

Mémoire présenté pour l'obtention du DUAS et l'admission à l'Institut des Actuaire**le 4 décembre 2025 à 14h30.**

Par : ERADES Valentin

Titre: Finance verte et assurance-vie : Optimisation des portefeuilles et
calibrage prudentiel à l'ère de la Taxonomie européenneConfidentialité : NON OUI Durée : 1 an 2 ans 3 ans 4 ans 5 ans*Membres du jury de l'IA :**Entreprise : Nexialog Consulting**Directeur de mémoire (entreprise) :**Membres du jury de l'Unistra :**Nom : Areski Cousin*

J. BERARD

P.-O. GOFFARD

D. VILLEMONTAIS

Signature du responsable entreprise

Secrétariat : Mme Stéphanie Richard

Signature du candidat

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à la réussite de mon parcours.

Tout d'abord, à mon tuteur de stage, Areski Cousin, pour son accompagnement constant, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de cette expérience. Son expertise et son soutien ont été déterminants dans la conduite de ce travail.

Je remercie également Ali Behbahani, fondateur de Nexialog Consulting, pour son accueil chaleureux et la confiance accordée dès mon arrivée. Cette immersion dans un environnement stimulant et exigeant a été une expérience particulièrement enrichissante.

Mes remerciements s'adressent aussi à l'équipe actuariat pour leur collaboration et leurs échanges constructifs, en particulier Moustapha Sene, Moustapha Assane, Habib Faye et Hugo Rapior, dont les conseils techniques et la bonne humeur ont grandement contribué à la qualité de mon expérience au sein de l'équipe.

Je souhaite également saluer l'équipe des stagiaires et alternants de Nexialog, avec qui j'ai partagé des moments d'entraide et de convivialité qui ont rendu cette expérience encore plus agréable.

Un remerciement particulier à Isabelle Chaumien-Hetroy, pour avoir pris le temps de répondre à mes questions et partager son expertise sur les travaux relatifs aux spreads obligataires appliqués aux émetteurs souverains.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à l'équipe pédagogique du DUAS pour la qualité de la formation dispensée, et notamment à Pierre-Olivier Goffard et Jean Bérard, pour leur engagement et leur disponibilité. Enfin, un grand merci à mon tuteur académique, Denis Villemonnais, pour son suivi attentif et ses conseils tout au long de ce mémoire.

Je souhaite également adresser des remerciements très particuliers à ma famille, pour son soutien inconditionnel, ses encouragements constants et sa confiance, qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire dans les meilleures conditions. J'exprime également ma profonde gratitude à ma partenaire pour sa patience, son soutien moral et ses encouragements tout au long de ce parcours, qui ont constitué une source précieuse de motivation et de sérénité.

À toutes ces personnes, je vous adresse mes sincères remerciements pour votre soutien, vos encouragements et votre contribution à la réussite de ce travail.

Résumé

Dans un contexte réglementaire en pleine mutation, marqué par l'essor de la taxonomie verte européenne, les assureurs vie sont appelés à intégrer les enjeux de durabilité dans leurs modèles de gestion et leurs choix d'investissement. Ce mémoire explore les leviers d'optimisation des portefeuilles sous contraintes ESG, en conciliant performance financière, alignement environnemental et exigences prudentielles.

À partir d'une modélisation sur les actions du CAC 40, il est démontré qu'un alignement modéré (jusqu'à 30 % sur les CAPEX ou le chiffre d'affaires vert) peut être atteint sans dégrader significativement le ratio de Sharpe ni la diversification. Au-delà, les performances se détériorent et la concentration sectorielle s'accroît. L'analyse factorielle révèle une exposition croissante aux styles value, tandis que l'intensité carbone du portefeuille ne diminue pas nécessairement avec l'alignement.

Sur la poche obligataire, une matrice de chocs spécifique aux Green Bonds est calibrée selon la méthodologie EIOPA. Les résultats montrent que les obligations vertes de longue maturité et de bonne qualité de crédit présentent un risque de *spread* inférieur à leurs homologues classiques. L'application de cette matrice à un portefeuille représentatif met en évidence une réduction progressive du SCR de *spread*, ouvrant la voie à la réflexion sur l'introduction d'un « *Green Supporting Factor* » dans Solvabilité II.

Enfin, une méthodologie de projection et de suivi de l'alignement est proposée, combinant attribution de performance extra-financière et simulation économique. Ce travail apporte des éléments concrets pour une gestion durable, robuste et réglementairement compatible des portefeuilles d'assurance vie.

Mots-clés : Taxonomie européenne, Green Bonds, Solvabilité II, Green Asset Ratio, Green Supporting Factor, Green spread, Assurance-vie, Durabilité, Optimisation de portefeuille, Allocation d'actifs.

Abstract

In a rapidly evolving regulatory environment, driven by the rise of the European green taxonomy, life insurers are increasingly required to incorporate sustainability considerations into their management models and investment decisions. This thesis explores portfolio optimization levers under ESG constraints, balancing financial performance, environmental alignment, and prudential requirements.

Based on a rigorous modeling of CAC 40 equities, it is shown that a moderate alignment (up to 30% on CAPEX or green revenue) can be achieved without significantly degrading the Sharpe ratio or diversification. Beyond this threshold, performance deteriorates and sector concentration increases. Factor analysis reveals growing exposure to value and small-cap styles, while the portfolio's carbon intensity does not necessarily decrease with alignment.

On the bond side, a shock matrix specific to Green Bonds is calibrated using the EIOPA methodology. Results show that long-maturity green bonds with high credit quality exhibit lower spread risk compared to their conventional counterparts. Applying this matrix to a representative portfolio highlights a gradual reduction in spread SCR, paving the way for the introduction of a *Green Supporting Factor* in *Solvency II*.

Finally, a methodology for projecting and monitoring alignment is proposed, combining extra-financial performance attribution and economic simulation. This work provides concrete insights for sustainable, robust, and regulation-compliant management of life insurance portfolios.

Mots-clés : European taxonomy, Green Bonds, Solvency II, Green Asset Ratio, Green Supporting Factor, Green spread, Life insurance, Sustainability, Portfolio optimization, Asset allocation.

Table des matières

| | |
|---|-------------|
| Remerciements | i |
| Résumé | iii |
| Abstract | iv |
| Note de synthèse | viii |
| Executive Summary | xv |
| Introduction | 1 |
| 1 Cadre réglementaire et enjeux de la durabilité en assurance vie | 3 |
| 1.1 Panorama des approches d'intégration de la durabilité | 3 |
| 1.1.1 Stress tests climatiques | 3 |
| 1.1.2 Critères ESG dans l'ALM | 4 |
| 1.1.3 Incidences sur le besoin en capital | 5 |
| 1.1.4 ESG et gestion d'actifs | 6 |
| 1.1.5 Spécificités de l'assurance vie dans le contexte durable | 6 |
| 1.2 Taxonomie européenne : définitions, enjeux et adoption | 11 |
| 1.2.1 Cadre réglementaire de la taxonomie européenne | 12 |
| 1.2.2 État des lieux de l'adoption par les assureurs | 13 |
| 1.2.3 Premiers résultats et retours d'expérience | 13 |
| 1.3 Instruments verts et normalisation de marché | 17 |
| 1.3.1 Normes et standards des <i>green bonds</i> | 17 |
| 1.3.2 Marché des <i>Green Bonds</i> | 19 |
| 1.3.3 Emission Obligataire Verte | 22 |
| 2 Construction de portefeuilles durables : une approche d'optimisation sous contraintes de taxonomie verte | 27 |
| 2.1 Revue de littérature | 29 |
| 2.2 Sélection de l'univers d'investissement et données ESG | 30 |
| 2.2.1 Méthodologie | 32 |
| 2.2.2 Modélisation des rendements attendus : approche par le CAPM | 33 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.2.3 | Évaluation des portefeuilles : diversification, performance, alignement environnemental | 35 |
| 2.3 | Optimisation sous contraintes ESG : stratégie « <i>Fully Invested Long Only</i> » | 36 |
| 2.3.1 | Impact des contraintes de CAPEX verts | 37 |
| 2.3.2 | Impact des contraintes sur le chiffre d'affaires vert | 39 |
| 2.3.3 | Analyse comparative : arbitrage entre CAPEX et chiffre d'affaires verts | 41 |
| 2.4 | Analyse et robustesse | 44 |
| 2.4.1 | Concilier transition de décarbonation | 44 |
| 2.4.2 | Exposition factorielle | 46 |
| 2.4.3 | Analyse prospective | 47 |
| 3 | <i>Green Bonds</i> : Une nouvelle classe d'actif dans Solvabilité II ? | 51 |
| 3.1 | Volatilité <i>Green Bonds</i> | 52 |
| 3.2 | Cadre d'analyse | 55 |
| 3.3 | Calcul du <i>spread</i> de crédit | 59 |
| 3.3.1 | Calibrage du choc de <i>spread</i> (EIOPA) | 60 |
| 3.4 | Construction d'indices représentatifs | 66 |
| 3.4.1 | Univers d'investissement | 66 |
| 3.4.2 | Indice <i>Green Bonds</i> | 67 |
| 3.5 | Matrice de choc verte extrapolée | 73 |
| 4 | Choc de <i>spread</i> calibré sur le portefeuille obligataire | 80 |
| 4.1 | Portefeuille obligataire représentatif du marché | 80 |
| 4.2 | Choc de <i>spread</i> verts | 83 |
| 4.3 | Effet d'une allocation en obligations vertes sur le SCR de <i>spread</i> | 84 |
| 5 | Impact de la taxonomie et des <i>Green Bonds</i> sur la stratégie de gestion obligataire | 89 |
| 5.1 | Stratégies d'allocation d'actifs | 89 |
| 5.2 | Méthode <i>Shift Share</i> | 90 |
| 5.3 | Générateur de scénario économique monde réel | 94 |
| 5.3.1 | Facteurs modélisés et modèles | 95 |
| 5.4 | Projection horizon 2035 de l'alignement | 97 |
| | Conclusion | 101 |
| | Annexes | 103 |
| A | Complément sur la Taxonomie - Tests statistiques CAPM | 104 |
| B | Cadre réglementaire et exigences de Solvabilité II | 108 |
| C | <i>Value-at-Risk</i> : Généralités et approfondissement sur la VaR de Cornish-Fisher | 112 |
| D | Méthodologie de calcul des indices obligataires | 119 |
| E | Portefeuille obligataire de référence | 122 |
| F | Calibrage Générateur de Scénarios Economiques | 123 |

Glossaire

126

Note de synthèse

1. Contexte et problématique

Les assureurs vie font face à une double exigence : préserver leur solidité financière conformément aux règles de Solvabilité II, tout en contribuant activement à la transition vers une économie bas carbone. Les approches actuelles souffrent d'un manque de standardisation, reposant sur des données hétérogènes de fournisseurs privés non européens et centrées presque exclusivement sur l'intensité carbone, au détriment d'autres dimensions clés comme la biodiversité, l'économie circulaire ou l'utilisation durable des ressources.

À cela s'ajoute une faible articulation entre critères ESG et cadre prudentiel, peu de travaux ayant exploré le lien avec Solvabilité II alors que la nécessité d'un calibrage adaptée devient urgente. La taxonomie joue ici un rôle central puisqu'elle fournit un langage commun pour distinguer les activités économiques véritablement durables et constitue un outil stratégique de normalisation, de souveraineté économique et de *soft power*, positionnant l'Union européenne comme un acteur précurseur dans la finance durable.

Elle sert de "boussole environnementale" pour guider ces investissements. Néanmoins les assureurs se heurtent à des limites pratiques : couverture partielle des portefeuilles, fiabilité insuffisante des données et difficultés de suivi dynamique de l'alignement. Ces contraintes se traduisent en un véritable défi opérationnel pour les assureurs, qui doivent intégrer ces nouveaux standards dans leurs modèles et projeter l'évolution de leurs portefeuilles sur plusieurs décennies.

Ce mémoire vise à apporter des réponses opérationnelles à ces problématiques. Il cherche d'abord à analyser comment la taxonomie verte peut être intégrée dans la gestion d'actifs d'assurance vie, à travers une modélisation de portefeuilles alignés avec des contraintes sur les CAPEX et le chiffre d'affaires verts. Ensuite, il propose d'évaluer l'impact prudentiel des obligations vertes, en calibrant statistiquement des chocs de spread spécifiques et en testant l'hypothèse d'un « *Green Supporting Factor* » transposable au cadre de Solvabilité II à l'image des discussions en réglementation bancaire.

Le mémoire développe également des outils de suivi et de projection, notamment une méthode d'attribution des changements d'alignement d'un portefeuille obligataire et une projection d'un portefeuille type à horizon 2035 dans le cadre d'une stratégie buy-and-hold. Enfin, l'objectif transversal est de relier finance durable et réglementation prudentielle.

2. Méthodologie

Ce mémoire repose sur une approche mixte combinant optimisation de portefeuilles, calibrage statistique et projection prospective, afin de relier l'intégration de la taxonomie verte à la fois à la performance financière et aux exigences prudentielles. Trois volets méthodologiques sont distingués.

Optimisation de portefeuilles actions

Un modèle de Markowitz « *fully invested long only* » a été mis en œuvre sur l'univers du CAC 40. Les données financières proviennent des historiques de prix des actions, tandis que l'alignement environnemental est mesuré via les indicateurs de chiffre d'affaires vert et de CAPEX verts issus de la taxonomie européenne. L'optimisation vise à maximiser le ratio de Sharpe sous contraintes croissantes d'alignement. Les résultats sont évalués en termes de performance (ratio de Sharpe), diversification (indice de Herfindahl) et empreinte carbone. Une analyse factorielle complète les tests afin d'identifier les biais sectoriels et de style (ex. value, small caps).

Calibrage des obligations vertes

Sur la poche obligataire, une base de 852 obligations conformes aux standards Climate Bonds Initiative (CBI) a été constituée permettant de construire des indices verts (Voir Figure 1).

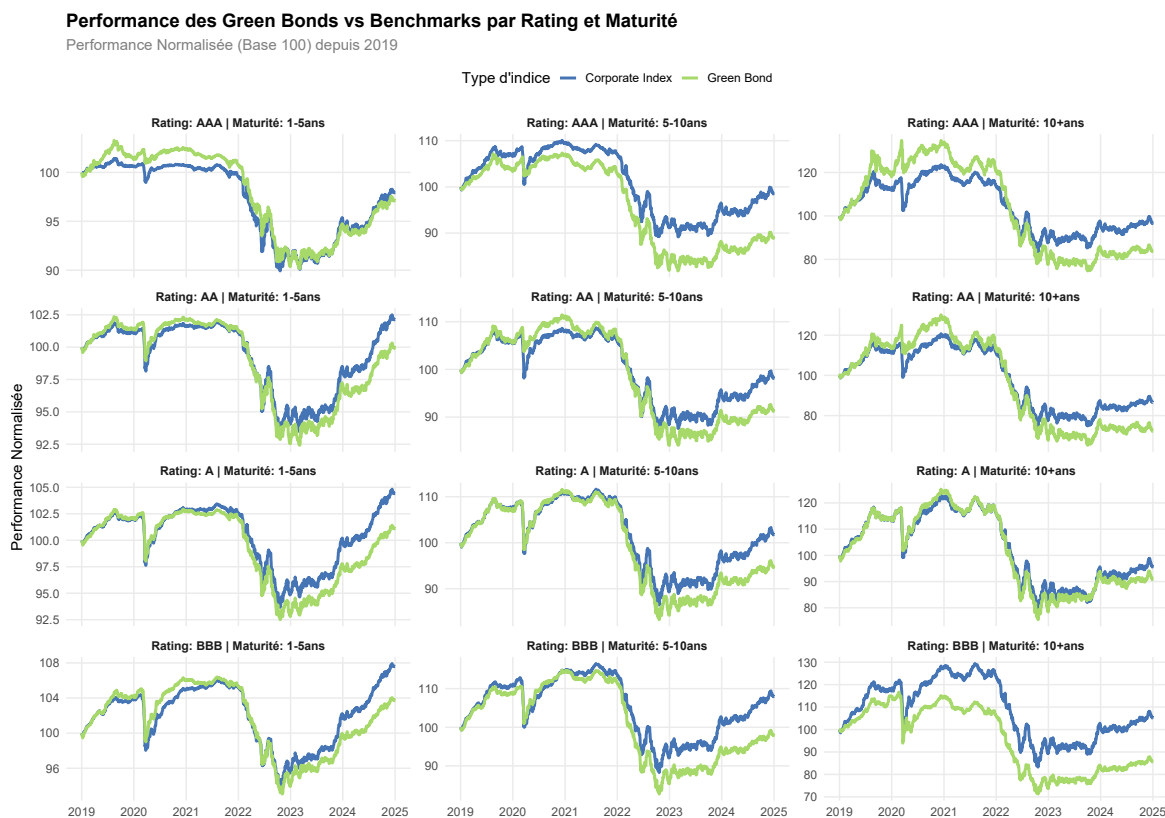


FIGURE 1 – Indices obligataires verts contre indices obligataires non verts comparables (2019-2025)

Les séries de spreads couvrent la période 2019–2024, incluant la crise Covid-19 et la remontée des taux. La méthodologie reprend celle de l’EIOPA pour la calibration des chocs de spread de Solvabilité II : calcul de Value-at-Risk à un an au seuil de 0,5 %, ajustée par la correction de Cornish-Fisher pour tenir compte des distributions asymétriques. La comparaison avec la formule standard permet d’identifier l’existence d’un effet « vert » et d’élaborer une matrice de chocs spécifiques aux green bonds, différenciée par maturité et qualité de crédit.

