1 - \text{Choc à appliquer}) \mathbb{1}_{r_t(m) \geq 0} + r_t(m) \mathbb{1}_{r_t(m) < 0}$ <p>Avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> - $r_t^{up}(m)$: le taux choqué à la hausse pour la maturité m ; - r_t^{down} : le taux choqué à la baisse pour la maturité m ; - Choc à appliquer : les chocs à appliquer présentés en annexes. 	Article 166 et 167 du Règlement Délégué 2015/35

	<p>Le SCR de taux est ainsi calculé par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $SCR_{taux} = \max(SCR_{taux}^{up}, SCR_{taux}^{down})$ 	
--	--	--

Tableau 27 : Détails des chocs à appliquer pour le calcul du SCR marché

L'agrégation des sous-modules s'effectue à l'aide de la matrice de corrélation¹³ suivante :

matrice de corrélation =

	Taux d'intérêt	Actions	Actifs immobiliers
Taux d'intérêt	1	A	A
Actions	A	1	0,75
Actifs immobiliers	A	0,75	1

Le paramètre A est égal à 0 dans le cas où le choc des taux est généré par le risque d'augmentation de la courbe des taux d'intérêt. Dans tous les autres cas, le paramètre A est fixé à 0,5.

2.3.2. Revoyure Solvabilité 2

La revue sur le SCR de taux existe car l'EIOPA estime que les chocs prévus dans l'article 101 paragraphe 3 du Règlement Délégué 2015/35/CE ne permettent pas de répondre aux exigences de la directive. Ainsi, les chocs ne sont plus seulement multiplicatifs mais sont également additifs, ayant un impact direct sur la solvabilité de la compagnie d'assurance vie. Ainsi, le choc up post revoiture correspond à :

$$r_t^{up}(m) = r_t(m) \times (1 + s_m^{up}) - b_m^{up} \quad (44)$$

Ainsi, que le choc down post revoiture :

$$r_t^{down}(m) = \max(-1,25\%; r_t(m) \times (1 + s_m^{down}) - b_m^{down}) \quad (45)$$

Avec :

- $r_t(m)$: le taux d'intérêt sans risque de maturité m ;
- s_m^i et b_m^i : les composantes de chocs de type i pour la maturité m , présentées en annexe ;
- $r_t^i(m)$: le taux choqué selon le choc imposé i .

Les changements se trouvent ainsi au niveau du choc additif qui n'était pas présent dans Solvabilité 2 et les niveaux de choc qui sont bien plus importants. L'effet est immédiat sur la

¹³ La matrice de corrélation est disponible dans le paragraphe 3, article 164 du Règlement Délégué (UE) n°2021/1256 de la Commission du 21 avril 2021.

courbe des taux sans risque. Pour des maturités courtes, la courbe choquée up post revoyure S2 subit une décroissance plus importante. Les impacts sur la courbe des taux sans risque de décembre 2022 sont représentés par la Figure 35.

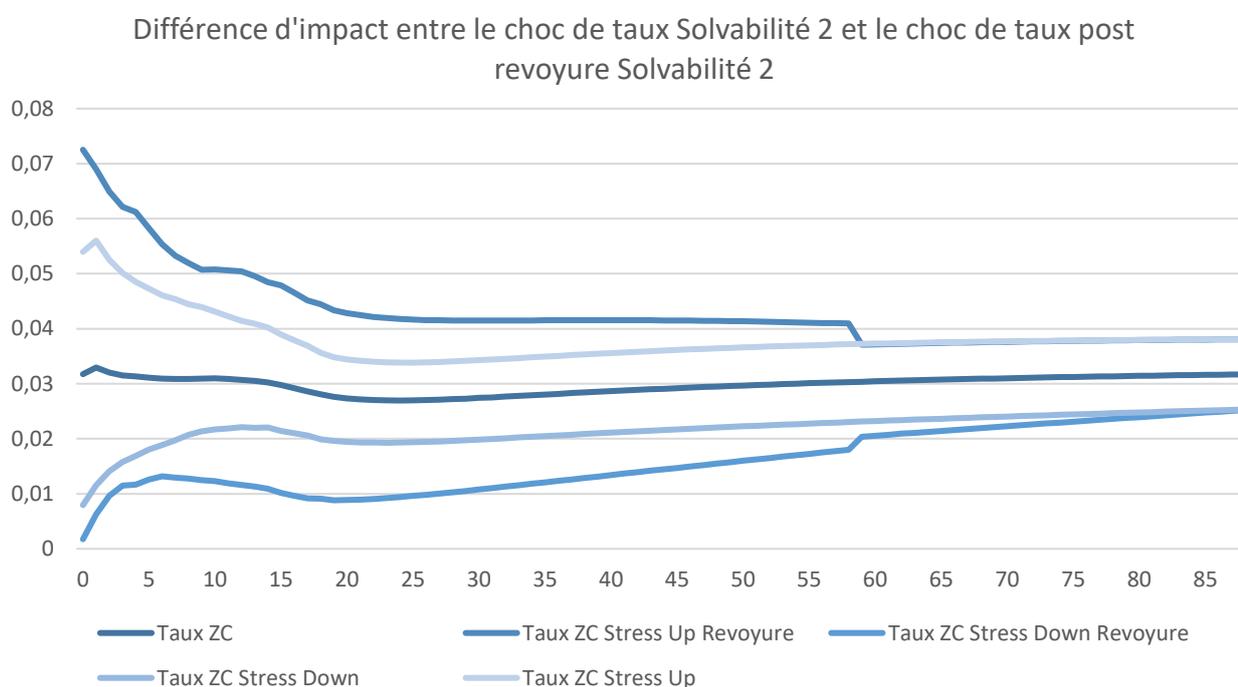


Figure 35 : Chocs appliqués à la courbe des taux à date de 2022/12

L'effet attendu de la revoyure Solvabilité 2 est une augmentation du SCR de taux provenant de chocs plus importants. Les chocs de taux post revoyure auront un impact significatif sur la valeur de marché du portefeuille obligataire à l'initialisation. Les chocs étant plus marquants, les valeurs de marché seront plus éloignées de la valeur de marché initiale :

Scénario	VM0 (en millions d'euro)	Ecart relatif au scénario central
Scénario central	938	0,00 %
Scénario up	887	-5,48 %
Scénario up revoyure S2	860	-8,29 %
Scénario down	987	5,20 %
Scénario down revoyure S2	1034	10,27 %

Tableau 28 : Impact des chocs de taux sur la valeur de marché initiale

2.4. Présentation des résultats

2.4.1. Etude des SCR pour le risque de souscription en vie

Pour le calcul du SCR du risque de souscription en vie, en plus du scénario central, sept chocs doivent être appliqués. Ces calculs sont conséquents lorsque plusieurs ajustements doivent être testés. En conséquence de ce temps de calcul important, des contraintes opérationnelles ont été imposées comme le nombre fixe de *model points* permettant une optimisation de l'algorithme ALM.

Premièrement, détaillons le SCR souscription en vie pour la configuration de base, c'est-à-dire sans aucun ajustement de modèle. La décomposition du SCR Vie est présentée dans le tableau ci-dessous.

