

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

Par : Gaylord LEGRIS

Titre : Analyse de Sensibilités sur des Portefeuilles de Passifs en Assurance Vie selon les indicateurs Solvabilité 2 : Approche par Générations et Agrégations des portefeuilles

Confidentialité : ☒ NON ☐ (Durée : ☐ 1 an ☐ 2 ans)

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

*Membres présents du jury de Signature
l'Institut des Actuaires*

Entreprise :

Nom :

Signature :

*Directeur de mémoire en entre-
prise :*

Nom :

Signature :

*Membres présents du jury de
l'ISFA*

Invité :

Nom :

Signature :

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

Signature du responsable entreprise

Signature du candidat

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Remerciements	v
Synthèse	vi
Synthesis	vii
Introduction	viii
1 Contexte réglementaire et modélisation en assurance vie	1
1.1 Les spécificités des produits d'assurance vie épargne	2
1.1.1 Principes fondamentaux du contrat d'assurance vie	2
1.1.2 Les principaux supports d'investissement	2
1.1.3 Contexte économique et enjeux actuels	3
1.1.4 Les principaux supports d'investissement	3
1.2 Le cadre prudentiel Solvabilité II	4
1.2.1 Objectifs et structure de la norme	4
1.2.2 Le Pilier 1 : Exigences quantitatives	4
1.2.3 Le Pilier 2 : Exigences qualitatives et gouvernance	6
1.2.4 Le Pilier 3 : Exigences de reporting et transparence	6
1.3 La gestion Actif-Passif (ALM) : définitions et enjeux	7
1.4 Les Générateurs de Scénarios Économiques (GSE)	7
1.5 La représentation du passif : le concept de <i>Model Point</i>	8
1.5.1 La nécessité de l'agrégation	8
1.5.2 Du Model Point à la problématique du mémoire	8
2 Modernisation de l'Environnement de Modélisation ALM (ou sinon : Fondements Techniques et Outils de Modélisation)	9
2.1 Nécessité du générateur de portefeuille de passifs	9
2.1.1 Générer des données pour la simulation d'un nouveau produit	10
2.1.2 Simuler l'évolution du business mix pour orienter les politiques commerciale et de souscription	10

2.1.3	Simuler un portefeuille représentatif du marché pour l'analyse concurrentielle . . .	10
2.1.4	Description des contraintes techniques rencontrées	10
2.1.5	Méthodologie de génération des portefeuilles	11
2.1.6	Présentation de l'outil développé	11
2.2	Développement du Modèle ALM en Python	11
2.2.1	Présentation du modèle ALM développé pour Accenture	11
2.2.2	Fonctionnement du modèle ALM	12
2.2.3	Limites actuelles du modèle	13
2.3	Choix technologiques et environnement de développement	13
2.3.1	Migration vers des technologies modernes	13
2.3.2	Avantages d'un langage open-source	13
2.3.3	Utilisation d'un écosystème dynamique	14
3	Agrégations des portefeuilles de passifs	15
3.1	Méthodes d'Agrégation	15
3.1.1	Description des Méthodes	15
3.1.2	Optimisation du Nombre de Model Points	15
3.2	Tests et Analyse des Résultats	15
3.2.1	Présentation des Portefeuilles	15
3.2.2	Analyse des Résultats	15
3.2.3	Choix d'un Modèle	15
3.2.4	Compatibilité avec les Architectures Modernes	15
4	Tests de Sensibilités	16
4.1	Création de Portefeuilles de Passif Test	16
4.2	Description des modifications apportées au portefeuille	16
4.3	Agrégation des portefeuilles par la méthode précédemment choisie	16
4.4	Analyse des Sensibilités	16
4.5	Interprétation des Résultats	16
5	Conclusion	17
5.1	Résumé des résultats	17
5.1.1	Synthèse des principaux résultats obtenus	17
5.1.2	Impact des méthodes d'agrégation et des contraintes réglementaires sur les portefeuilles de passifs	17
5.2	Perspectives d'amélioration	17
5.2.1	Axes d'amélioration pour les générateurs de portefeuilles de passifs	17
5.2.2	Évolutions possibles des méthodes d'agrégation et de modélisation ALM	17
5.2.3	Autres domaines d'application des générateurs de portefeuilles de passifs	17
5.3	Conclusion générale	17
	Bibliographie	18



Résumé



Abstract



Remerciements



Synthèse



Synthesis

Introduction

Placement privilégié des épargnants français, l'assurance vie a atteint un encours record de 1 923 milliards d'euros à fin 2023 (France Assureurs), confirmant ainsi son rôle prépondérant dans le patrimoine financier national. Toutefois, ce secteur fait face à une rupture structurelle marquée par la fin du cycle de taux bas et la remontée brutale des taux d'intérêt observée depuis 2022. Le taux de revalorisation moyen des fonds en euros a ainsi atteint 2,6 % pour l'année 2023 (estimation ACPR), créant un paradigme nouveau. Cette mutation rend d'autres produits d'épargne plus attractifs et exerce une pression concurrentielle inédite sur les contrats d'assurance vie, notamment sur les fonds en euros qui subissent une décollecte nette significative (**pas sûr, faudra que je regarde la replay de l'analyse SFCR fait ya pas longtemps**). Pour les assureurs, le défi est de taille : leurs portefeuilles d'actifs, majoritairement constitués d'obligations acquises durant la longue période de taux bas, présentent une forte inertie. Cet héritage obligataire freine leur capacité à servir des rendements compétitifs et place la gestion actif-passif (ALM) au cœur des enjeux stratégiques.