Suivi et projection de l’alignement

Enfin, une méthode d’attribution des variations d’alignement a été développée pour décomposer les évolutions d’un portefeuille obligataire type d’assureur français (fonds en euros) selon quatre facteurs : évolution des contreparties, disponibilité des données, arbitrages d’investissement et effets de valorisation. À l’aide d’un générateur de scénarios économiques calibré sur les historiques de taux et d’inflations, une projection à horizon 2035 a été conduite en stratégie buy-and-hold, afin d’évaluer la trajectoire d’alignement et son intégration potentielle dans l’ALM.

3. Résultats clés

1. Un alignement de 20 % est atteignable sans perte significative de performance : sur le CAC 40, l’optimisation montre qu’une contrainte d’alignement taxonomique jusqu’à 20 % entraîne une perte négligeable du ratio de Sharpe (moins de 0,05 point). → Cela prouve la faisabilité d’une intégration partielle sans dégrader le couple rendement/risque.

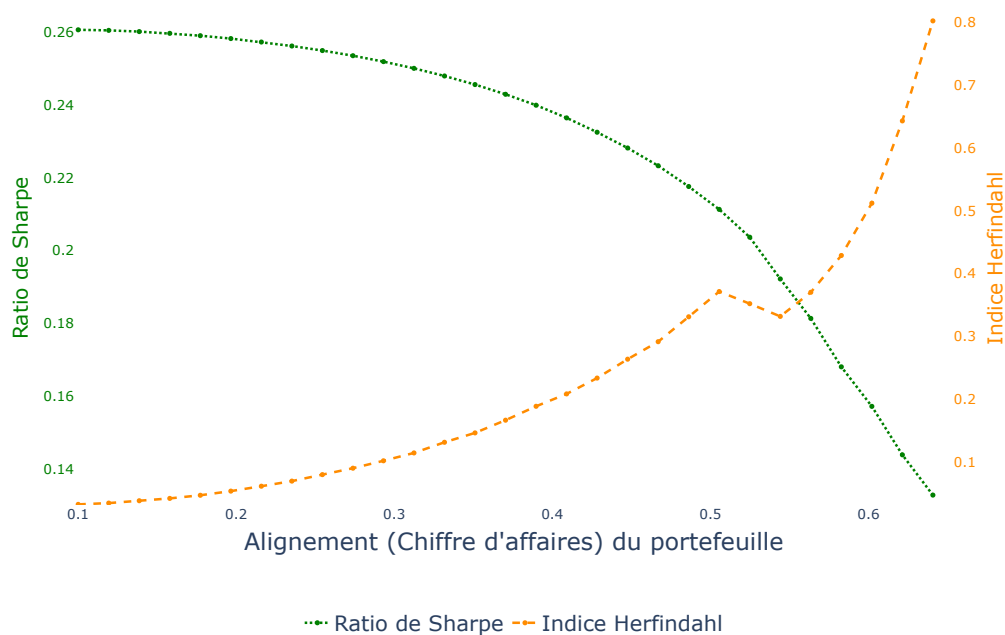


FIGURE 2 – Évolution du ratio de Sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d’alignement du chiffre d’affaires du portefeuille

2. Au-delà de 20%, les performances se dégradent fortement : les portefeuilles deviennent

concentrés sectoriellement (industrie, utilities) et biaisés factoriellement (style value, small caps).
 → L'alignement croissant se fait au prix d'une diversification réduite et d'un risque spécifique accru (Voir Figure 2).

3. L'alignement taxonomique n'implique pas forcément une baisse d'intensité carbone : certains portefeuilles plus verts (au sens CAPEX/CA alignés) peuvent conserver une empreinte carbone supérieure (Voir Figure 3). → Cela met en évidence une divergence entre taxonomie et métriques climatiques traditionnelles.

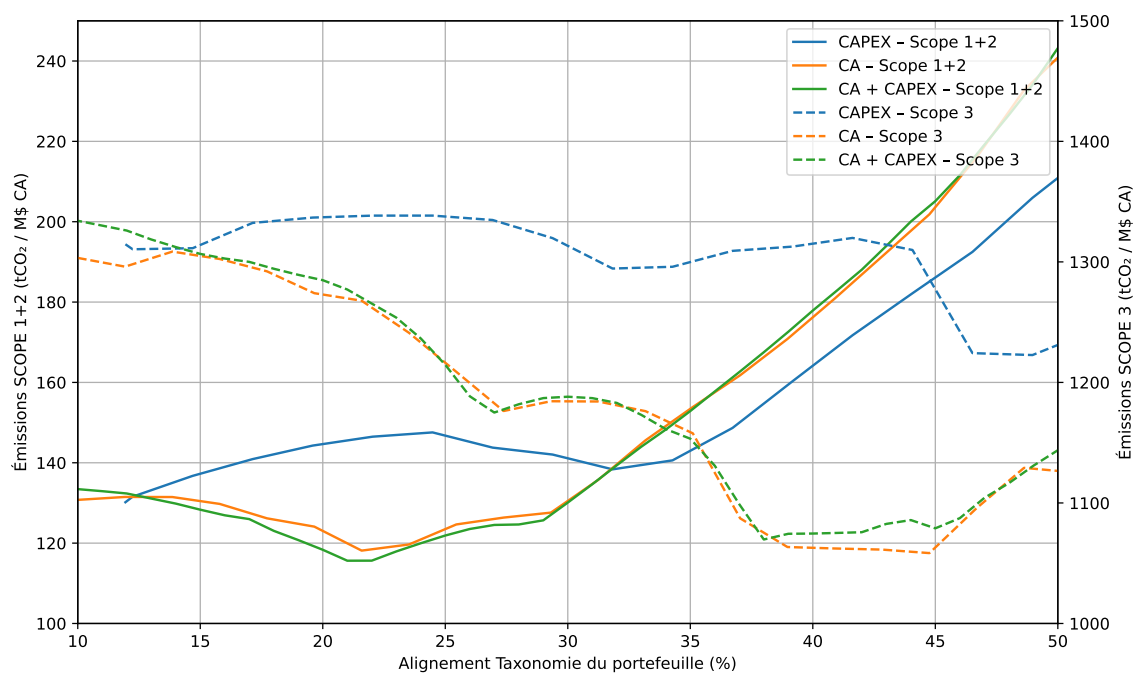


FIGURE 3 – Émissions de gaz à effet de serre (tCO₂e par million de dollars de chiffre d'affaires)

4. Les *green bonds* présentent un profil de risque plus favorable que les obligations classiques : les chocs de spread calibrés sont inférieurs aux niveaux de la formule standard, surtout pour les signatures AAA/AA et les maturités longues. → Les obligations vertes apparaissent statistiquement moins volatiles, ce qui justifie une réflexion sur leur traitement prudentiel.

5. Impact prudentiel chiffré : sur un portefeuille type d'assureur français, une allocation de 10 % en *green bonds* entraîne une baisse d'un point du SCR en appliquant la matrice de choc calibrée sur les *Green Bonds*. → Ce résultat établit un lien concret entre taxonomie et Solvabilité II, avec un effet mesurable sur le capital requis.

6. Méthode de suivi dynamique : l'attribution des variations d'alignement décompose clairement les évolutions en quatre facteurs (contreparties, données, arbitrages, valorisation). → Cet outil permet aux assureurs d'identifier les leviers réels d'évolution de leurs indicateurs verts (voir Figure 4).

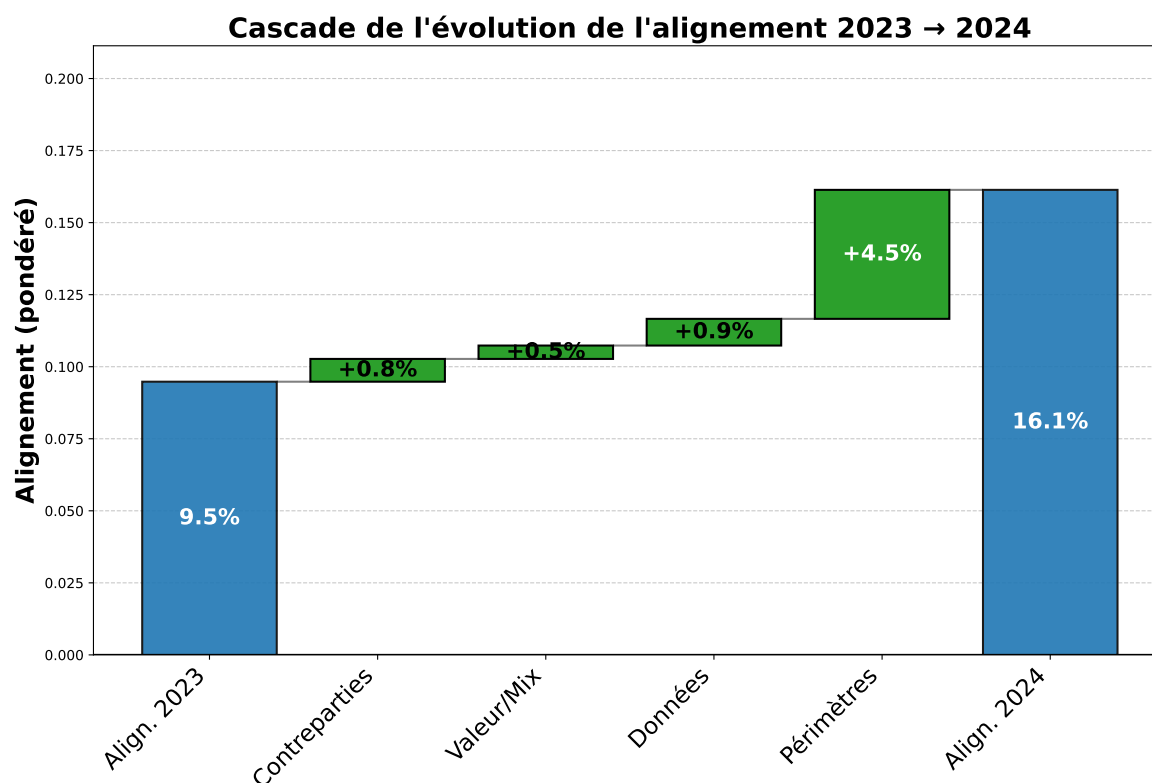


FIGURE 4 – Cascade de l'alignement : de 2023 à 2024 via les effets séquentiels

7. Projection 2035 crédible : en stratégie *buy-and-hold*, la part verte des portefeuilles obligataires progresse de manière régulière, grâce aux émissions nouvelles et à la montée en puissance des données taxonomiques. → Cela démontre la faisabilité d'une trajectoire d'investissement durable intégrée à l'ALM.

4. Synthèse de la littérature / positionnement

Les travaux antérieurs en assurance se sont concentrés sur l'intégration de facteurs climatiques via des stress tests ou sur l'intensité carbone des portefeuilles. La littérature académique confirme la faisabilité technique d'intégrer des contraintes ESG, mais souligne la perte de diversification au-delà d'un certain seuil. Ce mémoire se positionne dans la continuité, mais introduit une approche basée sur la taxonomie européenne, beaucoup moins étudiée jusqu'ici.

Dans le domaine réglementaire, l'EIOPA a étudié les risques climatiques sous l'angle du stress testing mais n'a pas proposé de calibrage spécifique aux *green bonds*. La littérature bancaire a exploré le « Green Supporting Factor » dès 2018, mais les applications assurantielles restent quasi inexistantes. L'apport du mémoire est donc novateur : proposer un calibrage statistique adaptée aux *green bonds*, montrant un profil de risque distinct et mesurable.

Les études existantes reposent principalement sur des données de fournisseurs ESG privés, centrées sur le carbone. Plusieurs auteurs critiquent cette approche pour son manque de standardisation et son biais méthodologique. Ce mémoire enrichit le débat en mobilisant les CAPEX verts et chiffres d'affaires alignés à la taxonomie, offrant une mesure plus robuste et régulatoire.

Enfin, peu de travaux font explicitement le lien entre finance durable et exigences prudentielles de Solvabilité II. Les publications de place (Banque de France, ACPR, EIOPA) mentionnent la nécessité d'intégrer le climat, mais sans cadre concret. Le mémoire propose une piste opérationnelle de transposition, renforçant le pont entre finance durable et régulation.

5. Discussion et interprétation

Les résultats obtenus ont plusieurs implications majeures pour la pratique actuarielle. Premièrement, ils confirment qu'une intégration partielle de la taxonomie est possible sans compromettre le rendement ajusté du risque, ce qui ouvre la voie à une adoption progressive par les assureurs. Toutefois, au-delà d'un certain seuil, la perte de diversification et les biais factoriels doivent être pris en compte et dans la gestion des risques. L'approche souligne aussi qu'à travers taxonomie on ne se décarbone pas forcément le portefeuille.

Deuxièmement, l'analyse des green bonds montre que leur profil de risque spécifique pourrait justifier un traitement prudentiel différencié. Pour l'actuaire, cela pose des questions concrètes de modélisation du SCR, de calibrage des chocs de spread et de gestion de capital (Voir Figure 5) pour le comparatif des fonctions de stress).

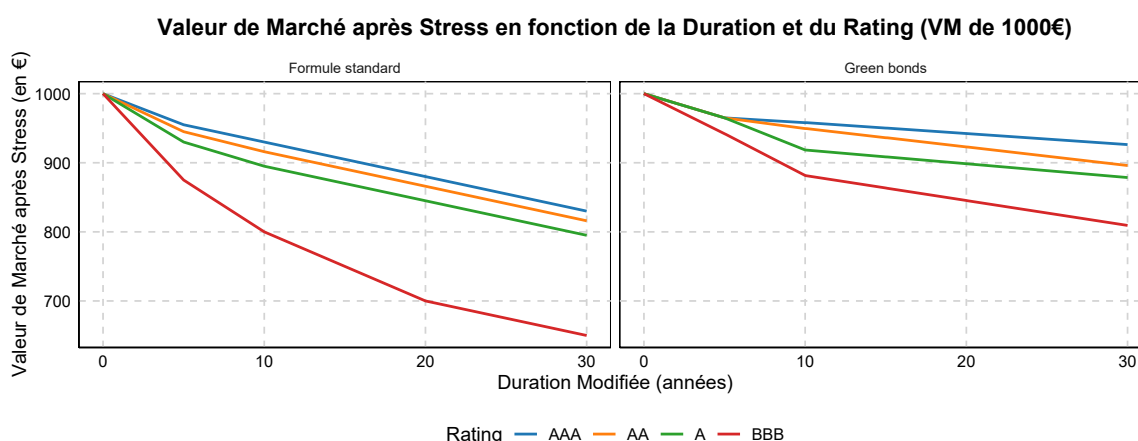


FIGURE 5 – Fonctions de choc : formule standard vs calibrage *Green Bonds*

Troisièmement, l'outil de suivi dynamique constitue une avancée opérationnelle pour le pilotage des trajectoires d'investissement durable, en permettant d'attribuer précisément les sources de variation d'alignement. C'est un outil de gouvernance utile pour les ORSA (Own Risk and Solvency Assessment). Enfin, la projection 2035 illustre la pertinence et la possibilité de suivre des indicateurs d'investissements verts dans le cadre d'une stratégie buy-and-hold dans un contexte de transition.