SCR	Configuration de base
Rachat Up	0,636 M €
Rachat Down	-0,640 M €
Rachat de masse	23,39 M €
Mortalité	2,78 M €
Catastrophe	0,074 M €
Longévité	- 0,584 M €
Frais	6,68 M €
Vie	27,55 M €

Tableau 29 : Décomposition du SCR pour le risque de souscription en vie dans une configuration de base

Le capital de solvabilité requis pour le risque de souscription en vie s'élève à 27,5 millions d'euros, principalement composé du SCR rachat, étant à 23,4 millions d'euros. Ce SCR est déterminé en prenant le maximum entre les trois chocs précédemment mentionnés. Dans cette configuration, le choc le plus élevé est celui de la cessation de masse, ce qui est cohérent compte tenu de la situation de moins-value du portefeuille d'actifs. Ce choc est alors très coûteux par rapport à la situation des obligations. De plus, le SCR pour le risque de longévité est négatif, ce qui signifie qu'un allongement de la durée de vie des assurés est bénéfique pour l'assureur, car cela pourrait entraîner des marges plus importantes. En revanche, le choc sur la mortalité représente un coût significatif provenant des prestations de sortie à payer. De même, le SCR pour le risque de dépenses est le second plus élevé. Dans le contexte économique actuel, ce risque prend une importance significative dans le calcul du SCR. Avec un taux d'inflation proche de 4,5% les coûts associés aux frais augmentent considérablement. La conséquence de cette augmentation est un impact direct sur la rentabilité des contrats. Les assureurs doivent donc allouer une part importante du capital de solvabilité pour couvrir ce risque. Si ces coûts ne sont pas correctement anticipés et gérés, ils peuvent entraîner une pression sur la marge bénéficiaire de l'assureur, affectant ainsi le SCR de souscription en vie.

Intéressons-nous à la sensibilité du SCR de souscription en vie et l'impact des ajustements de modèle sur celui-ci.

SCR	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
Rachat Up	0,496 M €	0,562 M €	0,397 M €	1,20 M €
Rachat Down	-0,463 M €	-0,534 M €	-0,370 M €	-1,20 M €
Rachat de masse	23,88 M €	30,13 M €	30,18 M €	30,48 M €
Mortalité	2,94 M €	3,60 M €	3,81 M €	3,46 M €
Catastrophe	0,078 M €	0,113 M €	0,127 M €	-0,032 M €
Longévité	-4,22 M €	-6,31 M €	-0,558 M €	-0,542 M €
Frais	6,75 M €	4,27 M €	4,26 M €	4,19 M €
Vie	27,50 M €	31,94 M €	32,79 M €	32,93 M €

Tableau 30 : Sensibilité du SCR pour le risque de souscription en vie aux ajustements de modèle

Impact de la configuration n°1 sur le SCR souscription en vie :

Cette configuration permet de modifier la définition du taux attendu en diminuant sa dépendance aux fortes volatilités provenant du contexte économique. Sur des scénarios extrêmes, les rachats ne réagiront pas de façon immédiate et l'ajustement permet alors de diminuer les rachats. En conséquence, le SCR pour le risque de rachat à la hausse (Rachat Up) est plus faible que pour la configuration de base. Cependant, le SCR Rachat provient du choc de rachat de masse. Au contraire, le SCR pour le risque de mortalité est plus élevé. Cela peut être expliqué par un comportement moins dynamique des assurés, ce qui permet de « protéger » la provision mathématique Euro des rachats. Le choc de mortalité est alors appliqué à une PM Euro plus importante impliquant une augmentation du SCR.

Cependant, les effets restent limités dans cette configuration car l'impact réel sur le **SCR Vie** est assez faible par rapport à la configuration de base.

Impact de la configuration n°2 sur le SCR souscription en vie :

En tenant en compte les arbitrages, le premier impact significatif peut se faire au niveau du SCR rachat qui est en très nette augmentation provoquée par le risque de rachat de masse. Cela paraît contre intuitif car, comme énoncé dans le scénario déterministe, on peut s'attendre à observer une diminution des rachats. Or, pour rappel, le rachat de masse implique une cession de 40% de la PM lors de la première année de développement. A la suite de cela, le modèle ALM n'est plus impacté par un quelconque choc. Ainsi, l'ajustement de modèle agit sur une PM auparavant diminuée. L'effet à prendre en compte est l'amointrissement des marges futures. En effet, dans une configuration avec ajustement de modèle, la PVFP centrale est bien supérieure à une configuration de base, Tableau 19, faisant alors croître le SCR.

Impact de la configuration n°1 & 2 sur le SCR souscription en vie :

La première analyse peut être effectuée sur le SCR pour le risque de rachat à la hausse (Rachat Up). L'application de ce choc permet de simuler une situation où le contexte économique favorise le rachat des contrats par les assurés. En intégrant la possibilité pour un assuré d'arbitrer son épargne, cela implique une diminution de près de 40% du SCR passant de 640 000 € à 400

000 €. Cette réduction découle en partie de la PM Euro qui est affectée par les arbitrages. Les rachats vont régresser au cours des années de développement car l'assiette disponible est réduite. De manière similaire au scénario central déterministe, la PM Euro est pénalisée dans une configuration avec des arbitrages, ce qui implique que les rachats conjoncturels seront proportionnellement moins importants. Cette dynamique contribue à la baisse du capital de solvabilité requis pour ce risque.

Comme pour la configuration n°2 avec arbitrage, le sous-module rachat est provoqué par le risque de rachat de masse. Les raisons sont similaires à celles expliquées dans l'impact de la configuration n°2 sur le SCR de souscription en vie.

De même, il est important de noter une diminution du SCR lié au risque de frais. Le raisonnement est similaire que pour le risque de rachat à la hausse. En effet, les frais sur encours sont proportionnels à la provision mathématique Euro. En intégrant les arbitrages, celle-ci est diminuée et les frais donc sont plus faibles.

Impact de la configuration n°1 & 2 & MS sur le SCR souscription en vie :

La prise en compte de la performance des contrats multi-supports entraîne les mêmes effets que les configurations précédentes. Le SCR rachat est déclenché par le risque de rachat de masse. Pour la même raison que les configurations précédentes, il est élevé en raison d'une PVFP centrale importante. L'assureur détient plus de richesse dans cette configuration, il est en mesure de perdre de manière plus conséquente, en conséquence le SCR augmente.

Pour ce choc en particulier, les ajustements de modèle ne peuvent avoir de conséquences car le choc est appliqué lors de la première année de développement.

2.4.2. Etude des SCR pour le risque de marché

La décomposition du SCR marché pour la configuration de base est présentée dans le tableau ci-dessous.

SCR	Configuration de base
Taux Down	5,90 M €
Taux Up	-5,77 M €
Taux	5,90 M €
Action	16,60 M €
Immobilier	9,76 M €
Marché	28,37 M €

Tableau 31 : Décomposition du SCR marché par rapport à une configuration de base

Le SCR Marché dans une configuration sans ajustement de modèle est de 28,3M d'euros et est plus conséquent que le SCR de souscription en vie. Le sous-module le plus impactant est le SCR Action. Les effets provoqués par ce choc sont les suivants :

- Une réduction significative de la valeur de marché initiale du portefeuille d'actif. En effet, selon la Figure 10, les actions représentent 13% de l'actif détenu par l'assureur-vie
- D'après le Tableau 2 présentant la situation des actifs à l'initialisation du modèle ALM, les actions sont en situation de plus-value latente. L'avantage de détenir un actif en plus-value est de pouvoir renforcer les revalorisations des contrats et permet à l'assureur de réaliser plus de marge. Or, suite à la diminution de la valeur de marché initiale, les actions sont en situation de moins-values.

