

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	1
1.1.1 Principes fondamentaux du contrat d'assurance vie	1
1.1.2 Les principaux supports d'investissement	2
1.2 Le cadre prudentiel Solvabilité II	3
1.2.1 Objectifs et structure de la norme	3
1.2.2 Le Pilier 1 : Les exigences quantitatives	3
1.2.3 Les Piliers 2 et 3 : Gouvernance et Transparence	4
1.3 La gestion Actif-Passif (ALM) : définitions et enjeux	5
1.3.1 Définition et objectifs	5
1.3.2 La dynamique ALM en assurance vie	5
1.3.3 Les modèles ALM, outils de pilotage stratégique	5
1.4 Les Générateurs de Scénarios Économiques (GSE)	6
1.4.1 Rôle et fonctionnement	6
1.4.2 Les deux cadres de projection : Risque Neutre vs Monde Réel	6
1.5 La représentation du passif : le concept de <i>Model Point</i>	6
1.5.1 Définition et rôle	6
1.5.2 La nécessité de l'agrégation : de la police au Model Point	6
1.5.3 Principes de construction	7
1.5.4 Du Model Point à la problématique du mémoire	7
2 Contraintes techniques et création d'outils	8
2.1 Nécessité du générateur de portefeuille passif	8
2.1.1 Besoin de générer des données pour simuler un nouveau produit	8
2.1.2 Simuler différentes évolutions du business mix pour orienter politique de souscription/politique commerciale.	8
2.1.3 Simuler un portefeuille représentatif du marché ou composé des principaux concurrents pour se positionner.	8
2.2 Contraintes techniques associées	8
2.2.1 Mise à jour sur des outils plus récents	8
2.2.2 langage open source, permet de s'écarter des problématiques financières (coût de licence).	8
2.2.3 Travail sur des outils mis à jour fréquemment (Python, Polars).	8
2.3 Développement du Modèle ALM en Python	8

2.3.1	Présentation du modèle ALM développé pour Accenture	8
2.3.2	Fonctionnement du modèle et apprentissage personnel.	8
2.3.3	Limites du modèle à l'heure actuelle.	8
2.4	Générateur de portefeuille de passif	8
2.4.1	Description des contraintes techniques rencontrées	8
2.4.2	Description du générateur de modèle point	8
2.4.3	Importance pour un cabinet de conseil et assurance des clients.	8
3	Agrégations des portefeuilles de passifs	9
3.1	Méthodes d'Agrégation	9
3.1.1	Description des Méthodes	9
3.1.2	Optimisation du Nombre de Model Points	9
3.2	Tests et Analyse des Résultats	9
3.2.1	Présentation des Portefeuilles	9
3.2.2	Analyse des Résultats	9
3.2.3	Choix d'un Modèle	9
3.2.4	Compatibilité avec les Architectures Modernes	9
4	Tests de Sensibilités	10
4.1	Création de Portefeuilles de Passif Test	10
4.2	Description des modifications apportées au portefeuille	10
4.3	Agrégation des portefeuilles par la méthode précédemment choisie	10
4.4	Analyse des Sensibilités	10
4.5	Interprétation des Résultats	10
5	Conclusion	11
5.1	Résumé des résultats	11
5.1.1	Synthèse des principaux résultats obtenus	11
5.1.2	Impact des méthodes d'agrégation et des contraintes réglementaires sur les portefeuilles de passifs	11
5.2	Perspectives d'amélioration	11
5.2.1	Axes d'amélioration pour les générateurs de portefeuilles de passifs	11
5.2.2	Évolutions possibles des méthodes d'agrégation et de modélisation ALM	11
5.2.3	Autres domaines d'application des générateurs de portefeuilles de passifs	11
5.3	Conclusion générale	11

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 ; 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