6. Recommandations opérationnelles

Court terme (1–3 ans)

- Mettre en place des KPIs d'alignement taxonomique intégrés aux reportings ALM et ORSA.

- Expérimenter des allocations tests en obligations vertes, afin de mesurer l’impact sur le SCR.
- Développer un suivi dynamique de l’alignement obligataire selon la méthode d’attribution proposée.

Moyen terme (3–7 ans)

- Adapter les modèles internes et les générateurs de scénarios économiques pour intégrer des trajectoires d’alignement sur la taxonomie verte.
- Contribuer aux discussions de place (EIOPA, ACPR) sur un éventuel Green Supporting Factor en assurance, en partageant des résultats empiriques.
- Mettre en place une gouvernance dédiée pour valider les données ESG et assurer la robustesse des indicateurs taxonomiques.

7. Limites et pistes de recherche

Ce mémoire comporte plusieurs limites méthodologiques. D’abord, les données sur les obligations vertes restent limitées en profondeur historique, ce qui réduit la robustesse statistique des calibrages. Ensuite, la taxonomie européenne est encore incomplète (seules certaines activités sont couvertes) et susceptible d’évoluer, ce qui affecte la stabilité des indicateurs d’alignement. De plus, la projection 2035 repose sur des hypothèses de disponibilité des données et de politiques publiques, difficiles à anticiper.

Ces limites ouvrent plusieurs pistes de recherche : élargir l’échantillon obligataire avec l’arrivée des nouvelles émissions de l’UE, développer des modèles dynamiques de transition intégrant plusieurs dimensions (carbone, biodiversité...), Enfin, une perspective comparative internationale (UE, UK, Chine) permettrait d’évaluer la compétitivité et la cohérence des standards taxonomiques.

8. Conclusion

Ce mémoire démontre qu’il est possible pour les assureurs vie d’intégrer la taxonomie verte dans la gestion de leurs portefeuilles sans perte significative de performance, et même d’en tirer un avantage prudentiel via les obligations vertes. L’étude met en évidence un potentiel de réduction du SCR et la faisabilité d’un suivi dynamique des trajectoires d’alignement, tout en soulignant les limites actuelles de la taxonomie et des données. La convergence entre finance durable et réglementation prudentielle apparaît ainsi non seulement réalisable, mais stratégique pour les assureurs.

Executive Summary

1. Context and Issues

Life insurers face a dual requirement : preserving their financial soundness in accordance with Solvency II rules, while actively contributing to the transition towards a low-carbon economy. Current approaches suffer from a lack of standardization, relying on heterogeneous data from non-European private providers, focused almost exclusively on carbon intensity, at the expense of other key dimensions such as biodiversity, circular economy, or sustainable use of resources.

In addition, there is weak articulation between ESG criteria and the prudential framework, with little research having explored the link with Solvency II, even though the need for adapted calibration is becoming urgent. The taxonomy plays a central role here since it provides a common language to distinguish truly sustainable economic activities and constitutes a strategic tool of standardization, economic sovereignty, and soft power, positioning the European Union as a forerunner in sustainable finance.

It serves as an “environmental compass” to guide investments. However, insurers face practical limitations : partial portfolio coverage, insufficient data reliability, and difficulties in dynamically monitoring alignment. These constraints translate into a genuine operational challenge for insurers, who must integrate these new standards into their models and project the evolution of their portfolios over several decades.

This thesis aims to provide operational answers to these issues. It first seeks to analyze how the green taxonomy can be integrated into life insurance asset management, through a portfolio modeling approach with constraints on green CAPEX and green turnover. Then, it proposes to assess the prudential impact of green bonds, by statistically calibrating specific spread shocks and testing the hypothesis of a “Green Supporting Factor” transposable to the Solvency II framework, similar to the discussions in banking regulation.

The thesis also develops monitoring and projection tools, including a method for attributing changes in the alignment of a bond portfolio and a projection of a representative portfolio to 2035 under a buy-and-hold strategy. Finally, the cross-cutting objective is to link sustainable finance and prudential regulation.

2. Methodology

This thesis is based on a mixed approach combining portfolio optimization, statistical calibration, and prospective projection, in order to link the integration of the green taxonomy both to financial performance and prudential requirements. Three methodological components are distinguished.

Equity Portfolio Optimization

A Markowitz “fully invested long-only” model was implemented on the CAC 40 universe. Financial data come from stock price histories, while environmental alignment is measured through green turnover and green CAPEX indicators from the European taxonomy. The optimization seeks to maximize the Sharpe ratio under increasing alignment constraints. Results are evaluated in terms of performance (Sharpe ratio), diversification (Herfindahl index), and carbon footprint. A factor analysis complements the tests to identify sectoral and style biases (e.g., value, small caps).

Green Bond Calibration

On the bond side, a database of 852 bonds compliant with Climate Bonds Initiative (CBI) standards was built, allowing the construction of green indices (see Figure 6).

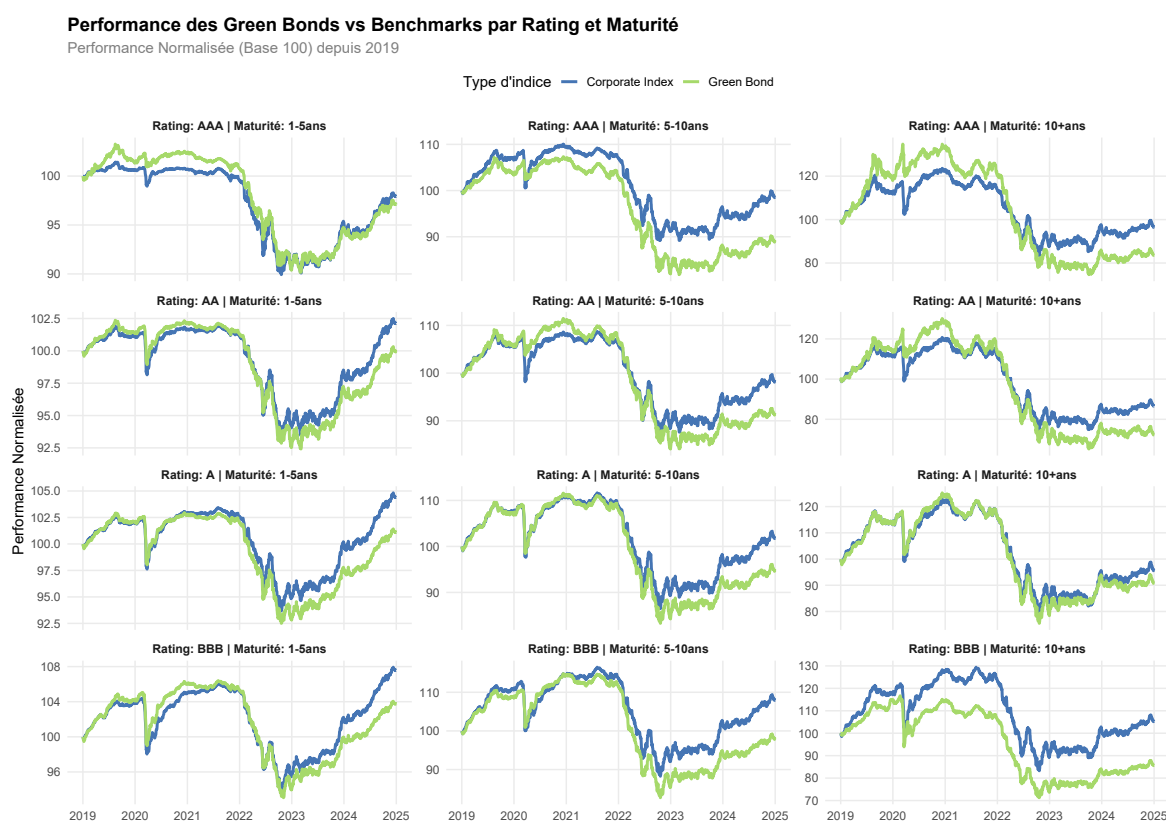


FIGURE 6 – Green bond indices versus comparable non-green bond indices (2019–2025)

The spread series cover the period 2019–2024, including the Covid-19 crisis and the rate hikes. The methodology follows that of EIOPA for Solvency II spread shock calibration : calculation of one-year

Value-at-Risk at the 0.5% threshold, adjusted by the Cornish-Fisher correction to account for skewed distributions. Comparison with the standard formula makes it possible to identify the existence of a “green effect” and to design a matrix of shocks specific to green bonds, differentiated by maturity and credit quality.

Alignment Monitoring and Projection

Finally, a method for attributing variations in alignment was developed to decompose the changes in a representative French insurer bond portfolio (euro fund) according to four factors : counterparty evolution, data availability, investment decisions, and valuation effects. Using an economic scenario generator calibrated on historical interest rates and inflation, a projection to 2035 was carried out under a buy-and-hold strategy, in order to assess the alignment trajectory and its potential integration into ALM.

3. Key Results

1. A 20% alignment is achievable without significant loss of performance : on the CAC 40, optimization shows that a taxonomic alignment constraint up to 20% leads to a negligible loss in the Sharpe ratio (less than 0.05 point). → This proves the feasibility of partial integration without degrading the risk-return profile (see Figure 7).

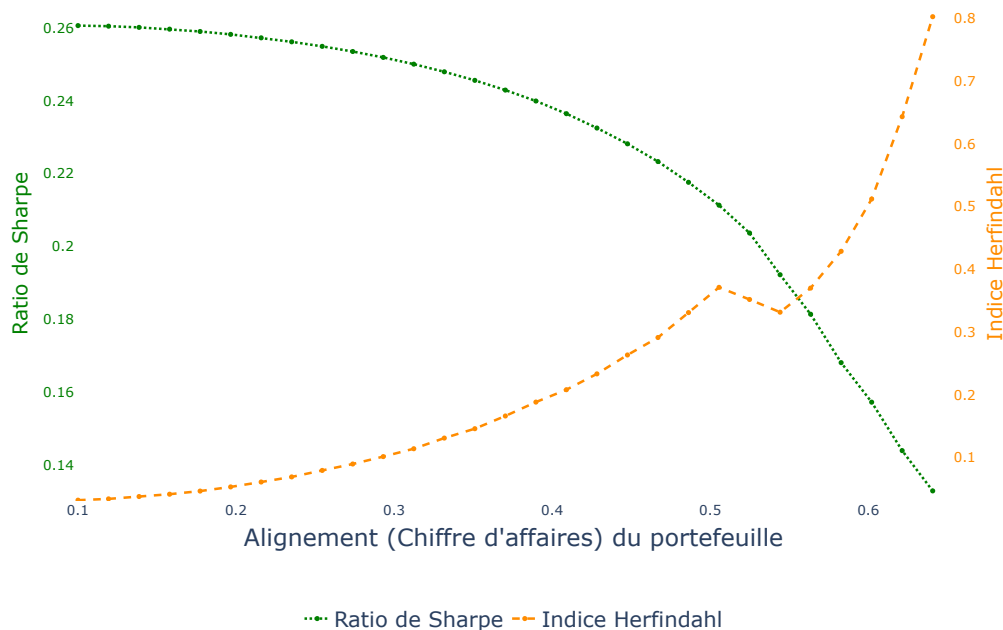


FIGURE 7 – Evolution of Sharpe ratio and portfolio concentration as a function of portfolio turnover alignment constraint

2. Beyond 20%, performance deteriorates sharply : portfolios become sectorally concentrated (industry, utilities) and factor-biased (value style, small caps). → Increasing alignment comes at the cost of reduced diversification and higher specific risk.

3. Taxonomic alignment does not necessarily imply lower carbon intensity : some greener portfolios (in terms of aligned CAPEX/turnover) may retain a higher carbon footprint (see Figure 8). → This highlights a divergence between taxonomy and traditional climate metrics.

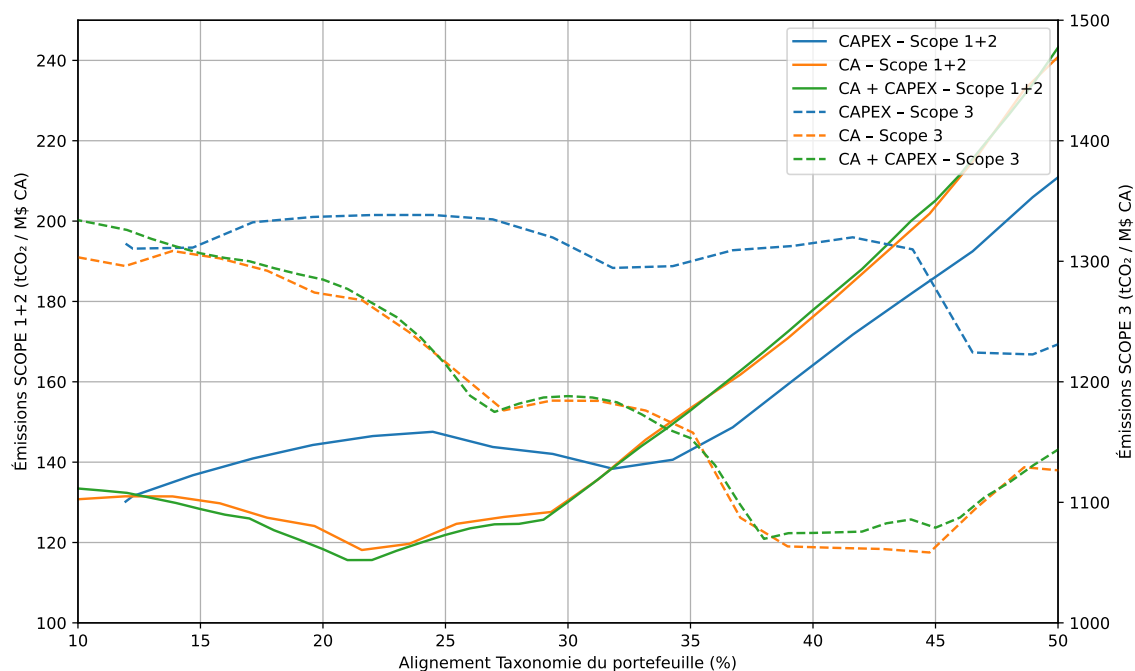


FIGURE 8 – Greenhouse gas emissions (tCO₂e per million USD of turnover)

4. Green bonds show a more favorable risk profile than conventional bonds : calibrated spread shocks are lower than standard formula levels, especially for AAA/AA ratings and long maturities. → Green bonds appear statistically less volatile, which supports a reflection on their prudential treatment.

5. Quantified prudential impact : on a representative French insurer portfolio, a 10% allocation to green bonds leads to a one-point drop in the SCR when applying the calibrated green bond shock matrix. → This establishes a concrete link between taxonomy and Solvency II, with a measurable effect on required capital.

6. Dynamic monitoring method : attribution of alignment variations clearly decomposes changes into four factors (counterparties, data, investment choices, valuation). → This tool enables insurers to identify the real drivers of changes in their green indicators (see Figure 9).