Pour piloter leur bilan, les assureurs s'appuient sur des modèles ALM sophistiqués, essentiels pour simuler l'impact de différentes stratégies dans le cadre réglementaire de Solvabilité II. Cependant, la complexité de ces modèles et la nécessité de réaliser un grand nombre de simulations se heurtent à une contrainte opérationnelle majeure : le temps de calcul. Cette contrainte limite la capacité des assureurs à explorer en profondeur l'ensemble des risques et des opportunités. Face à cette réalité, une question centrale émerge : dans quelle mesure une agrégation des engagements de passif permet-elle de préserver la fidélité des indicateurs de risque tout en optimisant les temps de calcul ? Ce mémoire se propose d'investiguer cette problématique en étudiant l'impact de l'agrégation des portefeuilles de passifs. L'enjeu est de déterminer si une représentation plus grossière du passif peut suffire pour le pilotage stratégique et sous quelles conditions une telle simplification est valide, sans masquer des dynamiques de risque essentielles.

Pour répondre à cette problématique, ce mémoire adoptera une double approche. Premièrement, nous reconnaissons l'hétérogénéité des engagements, qui ont été souscrits dans des contextes de taux variés. Une approche par générations de passifs est donc essentielle pour distinguer les dynamiques propres à chaque cohorte de contrats. Cette démarche de génération de portefeuilles synthétiques est fondamentale pour tester en amont l'attractivité et la résilience de nouvelles offres.

Deuxièmement, l'analyse portera sur les effets de l'agrégation de ces différentes générations de passifs. L'objectif est de comprendre comment les risques se combinent et si des effets de portefeuille permettent une mutualisation. Ce mémoire ne se contentera pas d'analyser l'impact d'une seule méthode d'agrégation.

gation; au contraire, nous testerons et comparerons plusieurs approches. Le critère de sélection de la méthode la plus pertinente reposera sur un triple objectif : minimiser l'écart des indicateurs clés (notamment le Best Estimate et le SCR), optimiser la rapidité des calculs et atteindre le plus haut niveau d'agrégation possible qui garderait une significativité économique pour l'assureur suffisante.

L'axe principal de ce mémoire consistera donc à mener une analyse de sensibilités approfondie sur ces portefeuilles, qu'ils soient granulaires ou agrégés. Notre étude s'appuiera sur des indicateurs quantitatifs clés issus de la norme Solvabilité II, en évaluant notamment l'impact des chocs économiques sur le Solvency Capital Requirement (SCR) et la Present Value of Future Profits (PVFP) (**Je ne sais pas encore si je regarderai que ces indicateurs, je pense aussi regarder l'impact de chocs sur certains colonnes de l'input sur ce genre d'indicateurs aussi**). Ces métriques permettront de mesurer rigoureusement comment l'agrégation modifie la perception du risque et la valeur économique du portefeuille.

Ce mémoire s'articulera en quatre parties distinctes, chacune conçue pour apporter une réponse progressive et rigoureuse à notre problématique.

La **première partie** sera consacrée au cadre conceptuel de notre étude. Nous y détaillerons le contexte réglementaire de Solvabilité II, qui définit les exigences de capital et les métriques de risque, ainsi que les principes fondamentaux de la modélisation actif-passif (ALM). L'avantage de cette section est de fournir au lecteur les clés de compréhension essentielles pour appréhender les enjeux techniques et stratégiques du pilotage d'un bilan assurantiel.

La **deuxième partie** adoptera une approche pratique en se concentrant sur la mise en œuvre de notre environnement de simulation. Nous y décrirons la méthodologie de création des portefeuilles de passifs synthétiques, représentatifs de différentes générations de contrats, ainsi que les outils développés pour leur projection. Cette étape est cruciale car elle garantit la robustesse et la pertinence des analyses qui suivront, en créant un laboratoire d'expérimentation fiable.

La **troisième partie** constituera le cœur méthodologique de ce mémoire. Elle explorera et comparera de manière systématique plusieurs techniques d'agrégation des engagements de passif. L'objectif sera d'identifier les approches les plus prometteuses, en évaluant leur capacité à simplifier la structure du portefeuille sans dénaturer ses caractéristiques fondamentales. Cette analyse comparative permettra de mettre en lumière les forces et faiblesses de chaque méthode.

Enfin, la **quatrième partie** présentera et analysera les résultats de nos simulations. À travers des tests de sensibilité approfondis sur les indicateurs clés (SCR, PVFP), nous quantifierons l'impact de chaque méthode d'agrégation sur la perception du risque et la valeur économique. Cette analyse empirique nous permettra de conclure sur la validité des approches testées et de formuler des recommandations concrètes sur les conditions d'utilisation d'un passif agrégé pour un pilotage ALM à la fois efficace et optimisé.

Chapitre 1

Contexte réglementaire et modélisation en assurance vie

1.1 Les spécificités des produits d'assurance vie épargne

1.1.1 Principes fondamentaux du contrat d'assurance vie

L'assurance vie est une convention par laquelle un assureur, en contrepartie du versement de primes, s'engage à verser un capital ou une rente à la survenance d'un événement incertain lié à la durée de la vie humaine. Cet événement, qui constitue l'aléa au cœur du contrat, peut être le décès de l'assuré avant une date donnée ou, à l'inverse, sa survie jusqu'à cette date. Ce mécanisme repose sur un cycle de production inversé : l'assureur perçoit les primes bien avant de devoir potentiellement régler les prestations, ce qui l'amène à investir ces sommes sur des horizons de temps longs pour honorer ses engagements futurs.

La nature de ces engagements répond à des objectifs variés. Les contrats en cas de vie prévoient le versement d'un capital ou d'une rente à une échéance prévue si l'assuré est en vie ; ils sont typiquement utilisés pour se constituer un complément de retraite ou une épargne de précaution. À l'opposé, les contrats en cas de décès garantissent le versement d'un capital ou d'une rente au(x) bénéficiaire(s) désigné(s) au décès de l'assuré, souvent pour protéger des proches ou anticiper des droits de succession. Il existe également des contrats mixtes qui combinent ces deux garanties.