- **Définition et aléa actuariel** : L'assurance vie est une convention par laquelle un assureur, en contrepartie du versement d'une prime, s'engage à verser un capital ou une rente lorsque survient un événement incertain lié à la durée de la vie humaine de l'assuré.
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.
- **Nature des engagements** : Les contrats couvrent différents types de risques et répondent à des objectifs variés.
 - **En cas de vie** : Versement d'un capital ou d'une rente à une date prévue si l'assuré est en vie. Ce type de contrat est souvent utilisé pour se constituer un complément de retraite ou une épargne de précaution.
 - **En cas de décès** : Versement d'un capital ou d'une rente au(x) bénéficiaire(s) désigné(s) au décès de l'assuré. Cette garantie est fréquemment souscrite pour protéger ses proches, couvrir un emprunt ou anticiper les droits de succession.
 - **Mixte** : Combinaison des deux garanties précédentes, permettant de constituer une épargne tout en assurant la transmission d'un capital en cas de décès.
- **Fonctionnement par capitalisation et duration longue** : Les contrats fonctionnent par **capitalisation**, c'est-à-dire que les primes versées par l'assuré sont investies pour financer sa propre couverture future.
De par leur nature, ces contrats induisent des engagements sur une période très longue, conférant au passif de l'assureur une duration élevée, souvent estimée autour de 10 ans.
- **Liquidité, option de rachat et fiscalité** : Une caractéristique fondamentale de l'assurance vie est sa liquidité. L'assuré dispose de la possibilité de récupérer son épargne à tout moment, avant le terme prévu, via un **rachat** qui peut être partiel ou total.
Cette faculté de rachat constitue une option dont la valeur et le risque doivent être gérés par l'assureur, car elle a un impact direct sur la duration et les besoins de liquidité du portefeuille.
La **fiscalité** joue un rôle incitatif majeur : les plus-values générées sont 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

- **Le fonds en euros** : Support historique et sécuritaire, il constitue le pilier de l'assurance vie traditionnelle.
- **Transfert du risque à l'assureur** : Le risque financier est intégralement porté par l'assureur, qui garantit à tout moment le capital investi par l'épargnant. En conséquence, la politique d'investissement est prudente, majoritairement orientée vers des actifs peu risqués comme les obligations d'État et d'entreprises.
- **Garanties et revalorisation** : Le fonds en euros est défini par deux garanties majeures. D'une part, le *Taux Minimum Garanti* (TMG), fixé contractuellement, assure une revalorisation minimale. D'autre part, l'effet "cliquet" garantit que les revalorisations annuelles sont définitivement acquises et intégrées dans le montant de Provision Mathématiques (PM) et ne peuvent être remises en cause par des performances futures négatives.
- **Participation aux Bénéfices (PB)** : Au-delà du TMG, l'assureur a l'obligation de redistribuer une part significative de ses bénéfices techniques et financiers. Pour lisser les performances dans le temps, une partie de cette PB peut être mise en réserve dans une *Provision pour Participation aux Bénéfices* (PPB) ou également *Provision pour Participation aux Excedents* (PPE), qui doit être redistribuée aux assurés dans un délai maximal de 8 ans.
- **Les unités de compte (UC)** : Support alternatif offrant une exposition directe aux marchés financiers.
- **Transfert du risque à l'assuré** : 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.).
- **Potentiel de rendement et volatilité** : La valeur de l'épargne fluctue quotidiennement au gré des marchés financiers. Ce mécanisme offre un potentiel de rendement supérieur à long terme, mais expose également à un risque de perte en capital.

1.2 Le cadre prudentiel Solvabilité II

1.2.1 Objectifs et structure de la norme

- **Harmonisation et protection** : L'objectif principal de Solvabilité II est d'harmoniser le régime de solvabilité des assureurs au sein de l'Union Européenne, afin d'optimiser la protection des assurés et des bénéficiaires.
- **Approche par les risques** : La norme instaure une approche économique et prospective, fondée sur une évaluation fine des risques auxquels un assureur est exposé.
- **Structure en trois piliers** : Cette approche se décline en trois piliers interdépendants qui couvrent l'ensemble des aspects de la gestion d'une compagnie d'assurance.

1.2.2 Le Pilier 1 : Les 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.

- **Le Best Estimate (BE)** : Aussi appelé Best Estimate Liability, il représente la meilleure estimation de la valeur actuelle des flux de trésorerie futurs nécessaires pour faire face aux engagements d'assurance. Il est calculé en *run-off*, c'est à dire dans l'hypothèse où le portefeuille d'engagements est en ne prend pas de nouveau contrat (ou *New Business*) et donc qu'on écoule tous les contrats actuels. Son calcul est stochastique, réalisé dans un univers risque neutre, et s'obtient en faisant la moyenne des flux actualisés sur un grand nombre de simulations économiques. Il se calcule de la manière suivante :

$$BEL = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \frac{CF_i(j)}{(1 + r_{i,j})^j} \quad (1.1)$$

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 pour l'année j dans la simulation i .

- **La Marge de Risque (Risk Margin - RM)** : C'est une provision qui vient s'ajouter en plus du Best Estimate. Elle sert à représenter les risques non financiers portés au bilan. Elle se calcule selon une approche "Coût du Capital" (*Cost of Capital ou CoC*), cela signifie qu'elle est définie par la valeur actuelle de l'immobilisation du capital sur chaque période au CoC :

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

Où CoC_{rate} est le coût du capital (fixé à 6%), $SCR(j)$ est le SCR de l'année j en hypothèse de portefeuille en extinction (*run-off*), et r_{j+1} est le taux sans risque à l'échéance $j + 1$.