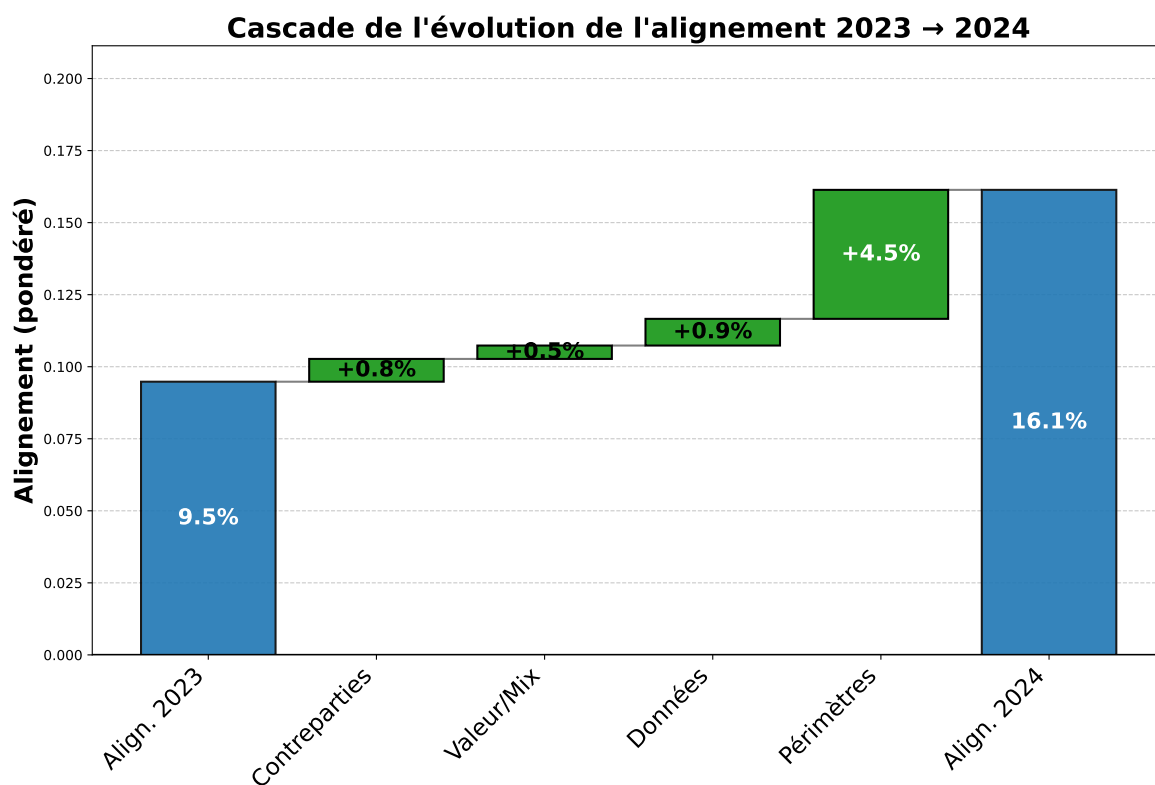


FIGURE 9 – Alignment cascade : from 2023 to 2024 via sequential effects

7. Credible 2035 projection : under a buy-and-hold strategy, the green share of bond portfolios increases steadily, thanks to new issuances and the growing availability of taxonomic data. → This demonstrates the feasibility of a sustainable investment trajectory integrated into ALM.

4. Literature Review / Positioning

Previous work in insurance has focused on integrating climate factors through stress tests or portfolio carbon intensity. Academic literature confirms the technical feasibility of integrating ESG constraints but highlights the loss of diversification beyond a certain threshold. This thesis builds on that work but introduces an approach based on the European taxonomy, which has been much less studied so far.

In the regulatory field, EIOPA has studied climate risks through stress testing but has not proposed specific calibration for green bonds. Banking literature has explored the “Green Supporting Factor” since 2018, but insurance applications remain almost non-existent. The contribution of this thesis is therefore innovative : to propose a statistical calibration adapted to green bonds, showing a distinct and measurable risk profile.

Existing studies rely mainly on private ESG providers, focused on carbon. Several authors criticize this approach for its lack of standardization and methodological bias. This thesis enriches the debate by mobilizing green CAPEX and taxonomy-aligned turnover, offering a more robust and regulatory measure.

Finally, few works explicitly link sustainable finance and Solvency II prudential requirements.

Publications from central institutions (Banque de France, ACPR, EIOPA) mention the need to integrate climate, but without a concrete framework. The thesis proposes an operational path for transposition, strengthening the bridge between sustainable finance and regulation.

5. Discussion and Interpretation

The results obtained have several major implications for actuarial practice. First, they confirm that partial integration of the taxonomy is possible without compromising risk-adjusted returns, opening the way for gradual adoption by insurers. However, beyond a certain threshold, the loss of diversification and factor biases must be taken into account in risk management. The approach also highlights that through taxonomy one does not necessarily decarbonize the portfolio.

Second, the analysis of green bonds shows that their specific risk profile could justify differentiated prudential treatment. For actuaries, this raises concrete questions about SCR modeling, spread shock calibration, and capital management (see Figure 10 for the stress function comparison).

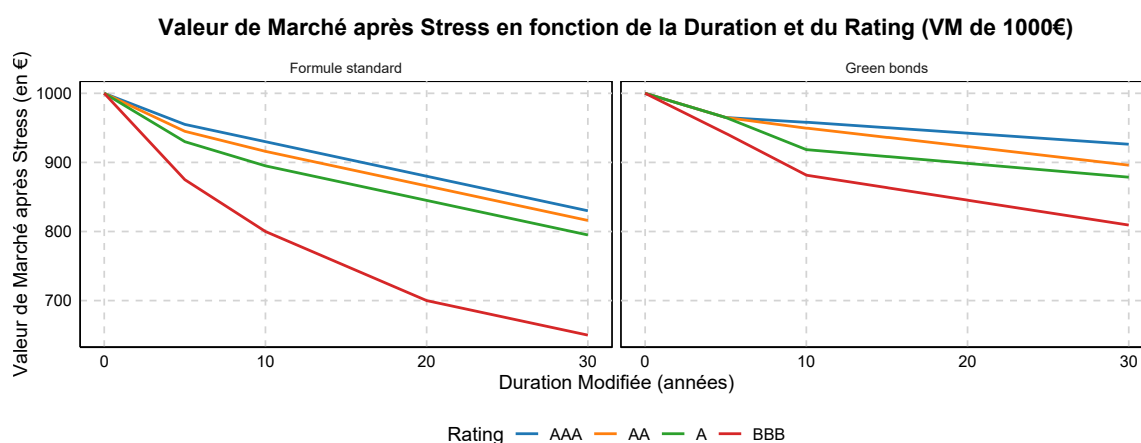


FIGURE 10 – Shock functions : standard formula vs. Green Bond calibration

Third, the dynamic monitoring tool is an operational step forward for steering sustainable investment trajectories, by precisely attributing the sources of alignment variation. It is a useful governance tool for ORSA (Own Risk and Solvency Assessment). Finally, the 2035 projection illustrates the relevance and feasibility of tracking green investment indicators under a buy-and-hold strategy in a transition context.

6. Operational Recommendations

Short term (1–3 years)

- Implement taxonomy alignment KPIs integrated into ALM and ORSA reporting.
- Test pilot allocations to green bonds, to measure the impact on SCR.
- Develop dynamic monitoring of bond alignment using the proposed attribution method.

Medium term (3–7 years)

- Adapt internal models and economic scenario generators to integrate alignment trajectories on the green taxonomy.
- Contribute to industry discussions (EIOPA, ACPR) on a potential Green Supporting Factor in insurance, by sharing empirical results.
- Set up dedicated governance to validate ESG data and ensure the robustness of taxonomic indicators.

7. Limitations and Research Avenues

This thesis has several methodological limitations. First, data on green bonds remain limited in historical depth, reducing the statistical robustness of calibrations. Second, the European taxonomy is still incomplete (only some activities are covered) and likely to evolve, which affects the stability of alignment indicators. Furthermore, the 2035 projection relies on assumptions about data availability and public policies, which are difficult to anticipate.

These limitations open several avenues for research : expanding the bond sample with new EU issuances, developing dynamic transition models integrating multiple dimensions (carbon, biodiversity, circularity), and finally, an international comparative perspective (EU, UK, China) to assess the competitiveness and coherence of taxonomic standards.

8. Conclusion

This thesis demonstrates that life insurers can integrate the green taxonomy into their portfolio management without significant loss of performance, and even gain a prudential advantage through green bonds. The study highlights a potential reduction in SCR and the feasibility of dynamic monitoring of alignment trajectories, while underlining the current limitations of taxonomy and data. The convergence between sustainable finance and prudential regulation thus appears not only achievable, but strategic for insurers. The main recommendation is to engage in a gradual taxonomic integration process, while preparing models and governance for future regulatory calibration.

Introduction

Dans un contexte de transition vers une économie durable, les assureurs vie sont confrontés à une double exigence : assurer leur solidité financière tout en contribuant activement à la neutralité carbone. Cela implique une adaptation profonde de leur gestion d'actifs et une révision de leurs choix d'investissement. Cette transformation s'inscrit dans un cadre réglementaire de plus en plus précis, dont la Taxonomie verte européenne constitue la pierre angulaire.

Adoptée en 2018 dans le cadre du Pacte vert pour l'Europe, la taxonomie vise à répondre à un double besoin : mobiliser les financements nécessaires et offrir un cadre homogène pour guider les acteurs vers une économie durable. Ces besoins ont conduit l'Union européenne à élaborer une classification des activités durables. Ce cadre réglementaire introduit une dimension extra-financière uniforme pour l'évaluation des classes d'actifs. En attribuant une signification standardisée à la durabilité des actifs, il facilite la comparaison, la transparence et l'orientation des capitaux vers les activités contribuant à la transition écologique. Ainsi, la Taxonomie fournit un langage commun pour distinguer les activités économiques véritablement durables.

D'autre part, à travers la directive CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*), les assureurs doivent également évaluer selon le principe de double matérialité : c'est-à-dire en mesurant l'impact des enjeux climatiques sur l'activité d'assurance (matérialité financière) et l'impact de cette activité sur l'environnement et la société (matérialité environnementale et sociale). Dans le cas particulier de la taxonomie, cela signifie pour les assureurs vie : mesurer la part verte de leurs portefeuilles, suivre l'évolution de leur alignement et, progressivement, orienter leurs flux de capitaux vers les activités conformes. À long terme, cette dynamique influencera la conception même des produits d'assurance et permettra de proposer des offres alignées avec la taxonomie verte.

Cette évolution se heurte toutefois à plusieurs défis. Les modèles ALM (*Asset-Liability Management*), au cœur du processus décisionnel, ont historiquement été conçus pour équilibrer les flux d'actifs et de passifs selon une logique strictement financière, et intègrent encore très peu les dimensions environnementales et climatiques. Les approches existantes restent fragmentaires (intégration de scores ESG, exclusions sectorielles...) et font naître de nouveaux risques.

Parallèlement, la structure même du bilan des assureurs vie rend l'enjeu capital. Les portefeuilles, dominés par des obligations à long terme, sont particulièrement sensibles aux variations de marché (taux, spreads, rendements...). Ainsi, les décisions d'investissement prises à un instant donné peuvent affecter durablement la solvabilité, la situation économique et la rentabilité des assureurs.

Pour répondre à ce besoin de financement et accompagner la transition, de nouveaux outils financiers

ont émergé, à l'image de l'essor des *Green Bonds* et de la mise en place de standards stricts (Green Bond Principles, EU Green Bond Standard, Climate Bonds Standard). Parallèlement, l'instauration des marchés carbone (Emissions Trading Schemes, ETS) a introduit une dimension financière à la gestion de la pollution, en attribuant un prix aux émissions de CO_2 et en incitant à leur réduction progressive.

Les assureurs ont une responsabilité particulière dans la transition climatique. Contrairement aux entreprises non financières, leur alignement à la taxonomie européenne ne se mesure pas directement sur leurs activités opérationnelles, mais à travers la structure de leurs portefeuilles d'investissement. Autrement dit, ils sont évalués en tant qu'investisseurs et non comme producteurs de biens et services [ALESSI et BATTISTON \(2022\)](#). De plus, dans leur rôle d'assureurs, ils doivent intégrer ces considérations dans leurs politiques de gestion des risques et dans la conception de leurs produits.

Ce travail se situe au croisement de deux champs encore peu articulés : l'intégration opérationnelle de la taxonomie verte européenne dans la gestion d'actifs d'assurance-vie, et l'évaluation prudentielle de nouvelles classes d'actifs comme les obligations vertes. La littérature académique s'est jusqu'à présent davantage focalisée sur l'intensité carbone des portefeuilles, les stress tests climatiques ou les critères ESG, tandis que les travaux portant sur l'application directe de la taxonomie et son articulation avec Solvabilité II restent encore limités. En mobilisant une modélisation quantitative des portefeuilles, un calibrage statistique des risques de spread et une projection prospective de leur alignement, ce mémoire contribue à combler cet écart et offre une perspective intégrée entre performance financière, durabilité et exigences prudentielles.

Ce mémoire s'organise en quatre grandes parties :

1. La première partie présente le contexte général en analysant les principales approches d'intégration des critères ESG et de la durabilité dans le secteur de l'assurance-vie. Elle aborde les stress tests climatiques, les méthodes ESG appliquées à l'ALM et à la gestion d'actifs, ainsi que les spécificités propres à l'assurance-vie. La partie se conclut par une étude du cadre réglementaire de la taxonomie européenne et du rôle croissant des instruments financiers verts.
2. La deuxième partie est consacrée à la construction de portefeuilles durables. Elle propose une approche d'optimisation sous contraintes de taxonomie verte, en évaluant les arbitrages entre alignement environnemental, diversification et performance financière.
3. La troisième partie s'intéresse aux obligations vertes dans le cadre réglementaire de Solvabilité II. Elle analyse leur volatilité spécifique, la construction d'indices représentatifs et le calibrage de chocs adapté, afin de mesurer leur impact sur le SCR de *spread* et d'explorer les perspectives d'un *Green Supporting Factor*.
4. Enfin, la quatrième partie propose une méthodologie de projection et de quantification de l'alignement environnemental du portefeuille obligataire à l'horizon 2035, en tenant compte des évolutions attendues du marché et du cadre réglementaire.

Chapitre 1

Cadre réglementaire et enjeux de la durabilité en assurance vie

L'intégration de la durabilité et du climat devient un enjeu central pour les assureurs vie, compte tenu de leurs engagements de long terme et des exigences croissantes de transparence réglementaire. Cette partie présente d'abord les principales démarches développées autour des stress tests climatiques et de l'utilisation des critères ESG dans la gestion d'actifs et l'ALM. Elle met ensuite en lumière le rôle particulier de l'assurance vie et la place déterminante des projections financières dans ce contexte. Enfin, elle examine le cadre européen, marqué par la taxonomie et la montée en puissance des instruments verts, afin d'identifier les leviers concrets d'intégration de ces dimensions dans les modèles de gestion et de pilotage des assureurs. L'objectif est de clarifier les enjeux et de formuler la question centrale : comment relier critères ESG, taxonomie et instruments verts aux outils de projection de long terme en assurance vie pour orienter l'allocation d'actifs et apprécier les effets sur le capital réglementaire.

1.1 Panorama des approches d'intégration de la durabilité

1.1.1 Stress tests climatiques

L'approche des stress climatiques a été proposée par le régulateur [AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION \(ACPR\) \(2020\)](#). L'exercice pilote climatique élaboré par l'ACPR a été appliqué aux assureurs français afin de mesurer leur exposition aux risques liés au changement climatique. Il s'avère particulièrement utile dans le cadre du pilier 2 de la réglementation Solvabilité, notamment à travers l'ORSA.

Cet exercice pilote se concentre principalement sur l'évaluation du risque de transition. Celui-ci est calibré en fonction d'hypothèses sur l'évolution de la taxe carbone et la production globale des facteurs économiques, en supposant que les objectifs de l'Accord de Paris seront atteints d'ici 2050. Trois scénarios de transition vers une économie bas-carbone, couvrant la période 2020-2050, ont ainsi été définis : un scénario central correspondant à une transition ordonnée, un scénario de transition retardée et un scénario de transition accélérée.

Pour chacun de ces scénarios, des projections de variables financières sont fournies à intervalles de cinq ans. Ces variables incluent notamment l'évolution de la courbe des taux d'intérêt, les spreads de crédit et les fluctuations des prix des actions selon les secteurs. Ces éléments permettent d'analyser l'impact potentiel de la transition climatique sur les marchés financiers et les portefeuilles d'investissement.