Le fonctionnement de ces contrats repose sur la capitalisation : les primes versées sont investies pour financer la propre couverture future de l'assuré. De par leur nature, ces engagements s'étendent sur de très longues périodes, conférant au passif de l'assureur une durée élevée, souvent supérieure à huit ans notamment pour des questions de fiscalité.

Une caractéristique fondamentale de l'assurance vie française est sa liquidité. L'assuré dispose de la possibilité de récupérer son épargne à tout moment via un rachat, qui peut être partiel ou total. Cette faculté de rachat constitue une option dont la valeur et le risque doivent être finement gérés par l'assureur, car son exercice a un impact direct sur la durée et les besoins de liquidité du portefeuille. La fiscalité joue un rôle incitatif majeur, les plus-values étant imposées plus lourdement si le rachat intervient avant la huitième année du contrat, encourageant ainsi l'épargne de long terme.

1.1.2 Les principaux supports d'investissement

L'épargne des assurés peut être investie sur deux principaux types de supports aux profils de risque distincts, qui peuvent être combinés au sein de différents types de contrats.

Le **fonds en euros** est le support historique et sécuritaire. Le risque financier y est intégralement porté par l'assureur, qui garantit à tout moment le capital investi. En conséquence, la politique d'investissement est prudente, majoritairement orientée vers des actifs peu risqués comme les obligations. Ce support est défini par plusieurs garanties :

- Le **taux technique** : un taux minimal de revalorisation garanti sur toute la durée du contrat, fixé à la souscription et soumis à un plafond réglementaire.
- Le **Taux Minimum Garanti (TMG)** : similaire au taux technique mais applicable sur une période plus courte (typiquement un ou deux ans).
- L'effet "cliquet" : il assure que les revalorisations annuelles, composées du TMG et de la **Participation aux Bénéfices (PB)**, sont définitivement acquises.

- La **Provision pour Participation aux Bénéfices (PPB)** : pour lisser les performances, une partie de la PB peut être mise en réserve dans cette provision, qui doit être redistribuée aux assurés dans un délai maximal de huit ans.

Les **unités de compte (UC)** offrent une exposition directe aux marchés financiers. Contrairement au fonds en euros, le risque d'investissement est entièrement porté par l'assuré. L'assureur ne garantit pas la valeur du capital, mais un nombre de parts d'actifs (OPCVM, actions, SCPI, etc.). La valeur de l'épargne fluctue ainsi au gré des marchés, offrant un potentiel de rendement supérieur à long terme, mais exposant également à un risque de perte en capital.

Ces supports sont proposés via deux grandes familles de contrats. Les contrats **monosupports** permettent d'investir sur un seul type de fonds (soit en euros, soit en UC). Les contrats **multisupports**, quant à eux, combinent au moins un fonds en euros et plusieurs supports en unités de compte, permettant à l'épargnant de répartir son investissement selon son profil de risque. **Dans le cadre de cette étude, le portefeuille analysé se compose de contrats multisupports avec une répartition représentative du marché français, soit approximativement 60 % en fonds euros et 40 % en unités de compte.**

1.1.3 Contexte économique et enjeux actuels

La gestion de ces produits d'épargne est devenue particulièrement complexe dans l'environnement économique récent. Après une longue période de taux d'intérêt historiquement bas, le secteur de l'assurance a dû s'adapter à un nouveau paradigme marqué par une volatilité accrue et des taux durablement plus élevés.

Cette transition a mis les assureurs en difficulté. Leurs portefeuilles obligataires, constitués en grande partie d'anciennes obligations à faible rendement, présentent une forte inertie. Face à ce stock historique, il leur est difficile de générer des rendements suffisants pour offrir des taux de revalorisation attractifs sur les fonds en euros, capables de concurrencer les nouveaux produits de marché. Cet enjeu de compétitivité, couplé aux exigences de rentabilité et de solvabilité, place la gestion actif-passif au cœur des problématiques actuelles, justifiant pleinement l'introduction du cadre réglementaire qui suit.

1.1.4 Les principaux supports d'investissement

L'épargne des assurés peut être investie sur deux principaux types de supports aux profils de risque distincts.

Le **fonds en euros** est le support historique et sécuritaire. Le risque financier y est intégralement porté par l'assureur, qui garantit à tout moment le capital investi. En conséquence, la politique d'investissement est prudente, majoritairement orientée vers des actifs peu risqués comme les obligations. Ce support est défini par deux garanties majeures : le *Taux Minimum Garanti* (TMG), fixé contractuellement, et l'effet "cliquet", qui assure que les revalorisations annuelles sont définitivement acquises. Au-delà du TMG, l'assureur a l'obligation de redistribuer une part de ses bénéfices techniques et financiers via la *Participation aux Bénéfices* (PB). Pour lisser les performances, une partie de cette PB peut être mise

en réserve dans une *Provision pour Participation aux Bénéfices* (PPB), qui doit être redistribuée aux assurés dans un délai maximal de huit ans.

Les **unités de compte (UC)** offrent une exposition directe aux marchés financiers. Contrairement au fonds en euros, le risque d'investissement est entièrement porté par l'assuré. L'assureur ne garantit pas la valeur du capital, mais un nombre de parts d'actifs (OPCVM, actions, SCPI, etc.). La valeur de l'épargne fluctue ainsi au gré des marchés, offrant un potentiel de rendement supérieur à long terme, mais exposant également à un risque de perte en capital.

1.2 Le cadre prudentiel Solvabilité II

1.2.1 Objectifs et structure de la norme

Entrée en vigueur en 2016, la directive Solvabilité II a pour objectif d'harmoniser le régime de solvabilité des assureurs au sein de l'Union Européenne, afin d'optimiser la protection des assurés. Elle instaure une approche économique et prospective, fondée sur une évaluation fine et individualisée des risques. Cette approche se décline en trois piliers interdépendants.