De même pour le risque immobilier qui suit des mécanismes similaires. Le SCR immobilier est tout de même moins important en raison de la plus faible part d'actif immobilier détenu en portefeuille et du choc moins conséquent appliqué sur les actifs immobiliers.

Ensuite, le SCR de taux est calculé par le maximum entre le SCR des chocs *Up* et *Down*. Dans le cas du risque de taux *Down*, plusieurs effets *y* sont induits :

- Une diminution des taux d'intérêt provoque une augmentation du prix des obligations. La valeur de marché initiale est plus élevée par rapport au scénario central.
- Une revalorisation moins importante en raison des actifs moins rémunérateurs. Les produits financiers sont plus faibles et peuvent impacter le versement des garanties contractuelles comme la participation aux bénéfices ou le TMG.
- Une actualisation plus faible des flux de trésorerie.

Dans le cas du choc de taux *Up*, l'assureur fait face aux effets opposés.

Le détail des SCR marché pour chaque configuration est présenté dans le tableau ci-dessous :

SCR	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
Taux Down	5,89 M €	0,691 M €	0,845 M €	0,692 M €
Taux Up	-5,76 M €	-0,924 M €	-0,966 M €	-1,53 M €
Taux	5,89 M €	0,691 M €	0,845 M €	0,692 M €
Action	16,36 M €	17,95 M €	18,33 M €	17,55 M €
Immobilier	9,66 M €	11,08 M €	10,83 M €	9,72 M €
Marché	28,04 M €	27,64 M €	27,86 M €	26,04 M €

Tableau 32 : Sensibilité du SCR marché aux configurations

Impact de la configuration n°1 sur le SCR Marché :

En comparaison à la configuration de base, les effets restent limités car l'ajustement de modèle permet de faire diminuer le SCR marché de l'ordre de 300.000 euros. Chaque sous-module subit une diminution en raison des comportements moins dynamiques des assurés. Les effets sont plus

visibles lorsque l'on ajoute la prise en compte des arbitrages et de la performance du multi-support.

Impact de la configuration n°2 sur le SCR Marché :

Dans une configuration avec arbitrage, le SCR pour le risque de taux est en forte diminution. Comme expliqué dans le scénario déterministe, les arbitrages diminuent grandement la PM associé au fonds Euro. Ainsi, les garanties contractuelles telles que les taux de PB ou les TMG ont un coût plus faible pour l'assureur. Autrement dit, un effet de diminution de la TVOG est attendu dans une configuration avec arbitrage. Dans un scénario de taux *Down*, ou les rendements financiers sont diminués, l'arbitrage va permettre de faire sortir une partie de ces garanties vers des supports non-garantis (les supports en UC), Figure 33. La modélisation des arbitrages permet alors un gain sur le besoin en solvabilité au titre du risque de taux. Cependant, l'on peut remarquer une augmentation des SCR Action et Immobilier. Les arbitrages permettent de générer des profits plus importants, comme l'on peut le voir dans le scénario central, Tableau 20 : Résultats en stochastique après réallocation de la fuite. Une richesse plus importante implique que l'assureur est en mesure de perdre plus. Dans ce cas, le SCR croît pour faire face à la perte plus importante.

Impact de la configuration n°1 & 2 sur le SCR Marché :

L'effet attendu de cette configuration est semblable à la configuration n°2. Le SCR de taux est bien plus faible en tenant compte des arbitrages. Cependant, il est en légère augmentation par rapport à la précédente configuration. Cela peut être expliqué par le fait que, après quelques années lorsque la moins-value latente est nulle dans le portefeuille d'actif, les obligations offrent des rendements faibles (provenant du choc de taux *down*) et sont détenues plus longtemps en portefeuille provenant des rachats moins importants en raison de la modification du taux attendu (configuration n°1). Les garanties contractuelles peuvent être des coûts plus conséquents dans cette situation de taux. En conséquence, la configuration n°1 empêche des flux d'arbitrage qui auraient pu être bénéfiques à l'assureur. Dans ce choc de taux précisément, il est possible de citer deux effets inverses qui sont alors présents dans cette configuration, une diminution de la TVOG provenant des arbitrages (présenté dans l'impact précédent), et une augmentation de la TVOG provenant de la modification du taux attendu. Ces effets provoquent alors une légère augmentation du SCR de taux.

En ce qui concerne les sous-modules action et immobilier, les effets sont semblables à la configuration n°2, ils sont en augmentation par rapport à la configuration de base en raison d'une *PVFP* plus élevée dans un scénario central.

Impact de la configuration n°1 & 2 & MS sur le SCR Marché :

La prise en compte de la performance du contrat multi-support permet un gain de solvabilité car le SCR Marché est réduit de 2 millions d'euros par rapport à la configuration de base. En comparaison à la configuration n°1 & 2 le SCR de taux est diminué. Cela provient du fait que le critère de décision des assurés, modifié par le multi-support, amène à avoir des flux plus importants vers des supports non-garantis (dans un contexte de taux *down*). Cette décision est favorable à l'assureur et gagne en solvabilité par rapport à la précédente configuration sur le risque de taux. De même, cette configuration permet un gain de solvabilité par rapport à la

configuration n°2 et n°1 & 2 sur les risques Action et Immobilier. Pour ces risques précisément, le risque pour l'assureur est la sortie précipitée des assurés car la moins-value latente est supportée par l'assuré en début de projection. Ainsi, la prise en compte d'une performance globale modifie le critère de décision des assurés bénéfiquement pour l'assureur. Dans ce cas, lors des premières années de développement, les assurés rachètent ou arbitrent moins leurs contrats que dans la précédente configuration et permet alors un léger gain de solvabilité pour ces risques.

Remarque : Il est important de prendre en compte les fuites de modèles qui sont plus conséquentes lors de la prise en compte des contrats multi-supports. Les résultats sont présentés ici sans réallocation de la fuite. Cependant, il a été déduit que les fuites sont très faibles et peuvent être considérées comme négligeables.

2.4.3. Etude du SCR pour le risque de taux post revoyure S2

Pour cette étude il convient de recalculer le SCR de taux selon les chocs présentés dans la section 2.3.2 « Revoyure Solvabilité 2 ». Tout d'abord présentons l'impact de ces chocs sur la configuration de base.

SCR	Configuration de base
Taux Down	18,35 M €
Taux Up	-8,18 M €
Taux	18,35 M €
Action	16,60 M €
Immobilier	9,76 M €
Marché	37,88 M €

Tableau 33 : Calcul du SCR Marché post revoyure Solvabilité 2

Le premier constat à réaliser est une importante augmentation du SCR marché, passant de 28,3 à 37,9 millions d'euros. Dans cette configuration qui n'a aucun ajustement de modèle, le SCR devient très sensible à un mouvement instantané de taux. Les effets attendus d'un tel choc de taux ne diffèrent pas en termes de mécanisme sur le modèle ALM mais l'impact sera plus conséquent.