L'optimisation de portefeuilles intégrant le risque de transition climatique constitue une problématique complexe nécessitant une modélisation adaptée. En s'appuyant sur l'exercice pilote de l'ACPR, [WU \(2022\)](#) a développé une approche fondée sur des scénarios de transition en introduisant une nouvelle métrique de risque climatique afin de mesurer la volatilité des actifs en fonction des différents scénarios. L'étude met en évidence que les transitions désordonnées accroissent significativement le risque financier, en particulier pour certains secteurs sensibles. L'utilisation des algorithmes génétiques s'est révélée efficace pour optimiser l'allocation d'actifs, en tenant compte du compromis entre rendement et risque climatique. Pour [DERREAL \(2023\)](#) l'analyse des scénarios de l'exercice pilote de l'ACPR met en évidence une exposition particulièrement forte de trois secteurs : l'énergie, les matériaux et les services aux collectivités. Les entreprises de ces secteurs pourraient voir la valeur de leurs actions chuter de 25% à 100%, en raison de leur forte émission de CO_2 . [BERARD \(2023\)](#) fait ce même constat, en soulignant l'impact des moins-values sur le SCR dû au SCR marché, notamment des investissements en actions "Brune", et propose quant à elle une allocation graduelle vers les actifs "Verts".

1.1.2 Critères ESG dans l'ALM

La littérature sur les scores et critères ESG est particulièrement riche, tout comme le nombre de métriques et d'indices qui leur sont associés. Il est parfois difficile de naviguer parmi toutes ces définitions de l'investissement durable. Certains créent des classifications pour mieux coller aux spécificités des marchés traités. [QUEFFEULOU \(2023\)](#) propose par exemple de créer des indices actions, en arrivant à la conclusion que cela permet d'obtenir une performance supérieure avec une volatilité moindre, la performance étant quantifiée par des niveaux de PMVL (Plus ou moins values latentes), Ces constats se limitent néanmoins au risque actions. D'autres utilisent des indices de place (MSCI, iBoxx, CAC ESG ...). Dans un autre registre mais aussi sur le risque action, [FRANCONY \(2024\)](#) propose une nouvelle approche pour modéliser les actions en univers risque-neutre, en intégrant explicitement le risque climatique. Sa méthodologie repose sur deux composantes : une volatilité commune à tous les secteurs, liée au risque carbone global, et une volatilité propre à chaque secteur, reflétant ses caractéristiques spécifiques. Cette approche permet d'ajuster la sensibilité des secteurs au risque climatique. Les secteurs fortement exposés voient leur risque augmenter, tandis que ceux engagés dans la transition bénéficient d'un allègement. Cette modulation se répercute directement sur les évaluations financières, en particulier sur le *Best Estimate* et la TVOG, en traduisant un coût du risque différencié selon l'empreinte carbone sectorielle.

Deux limites reviennent régulièrement dans l'utilisation des approches ESG. La première concerne la qualité, la fiabilité et le manque de standardisation des données disponibles [LE DOUSSAL \(2024\)](#). La seconde tient aux restrictions liées à l'approche elle-même et aux classes d'actifs étudiées. L'analyse porte surtout sur la poche actions, qui rminoritaire dans les portefeuilles des assureurs-vie en raison

de contraintes réglementaires et de gestion. C'est particulièrement vrai dans le modèle français, où la majorité des encours est investie dans des fonds en euros, principalement composés d'obligations. Fin 2023, ces fonds affichaient une allocation moyenne d'environ 11,3% en actions contre 77,7% en obligations¹. Cette répartition demeure stable dans le temps. Cette classe d'actifs suscite donc un intérêt marqué, tant par l'évolution de ses performances financières que par l'impact des risques sur les défauts obligataires et les besoins en capital associés. Ce travail se concentre sur ces deux enjeux : l'utilisation de la taxonomie comme outil de standardisation, bien qu'encore en évolution, et l'étude approfondie de la poche obligataire.

1.1.3 Incidences sur le besoin en capital

Le risque de transition peut être pris en compte à travers plusieurs facteurs liés à l'émetteur obligataire, notamment la probabilité de défaut et la perte en cas de défaut. Ces éléments sont souvent intégrés de manière implicite dans les exigences des investisseurs, notamment via le spread de crédit². Par exemple, DEMORGNY (2021) propose d'adapter la méthodologie du score d'Altman³, classiquement utilisé pour estimer le risque de défaut des entreprises. Dans cette approche, certains paramètres du score sont ajustés en fonction de l'exposition de l'entité aux scénarios de transition définis par le NGFS, en particulier ceux liés aux prix du carbone. Cette méthode, bien que claire et pragmatique, présente certaines limites (dépendance aux données comptables, applicable surtout aux entreprises cotées/manufacturières, rigidité du modèle notamment). En effet, le score d'Altman, développé en 1968, a fait l'objet de critiques quant à sa pertinence dans le contexte économique actuel. Néanmoins, son application reste répandue en pratique, et les résultats obtenus dans ce cadre sont jugés satisfaisants. Enfin, la durabilité peut également être appréciée à travers le prisme du besoin en capital. L'hypothèse sous-jacente est que les actifs durables présentent un niveau de risque inférieur à celui des actifs non verts, ce qui pourrait permettre une réduction du SCR. KHOUEIRY (2022) s'intéresse notamment aux chocs du pilier 1 de la réglementation Solvabilité II. Les résultats, bien qu'à prendre avec du recul car basés sur des historiques peu profonds et des méthodes non similaires à ce qui a été fait par l'EIOPA pour calibrer les chocs, permettent quand même de s'apercevoir, sur le module de *spread*, que les obligations vertes sont moins sensibles aux chocs économiques. Certaines études suggèrent que les *green bonds* présentent un profil différent de celui des obligations traditionnelles (cf. FATICA et PANZICA (2024)). En examinant les positions des investisseurs institutionnels, les auteurs montrent que, lors de périodes de crise, ces derniers ont tendance à conserver leurs investissements en *green bonds* plus que ceux en obligations classiques. Ils soulignent également que le marché des *green bonds* est plus concentré. Pour parvenir à ces conclusions, ils se sont notamment appuyés sur l'analyse de la période de crise liée à la pandémie de Covid-19.

1. Composition moyenne des fonds en euros classiques à fin 2023, Good Value for Money : <https://www.goodvalueformoney.eu/documentation/composition-moyenne-des-fonds-en-euros-classiques-a-fin-2023>

2. Le spread correspond à la prime de risque exigée par les investisseurs, mesurée comme l'écart de rendement entre une obligation considérée comme risquée et une obligation de référence jugée sans risque. Il peut être calculé selon différentes méthodes, telles que le G-Spread, l'I-Spread, etc.

3. Le **score d'Altman** est un indicateur de risque de faillite basé sur une combinaison de ratios financiers : $Z = 1,2X_1 + 1,4X_2 + 3,3X_3 + 0,6X_4 + 1,0X_5$, où $X_1 = \frac{\text{Fonds de roulement}}{\text{Total de l'actif}}$, $X_2 = \frac{\text{Résultats non distribués}}{\text{Total de l'actif}}$, $X_3 = \frac{\text{EBIT}}{\text{Total de l'actif}}$, $X_4 = \frac{\text{Valeur de marché des capitaux propres}}{\text{Valeur comptable des dettes}}$, et $X_5 = \frac{\text{Chiffre d'affaires}}{\text{Total de l'actif}}$. Un score $Z > 2,99$ indique une situation saine, entre 1,81 et 2,99 une zone d'incertitude, et $Z < 1,81$ un risque élevé de défaut. Des variantes existent selon le type d'entreprise.

1.1.4 ESG et gestion d'actifs

Les thématiques liées à la décarbonation et à la transition énergétique prennent une place croissante dans la gestion d'actifs. L'approche la plus répandue consiste à aligner un portefeuille d'actifs sur une trajectoire compatible avec les Accords de Paris, en visant la neutralité carbone d'ici 2050. Cependant, cette logique de simple décarbonation, souvent mise en œuvre par l'exclusion ou la sous-pondération de certains secteurs fortement émetteurs, présente le risque d'un sous-investissement massif dans les activités pourtant clés pour réussir la transition (énergie, matériaux, *utilities*).

Dans ce contexte, [OULID AZOUZ \(2023\)](#) propose une approche distincte de la logique de décarbonation passive. Il modélise la problématique comme un problème d'optimisation sous contraintes : part d'intensité carbone, taux de décarbonation, et vitesse de décarbonation. En mobilisant les outils classiques de la gestion indiciaire, comme la minimisation de la tracking error vis-à-vis d'un benchmark, il compare différentes stratégies d'allocation.

Ses résultats soulignent qu'il est nettement plus simple de décarboner un portefeuille que de construire un portefeuille réellement orienté vers le financement de la transition. En effet, ce dernier implique des arbitrages plus complexes entre alignement climatique, financement de la transition et performance financière. Il montre également que la prise en compte explicite de la dynamique de transition dans l'allocation permet de générer des portefeuilles plus équilibrés, en finançant les émetteurs en transition sans trop s'éloigner du benchmark.

1.1.5 Spécificités de l'assurance vie dans le contexte durable

L'assurance vie en France s'inscrit dans un cadre réglementaire strict, défini par le Code des assurances et le dispositif Solvabilité II. Fin 2024, le secteur représente un encours de 1 989 milliards d'euros⁴. L'assurance vie remplit trois missions essentielles : la sécurisation de l'épargne longue via les fonds en euros (62 % des encours), le financement de l'économie et la couverture des risques biométriques.

L'offre se structure autour des contrats monosupports en euros (rendement moyen de 2,6 % en 2024⁵), des contrats multisupports et des PER assurantiels, dont les encours atteignent 96,5 milliards d'euros dès début 2025. La répartition des actifs traduit une recherche d'équilibre entre sécurité et rendement, avec 63% d'obligations, 24 % d'actions et 13 % d'immobilier et autres actifs.⁶

Les engagements des assureurs vie s'étendent sur plusieurs décennies, imposant une gestion rigoureuse des provisions. L'espérance de vie à 65 ans a progressé en moyenne de 1,5 mois par an entre 2008 et 2023, selon les données de la Drees⁷. Le ratio de couverture Solvabilité II du secteur

4. France Assureurs, *Communiqué de presse du 31 janvier 2025 – Résultats de l'assurance vie à fin décembre 2024*, https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/20250131-france_assureurs_cp-vie_decembre-2024_vdef.pdf

5. Source : ACPR - *Assurance Vie 2024* (Document de l'Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution) https://acpr.banque-france.fr/system/files/2025-03/20250327_AS170_assurance_vie_2024.pdf

6. Source : France Assureurs - *Communiqué de presse - Décembre 2024* https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/20250131-france_assureurs_cp-vie_decembre-2024_vdef.pdf

7. Drees, 2024. *Espérance de vie et espérance de vie sans incapacité à 65 ans*. Rapport annuel.

atteint 238 % fin 2024., illustrant une solidité financière notable.⁸

L'étude *Living to 100*⁹ met en avant trois risques majeurs : le risque de longévité, le risque de taux, et le risque de liquidité.

En janvier 2025, le secteur a enregistré 17,3 milliards d'euros de cotisations (+10 % sur un an), une collecte nette de 4,5 milliards (un record depuis 2010) et 1,3 milliard pour les PER assurantiels (+40 %).¹⁰

Les enjeux liés à l'investissement durable s'inscrivent pleinement dans les problématiques d'allocation d'actifs et de gestion des risques au sein des compagnies d'assurance. Traditionnellement, ces enjeux relèvent des directions des investissements et de gestion des risques, en étroite collaboration avec les équipes en charge de l'*Asset-Liability Management* (ALM). Toutefois, il devient essentiel de mobiliser les outils ALM afin de croiser les projections financières de long terme avec les trajectoires de transition énergétique et climatique des assureurs.

L'un des défis majeurs consiste à orienter les allocations d'actifs de manière à concilier les appétences au risque de la compagnie avec ses obligations réglementaires et ses engagements en matière de durabilité.

La Figure 1.1 présente une vue d'ensemble du processus de pilotage de l'allocation d'actifs au sein d'une compagnie. Elle met en évidence les interactions entre les différentes entités organisationnelles ainsi que les mécanismes de gouvernance qui encadrent les décisions financières. Les éléments affichés en vert correspondent aux fonctions qui, jusqu'à présent, ont été les plus impliquées dans la prise en compte des considérations liées à la durabilité.

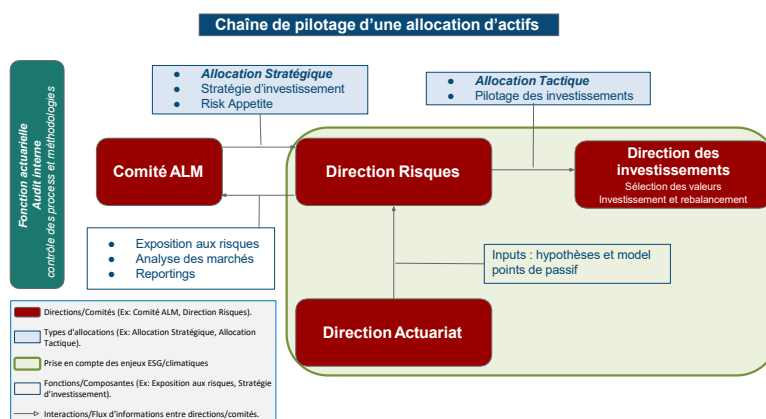


FIGURE 1.1 – Processus de Pilotage de l'Allocation d'Actifs

8. ACPR, *La situation des assureurs soumis à Solvabilité II en France fin 2024*, Analyses et Synthèses n°173, Banque de France, juin 2025.

9. Society of Actuaries, *Living to 100 : Insights and Challenges* (2019), <https://www.soa.org/498a0e/globalassets/assets/files/resources/research-report/2019/living-100-insights-challenges.pdf>

10. Source : https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/20250306-france_assureurs_cp-vie_janvier-2025_vdef.pdf

Modèle ALM général

Les modèles ALM (*Asset Liability Management*) intègre les flux de trésorerie des actifs (rendement, volatilité, achats, ventes) et des passifs (rachats, décès, etc.), permettant ainsi une évaluation globale de la situation économique, des leviers d'action et de la solvabilité. Ce mémoire vise ainsi à analyser l'impact de ces dimensions sur la solvabilité, en s'appuyant notamment sur l'investissement dans des obligations vertes, sur l'effet potentiel de ces investissements sur les rendements futurs, et sur les moyens d'intégrer ces considérations dans le processus de projection économique et actuarielle.

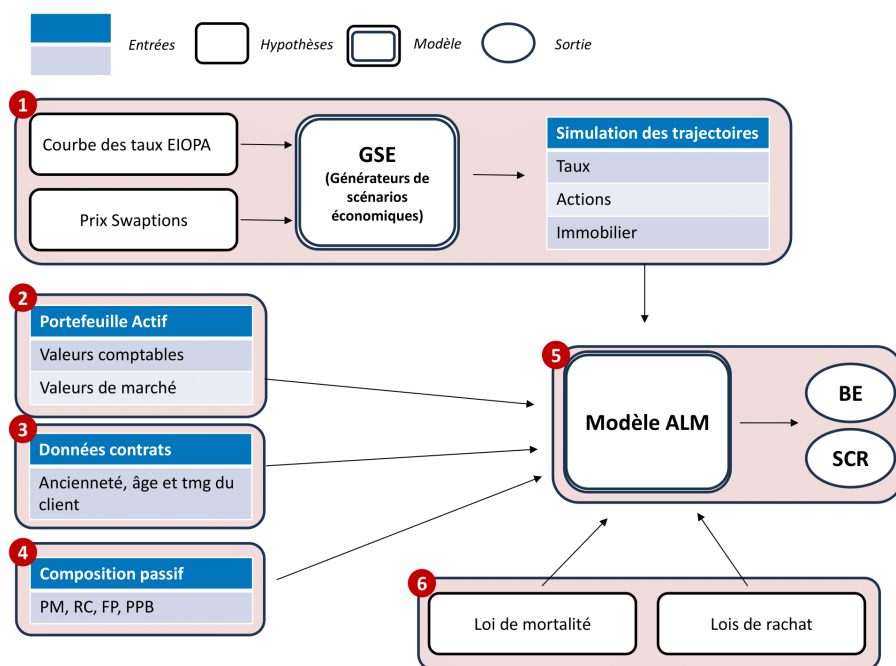


FIGURE 1.2 – Graphique illustrant le fonctionnement d'un modèle ALM en assurance

L'objectif principal de la gestion actif-passif (ALM) en assurance vie consiste à maintenir un équilibre dynamique entre les engagements de long terme de l'assureur et les actifs destinés à les couvrir [PLANCHET, THÉRON et JUILLARD \(2011\)](#). La Figure 1.2 illustre une architecture typique d'un modèle ALM appliqué à un portefeuille d'assurance vie, structuré en plusieurs composantes interdépendantes :

1. Génération des scénarios économiques (GSE) :

- Alimentée par la courbe des taux EIOPA, les prix des *swaptions* et différentes données de marché.
- Le générateur de scénarios économiques permet d'obtenir des trajectoires de rendements des actifs et de taux notamment.