1.2.2 Le Pilier 1 : Exigences quantitatives

Le Pilier 1 définit les règles de calcul des provisions techniques et du capital de solvabilité. Il impose une valorisation des actifs et des passifs en vision *market-consistent*, c'est-à-dire cohérente avec leur valeur de marché, ce qui justifie l'utilisation d'un univers de projection risque neutre. Les principaux indicateurs réglementaires sont les suivants.

Le **Best Estimate (BE)**, ou *Best Estimate Liability* (BEL), représente la meilleure estimation de la valeur actuelle des flux de trésorerie futurs liés aux engagements d'assurance. Son calcul est réalisé dans l'hypothèse d'un portefeuille en extinction (*run-off*), c'est-à-dire sans l'ajout de nouveaux contrats. Il est obtenu par la moyenne des flux actualisés sur un grand nombre de simulations économiques stochastiques en univers risque neutre :

$$BEL = \mathbb{E}^{\mathbb{Q}} \left[\sum_{j=1}^T CF(j) \cdot e^{-\int_0^j r(s)ds} \right] \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \frac{CF_i(j)}{(1 + r_{i,j})^j} \quad (1.1)$$

Où N est le nombre de simulations, T l'horizon de projection, $CF_i(j)$ le flux de trésorerie net de l'année j pour la simulation i , et $r_{i,j}$ le taux d'actualisation sans risque pertinent.

La **Marge de Risque (Risk Margin - RM)** s'ajoute au Best Estimate pour couvrir le coût de détention du capital réglementaire associé aux risques non-financiers (ou non-couvrables). Elle est calculée selon une approche "Coût du Capital" (*Cost of Capital - CoC*), correspondant à la valeur actuelle des coûts futurs liés à l'immobilisation du capital réglementaire requis pour ces risques :

$$RM = CoC_{rate} \times \sum_{j=0}^T \frac{SCR_{non-fi}(j)}{(1 + r_{j+1})^{j+1}} \quad (1.2)$$

Où CoC_{rate} est le coût du capital (fixé à 6%), $SCR_{non-fi}(j)$ est la part du SCR couvrant les risques non-financiers à l'année j en *run-off*, et r_{j+1} est le taux sans risque à l'échéance $j + 1$.

Le **Solvency Capital Requirement (SCR)** est le montant de fonds propres (ou *Net Asset Value* - NAV) nécessaire pour faire face à une perte inattendue et sévère, calibré pour correspondre à une Value-at-Risk (VaR) à 99,5% à un horizon d'un an. En formule standard, son calcul suit une approche modulaire. Pour un risque élémentaire x , le SCR est défini comme la perte de fonds propres résultant de l'application d'un choc calibré :

$$SCR_x = NAV_{central} - NAV_{choc} \quad (1.3)$$

En partant de l'équation de bilan simplifiée $Actifs_{VM} = BE + RM + NAV$, et en supposant la Marge de Risque constante lors du choc, la perte de NAV est égale à la variation du surplus des actifs sur le BE :

$$SCR_x = (Actifs_{VM}^{central} - BE^{central}) - (Actifs_{VM}^{choc} - BE^{choc})$$

Pour les risques de passif purs (mortalité, longévité, rachat), le choc n'affecte par définition que les flux de passif. La valeur des actifs reste donc inchangée ($Actifs_{VM}^{central} = Actifs_{VM}^{choc}$), et la formule se simplifie en une variation de Best Estimate :

$$SCR_{passif} = BE^{choc} - BE^{central} = \Delta BE$$

En revanche, pour les risques de marché, le choc affecte à la fois les actifs et le passif (via les taux d'actualisation), rendant indispensable le calcul de la variation de la NAV dans sa totalité.

Les SCR des risques élémentaires sont ensuite agrégés en modules (marché, souscription, etc.) à l'aide de matrices de corrélation, puis ces modules sont à leur tour agrégés pour former le SCR final, après ajustement pour la capacité d'absorption des impôts et l'ajout du risque opérationnel.

$$SCR_{marché} = \sqrt{\sum_{i,j} \rho_{ij}^{marché} \cdot SCR_i \cdot SCR_j} \quad (1.4)$$

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} \rho_{ij}^{global} \cdot SCR_{module,i} \cdot SCR_{module,j}} \quad (1.5)$$

$$SCR = BSCR - Adj + SCR_{op} \quad (1.6)$$

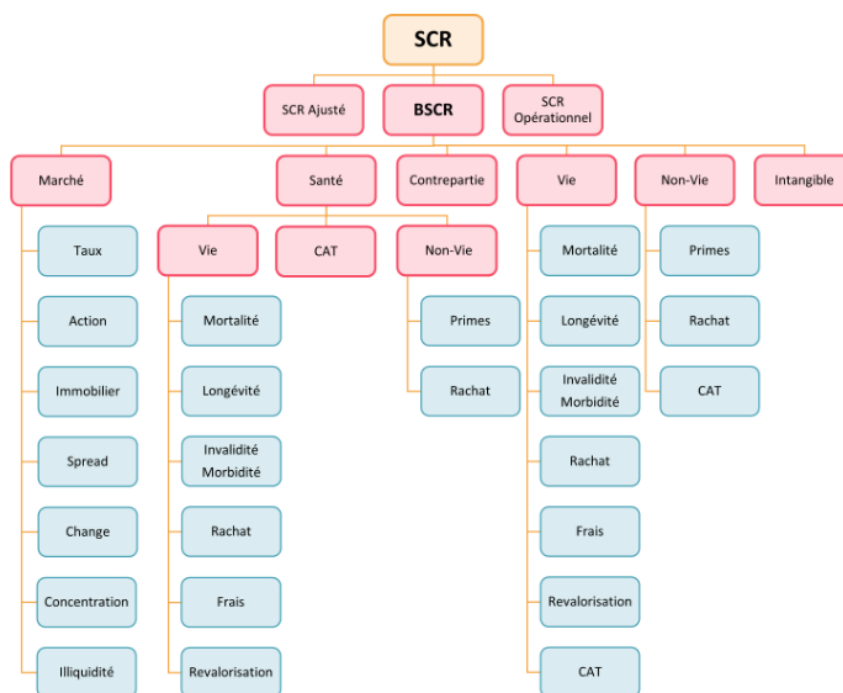


FIGURE 1.1 – Schéma des modules et sous-modules du SCR

1.2.3 Le Pilier 2 : Exigences qualitatives et gouvernance

Au-delà des exigences quantitatives, le Pilier 2 se concentre sur la supervision des risques et la gouvernance interne. Il impose aux assureurs de mettre en place un **système de gouvernance** efficace, incluant une structure organisationnelle transparente, des politiques écrites claires et un système de contrôle interne robuste. Ce système doit s'articuler autour de quatre **fonctions clés** indépendantes : la fonction actuarielle, la gestion des risques, l'audit interne et la conformité.