- **Le Solvency Capital Requirement (SCR)** : Il s'agit du montant de fonds propres (ou *NAV*, *Net Asset Value*) nécessaire pour faire face à une perte inattendue et sévère, avec une probabilité de ruine de 0,5% à horizon un an (correspondant à une Value-at-Risk à 99,5%). Le calcul en formule standard suit une approche modulaire :
- **Calcul par chocs** : Le SCR pour un risque élémentaire x est défini comme la perte de fonds propres (*NAV*) résultant de l'application d'un choc calibré et prédéfini par le régulateur.

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

En partant de l'équation de bilan simplifiée $Actifs_{VM} = BE + RM + NAV$, et en supposant la Marge de Risque (RM) constante lors du choc, on peut montrer que 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. Dans ce cas, la valeur des actifs reste inchangée ($Actifs_{VM}^{central} = Actifs_{VM}^{choc}$), et la formule se simplifie :

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

Pour ces risques, le SCR correspond donc bien à la variation du Best Estimate. En revanche, pour les risques de marché, le choc affecte à la fois les actifs et le passif (via les taux d'actualisation), et il est indispensable de calculer la variation de la NAV dans sa totalité.

- **Agrégation des modules :** Les SCR des risques élémentaires sont ensuite agrégés pour former des modules de risque (marché, souscription, etc.) en utilisant des matrices de corrélation. Par exemple, pour le risque de marché :

$$SCR_{march} = \sqrt{\sum_{(i,j)} \rho_{ij} \times SCR_i \times SCR_j} \quad (1.4)$$

Où ρ_{ij} est le coefficient de corrélation entre les sous-modules de risques de marché i et j .

- **Calcul du SCR total :** Les principaux modules de risque sont à leur tour agrégés pour former le SCR de base (BSCR), qui, ajusté de la capacité d'absorption des impôts et augmenté du risque opérationnel, donne le SCR final.

$$BSCR = \sqrt{\sum_{(i,j)} \rho_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} + SCR_{intangible} \quad (1.5)$$

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

1.2.3 Les Piliers 2 et 3 : Gouvernance et Transparence

Au-delà des exigences quantitatives, Solvabilité II impose un cadre qualitatif et de communication rigoureux.

- **Pilier 2 - Exigences qualitatives :** Ce pilier se concentre sur la supervision des risques et la gouvernance interne des organismes d'assurance.
 - **Système de gouvernance :** L'assureur doit mettre en place une structure organisationnelle transparente et un système de contrôle interne efficace. Cela inclut la mise en place de politiques écrites et la définition de quatre fonctions clés indépendantes : la fonction actuarielle, la gestion des risques, l'audit interne et la conformité.
 - **L'ORSA (Own Risk and Solvency Assessment) :** Il s'agit de l'élément central du Pilier 2. L'ORSA est un processus interne 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. C'est un outil de pilotage stratégique qui va au-delà des exigences du Pilier 1, en considérant des scénarios et des risques propres à l'entreprise.
- **Pilier 3 - Exigences de reporting :** Ce pilier vise à assurer la transparence et l'harmonisation de l'information financière à destination du public et des autorités de contrôle.
 - **Communication publique :** Les assureurs doivent publier annuellement un rapport sur leur solvabilité et leur situation financière, le *Solvency and Financial Condition Report* (SFCR). Ce document public détaille la performance, le système de gouvernance, le profil de risque, ainsi que les méthodes de valorisation et de gestion du capital.
 - **Reporting au superviseur :** Les assureurs doivent remettre périodiquement (trimestriellement et annuellement) des informations quantitatives détaillées aux autorités de contrôle via des formats standardisés, les *Quantitative Reporting Templates* (QRT). Ils soumettent également un rapport narratif plus détaillé et confidentiel, le *Regular Supervisory Report* (RSR), ainsi que le rapport issu de leur processus ORSA.

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

1.3.1 Définition et objectifs

- La gestion Actif-Passif, ou *Asset-Liability Management* (ALM), est le processus continu de formulation, de mise en œuvre, de suivi et de révision des stratégies liées à l'actif et au passif afin d'atteindre les objectifs financiers d'un assureur, pour un ensemble donné de tolérances et de contraintes en matière de risque.
- L'enjeu fondamental de l'ALM provient du **cycle de production inversé** de l'assurance : les primes sont collectées et investies bien avant que les prestations futures ne soient versées. Cette particularité crée un décalage temporel et une asymétrie de risque entre les actifs détenus par l'assureur et ses engagements de passif.
- L'objectif principal est donc de piloter le bilan de manière coordonnée pour s'assurer que les flux financiers générés par les actifs seront suffisants, en toute circonstance, pour honorer les flux de prestations promis aux assurés, tout en optimisant la rentabilité et en respectant les exigences réglementaires.