2. Portefeuille actif :

- Comprend les valeurs comptables et de marché des actifs.

3. Données contrats :

- Contient les informations sur l'ancienneté, l'âge et la taille des clients.

4. Composition du passif :

- Inclut les provisions mathématiques (PM), réserves de capitalisation (RC), fonds propres (FP) et provisions pour participations aux bénéficiaires (PPB).

5. Modèle ALM central :

- Reçoit les entrées des différents composants.
- Produit les indicateurs BE (*Best Estimate*) et SCR (*Solvency Capital Requirement*).

6. Lois de mortalité et de rachat :

- Modélisent les comportements des assurés (taux de mortalité, taux de rachat).

Les approches d'intégration et de modélisation des enjeux de transition dans l'ALM restent hétérogènes et partielles, sans cadre de place établi. Le pilotage de ces enjeux demeure un champ émergent, généralement traité ex post : les stratégies d'investissement, de souscription et de gestion sont ajustées opérationnellement pour tendre vers un modèle plus durable, sans projection explicite de l'interaction avec une trajectoire de transition.

Deux risques majeurs en découlent :

- d'un côté, des projections économiques biaisées, du fait de l'écart entre la nature réelle des actifs (ex. : actifs bruns vs. actifs verts) et celle supposée dans les modèles ;
- de l'autre, une absence de prise en compte des actions de pilotage (gestion, souscription, management), induisant des distorsions sur les lois de comportement (notamment de rachat) et sur l'allocation des produits entre assurés.

L'intégration des critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) dans la gestion actif-passif (ALM) à long terme constitue un enjeu stratégique croissant pour les acteurs du secteur assurantiel.

Nous proposons une discussion sur les perspectives d'évolution possibles des modèles ALM, en s'appuyant notamment sur la Figure 1.2. Ces évolutions visent à prendre en compte les externalités économiques, les critères issus de la taxonomie verte européenne, ainsi que les effets systémiques induits par le changement climatique.

| Domaines | Propositions |
|---|--|
| Génération des scénarios économiques (GSE) | Incorporation de scénarios climatiques NGFS, prime ESG sur rendements, modélisation de volatilités extrêmes liées aux risques physiques (inondations, vagues de chaleur). |
| Portefeuille actif | Intégration des scores ESG (MSCI, Sustainalytics), allocation ciblée vers obligations vertes et infrastructures durables, plafonds sur énergies fossiles, valorisation ajustée selon scénarios climatiques (+1,5 °C, +2 °C). |
| Données contrats | Enrichissement par préférences ESG (exclusions, ISR), indicateurs durabilité par segment client (profil climatique, empreinte carbone), collecte de données comportementales. |
| Composition du passif | Conception de produits d'assurance vie durables (fonds à impact, UC ISR), clauses dynamiques indexées sur performance carbone, bonus liés à objectifs environnementaux (alignement 1,5 °C). |
| Modèle ALM central | Définition d'indicateurs durabilité (SCR climatique), intégration des risques climatiques dans SCR via scénarios multiples, alignement avec recommandations TCFD. |
| Lois de mortalité et de rachat | Analyse des impacts environnementaux et sociaux sur comportements, scénarios différenciés selon profils ESG et risques climatiques extrêmes, adaptation des tables biométriques liée au climat. |

TABLE 1.1 – Propositions d'intégration des facteurs ESG et climatiques selon domaines clés

1.2 Taxonomie européenne : définitions, enjeux et adoption

La transition vers une économie européenne neutre en carbone exige de rediriger massivement les capitaux privés vers des activités durables. La taxonomie européenne européenne, lancée par la Commission en 2018, sert de "boussole environnementale"¹¹ pour guider ces investissements, s'inscrivant dans la stratégie globale du Pacte vert pour l'Europe avec des objectifs à 2030 et 2050.

La taxonomie européenne évalue des activités, non des entreprises, ce qui permet de différencier des activités durables et non durables au sein d'une même structure. Une activité est qualifiée de durable si elle contribue substantiellement à un objectif environnemental, ne nuit pas aux autres et respecte des garanties sociales minimales.

La classification distingue trois types d'activités : celles contribuant directement à un objectif, les activités habilitantes qui soutiennent les premières, et les activités transitoires, qui améliorent les pratiques dans des secteurs sans alternative.

Enfin, la taxonomie européenne est un outil technique mis à jour régulièrement et appliqué progressivement selon les secteurs. Sa longueur et sa technicité en font un instrument exigeant mais central pour l'alignement de la finance avec les objectifs climatiques européens.

Taxonomie verte dans le monde Selon [HM TREASURY \(2024\)](#), environ 20 juridictions disposent déjà d'une taxonomie soutenue par leur gouvernement, et une trentaine d'autres envisagent d'en développer une. Ces cadres varient selon les objectifs et les obligations de reporting, parfois contraignantes pour les entreprises opérant à l'international. Les taxonomies ne sont pas des dispositifs figés : elles nécessitent un suivi et une mise à jour continus.

La taxonomie européenne, aux côtés de celle de la Chine, figure parmi les plus avancées. Elle constitue un outil stratégique de normalisation, de souveraineté économique et de soft power, positionnant l'Union européenne comme un acteur précurseur dans la finance durable.

À titre d'illustration, sans être exhaustif, la Carte 1.3 illustre la pluralité des taxonomies existantes dans le monde, ainsi que les disparités dans leur niveau de développement. Certaines sont encore à l'état de projet ou de consultation publique, tandis que d'autres sont déjà opérationnelles et intégrées dans les politiques nationales de finance durable.

11. Commission européenne, « Taxonomie verte de l'Union européenne : mode d'emploi », Représentation permanente de la France auprès de l'UE, 13 janvier 2022, https://france.representation.ec.europa.eu/informations/taxonomie-verte-mode-demploi-2022-01-13_fr

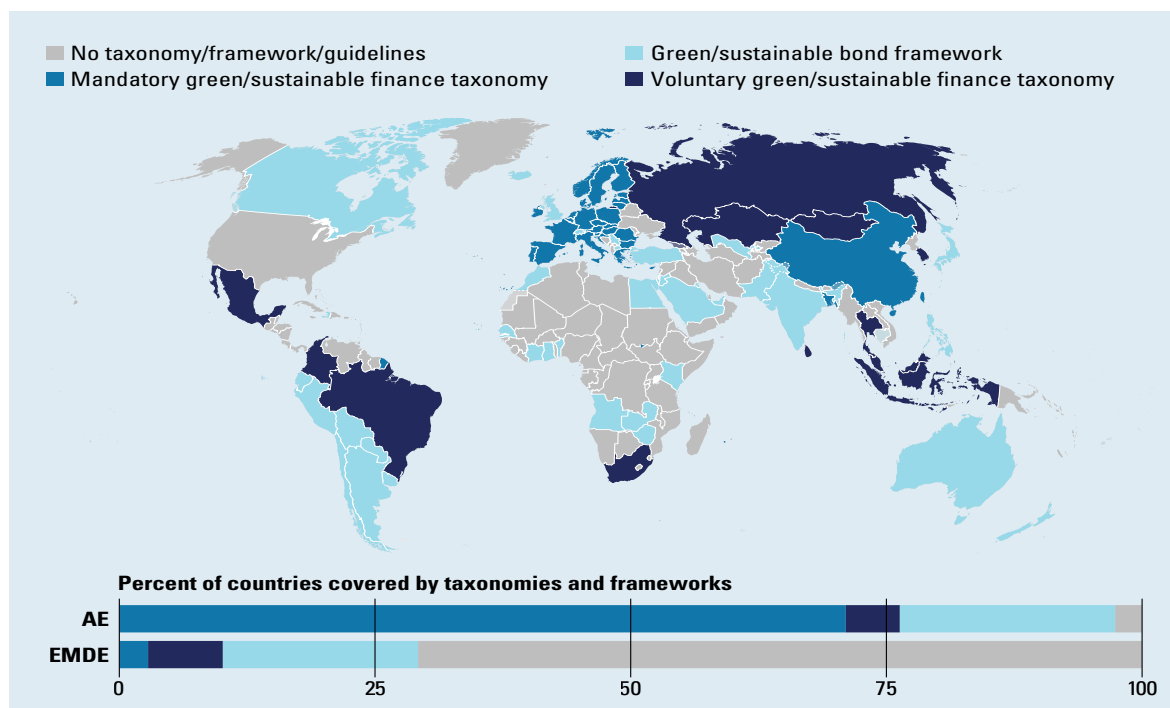


FIGURE 1.3 – Couverture croissante des pays par des taxonomies ou des cadres d’obligations durables, selon les économies avancées (AE) et les économies émergentes et en développement (EMDE).

Source : World Bank, *Finance & Prosperity 2024*

1.2.1 Cadre réglementaire de la taxonomie européenne

Pour qu’une activité soit durable au sens de la taxonomie européenne, elle doit contribuer de manière substantielle à au moins un des six objectifs suivants, sans porter un préjudice significatif aux cinq autres, tout en respectant des garanties minimales en matière de droits humains et de droit du travail. Les six objectifs environnementaux sont :

- l’atténuation du changement climatique,
- l’adaptation au changement climatique,
- l’utilisation durable et la protection des ressources aquatiques et maritimes,
- la transition vers une économie circulaire,
- la prévention et le contrôle de la pollution,
- la protection et la restauration de la biodiversité et des écosystèmes.

Pour chacun de ces six objectifs, le règlement liste des activités éligibles qui sont celles couvertes par le règlement. Pour être considérées comme alignées à la taxonomie européenne, ces activités éligibles devront respecter des critères d’examen techniques pour attester de leur contribution à l’un des six objectifs. Si l’activité est éligible mais ne vérifie pas ces conditions d’alignement, on dit qu’elle est éligible mais non alignée. Les activités durables peuvent apporter plusieurs types de contribution :

- des activités contribuant directement à un des objectifs, par exemple la production d’électricité solaire.

- des activités habilitantes permettant à d'autres activités de contribuer à un des objectifs, comme la fabrication de panneaux photovoltaïques.
- des activités transitoires, pour lesquelles il n'existe pas encore de solution bas carbone de substitution, mais dont les émissions de gaz à effet de serre correspondent aux meilleures performances réalisables.

L'alignement est ainsi une vision plus fine de l'éligibilité quant à la contribution réelle aux objectifs de la taxonomie européenne.

La taxonomie européenne pourrait, à terme, orienter les flux d'investissement dans deux directions opposées : d'une part, en favorisant les activités alignées, susceptibles de capter une part croissante des capitaux ; d'autre part, en limitant l'attractivité des activités non alignées, qui ne contribueront ni au calcul du ratio d'éligibilité, ni à celui du ratio d'alignement. La taxonomie européenne propose néanmoins plusieurs déclinaisons de ce ratio : en part du chiffre d'affaires, en part des dépenses d'investissement (CAPEX)¹², et en part des dépenses opérationnelles (OPEX)¹³. Ces différentes approches permettent, selon les spécificités sectorielles, de mieux refléter les dynamiques de transition. Ainsi, pour les secteurs à forte intensité capitalistique (utilities, énergie, télécommunications...), la prise en compte des CAPEX permet de valoriser les efforts d'alignement engagés, même en présence d'un chiffre d'affaires encore non aligné.

1.2.2 État des lieux de l'adoption par les assureurs

Dans [EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS AUTHORITY \(EIOPA\) \(2021\)](#), la FFA souligne plusieurs points spécifiques au marché français de l'assurance, qu'il est essentiel de prendre en compte pour intégrer la taxonomie européenne dans la politique d'investissement. Les (ré)assureurs français estiment qu'une distinction doit être faite entre les actifs du compte général et ceux des contrats d'assurance-vie liés à des unités de comptes. Le ratio d'investissements associés à des activités économiques durables sur le compte général est, selon eux, le meilleur reflet de la politique et des efforts de l'assureur en matière d'investissements « verts », car c'est l'assureur qui décide de l'allocation. En revanche, les investissements « alignés avec la taxonomie » dans les unités de comptes dépendent des choix des souscripteurs, et non des compagnies d'assurance, ce qui rend ce ratio moins pertinent. Notre étude se concentrera donc en majeure partie sur l'intégration de critères liés à la taxonomie européenne sur un fonds euros.

1.2.3 Premiers résultats et retours d'expérience

Selon les statistiques publiées par [EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS AUTHORITY \(EIOPA\) \(2024a\)](#), 4,5 % des investissements directs en obligations d'entreprises et en actions des assureurs sont alignés sur la taxonomie européenne.¹⁴

12. CAPEX (Capital Expenditure) : dépenses engagées pour acquérir ou améliorer des actifs durables tels que les machines, bâtiments ou technologies.

13. OPEX (Operational Expenditure) : dépenses récurrentes liées au fonctionnement quotidien de l'entreprise, telles que les salaires, loyers ou frais de maintenance.

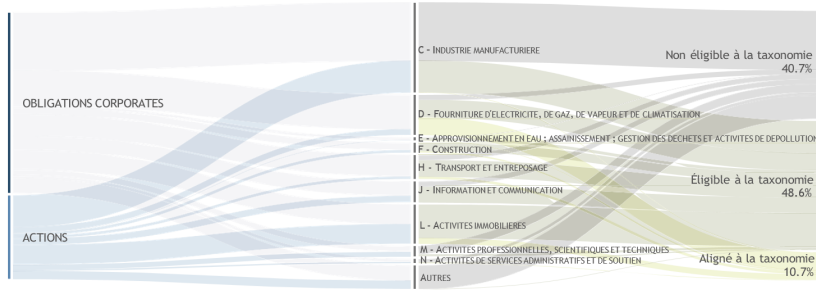


FIGURE 1.4 – Alignement à la taxonomie des portefeuilles d’obligations d’entreprises non financières et d’actions des assureurs de l’EEE

L’analyse des rapports LEC29 montre une hausse moyenne du ratio d’éligibilité à la taxonomie européenne des assureurs vie français, passant de 13 % en 2022 à 15 % en 2023. Cette progression (Figure 1.5) résulte principalement de (i) l’intégration d’actifs immobiliers et forestiers, (ii) une meilleure transparence des fonds et (iii) l’apport des données issues de la directive NFRD. Toutefois, seuls trois assureurs dépassent 25 % d’éligibilité, hors dettes souveraines.

14. En raison de l’alignement/éligibilité supposé nul selon la méthodologie actuelle (cf. ALESSI et BATTISTON (2022)), le diagramme exclut les investissements dans les entreprises financières (code secteur NACE K). Les données présentées concernent uniquement les titres émis par l’EEE.