L'élément central du Pilier 2 est l'**ORSA** (*Own Risk and Solvency Assessment*). Il s'agit d'un processus interne et prospectif par lequel l'assureur évalue, sur un horizon de moyen terme (généralement 3 à 5 ans), l'adéquation entre son profil de risque spécifique, ses limites de tolérance au risque et ses besoins globaux en solvabilité, au regard de sa stratégie d'entreprise. L'ORSA n'est pas un simple exercice de calcul, mais un véritable outil de pilotage stratégique qui contraint l'assureur à analyser des scénarios et des risques qui lui sont propres, allant au-delà des exigences standard du Pilier 1.

1.2.4 Le Pilier 3 : Exigences de reporting et transparence

Le Pilier 3 vise à assurer la transparence et l'harmonisation de l'information financière à destination du public et des autorités de contrôle, complétant ainsi les deux premiers piliers par une obligation de communication rigoureuse.

D'une part, il instaure une **communication publique** à travers la publication annuelle d'un rapport sur la solvabilité et la situation financière, le *Solvency and Financial Condition Report* (SFCR). Ce

document public détaille la performance de l'entreprise, son système de gouvernance, son profil de risque, ainsi que les méthodes de valorisation et de gestion du capital utilisées.

D'autre part, il définit un **reporting au superviseur** beaucoup plus détaillé. Les assureurs doivent remettre périodiquement (trimestriellement et annuellement) des informations quantitatives granulaires via des formats standardisés, les *Quantitative Reporting Templates* (QRT). Ils soumettent également un rapport narratif confidentiel, le *Regular Supervisory Report* (RSR), ainsi que le rapport issu de leur processus ORSA, permettant à l'autorité de contrôle d'exercer sa mission de supervision.

1.3 La gestion Actif-Passif (ALM) : définitions et enjeux

La gestion Actif-Passif, ou *Asset-Liability Management* (ALM), est la discipline qui vise à piloter de manière coordonnée l'actif et le passif du bilan d'un assureur. L'enjeu fondamental de l'ALM découle directement du **cycle de production inversé** : les primes sont collectées et investies bien avant que les prestations ne soient versées. Ce décalage temporel crée une **inadéquation** (*mismatch*) structurelle entre les caractéristiques des actifs (soumis à la volatilité des marchés) et celles des passifs (de longue durée et parfois assortis de garanties).

L'objectif de l'ALM est donc de gérer activement les risques découlant de cette inadéquation, notamment le **risque de taux d'intérêt**, le **risque de liquidité** (lié aux rachats) et les **risques de marché** (actions, crédit), afin de s'assurer que les flux générés par les actifs seront suffisants pour honorer les engagements, tout en optimisant la rentabilité et en respectant les contraintes réglementaires.

Pour ce faire, les assureurs s'appuient sur des **modèles ALM** sophistiqués. Ces modèles simulent l'évolution conjointe de l'actif et du passif sur des horizons de temps longs (40 ans ou plus), sous une multitude de scénarios économiques. Ils intègrent les caractéristiques des portefeuilles, les lois de comportement des assurés (rachats, mortalité) et les règles de gestion de l'assureur (politique de PB, stratégie de couverture). Ces projections permettent d'évaluer l'impact de différentes stratégies et constituent un outil indispensable à la prise de décision.

1.4 Les Générateurs de Scénarios Économiques (GSE)

Le moteur de tout modèle ALM est le **Générateur de Scénarios Économiques (GSE)**, un outil mathématique qui simule de multiples trajectoires futures cohérentes pour un ensemble de variables économiques (taux d'intérêt, cours des actions, inflation, etc.). La robustesse des projections ALM dépend directement de la qualité du calibrage du GSE, qui s'appuie sur des données de marché à une date donnée. Deux cadres de projection distincts coexistent.

L'**univers Risque Neutre** (\mathbb{Q}) est un cadre de valorisation théorique, indispensable pour les calculs réglementaires *market-consistent* sous Solvabilité II. Sous l'hypothèse d'absence d'opportunité d'arbitrage, il existe une probabilité unique, dite "risque neutre", sous laquelle le rendement espéré de tout actif est égal au taux sans risque. Les prix actualisés des actifs y sont des martingales.

L'**univers Monde Réel** (\mathbb{P}) vise à représenter les anticipations réelles de l'évolution de l'économie. Les rendements espérés des actifs y intègrent des primes de risque (actions, crédit) pour rémunérer les investisseurs. Ce cadre est utilisé pour le pilotage stratégique, le *business plan* et les analyses prospectives de l'exercice ORSA.

1.5 La représentation du passif : le concept de *Model Point*

1.5.1 La nécessité de l'agrégation

Les portefeuilles d'assurance vie comptent souvent des centaines de milliers, voire des millions de polices. Une modélisation "police à police" est techniquement possible mais informatiquement irréalisable pour des calculs stochastiques complexes comme ceux requis par les modèles ALM. La charge de calcul deviendrait prohibitive. La simplification du portefeuille de passif n'est donc pas un choix, mais une contrainte opérationnelle fondamentale.