Ainsi, il est possible d'observer l'impact du choc de taux sur les ajustements de modèle.

SCR	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
Taux Down	18,36 M €	2,43 M €	2 ;63 M €	2,24 M €
Taux Up	-8,17 M €	-1,88 M €	-1,97 M €	-3,53 M €
Taux	18,36 M €	2,43 M €	2,63 M €	2,24 M €
Action	16,36 M €	17,95 M €	18,33 M €	17,55 M €

Immobilier	9,66 M €	11,08 M €	10,83 M €	9,72 M €
Marché	37,60 M €	28,64 M €	28,89 M €	26,93 M €

Tableau 34 : Sensibilité du SCR au choc de taux revoyure Solvabilité 2 et aux ajustements de modèle

Les mécanismes seront les mêmes que ceux présentés lors de la section précédente. Ce qui est important de relever est l'impact sur le SCR Marché. La configuration n°1 reste très sensible au choc de taux et son SCR augmente de manière similaire à la configuration de base. Cependant, lorsqu'on ajoute les arbitrages dans le modèle, cela permet de réaliser une diminution considérable du SCR. Si l'on compare les SCR avec ceux de la section 2.4.2, l'augmentation reste mesurée. On en conclut que les arbitrages sont des comportements essentiels à modéliser lorsque le modèle est sensible aux taux d'intérêt car ils permettent d'éliminer les garanties très coûteuses. L'impact sur la TVOG est conséquent dans ce contexte.

2.4.4. Impact sur le BSCR et le ratio de solvabilité

A l'aide de la matrice de corrélation, il est possible d'agrèger les résultats pour obtenir le BSCR. Suite à la relation (41), le BSCR est donné par la formule suivante :

$$BSCR = \sqrt{SCR_{Vie}^2 + SCR_{Marché}^2 + 2 \times 0,25 \times SCR_{Vie} \times SCR_{Marché}} \quad (46)$$

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

BSCR	Configuration de base	Configuration n°1	Configuration n°2	Configuration n°1 & 2	Configuration n°1 & 2 & MS
Solvabilité 2	44,21 M €	43,92 M €	47,19 M €	48,05 M €	46,82 M €
Ratio de solvabilité S2	144 %	146 %	176 %	177 %	176 %
Revoyure Solvabilité 2	52,12 M €	51,84 M €	47,94 M €	48,82 M €	47,47 M €
Ratio de solvabilité revoyure S2	121%	122%	173%	173%	174%

Tableau 35 : Sensibilité du BSCR aux ajustements de modèle et aux chocs appliqués aux taux

Le constat que l'on peut réaliser est que pour la configuration de base et la configuration n°1, l'impact de la revoyure est conséquent sur le BSCR et sur le ratio de solvabilité. De plus, la différence entre le BSCR_{configuration de base} et le BSCR_{configuration n°1} entre les chocs indiqués par la directive Solvabilité et la revoyure Solvabilité 2 restent proches. La modification du taux

attendu permet alors un gain de solvabilité mais doit être utilisé avec d'autres ajustements pour avoir un impact marquant si le modèle est contraint à des chocs de taux. Il est possible de conclure que l'inclusion des arbitrages permet de se désensibiliser en partie au taux. En revanche, la prise en compte des arbitrages permet de réduire significativement le choc imposé par la revoiture. Cela permet de réduire la sensibilité du modèle à l'évolution du taux en agissant comme un effet de réduction de la TVOG.

L'inclusion des arbitrages permet également à la compagnie d'assurance-vie d'être plus solvable. Cela provient de la PVFP centrale qui est plus importante faisant accroître le ratio de solvabilité. Ce ratio qui est fortement impacté lorsque l'on considère la revoiture dans la configuration de base et la configuration n°1 en perdant 20 points de pourcentage. Au contraire, la revoiture impacte de seulement 300 *basis points* en incluant les arbitrages. On en conclut que dans le cas d'un choc conséquent des taux tel que celui de la revoiture de la directive Solvabilité 2, les ajustements de modèle sont nécessaires.

3. Synthèse des résultats obtenus

Le Tableau 36 permet de synthétiser les impacts de chaque configuration sur le modèle ALM, conditionnellement à nos hypothèses et nos calibrages.

Configuration n°1
<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du Best-Estimate stochastique et augmentation de la PVFP stochastique. - Faible diminution de la TVOG car limite les rachats dans des scénarios extrêmes. - Ajustement qui apparaît également primordial selon la sévérité de la loi utilisée par l'assureur. - Diminution du BSCR provenant des SCR marché et SCR souscription en vie par rapport à la configuration de base. - Impact limité pour diminuer la sensibilité du modèle aux taux d'intérêt. - Ajustement très simple à intégrer dans le modèle ALM. Cependant, des données sont nécessaires à la calibration du paramètre.

Configuration n°2
<ul style="list-style-type: none"> - Réduction du Best-Estimate stochastique et augmentation de la PVFP stochastique. - Diminution conséquente de la TVOG provenant des sorties supplémentaires du fonds Euro. Ajustement devant être modélisé en réponse à la non-application du principe de proportionnalité. - Impact sur la réserve de capitalisation qui peut venir impacter les fonds propres selon le niveau de la provision. - Augmentation du BSCR provenant des SCR marché et SCR souscription en vie par rapport à la configuration de base provenant d'une PVFP centrale plus importante. - Permet de limiter la sursensibilité au taux d'intérêt.

Configuration n°1 & 2

- Réduction du Best-Estimate stochastique et augmentation de la PVFP stochastique.
- Diminution de la TVOG provenant de la combinaison des deux ajustements. Cette configuration permet de limiter le coût de toutes les options et les garanties.
- Augmentation du BSCR provenant des SCR marché et SCR souscription en vie.

Configuration n°1 & 2 & MS

- Réduction du Best-Estimate stochastique et augmentation de la PVFP stochastique.
- Diminution de la TVOG.
- Configuration qui permet de modifier le critère de décision de rachat ou d'arbitrage des assurés. La métrique de décision est plus volatile en raison des supports UC.
- Ajustement qui aurait également plus d'utilité si la loi utilisée par l'assureur est plus sévère.
- Augmentation du BSCR provenant des SCR marché et SCR souscription en vie.
- Une limite à émettre concernant la modélisation complexe du multi-support. L'optimisation du temps de calcul est primordiale et la granularité des *model points* ne permet pas de modéliser la performance globale de manière exacte.

Tableau 36 : Synthèse des résultats obtenus

4. Limite de la modélisation

La modélisation réalisée permet d'étudier l'impact sur les métriques clés de chaque ajustement sur les lois comportementales dans un modèle ALM. Cependant, l'outil reste une simplification de la réalité pour plusieurs raisons. Premièrement, aucune garantie n'a été modélisée pour les fonds UC comme les garanties planchers. De plus, la compagnie d'assurance-vie fictive étudiée propose deux produits qui sont les contrats Euro et les contrats UC. En réalité, les compagnies d'assurance sont en mesure de proposer d'autres produits qui ne sont pas modélisés tels que les produits liés à la retraite, les fonds eurocroissance ...