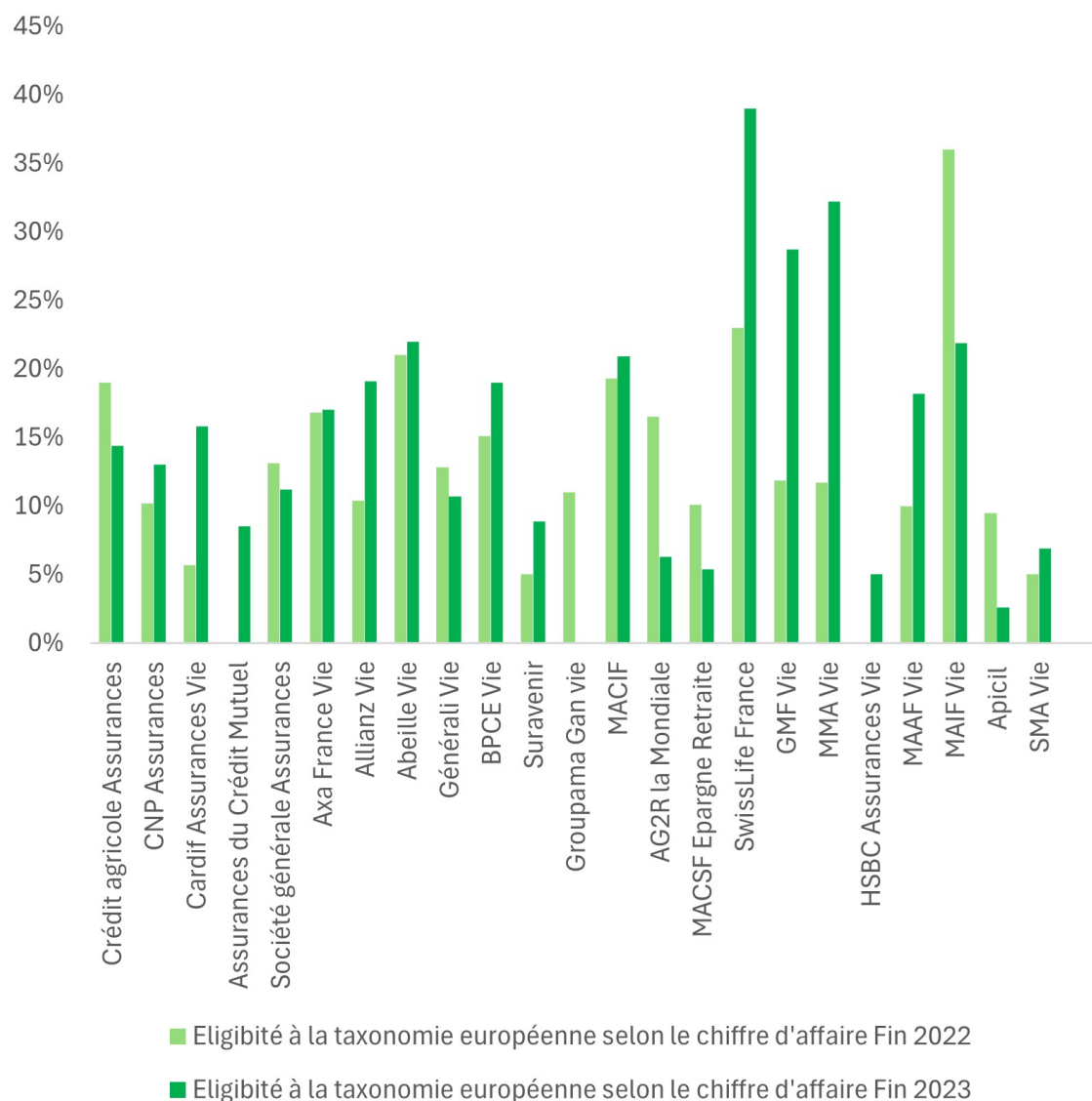


FIGURE 1.5 – Ratio d'éligibilité à la taxonomie européenne par acteur. Source : Rapport LEC29 des principaux assureurs vie français en termes d'encours (NEXIALOG (2024)).

Le reporting des assureurs et réassureurs inclut des indicateurs clés de performance (ICP) relatifs aux investissements. Ces ICP couvrent l'ensemble de l'actif du bilan, qu'il s'agisse d'investissements directs ou indirects (OPC, participations, prêts, hypothèques, actifs corporels ou incorporels), à l'exclusion des expositions souveraines. Ils mesurent la part des investissements finançant des activités alignées sur la taxonomie européenne, exprimée en valeur absolue et en pourcentage, calculée comme la moyenne pondérée des investissements consacrés aux financements de ces activités. Ces indicateurs sont standardisés, quel que soit l'objectif environnemental (atténuation, adaptation ou autre). La Figure 1.6 illustre la démarche de construction de l'ICP d'alignement des investissements, présentant les étapes allant de l'actif total à l'actif couvert, de l'actif éligible à l'actif aligné.



FIGURE 1.6 – Processus de calcul du Green Investment Ratio (GIR) : de l’actif total en actif aligné.
Source : [AUTORITÉ DES MARCHÉS FINANCIERS \(AMF\) \(2024\)](#)

Comparaison Banques et Assurances face au GAR L’analyse des ICP, en particulier du *Green Asset Ratio* (GAR), est déterminante. L’étude de l’EBF [EUROPEAN BANKING FEDERATION \(2024\)](#), consacrée à la construction et aux limites du GAR dans le secteur bancaire, fournit des enseignements transposables au secteur de l’assurance. Conçu initialement pour les investisseurs et les marchés financiers, le GAR présente plusieurs limites : manque de données fiables, difficulté à évaluer l’alignement des entreprises non soumises à la NFRD/CSRD, et asymétrie entre le numérateur et le dénominateur qui complique l’application de la taxonomie européenne. Cette problématique se retrouve chez les assureurs, qui doivent apprécier la durabilité de leurs portefeuilles d’actifs. Sont exclus du numérateur du GAR :

- 99 % des PME européennes,
- les entreprises non soumises à la NFRD/CSRD,
- les sociétés hors UE, y compris lorsqu’elles respectent la taxonomie européenne.

Pour les banques, l’EBF relève une forte variabilité du GAR selon le modèle économique, la clientèle et la zone géographique. Cette hétérogénéité est nettement moins marquée pour les assureurs-vie, dont l’activité repose essentiellement sur l’investissement des primes collectées. Contrairement aux banques, dont l’exposition verte dépend de la demande de crédit et des secteurs financés, les assureurs disposent d’une plus grande marge de manœuvre pour orienter leurs portefeuilles vers des actifs conformes à la taxonomie européenne.

Enjeux et limites des ICP taxonomiques pour les assureurs L’industrie de l’assurance met cependant en évidence plusieurs limites : (i) la couverture partielle des portefeuilles par la taxonomie européenne, qui restreint la possibilité de constituer un portefeuille diversifié aligné ; (ii) l’accent mis sur les activités vertes existantes au détriment des investissements de transition, pourtant essentiels pour atteindre la neutralité carbone ; (iii) la répartition obligatoire des primes liées aux risques climatiques, générant des ICP très faibles (souvent inférieurs à 5% pour les assureurs primaires),

qui ne reflètent pas la contribution réelle du secteur. Enfin, une critique récurrente souligne qu'un assureur cherchant uniquement à maximiser ses ICP d'investissement pourrait négliger ses obligations vis-à-vis de ses clients, la gestion des risques, l'économie réelle ou encore la transition écologique.¹⁵

1.3 Instruments verts et normalisation de marché

1.3.1 Normes et standards des *green bonds*

Les obligations vertes s'appuient sur trois grands cadres. Les *Green Bond Principles* de l'ICMA constituent la base la plus répandue : ils fixent quatre règles essentielles, à savoir que les fonds doivent financer des projets véritablement verts, que le processus de sélection doit être clair et documenté, que les capitaux soient suivis séparément et que des rapports réguliers soient publiés. Ce cadre reste volontaire et laisse une marge de manœuvre importante aux émetteurs, ce qui en fait un outil flexible mais parfois perçu comme moins robuste.

La *Climate Bonds Initiative* va plus loin en imposant une certification externe obligatoire et des critères techniques propres à chaque secteur, par exemple pour les énergies renouvelables ou les bâtiments durables. Cette exigence réduit fortement le risque de *greenwashing* et renforce la crédibilité auprès des investisseurs.

Depuis 2024, l'*EU Green Bond Standard* a ajouté un niveau encore plus strict : pour obtenir ce label, au moins 85% des fonds levés doivent respecter la taxonomie européenne, et la vérification doit être réalisée par des organismes accrédités. Ce standard établit ainsi une référence officielle et contraignante pour le marché européen.

En pratique, un émetteur peut toujours décider d'appeler son obligation « verte » sans passer par ces certifications. Mais dans ce cas, tout repose sur sa propre définition des projets éligibles et sur sa transparence volontaire, ce qui limite souvent la confiance des investisseurs.

Green Bond Principles (GBP) – ICMA

Les GBP sont un cadre volontaire développé en 2014 par l'*International Capital Market Association* (ICMA), structuré autour de quatre piliers essentiels :

- **Utilisation des fonds** : les produits levés doivent être exclusivement consacrés au financement de projets verts, tels que les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique ou la gestion durable de l'eau, avec une interdiction implicite d'affectation aux énergies fossiles. Les émetteurs précisent la part dédiée au refinancement et définissent une période de *look-back* pour les projets refinancés.
- **Évaluation et sélection des projets** : la sélection repose sur une méthodologie transparente, permettant d'identifier les projets éligibles selon des critères publiés dans un *Green Bond Framework*. Cette méthodologie est idéalement alignée sur des taxonomies reconnues, telles que celles de l'Union européenne ou du *Climate Bonds Initiative*.

15. Understanding (re)insurers' first reporting of Taxonomy Regulation's Underwriting and Investment ICPs

- **Gestion des produits** : les flux financiers doivent être suivis de manière rigoureuse, via une comptabilité séparée, des registres dédiés ou un audit externe. Les fonds non encore alloués peuvent être temporairement placés en liquidités ou en obligations souveraines.
- **Reporting et transparence** : une publication annuelle est exigée pour rendre compte à la fois de l'allocation des fonds et des impacts environnementaux des projets financés, notamment la réduction des émissions de CO₂ (en tonnes).

European Green Bond Standard (EuGB) – Règlement UE 2023/2631

Norme réglementaire applicable depuis décembre 2024. Elle exige un alignement sur la Taxonomie UE, impliquant que les projets doivent respecter les critères techniques de l'UE, notamment les seuils d'émissions et le principe du *Do No Significant Harm* (DNSH)¹⁶. Ils doivent couvrir au moins un des six objectifs environnementaux de la Taxonomie. Des exceptions temporaires sont prévues pour les activités en transition, comme l'hydrogène bas-carbone sous certaines conditions. La vérification externe est obligatoire et doit être réalisée par des *reviewers* accrédités par l'ESMA. Cela inclut un contrôle pré-émission portant sur le cadre d'utilisation des fonds et un contrôle post-émission concernant leur allocation effective. Une transparence renforcée est requise avec la publication d'un rapport préalable détaillant les projets et leur adéquation à la Taxonomie. Un reporting annuel doit inclure des métriques standardisées, par exemple la production en GWh d'énergie renouvelable. Des sanctions pour non-conformité sont prévues afin de limiter les risques de *greenwashing*.

Climate Bonds Standard (CBI) – Approche sectorielle

Cette certification repose sur des critères scientifiques stricts appliqués par secteur. Plus de 50 secteurs sont couverts, incluant le bâtiment, le transport et l'agriculture. Les seuils sont rigoureux, par exemple une limite inférieure à 100 gCOe/kWh pour l'électricité. Les bioénergies non durables et les grands barrages controversés sont exclus. Le processus de certification implique une validation par le Climate Bonds Standard Board et un audit par des vérificateurs accrédités. L'un des principaux avantages est la reconnaissance mondiale du standard, y compris en dehors de l'UE. Il est également compatible avec les *Green Bond Principles* (GBP) et la Taxonomie UE.

16. Ce principe impose de ne causer aucun préjudice aux 6 objectifs environnementaux qui déterminent la durabilité d'une activité

| Critère | GBP | EuGB | CBI |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Base légale | Volontaire | Règlement (application 2024) UE fin | Volontaire avec certification obligatoire |
| Taxonomie | Recommandée, non obligatoire | Obligatoire (alignement taxonomie UE) | Critères scientifiques par secteur |
| Vérification externe | Recommandée | Obligatoire (contrôle ESMA) | Obligatoire (assurance indépendante) |
| Flexibilité | Très flexible (jusqu'à 100% vert) | Alignement strict (\geq 85%) | Rigoureux (\geq 95% vert) |

TABLE 1.2 – Comparaison des principaux standard pour les *Green Bonds*

Ce qu'il faut retenir — Taxonomie et standards liés aux Green Bonds

Les limites identifiées nous conduisent à privilégier une analyse de l'alignement des investissements en actions cotées avec la taxonomie européenne. Cette démarche progressive permet de tenir compte du fait que la taxonomie ne couvre qu'une part limitée des portefeuilles, tout en concentrant l'évaluation sur le périmètre des actions cotées.

S'agissant des *Green Bonds*, le standard de la Climate Bonds Initiative (CBI) apparaît particulièrement pertinent. Plus ancien et plus proche de la logique de la taxonomie européenne, il constitue une référence solide pour structurer l'analyse et encadrer les risques liés aux obligations vertes.

1.3.2 Marché des *Green Bonds*

En Europe, la part des *Green Bonds* dans les émissions obligataires en 2024 a représenté 6,9% des émissions totales au sein de l'Union européenne et 12,8% des émissions corporates. On constate une croissance marquée de ce segment d'année en année, malgré quelques ralentissements observés certaines années (notamment en 2023), comme le montre la Figure 1.7 sur les émissions de *Green Bond* en Europe.

Évolution de la part des Green Bonds

Part des émissions vertes par catégorie au fil des années

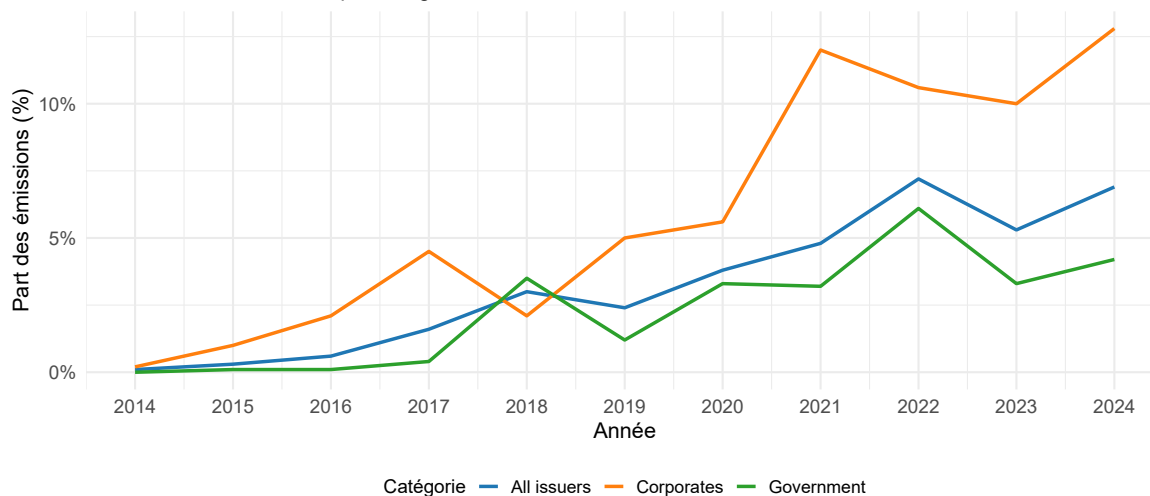


FIGURE 1.7 – Part des *Green Bonds* en Europe (*ICMA Green Bond Principles* et *CBI Climate Bond Standard*) (Source : European Environment Agency)

Pays et devises d'émission des *Green bonds* Pour ce qui est des émissions mondiales, les pays européens sont les principales zones d'émission de *Green Bonds* (France, Luxembourg, Allemagne, Italie, Suède, etc.). Néanmoins, la Chine (en orange sur la Figure 1.8) occupe une place de plus en plus importante sur ce marché. En ce qui concerne les devises d'émission, l'euro domine largement avec plus de la moitié des émissions chaque année (voir Figure 1.9). Le marché est concentré sur les principales devises mondiales (yuan, dollar), avec une part marginale pour le yen, le franc suisse, la couronne suédoise et la couronne norvégienne.