La réponse standard à cette contrainte est la création de **Model Points** (MP). Un MP est un contrat synthétique représentant un agrégat de polices partageant des caractéristiques homogènes. L'objectif est de réduire drastiquement le volume de données à traiter tout en préservant les propriétés actuarielles et financières essentielles du portefeuille complet. La qualité de la représentation dépend directement de la pertinence des critères de regroupement (caractéristiques du produit, de l'assuré, du contrat), souvent optimisés par des techniques de classification statistique (*clustering*).

1.5.2 Du Model Point à la problématique du mémoire

L'utilisation des *Model Points* constitue la méthode standard pour agréger le passif et rendre les modèles ALM opérationnels. Cependant, la manière dont ces groupes de contrats sont formés à partir des polices individuelles a un impact direct et significatif sur la valorisation des indicateurs réglementaires et leur sensibilité aux chocs.

La problématique centrale de ce mémoire est donc d'optimiser cette étape fondamentale de l'agrégation. En partant du portefeuille granulaire "police à police", nous cherchons à définir, comparer et tester différentes méthodes de regroupement pour créer des *Model Points*. L'objectif est de construire une méthodologie de simplification optimale, c'est-à-dire celle qui minimise l'erreur d'agrégation tout en garantissant la plus grande stabilité des indicateurs Solvabilité II (SCR, Marge de Risque, NAV) lors du calcul des différentes sensibilités. Cette section introductive pose donc les fondations de notre analyse : la simplification étant une nécessité, comment s'assurer que la méthode de regroupement choisie est la plus fidèle et la plus robuste possible ?

Chapitre 2

Modernisation de l'Environnement de Modélisation ALM (ou sinon : Fondements Techniques et Outils de Modélisation)

Introduction

La réalisation des analyses de sensibilités, cœur de ce mémoire, s'est heurtée à plusieurs défis techniques nécessitant le développement d'outils spécifiques et la modernisation de l'environnement de modélisation existant. Historiquement, le modèle ALM (Asset Liability Management) utilisé au sein d'Accenture reposait sur une architecture en VBA (Visual Basic for Applications). Or, pour des impératifs de performance, de maintenabilité et de flexibilité, la décision a été prise de développer un nouveau modèle en Python. Cette migration a été l'occasion de repenser l'architecture du modèle pour mieux répondre aux exigences de calcul complexes.

Parallèlement, un besoin fondamental est apparu : celui de disposer d'une grande variété de portefeuilles de passifs pour tester la robustesse du modèle et la pertinence des analyses. Pour un cabinet de conseil, l'accès aux données des clients n'est pas toujours possible et la capacité à générer des portefeuilles synthétiques, mais représentatifs du marché, est un atout stratégique majeur. C'est dans ce contexte qu'un générateur de portefeuilles de passifs a été conçu et développé.

Ce chapitre a donc pour vocation de présenter ces deux outils essentiels. Nous aborderons en premier lieu la conception du générateur de portefeuilles, en détaillant les besoins auxquels il répond et sa méthodologie. Dans un second temps, nous décrirons le nouveau modèle ALM en Python, son architecture, son fonctionnement et ses limites actuelles.

2.1 Nécessité du générateur de portefeuille de passifs

Un générateur de portefeuille de passifs est un outil permettant de créer des portefeuilles d'assurance vie synthétiques en simulant les caractéristiques des assurés et de leurs contrats. Le développement d'un

tel outil s'est imposé comme une nécessité pour plusieurs raisons stratégiques et analytiques, tant pour un cabinet de conseil que pour un organisme d'assurance.

2.1.1 Générer des données pour la simulation d'un nouveau produit

Le lancement d'un nouveau produit d'assurance vie est une décision stratégique majeure pour un assureur. Avant sa commercialisation, il est impératif d'évaluer ses impacts potentiels sur le profil de risque et la rentabilité de l'entreprise. Le générateur de portefeuille permet de simuler l'intégration de ce nouveau produit au sein d'un portefeuille existant. En générant des milliers de polices virtuelles conformes aux caractéristiques du nouveau produit, il devient possible de projeter leur comportement dans le temps et d'analyser leur effet sur les indicateurs clés de Solvabilité 2, tels que le *Best Estimate* (BE) et le *Solvency Capital Requirement* (SCR). Cet outil offre ainsi un laboratoire virtuel pour tester et ajuster les caractéristiques d'un produit avant même sa mise sur le marché.

2.1.2 Simuler l'évolution du business mix pour orienter les politiques commerciale et de souscription

La stratégie d'un assureur peut évoluer, l'amenant à modifier son *business mix*, c'est-à-dire la répartition de son portefeuille entre différents types de produits (épargne, prévoyance, etc.). Le générateur de portefeuille est un outil précieux pour la prise de décision stratégique. Il permet de simuler divers scénarios d'évolution du portefeuille : Quel serait l'impact d'une politique commerciale plus agressive sur les produits en unités de compte ? Comment une modification de la politique de souscription affecterait-elle la sinistralité et la rentabilité à long terme ? En générant des portefeuilles correspondant à ces différentes hypothèses, la direction peut visualiser les conséquences sur le bilan et le compte de résultat prévisionnels, et ainsi orienter plus efficacement ses politiques commerciale et de souscription.

2.1.3 Simuler un portefeuille représentatif du marché pour l'analyse concurrentielle

Pour une compagnie d'assurance, la capacité à se positionner par rapport au marché et à analyser la concurrence est fondamentale. Ne disposant pas des portefeuilles détaillés de ses concurrents, il est peut s'avérer nécessaire de pouvoir reconstituer des portefeuilles représentatifs. Grâce à des données publiques ou sectorielles, le générateur peut créer un portefeuille "moyen" du marché français, ou simuler le portefeuille d'un concurrent principal. Ces portefeuilles synthétiques servent de base pour des analyses comparatives (*benchmarking*), permettant d'évaluer la performance relative d'un concurrent, d'identifier les meilleures pratiques ou d'anticiper les stratégies des autres acteurs du marché.