Le modèle en lui-même aurait pu être plus complexe pour représenter la situation des assureurs. Les fonds propres ne sont pas modélisés, impliquant qu'une approximation a dû être utilisée pour calculer le ratio de solvabilité. Aucun frais sur les rachats n'a été appliqué aux assurés. Ce sont donc des hypothèses rendant le modèle moins réaliste.

De plus, la modélisation du multi-support lors de scénarios économiques peut parfois être incohérente. Prenons un exemple : imaginons un scénario où le taux de rendement du support Euro est de 1,5% et que le support UC est très négatif, de l'ordre de -5%. Dans ce cas, notre modélisation indique que l'assuré est insatisfait de son contrat, ce qui implique un comportement dynamique et des flux de PM importants. Les rachats sont plus élevés mais également les

arbitrages vers le fonds UC. Le mouvement d'arbitrage dans ce cas précis n'est pas réaliste. Un assuré ayant moins performé sur un fonds ne risque pas d'y ajouter son épargne. Pour cela, il aurait fallu ajouter un critère de décision sur les arbitrages sur les performances N-1 ou une moyenne mobile sur les 3 dernières années pour éviter ces flux.

Les actifs modélisés sont également relativement simples. Les obligations sont à taux fixe et ne sont pas à taux variable. De plus, le risque de crédit n'est pas pris en compte dans le modèle mais en réalité, cela a un impact conséquent sur la valorisation des obligations.

Le GSE utilisé est également assez simple. Les modèles utilisés sont très efficaces en raison de leur simplicité de mise en place. Cependant, ils ne permettent pas de capter tous les effets de marché. Le modèle de Hull & White à un facteur ne peut représenter la complexité des mouvements réels des taux d'intérêt. Le modèle de Black-Scholes a été calibré avec une volatilité constante ce qui n'est pas réaliste lorsque de la diffusion d'un indice action... De même, un ajout peut être la diffusion d'un indice inflation dans le modèle.

Enfin, une limite est à émettre concernant les calibrages utilisés dans la modélisation. Premièrement au niveau du paramètre Δ utilisé dans la définition du taux attendu. Le calibrage a été fait en utilisant un historique de données très limité car nous avons uniquement une profondeur de 10 ans (très peu de variation dans les données). Également, l'historique de données utilisé provient d'un contexte économique totalement différent du contexte économique actuel qui ne permet pas d'aboutir à une valeur finale du paramètre. Une limite est alors à émettre concernant le calibrage du paramètre par jugement d'expert dans la loi de rachat dynamique. Un tel calibrage peut être un frein lors de l'acceptation de cette modélisation par le régulateur. Le second calibrage concerne le taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC. Nous avons vu dans les différentes études que ce calibrage entraîne à observer des flux de PM très importants de l'Euro vers l'UC, et plus importants que dans le sens inverse (UC vers Euro). Dans un contexte économique où les assurés sont à la recherche de rendement, il sera possible d'observer de tels comportements. Cependant, cela apparaît incohérent d'observer ces flux d'arbitrage durant les 50 années de projection. La répartition de PM avec arbitrage, Figure 29, apparaît alors comme une limite forte de ce mémoire. Cette situation est très à l'avantage de l'assureur et pour ces raisons l'on observe des mouvements importants dans les métriques (*Best-Estimate* et *PVFP*). Les calibrages ainsi que les hypothèses utilisées ont des impacts forts sur le modèle. Par exemple, il a été possible de voir l'évolution des métriques lorsque le taux d'arbitrage de l'Euro vers l'UC est diminué ou bien lorsqu'on diminue la réserve de capitalisation.

La dernière limite concerne le comportement conjoncturel non-modélisé des assurés ayant investi dans des contrats en unité de compte. Traditionnellement, l'attente des assurés n'est pas modélisée dans les algorithmes ALM et nous avons fait le choix de ne pas le modéliser également. Ce comportement conjoncturel interviendrait dans les lois comportementales des assurés : rachats et arbitrages.

Conclusion

Dans un contexte économique de plus en plus incertain et dans un contexte de taux très volatiles, ce mémoire avait pour objectif d'apporter des idées d'ajustements dans la manière de modéliser les lois comportementales et de vérifier l'impact sur les métriques clés de solvabilité.

Pour cela, il a été nécessaire de mettre en place un outil ALM, développé en interne au sein de chez Exiom Partners. Cet outil a permis d'estimer en stochastique le *Best-Estimate* et la *PVFP* dans le but de tenir compte du coût des options et des garanties. Cela a également permis de pouvoir calculer la *BSCR* pour les risques auxquels notre assureur-vie doit faire face, comme le risque de marché et le risque de souscription en vie.

Ensuite, suite à la mise en place d'un outil ALM fonctionnel, l'impact des ajustements de modèle a été étudié. En modifiant le taux attendu de manière à limiter sa dépendance au contexte à l'aide d'une forme paramétrique, l'impact est observable lors des scénarios très volatiles qui vont déclencher les comportements extrêmes des assurés. Cet ajustement permet de limiter les attentes des assurés à un taux plus réaliste et rationnel. Ainsi, dans un contexte de taux très volatiles cela permet de limiter les rachats. Au niveau des métriques clés à étudier, l'impact est immédiat sur le *Best-Estimate* qui est réduit et la *PVFP* qui est en augmentation. L'avantage de cet ajustement provient de la simplicité d'intégration dans le modèle ALM. La modification du code est très limitée et permet de modéliser les attentes de façon plus réaliste. Cependant, le point d'attention est au niveau de la calibration du paramètre. L'historique de données disponible ne permet pas d'aboutir à une convergence du paramètre, comme expliqué dans le chapitre 2. Ainsi, le calibrage du paramètre a été réalisé par jugement d'expert où les limites ont été exposées dans les parties précédentes.

Les arbitrages entre les fonds Euro et UC sont inclus dans le modèle. Grâce aux métriques étudiées, l'on remarque qu'ils apparaissent comme un ajustement essentiel conditionnellement à la situation de notre assureur-vie avec les hypothèses initiales des provisions (RC et PPE) et le calibrage du taux d'arbitrage. Un effet important sur le coût des options et des garanties est observé qui est grandement diminué, réduisant le *Best-Estimate*. Il est important de noter également que cet ajustement permet de caler les mouvements du ratio de solvabilité sur les variations réelles des risques auxquels sont soumis les assureurs. Autrement dit, l'impact sur le ratio de solvabilité est très positif mais place réellement l'assureur face à son risque. De même, il est important de noter que, contrairement au premier ajustement, les arbitrages sont complexes à mettre en place. Cette option offerte aux assurés va augmenter le temps de calcul car il entraîne des flux de provisions mathématiques au sein du passif et un mécanisme d'achat et de vente au sein de l'actif. Cela peut alors devenir un réel défi si l'on considère une compagnie d'assurance-vie ayant un nombre d'assurés plus conséquent.