1.3.2 La dynamique ALM en assurance vie

- Le processus ALM peut être schématisé comme une boucle dynamique. Un montant initial, provenant des primes, est alloué à un portefeuille d'actifs diversifiés (obligations, actions, immobilier, etc.). Ces investissements génèrent des rendements (coupons, dividendes, plus-values) qui viennent abonder le capital initial. Ce montant total est ensuite utilisé pour payer les prestations de l'année (rachats, sinistres décès, rentes). Le solde est réinvesti, et le processus se répète sur toute la durée de vie du portefeuille.
- Le cœur du problème ALM réside dans la gestion de **l'inadéquation** (*mismatch*) entre les caractéristiques de l'actif et du passif. Les passifs d'assurance vie sont souvent de longue durée, parfois assortis de garanties de taux ou de capital, et leur comportement peut être sensible à des facteurs économiques et comportementaux. Les actifs, quant à eux, sont sujets à la volatilité des marchés financiers.
- L'ALM vise donc à gérer activement les risques découlant de cette inadéquation, notamment :
 - Le **risque de taux d'intérêt**, qui affecte la valeur des obligations à l'actif et le coût des garanties au passif.
 - Le **risque de liquidité**, lié à la capacité de faire face à une vague de rachats imprévue.
 - Les **risques de marché** (actions, immobilier, crédit), qui impactent directement la valeur du portefeuille d'actifs.

1.3.3 Les modèles ALM, outils de pilotage stratégique

- Pour mettre en œuvre des stratégies ALM, les assureurs s'appuient sur des modèles de projection 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.
- Un modèle ALM intègre typiquement : les scénarios économiques issus d'un GSE (Générateur de Scénarios Économiques), les caractéristiques du portefeuille d'actifs et sa stratégie d'investissement, les caractéristiques du portefeuille de passifs (soit les contrats d'assurance vie ou les Model Points associés à des contrats), les lois de comportement du passif (rachats, mortalité), ainsi que les règles de gestion de l'assureur (politique de participation aux bénéfices, stratégie de couverture).
- Ces projections permettent de calculer la distribution future d'indicateurs clés de risque et de rentabilité (SCR, NAV, PVFP, etc.) et ainsi d'évaluer l'impact de différentes stratégies d'allocation d'actifs ou de conception de produits, devenant un outil indispensable au pilotage et à la prise de décision stratégique.

1.4 Les Générateurs de Scénarios Économiques (GSE)

1.4.1 Rôle et fonctionnement

- Un Générateur de Scénarios Économiques (GSE) est un outil mathématique et informatique qui permet de simuler de multiples trajectoires futures cohérentes pour un ensemble de variables économiques et financières (taux d'intérêt, cours des actions, indices immobiliers, inflation, etc.).
- Il constitue le moteur des modèles ALM, en fournissant les environnements économiques dans lesquels le bilan de l'assureur est projeté. La qualité des projections ALM dépend donc directement de la robustesse et du bon calibrage du GSE.
- Le calibrage du GSE s'appuie sur des données de marché à une date donnée (courbe des taux, volatilités implicites des options) ainsi que sur des données historiques pour estimer les paramètres des modèles stochastiques sous-jacents.

1.4.2 Les deux cadres de projection : Risque Neutre vs Monde Réel

- **L'univers Risque Neutre (\mathbb{Q})** : Il s'agit d'un cadre de valorisation théorique, indispensable pour les calculs réglementaires sous Solvabilité II.
 - **Objectif** : Assurer une valorisation *market-consistent*, c'est-à-dire que les prix des instruments financiers calculés par le modèle doivent correspondre aux prix observés sur le marché.
 - **Hypothèses clés** : Absence d'opportunité d'arbitrage (AOA) et complétude des marchés. Sous ces hypothèses, il existe une probabilité unique, dite "risque neutre", sous laquelle le rendement espéré de tout actif financier est égal au taux d'intérêt sans risque.
 - **Propriété fondamentale** : Les prix actualisés des actifs sont des martingales sous la probabilité \mathbb{Q} . Cela signifie que la meilleure estimation de la valeur future actualisée d'un actif est sa valeur actuelle.
- **L'univers Monde Réel (\mathbb{P})** : Ce cadre vise à représenter les anticipations réelles de l'évolution de l'économie.
 - **Objectif** : Servir au pilotage stratégique de l'entreprise, à la définition du *business plan* et à l'analyse de la rentabilité économique future.
 - **Hypothèses clés** : Les rendements espérés des actifs intègrent des primes de risque (prime de risque action, prime de crédit, etc.) pour rémunérer les investisseurs du risque qu'ils portent. Ces primes sont estimées à partir de données historiques ou d'anticipations d'experts.
 - **Utilisation** : Les projections en monde réel permettent de construire des visions centrales et des scénarios de stress pour l'exercice ORSA.