2.1.4 Description des contraintes techniques rencontrées

La conception du générateur a soulevé plusieurs contraintes techniques. La première fut de garantir le réalisme des portefeuilles générés. Il ne s'agit pas simplement de créer des données aléatoires, mais de reproduire les corrélations observées dans la réalité (par exemple, entre l'âge de l'assuré et le montant des primes). Une autre contrainte était liée à la volumétrie : l'outil devait être capable de générer des portefeuilles de plusieurs millions de lignes de manière performante. Enfin, la flexibilité était un critère

essentiel ; l'outil devait permettre de paramétrer finement les caractéristiques des produits à simuler et les lois de comportement (rachat, mortalité) associées.

2.1.5 Méthodologie de génération des portefeuilles

La méthodologie adoptée repose sur une approche stochastique. Pour chaque caractéristique clé d'un contrat (âge de l'assuré, montant de la provision mathématique, type de support, etc.), une loi de probabilité a été définie et calibrée à partir de données de marché. L'outil génère ensuite, ligne par ligne, des assurés virtuels en tirant aléatoirement des valeurs selon ces distributions. Pour modéliser les dépendances entre les variables, des techniques de copules ont été envisagées afin de garantir la cohérence et le réalisme des profils générés. Le résultat est un portefeuille granulaire, au contrat près, qui peut ensuite être agrégé en *model points* pour être utilisé dans le modèle de projection ALM. **Il faut que je parle plus en détail de la méthodologie de génération des portefeuilles, notamment sur les lois statistiques utilisées et les techniques de copules. Cela pourrait être une sous-section assez grosse à part entière. A l'heure actuelle, aucune méthode utilisant des copules n'est implémentée, si ce n'est pas trop complexe il faut que je la programme. Sinon, il faut que je dise que je ne le fais pas à l'heure actuelle mais que c'est une piste d'amélioration pertinente.**

2.1.6 Présentation de l'outil développé

L'outil final se présente comme une application développée en Python, dotée d'une interface permettant à l'utilisateur de paramétrer la simulation. Les entrées principales sont :

- Les caractéristiques du ou des produits à simuler (type de garantie, chargements, etc.).
- Les paramètres des lois statistiques pour chaque variable (âge, sexe, montant, etc.).
- La taille du portefeuille souhaité.
- Les lois de comportement (tables de mortalité, formules de rachat).

En sortie, l'outil produit un fichier standardisé contenant le portefeuille de passifs généré, directement exploitable par le modèle ALM.

2.2 Développement du Modèle ALM en Python

La transition d'un modèle ALM de VBA vers Python a été motivée par la recherche de performance, de maintenabilité et de modularité. Le langage Python, avec son écosystème de bibliothèques scientifiques comme *NumPy*, *Pandas* ou *Polars*, offre un cadre de développement beaucoup plus robuste et performant pour des calculs actuariels intensifs.

2.2.1 Présentation du modèle ALM développé pour Accenture

Le modèle ALM a pour objectif principal de projeter l'ensemble des actifs et des passifs d'un assureur sur un horizon de long terme (typiquement 40 à 60 ans), sous un grand nombre de scénarios économiques stochastiques. Ces projections permettent de calculer les indicateurs prudentiels requis par la directive Solvabilité 2, notamment le BE et le SCR. Le modèle se veut un outil de pilotage stratégique,

capable de simuler l'impact de différentes stratégies de gestion d'actifs, de politiques de souscription ou de participation aux bénéfices.

2.2.2 Fonctionnement du modèle ALM

Fonctionnement général du modèle

Le modèle opère de manière itérative, année par année, pour chaque scénario économique. À chaque pas de temps, il simule l'ensemble des flux financiers et des opérations de bilan. Le processus global peut être résumé comme suit :

1. **Entrées** : Le modèle prend en entrée le portefeuille de passifs (issu du générateur ou d'un client), le portefeuille d'actifs, un set de scénarios économiques (ESG), et les règles de gestion (stratégie d'investissement, politique de PB, etc.).
2. **Moteur de projection** : Pour chaque année et chaque scénario, le moteur calcule les flux de passifs, les flux d'actifs, et applique les décisions de gestion.
3. **Sorties** : En fin de projection, le modèle génère des comptes de résultat et des bilans prévisionnels pour chaque scénario, qui sont ensuite utilisés pour calculer les indicateurs S2 par agrégation et analyse statistique.

Fonctionnement du passif

La projection du passif consiste à simuler l'évolution du portefeuille de contrats. À chaque pas de temps, le modèle calcule :

- Les primes encaissées.
- Les prestations versées (décès, rachats, rentes).
- Les chargements et frais prélevés.
- L'évolution des provisions mathématiques, en tenant compte de la revalorisation issue de la participation aux bénéfices.

Les flux de prestations sont déterminés par l'application des lois de comportement (mortalité, rachat) sur le portefeuille des assurés survivants.

Fonctionnement de l'actif

Simultanément, le modèle projette la valeur du portefeuille d'actifs. Pour chaque classe d'actifs (actions, obligations, immobilier, etc.), il calcule :

- L'évolution de la valeur de marché, en fonction des indices fournis par le scénario économique.
- Les revenus générés (dividendes, coupons, loyers).

Le modèle gère également le réinvestissement des flux de trésorerie et les opérations d'achat/vente décidées par la stratégie d'investissement.

Fonctionnement de la stratégie d'investissement

La stratégie d'investissement est un ensemble de règles qui dictent la manière dont l'actif est géré. Le modèle implémente une allocation stratégique cible (*Strategic Asset Allocation* - SAA). Chaque année,

il compare l'allocation réelle du portefeuille à l'allocation cible et déclenche des opérations d'achat ou de vente pour réduire l'écart, dans le respect des contraintes de liquidité et de transaction.