Enfin, le dernier ajustement de modèle est très complexe à modéliser. Cet ajustement de modèle modifie le comportement des assurés en agissant sur le taux servi en considérant une performance globale du contrat. C'est-à-dire que l'ajustement intervient sur le critère de décision de rachat ou

d'arbitrage des assurés. Dans un univers « monde réel », on ajoute à de la volatilité la métrique de décision provenant du support UC qui est plus risqué et non-garanti. Plusieurs effets contraires peuvent apparaître avec cet ajustement. Soit, il favorise les mouvements de provision mathématique, des rachats et des arbitrages plus importants, soit les assurés deviennent moins dynamiques et l'allocation de l'épargne est moins mobile. Cependant, la contrainte opérationnelle de ne pas augmenter le nombre de *model points* implique de réaliser une approximation entraînant alors un comportement uniforme des assurés ayant les mêmes caractéristiques en ayant investi dans un contrat multi-support. Cette modélisation aurait du sens lorsque le bilan projeté est composé d'un unique produit d'assurance-vie (70% dans un contrat Euro et 30% dans un contrat UC par exemple).

La fin du mémoire est consacrée aux calculs des métriques clés de solvabilité qui sont également calculées par les compagnies d'assurance-vie. Une partie est également consacrée au calcul du SCR de taux dans le cadre de la revoyure de Solvabilité 2. Cela a permis de mettre en avant l'impact des ajustements lors d'un choc plus important sur les taux d'intérêt. L'on peut conclure que spécifiquement dans un choc de taux, l'ajustement comportemental essentiel est l'inclusion des arbitrages qui permet d'éviter que le modèle soit très sensible au taux d'intérêt. D'autres études doivent être menées sur l'impact de la revoyure de Solvabilité 2 comme notamment sur la *Risk Margin*, la *Volatility Adjustment*, les LTEI (*Long Term Equity Investment*) et le risque Action, les matrices de corrélations, etc.

Une étude peut également être menée sur l'impact la norme comptable IFRS 17. Il existe des points de divergence selon les référentiels (Solvabilité 2 et IFRS 17) comme notamment :

- La frontière des contrats : sous Solvabilité 2 aucun contrat n'est ajouté dans le portefeuille au cours de la projection. Ainsi, Solvabilité 2 vise à estimer les risques sur l'assiette d'engagement actuelle. Sous IFRS 17, l'assureur doit intégrer les primes futures qui sont considérées comme une information objective et raisonnable.
- L'agrégation des contrats : sous Solvabilité 2 il est possible de regrouper des contrats au sein d'un model point lorsque les risques sont similaires. Sous IFRS 17, les *model points* doivent être complétés par les notions de profitabilité et de date de souscription du contrat, pouvant alors accroître le nombre de *model points*.

D'une manière générale, le modèle développé pourra servir lors de missions futures ou bien à la réalisation de futurs mémoires d'actuariat. Le prochain développement du modèle concernera l'ajout d'un passif Eurocroissance et l'étude des comportements conjoncturels des contrats UC.

A- ANNEXE

Formule d'Itô

Soit un processus d'Itô X_t , un processus stochastique de la forme

$$X_t = X_0 + \int_0^t \mu_s ds + \int_0^t \sigma_s dB_s,$$

Ou,

$$dX_t = \mu_t dt + \sigma_t dB_t$$

Avec μ_t et σ_t deux processus aléatoires.

Si $f(X_t, t)$ est une fonction de classe $C^2(\mathbb{R} \times \mathbb{R}_+, \mathbb{R})$, la formule d'Itô s'écrit par

$$d(f(X_t, t)) = \frac{\partial f}{\partial t}(X_t, t)dt + \frac{\partial f}{\partial x}(X_t, t)dX_t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}(X_t, t)\sigma^2 dt$$

Résolution de l'EDS de Black & Scholes

Pour rappel, l'EDS de Black & Scholes est défini par :

$$dS_t = r_t \times S_t dt + \sigma \times S_t dW_t$$

Premièrement, on pose $Y_t = \ln(S_t) = f(S_t, t)$ et l'on applique la formule d'Itô à ce processus :

$$\begin{aligned} dY_t &= d(\ln(S_t)) = \frac{1}{S_t} dS_t + \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{S_t^2} \right) (\sigma S_t)^2 dt \\ \Leftrightarrow d(\ln(S_t)) &= \frac{1}{S_t} (r_t \times S_t dt + \sigma \times S_t dW_t) - \frac{1}{2} \sigma^2 dt \\ \Leftrightarrow d(\ln(S_t)) &= \left(r_t - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dW_t \end{aligned}$$

En intégrant de 0 à t, on obtient :

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow \ln(S_t) &= \ln(S_0) + \int_0^t \left(r_s - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) ds + \sigma \int_0^t dW_s \\ \Leftrightarrow S_t &= S_0 \exp \left(\int_0^t r_s ds - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma W_t \right) \end{aligned}$$

Cette résolution permet ainsi de diffuser les indices actions et immobiliers dans le modèle.

Résolution de l'EDS de Hull and White à 1 facteur

Pour rappel, l'EDS de Hull and White à 1 facteur est défini par :

$$dr_t = (b(t) - a \times r_t) dt + \sigma dW_t$$

Avec :

$$b(t) = \frac{\partial f^M(0, t)}{\partial t} + a f^M(0, t) + \frac{\sigma^2}{2a} (1 - e^{-2at}).$$

De même, en appliquant la formule d'Itô au processus $Y_t = r_t e^{at}$ on obtient :

$$\begin{aligned} dY_t &= d(r_t e^{at}) = ar_t e^{at} dt + e^{at} dr_t \\ \Leftrightarrow d(r_t e^{at}) &= ar_t e^{at} dt + e^{at}((b(t) - ar_t)dt + \sigma dW_t) \\ \Leftrightarrow d(r_t e^{at}) &= b(t)e^{at} dt + \sigma e^{at} dW_t \end{aligned}$$

En intégrant de s à t , on obtient :

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow r_t e^{at} - r_s e^{as} &= \int_s^t b(u) e^{au} du + \sigma \int_s^t e^{au} dW_u \\ \Leftrightarrow r_t &= r_s e^{-a(t-s)} \int_s^t \left(\frac{\partial f^M(0, u)}{\partial t} + a f^M(0, u) + \frac{\sigma^2}{2a} (1 - e^{-2au}) \right) e^{-a(t-u)} du \\ &\quad + \sigma \int_s^t e^{-a(t-u)} dW_u \\ \Leftrightarrow r_t &= r_s e^{-a(t-s)} + \alpha(t) - \alpha(s) e^{-a(t-s)} + \sigma \int_s^t e^{-a(t-u)} dW_u \end{aligned}$$

Avec :

$$\alpha(t) = f^M(0, t) + \frac{\sigma^2}{2a^2} (1 - e^{-at})^2$$

Enfin, on utilise la propriété de l'intégrale de Wiener, on obtient :