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

1.5.1 Définition et rôle

- Un *Model Point* (MP) est un agrégat de contrats d'assurance qui partagent des caractéristiques similaires. Il constitue une représentation synthétique et fidèle d'un sous-ensemble du portefeuille de passif.
- Son rôle est de permettre la modélisation de portefeuilles de grande taille en réduisant la complexité et le volume des données à traiter, tout en préservant les propriétés actuarielles et financières essentielles du portefeuille complet.

1.5.2 La nécessité de l'agrégation : de la police au Model Point

- Les portefeuilles d'assurance vie comptent souvent des centaines de milliers, voire des millions de polices individuelles. Une modélisation "police à police" est techniquement possible mais informatiquement irréalisable pour des calculs stochastiques complexes.
- La charge de calcul deviendrait prohibitive, notamment pour les projections ALM qui requièrent des milliers de simulations sur des horizons de plusieurs décennies. Le besoin de simplification est donc une

contrainte opérationnelle fondamentale.

- Les *Model Points* sont la réponse à cette contrainte : ils permettent de passer d'une vision granulaire à une vision agrégée et maniable, rendant les calculs de provisions et de capital réalisables dans des temps acceptables.

1.5.3 Principes de construction

- L'objectif de la modélisation par MP est de créer des groupes de contrats les plus homogènes possible. La qualité de la représentation dépend directement de la pertinence des critères de regroupement.
- Les critères de segmentation utilisés pour créer les MPs sont multiples et visent à capturer les principaux facteurs de risque du passif :
 - **Caractéristiques du produit** : type de support (fonds euros, UC), niveau du Taux Minimum Garanti (TMG), présence de garanties optionnelles.
 - **Caractéristiques de l'assuré** : âge, génération (pour capturer les différences de tables de mortalité), sexe.
 - **Caractéristiques du contrat** : ancienneté fiscale, durée résiduelle, montant des provisions mathématiques.
- Des techniques de classification statistique (clustering) sont souvent employées pour optimiser la création de ces groupes homogènes.

1.5.4 Du Model Point à la problématique du mémoire

- L'utilisation des *Model Points* constitue la première étape, universellement acceptée, de l'agrégation du passif. C'est une simplification nécessaire pour rendre les modèles ALM opérationnels.
- La problématique centrale de ce mémoire est donc de définir une méthode d'agrégation optimale de ces *Model Points*. L'objectif est de construire la meilleure simplification possible, c'est-à-dire celle qui garantit la plus grande stabilité des indicateurs Solvabilité II (SCR, Marge de Risque, NAV) lors du calcul des différentes sensibilités réglementaires.
- Cette section introductive sur les MPs pose donc les fondations de notre analyse, en établissant que la simplification est une pratique inhérente à la modélisation ALM et qu'il est légitime de s'interroger sur les limites et les impacts de cette démarche.

Chapitre 2

Contraintes techniques et création d'outils

2.1 Nécessité du générateur de portefeuille passif

- 2.1.1 Besoin de générer des données pour simuler un nouveau produit
- 2.1.2 Simuler différentes évolutions du business mix pour orienter politique de souscription/politique commerciale.
- 2.1.3 Simuler un portefeuille représentatif du marché ou composé des principaux concurrents pour se positionner.

2.2 Contraintes techniques associées

- 2.2.1 Mise à jour sur des outils plus récents
- 2.2.2 langage open source, permet de s'écarter des problématiques financières (coût de licence).
- 2.2.3 Travail sur des outils mis à jour fréquemment (Python, Polars).

2.3 Développement du Modèle ALM en Python

- 2.3.1 Présentation du modèle ALM développé pour Accenture
- 2.3.2 Fonctionnement du modèle et apprentissage personnel.
- 2.3.3 Limites du modèle à l'heure actuelle.

2.4 Générateur de portefeuille de passif

2.4.1 Description des contraintes techniques rencontrées

Description des contraintes techniques rencontrées dans la génération des portefeuilles.

2.4.2 Description du générateur de modèle point

2.4.3 Importance pour un cabinet de conseil et assurance des clients.

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