Fonctionnement de la stratégie ALM et de la politique de PB

Le cœur du modèle ALM est l'interaction entre l'actif et le passif. Le résultat financier généré par l'actif est utilisé pour déterminer la revalorisation servie aux assurés. La politique de Participation aux Bénéfices (PB) est une fonction clé qui répartit la performance financière entre l'assureur et les assurés, dans le respect des engagements contractuels et réglementaires. Le modèle simule la constitution et la reprise de la Provision pour Participation aux Bénéfices (PPB), qui permet de lisser les taux servis dans le temps.

2.2.3 Limites actuelles du modèle

Malgré sa robustesse, le modèle actuel présente certaines limites. Les règles de gestion, notamment la stratégie d'investissement, sont encore modélisées de manière relativement statique et ne réagissent pas toujours de façon dynamique aux conditions de marché extrêmes. De plus, la granularité de certains modules pourrait être affinée, notamment en ce qui concerne la modélisation des frais ou des impôts. Enfin, bien que les performances aient été grandement améliorées par rapport à la version VBA, les temps de calcul pour des portefeuilles très volumineux sur des milliers de scénarios restent un défi et une piste d'optimisation continue.

2.3 Choix technologiques et environnement de développement

Le passage de VBA à un écosystème Python n'est pas anodin ; il reflète une orientation stratégique vers des technologies plus modernes, ouvertes et performantes, mieux adaptées aux défis du "Big Data" et des calculs intensifs en actuariat.

2.3.1 Migration vers des technologies modernes

L'environnement Excel/VBA, bien que très répandu, montre ses limites face à la complexité et à la volumétrie des modèles ALM modernes. La migration vers Python a permis de s'affranchir des limitations de mémoire et de performance d'Excel, tout en bénéficiant d'un langage structuré favorisant la qualité du code, la modularité et les tests automatisés, ce qui est un gage de maintenabilité et de fiabilité à long terme.

2.3.2 Avantages d'un langage open-source

Le choix de Python, un langage *open-source*, présente des avantages considérables. D'un point de vue financier, il élimine les coûts de licence associés à de nombreux logiciels propriétaires. Plus important encore, il donne accès à une communauté mondiale de développeurs et de scientifiques, qui contribuent à un écosystème de bibliothèques extrêmement riche et en constante évolution. Cette effervescence garantit un accès permanent aux algorithmes et aux techniques les plus récents.

2.3.3 Utilisation d'un écosystème dynamique

Le projet s'est appuyé sur des librairies de pointe pour la manipulation de données et le calcul scientifique. En particulier, l'utilisation de la librairie *Polars* (ou alternativement *Pandas*), écrite en Rust, a permis d'atteindre des niveaux de performance très élevés pour le traitement de grands volumes de données, dépassant de loin les capacités des outils traditionnels. Le fait que ces outils soient mis à jour très fréquemment par la communauté garantit que le modèle bénéficie en permanence des dernières optimisations et fonctionnalités.

Chapitre 3

Agrégations des portefeuilles de passifs

3.1 Méthodes d'Agrégation

3.1.1 Description des Méthodes

Description technique détaillée des principales méthodes d'agrégation utilisées à ce jour (MP par âge, K-means, MP Amine, DBSCAN/HDBSCAN, distance dans l'évolution des portefeuilles).

3.1.2 Optimisation du Nombre de Model Points

Dans quelle mesure est-il possible d'optimiser le nombre de Model Points en sortie pour avoir un portefeuille léger mais représentatif ?

3.2 Tests et Analyse des Résultats

3.2.1 Présentation des Portefeuilles

Présentation des différents portefeuilles utilisés pour les tests.

3.2.2 Analyse des Résultats

Analyse des résultats obtenus et des différences de performance.

3.2.3 Choix d'un Modèle

Choix d'un modèle par rapport aux critères d'évaluation (BE, SCR, temps de calcul).

3.2.4 Compatibilité avec les Architectures Modernes

Fonctionne bien sur des architectures modernes (PC portable) ?

Chapitre 4

Tests de Sensibilités

4.1 Création de Portefeuilles de Passif Test

Les portefeuilles sont créés pour réaliser différentes sensibilités.

4.2 Description des modifications apportées au portefeuille

Choc positif et négatif sur différentes variables. Ajout d'un produit au portefeuille (nombre de lignes, stats de PM, âge, etc.).

4.3 Agrégation des portefeuilles par la méthode précédemment choisie

Analyse brève des portefeuilles agrégés. Observe-t-on les chocs sur ces agrégations ?

4.4 Analyse des Sensibilités

Analyse des résultats issus du modèle ALM en fonction des différentes modifications et sensibilités effectuées.

4.5 Interprétation des Résultats

Dans quelle mesure le générateur fonctionne bien ? Quels sont les différences observées ?

Chapitre 5

Conclusion

5.1 Résumé des résultats

5.1.1 Synthèse des principaux résultats obtenus

5.1.2 Impact des méthodes d'agrégation et des contraintes réglementaires sur les portefeuilles de passifs

5.2 Perspectives d'amélioration

5.2.1 Axes d'amélioration pour les générateurs de portefeuilles de passifs

5.2.2 Évolutions possibles des méthodes d'agrégation et de modélisation ALM

5.2.3 Autres domaines d'application des générateurs de portefeuilles de passifs

5.3 Conclusion générale

Bibliographie

- [1] NOM Prénom. *Titre du livre en italique*. Lieu d'édition : Nom de l'éditeur, Année.
- [2] NOM Prénom. « Titre de l'article entre guillemets ». *Titre de la revue en italique*, volume X, numéro Y, saison Année, p. 123-456.
- [3] AUTEUR ou ORGANISME. *Titre de la page ou du document*. (date de publication ou de mise à jour). Consulté le JJ mois AAAA, sur <https://www.exemple.com/lien-vers-la-page>
- [4] NOM Prénom et NOM Prénom. *Titre du rapport*. Type de rapport (e.g. Rapport de recherche), Organisme/Université, Année.