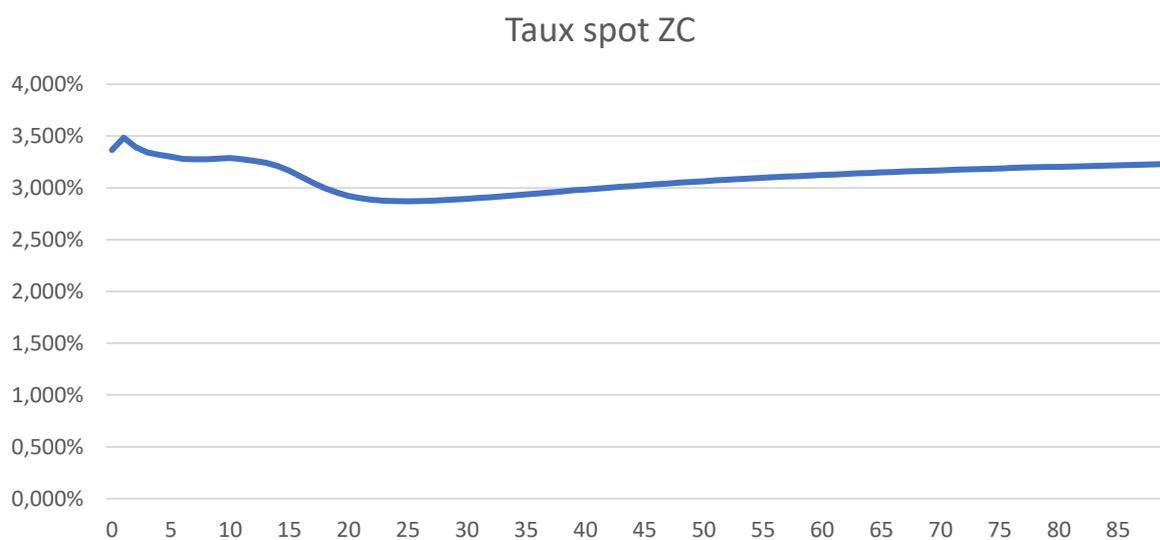
$$\begin{aligned} \sigma \int_s^t e^{-a(t-u)} dW_u &\sim N\left(0, \sigma^2 \int_s^t e^{-2a(t-u)} du\right) \\ &\sim N\left(0, \sigma^2 \frac{1 - e^{-2a(t-s)}}{2a}\right) \end{aligned}$$

Ainsi,

$$r_t = r_s e^{-a(t-s)} + \alpha(t) - \alpha(s) e^{-a(t-s)} + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2a(t-s)}}{2a}} Z(s, t)$$

Avec $Z(s, t) \sim N(0, 1)$

Evolution de la courbe des taux EIOPA au 31/12/2022



Choc de taux réglementaire à appliquer

	Choc up	Choc down
1	70,0%	75,0%
2	70,0%	65,0%
3	64,0%	56,0%
4	59,0%	50,0%
5	55,0%	46,0%
6	52,0%	42,0%
7	49,0%	39,0%
8	47,0%	36,0%
9	44,0%	33,0%
10	42,0%	31,0%
11	39,0%	30,0%
12	37,0%	29,0%
13	35,0%	28,0%
14	34,0%	28,0%
15	33,0%	27,0%
16	31,0%	28,0%
17	30,0%	28,0%
18	29,0%	28,0%
19	27,0%	29,0%
20	26,0%	29,0%

Choc de taux à appliquer dans la revoiture Solvabilité 2

	S up	b up
1	61%	2,14%
2	53%	1,86%
3	49%	1,72%
4	46%	1,61%
5	45%	1,58%
6	41%	1,44%
7	37%	1,30%
8	34%	1,19%
9	32%	1,12%
10	30%	1,05%
11	30%	1,05%
12	30%	1,05%
13	30%	1,05%
14	29%	1,02%
15	28%	0,98%
16	28%	0,98%
17	27%	0,95%
18	26%	0,91%
19	26%	0,91%
20	25%	0,88%

	S down	b down
1	58%	1,16%
2	51%	0,99%
3	44%	0,83%
4	40%	0,74%
5	40%	0,71%
6	38%	0,67%
7	37%	0,63%
8	38%	0,62%
9	39%	0,61%
10	40%	0,61%
11	41%	0,60%
12	42%	0,60%
13	43%	0,59%
14	44%	0,58%
15	45%	0,57%
16	47%	0,56%
17	48%	0,55%
18	49%	0,54%
19	49%	0,52%
20	50%	0,50%

Pour les maturités entre 20 et 90 ans, les valeurs S up et S down doivent être linéairement interpolées. Pour les maturités au-dessus de 90, la valeur du choc multiplicatif doit être fixé à 20%. Les chocs additifs b up et b down doivent être linéairement interpolés pour les maturités entre 20 et 60 ans, et doivent être égaux à 0% pour les maturités supérieures à 60 ans.

Calcul du ratio de solvabilité

Le ratio de solvabilité est calculé par le rapport entre ce que détient l'assureur, par rapport à son niveau de risque. Les fonds propres ne sont pas modélisés, le ratio est alors approché par la formule simplifiée :

$$\text{Ratio de solvabilité} = \frac{\text{Richesse}}{\text{Risque}},$$

Autrement dit,

$$\text{Ratio de solvabilité} = \frac{PVFP}{SCR}$$

Table des figures

Figure 1: Evolution du taux d'inflation depuis 1991 - Source : INSEE.....	35
Figure 2 : Evolution quotidienne du taux OAT 10 ans depuis 1987.....	36
Figure 3: Bilan économique sous Solvabilité 2.....	38
Figure 4 : Structure d'un modèle ALM.....	40
Figure 5: Les conséquences d'un changement de contexte économique sur un algorithme ALM.....	43
Figure 6 : Evolution trimestrielle de la collecte nette depuis 2017 – Source : ACPR.....	44
Figure 7: Evolution trimestrielle du taux de rachats de 2011 au 2ème trimestre de l'année 2023 - Source : ACPR.....	45
Figure 8 : Montants nets arbitrés - Source : ACPR.....	46
Figure 9 : Différence entre approche déterministe et stochastique pour l'évaluation des options et garanties.....	51
Figure 10 : Allocation de l'actif de la compagnie d'assurance-vie.....	54
Figure 11 : Représentation graphique représentant le taux de rachats structurels selon l'ancienneté du contrat.....	57
Figure 12: Représentation graphique du taux de rachats conjoncturels suivant la modélisation proposée par les ONC.....	59
Figure 13 : Réalisation du test de martingalité action avec intervalles de confiance.....	62
Figure 14 : Réalisation du test de martingalité immobilier avec intervalles de confiance.....	62
Figure 15 : Les étapes du modèle ALM pour une année de projection.....	63
Figure 16 : Stratégie de participation aux bénéfices - Source : Document IA BEL Vie.....	67
Figure 17: Test de martingalité pour $D^* = 6$	70
Figure 18 : Test de martingalité pour $D^* = 2$	70
Figure 19 : Architecture et flux d'arbitrage possibles dans l'algorithme de gestion actif-passif.....	76
Figure 20 : Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou.....	78
Figure 21 : Fonction d'appartenance pour un ensemble classique (au-dessus) et pour un ensemble flou (en-dessous).....	78
Figure 22: Fonctions d'appartenance utilisées lors de la modélisation du choix d'arbitrage des assurés.....	81
Figure 23 : Nuage de points et courbe de tendance pour la détermination des taux d'arbitrage.....	84
Figure 24 : Représentation des assurés dans un model point Euro et UC.....	87
Figure 25: Courbe des taux EIOPA au 31/12/2022 utilisée dans le modèle ALM.....	92
Figure 26 : Evolution du taux attendu (%) au cours de la projection du modèle ALM.....	94
Figure 27 : Evolution conjointe du taux servi et du taux attendu pour une configuration de base.....	95
Figure 28 : Evolution des provisions mathématiques Euro et UC au cours du modèle de projection.....	96
Figure 29 : Comparaison des prestations de sortie.....	97

Figure 30 : Evolution des résultats financiers avec et sans arbitrage au cours de la projection	98
Figure 31 : Evolution de la réserve de capitalisation en utilisant une configuration avec et sans arbitrage	99
Figure 32 : Evolution des taux d'arbitrage déterministe pour chaque pas de projection et en moyenne sur les scénarios stochastiques	100
Figure 33 : Observation moyenne du niveau des options et garanties octroyé à l'assuré dans des scénarios stochastiques	104
Figure 34 : Décomposition du SCR en formule standard	109
Figure 35 : Chocs appliqués à la courbe des taux à date de 2022/12	114

Table des tableaux

Tableau 1 : Identifiant des actifs du portefeuille de la compagnie d'assurance	54
Tableau 2 : Evolution du portefeuille d'actifs suite à l'évolution du contexte économique	54
Tableau 3 : Aperçu des model points de passif de la compagnie d'assurance-vie	55
Tableau 4 : Frais et chargements dans le modèle ALM	56
Tableau 5 : Paramètres des lois des ONC	58
Tableau 6 : Chronique historique de rachats conjoncturels - Source : ACPR	74
Tableau 7 : Taux de revalorisation du marché de l'assurance – Source : ACPR	74
Tableau 8 : Données de marché - Source : Banque de France et INSEE	74
Tableau 9 : Taux attendu intermédiaire déterminé à l'aide des données de marché	75
Tableau 10 : Modification de la structure du passif suite à la décision d'arbitrage	82
Tableau 11 : Taux d'arbitrage par année - Source : Mémoire Robin Miralles	84
Tableau 12 : Performance annuelle des contrats en unité de compte sur le marché de l'assurance-vie - Source	84
Tableau 13 : Mesure de la satisfaction des assurés	84
Tableau 14 : Exemple d'une répartition possible au sein d'un contrat multi-support	87
Tableau 15 : Ajout de la répartition de PM investie en multi-support dans les model points de passif	88
Tableau 16 : Résultats sur scénario central EIOPA 2022 déterministe selon les configurations	93
Tableau 17 : Résultats en déterministe du Best-Estimate et de la PVFP selon les configurations	94
Tableau 18 : Résultats du modèle ALM pour des scénarios stochastiques	102
Tableau 19 : Résultats en stochastique du BE et de le PVFP selon les configurations	102
Tableau 20 : Résultats en stochastique après réallocation de la fuite	102
Tableau 21 : Sensibilité de la TVOG aux ajustements de modèle	103
Tableau 22 : Sensibilité de la PVFP à la RC	106
Tableau 23 : Sensibilité de la PVFP à la PPE	107
Tableau 24 : Sensibilité de la PVFP au taux d'arbitrage	108

<i>Tableau 25 : Sensibilité de la PVFP au taux de moins-values latentes obligataires</i>	109
Tableau 26 : Détails des chocs à appliquer pour le calcul du SCR souscription en vie	111
Tableau 27 : Détails des chocs à appliquer pour le calcul du SCR marché	113
Tableau 28 : Impact des chocs de taux sur la valeur de marché initiale	114
Tableau 29 : Décomposition du SCR pour le risque de souscription en vie dans une configuration de base.....	115
Tableau 30 : Sensibilité du SCR pour le risque de souscription en vie aux ajustements de modèle.....	116
Tableau 31 : Décomposition du SCR marché par rapport à une configuration de base.....	117
Tableau 32 : Sensibilité du SCR marché aux configurations	118
Tableau 33 : Calcul du SCR Marché post revoyure Solvabilité 2.....	120
Tableau 34 : Sensibilité du SCR au choc de taux revoyure Solvabilité 2 et aux ajustements de modèle.....	121
Tableau 35 : Sensibilité du BSCR aux ajustements de modèle et aux chocs appliqués aux taux	121
Tableau 36 : Synthèse des résultats obtenus	123

Bibliographie

ABDELLATIF M. (2018), Modélisation des arbitrages dynamiques pour les contrats d'épargne multi-supports, Mémoire d'actuariat, Université Paris-Dauphine.

ACPR (2011), Solvabilité 2 : Principaux enseignements de la cinquième étude quantitative d'impact (QIS5), n°1, 1-24.

ACPR (2013), Orientations Nationales Complémentaires aux Spécifications Techniques pour l'exercice 2013 de préparation à Solvabilité II, n°1, 1-32.

ACPR (2014), Préparation à Solvabilité 2, n°1, 1-9.

ACPR (2015), Calcul du SCR en formule standard, 1-42.

ACPR (2016), Éclairages de l'enquête Patrimoine sur les comportements de rachat en assurance-vie, n°59, 1-28.

ACPR, Institut des Actuaires (2018), Rencontre ACPR-IA, Solvabilité 2.

ACPR (2023), La situation des assureurs soumis à Solvabilité II en France au premier semestre 2023, n°153, 1-23.

AMRANI B. (2013), L'arbitrage dans les contrats multi-support, Mémoire d'actuariat, Conservatoire national des arts et métiers Paris.

Banque de France (2023), Taux indicatifs des bons du Trésor et OAT.

BARDAJI J. et TAFFIN P. (2022), Hausse de l'inflation et des taux d'intérêt : des défis majeurs pour les assureurs, revue-banque.fr.

BERGOT J. (2020), Modélisation des comportements d'arbitrages : approche dynamique basée sur les performances d'un portefeuille UC, Mémoire d'actuariat, EURIA.

INSEE (2022), Niveau d'inflation en France de 1991 à 2022.

Institut des Actuaires (2023), Groupe de travail « Best Estimate Liabilities Vie », 2^{ème} édition, 1-87.

EIOPA (2023), Opinion on the 2020 review of Solvency II, 31-32.

HULL J. & WHITE A. (1990), Pricing Interest-Rate-Derivative Securities, The Review of Financial Studies, Volume 3, 573-592.

JOLY A. (2022), Taux bas, remontée des taux : quel avenir pour les fonds euros ? Mémoire d'actuariat, EURIA.

MIRALLES R. (2021), Analyse des grandeurs explicatives des arbitrages des contrats d'assurance vie en mode de gestion libre par méthodes d'apprentissage statistique, Mémoire d'actuariat, EURIA.

MOURET S. et DETROULLEAU S. (2013), Modèle ALM : Apport de la logique floue dans la modélisation des comportements, Mémoire d'actuariat, ENSAE.

NGOUANA G. (2019), Options de rachat et d'arbitrage : quels effets sur le bilan d'un assureur ? Mémoire d'actuariat, Université Paris-Dauphine.

TICHIT D. (2019), Construction d'un modèle ALM pour l'analyse de l'impact d'une remontée des taux sur la solvabilité d'un assureur vie Mémoire d'actuariat, ENSAE.

ZENNAF K. (2012), Modèles d'arbitrages dynamiques dans le cadre de produits d'assurance-vie multisupports, Mémoire d'actuariat, Université Paris-Dauphine.