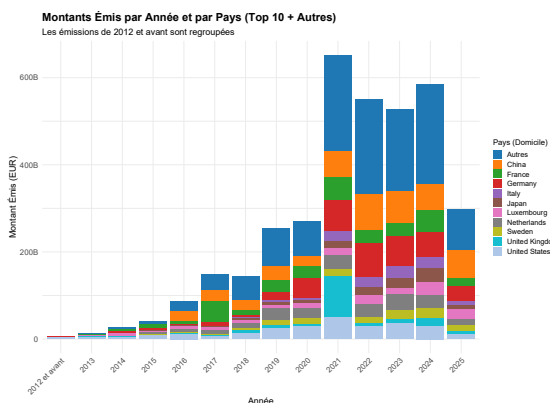


FIGURE 1.8 – Marché des *Green Bonds* par pays d'émission (Source : Refinitiv, données de juillet 2025))

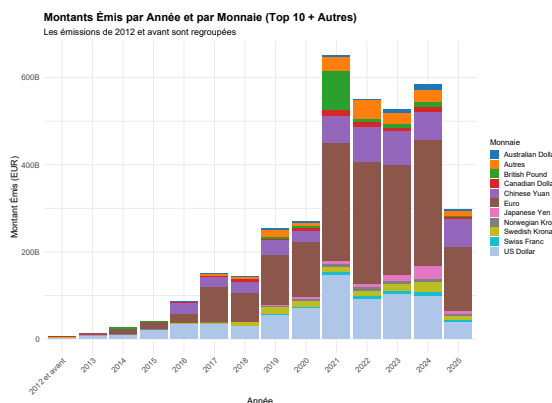


FIGURE 1.9 – Marché des *Green Bonds* par devise d'émission (Source : Refinitiv, données de juillet 2025))

Développement du marché EUGB Au regard des standards liés à la taxonomie européenne, il convient de rappeler que ce cadre figure parmi les plus stricts en matière de finance durable. À ce jour,

seuls quelques secteurs sont en mesure d'émettre ce type d'obligations. Au 1^{er} août 2025, on recense environ une dizaine d'émissions pour un montant total de 9,25 milliards d'euros. La répartition par type d'émetteur est quasiment équilibrée (Voir Figure 1.10). Les obligations d'agences représentent 4 500 M€, soit 48,65 % du total, tandis que les obligations corporate totalisent 4 750 M€, soit 51,35 % du total. Sur le plan du profil de crédit, les obligations corporate présentent le plus souvent des notations A ou BBB, tandis que les émissions semi-souveraines, souveraines ou d'agences affichent généralement des notations supérieures (AAA, AA, A), traduisant un risque de crédit plus faible. En termes sectoriels, les montants se concentrent sur des segments largement couverts par la taxonomie européenne, mais historiquement émetteurs significatifs de CO_2 : énergie, utilities, métallurgie. Cette configuration illustre le rôle central de ces secteurs dans la transition, avec une mobilisation croissante des financements durables pour accompagner leur décarbonation.

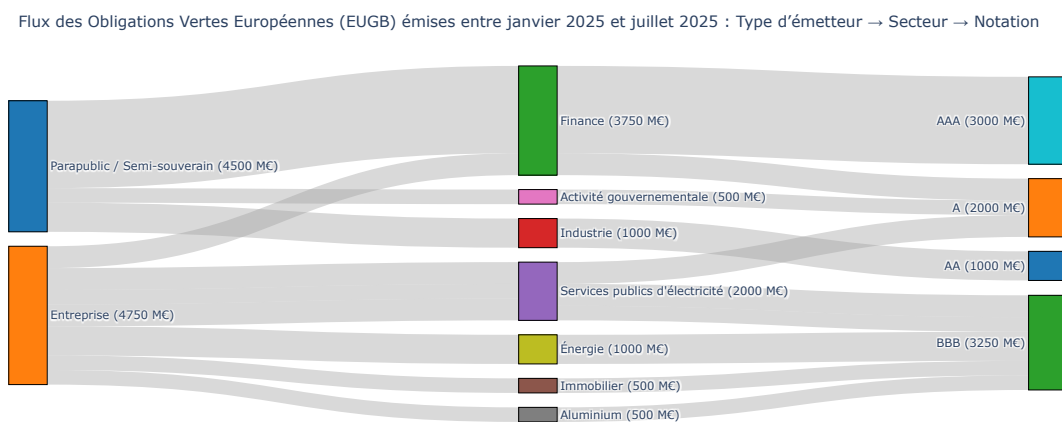


FIGURE 1.10 – Emissions d'obligation verte Européenne au 1 août 2025

Autres obligations durables (au-delà des *Green Bonds*)

Obligations sociales (Social Bonds) Les obligations sociales financent exclusivement des projets à impact social, tels que le logement abordable, l'éducation, la santé ou les infrastructures communautaires. Elles sont émises conformément aux *Social Bond Principles* définis par l'ICMA ¹⁷.

Sustainability-Linked Bonds (SLB) Les SLB sont des obligations dont les conditions financières varient en fonction de la performance de l'émetteur sur des indicateurs ESG prédéfinis. Elles suivent les *Sustainability-Linked Bond Principles* de l'ICMA ¹⁸.

Obligations de transition (Transition Bonds) Les obligations de transition financent des investissements permettant aux entreprises de secteurs fortement émetteurs de réduire leurs émissions et d'engager une trajectoire bas-carbone. Elles s'appuient sur les recommandations de l'ICMA via le

17. ICMA, *Social Bond Principles*, 2023.

18. ICMA, *Sustainability-Linked Bond Principles*, 2023.

*Climate Transition Finance Handbook*¹⁹.

Prêts liés à la durabilité (Sustainability-Linked Loans – SLL) Les SLL sont des prêts dont les conditions de financement évoluent selon l’atteinte d’objectifs ESG définis contractuellement. Ils reposent sur les *Sustainability-Linked Loan Principles* publiés par la *Loan Market Association* (LMA)²⁰.

1.3.3 Emission Obligatoire Verte

Dans cette section, nous étudions en profondeur le processus d’émission d’une obligation, en mettant en évidence les différences entre une obligation classique et une obligation verte, à travers la première émission obligatoire verte (EUGB) en France réalisée par Île-de-France Mobilités, laquelle constitue également la première émission au monde d’un émetteur public.

Fonctionnement d’une Émission Obligatoire Classique

Une émission obligatoire mobilise un grand nombre d’intervenants, chacun ayant un rôle clairement défini. Le nombre d’acteurs impliqués est encore plus important dans le cadre d’une émission obligatoire verte. Le Graphique 1.11 illustre l’écosystème complexe d’une émission obligatoire verte européenne (EuGB), structuré autour des interventions clés de la première émission d’Île-de-France Mobilités (IDFM).

19. ICMA, *Climate Transition Finance Handbook*, 2020.

20. LMA, APLMA & LSTA, *Sustainability-Linked Loan Principles*, 2023.

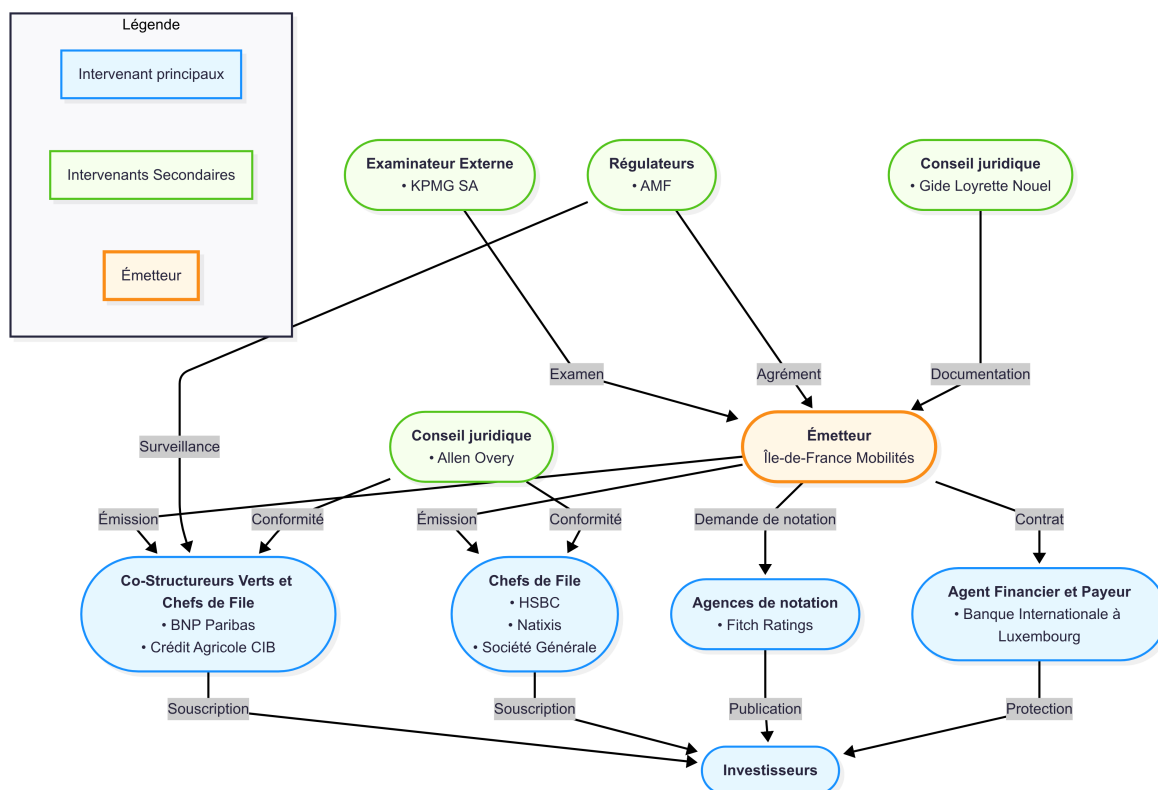


FIGURE 1.11 – Structure d'une émission obligataire avec les parties prenantes de la première émission EUGB d'un émetteur public : Île-de-France Mobilités.

L'émetteur principal Dans notre exemple, Île-de-France Mobilités émet un titre de dette pour un montant d'un milliard d'euros, visant à financer et/ou refinancer des infrastructures de transport bas carbone.

Les co-structureurs verts et les chefs de file Ils assurent le cadrage technique et réglementaire de l'émission. Les chefs de file coordonnent la souscription, notamment aux côtés d'autres établissements mandatés, avec un engagement de souscription en cas d'absence d'investisseurs, au prix défini dans le prospectus.

Les régulateurs Ils garantissent la conformité aux règles de marché, tandis que les examinateurs indépendants assurent la vérification des critères ESG et l'alignement à la taxonomie européenne. Leur rôle s'inscrit dans la durée, tout au long de la vie de l'obligation.

Les agences de notation Elles apportent une évaluation de la solvabilité qui influence directement la perception du risque et le rendement attendu par les investisseurs.

Les conseillers juridiques Ils rédigent et sécurisent l'ensemble de la documentation contractuelle. Ils s'assurent également du respect du règlement européen sur les obligations vertes, entré en vigueur en décembre 2024, garantissant ainsi la transparence de l'opération et sa conformité aux standards européens.

Les investisseurs Plutôt diversifiés, incluant notamment des assureurs, des fonds de pension et des sociétés de gestion d'actifs. La gestion opérationnelle des flux et de l'application des fonds levés est confiée à un agent chargé du suivi technique et administratif de l'opération. Comme on le voit sur

la Figure 1.12, la France (39%) et l'Europe du Sud (24%) dominent largement, représentant à elles seules 63% du total. Les Assurances/Pensions (39%) et les Gérants d'Actifs (32%) constituent les principaux acteurs, totalisant 71%.

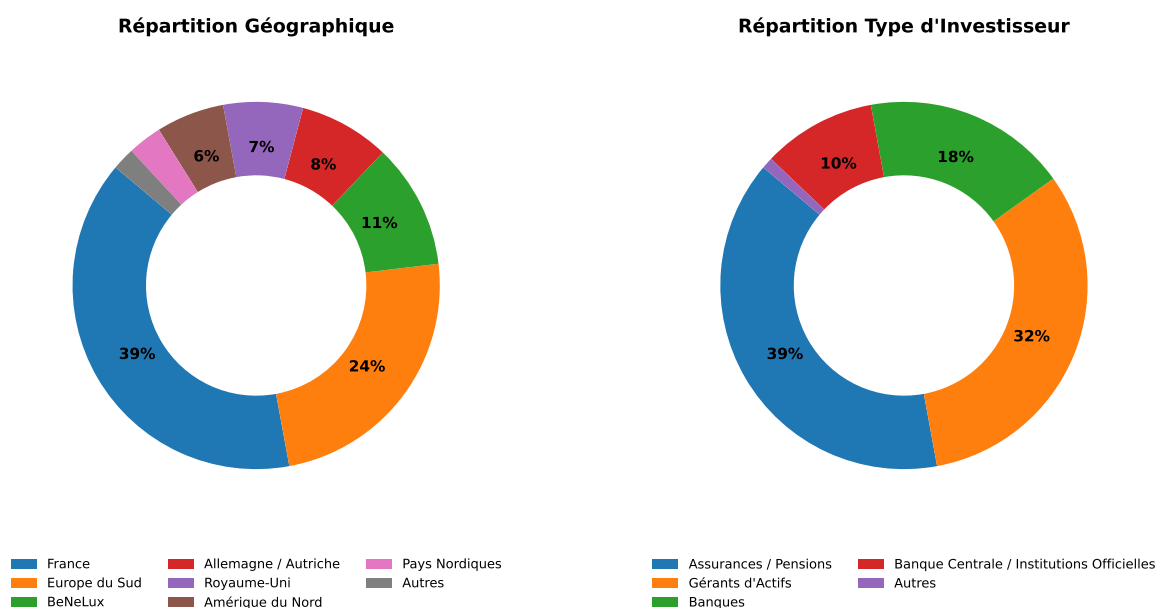


FIGURE 1.12 – Répartition géographique et typologie des investisseurs lors de l'émission d'obligations vertes européennes (EUGB) de janvier 2025. *Source : Communiqué d'Île-de-France Mobilités*

Spécificités des Obligations Vertes

Sélection des Projets Éligibles Les fonds sont destinés à des projets « verts » prédéfinis pour financer ou refinancer des activités durables au sein de la taxonomie européenne. Pour l'émission d'Île-de-France Mobilités, les activités suivantes sont soulignées à travers un montant équivalent au produit brut de l'émission des Obligations Vertes Européennes qui sera intégralement affecté, selon l'approche progressive définie à l'Article 4(1) du Règlement EuGB par l'Émetteur au financement ou au refinancement d'actifs et/ou de dépenses liées aux activités suivantes :

- 6.1. Transport ferroviaire interurbain des voyageurs (NACE²¹ code : H49.10);
- 6.3. Transport urbain et suburbain des voyageurs par route (NACE code : H49.31);
- 6.4. Exploitation de dispositifs de mobilité personnelle (NACE code : 77.21);
- 6.14. Infrastructures de transport ferroviaire (NACE code : F52.21 / F42.12); et
- 6.15. Infrastructures pour les transports routiers et les transports publics à faible émission de carbone (NACE code : F52.21 / F42.12).

Fiche d'information Une fiche d'information sur les obligations vertes européennes (EuGB) est un document réglementaire visant à garantir la transparence et la conformité environnementale

21. La nomenclature NACE (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne) est la classification européenne des activités économiques. Elle constitue le système de référence pour la production de statistiques d'activités économiques au niveau européen et permet une comparabilité des données statistiques sur les activités économiques à l'échelle de l'Union européenne.

d'une émission obligataire, en application du Règlement (UE) 2023/2631. Elle présente l'émetteur (par exemple, Île-de-France Mobilités, autorité organisatrice des transports publics franciliens), son objectif environnemental (ici, l'atténuation du changement climatique), ainsi que les projets financés. Elle inclut aussi les exclusions, les indicateurs de suivi et les engagements de reporting, avec validation par un auditeur externe (KPMG dans ce cas).

Spécificités de la demande L'émission d'une obligation verte européenne par Île-de-France Mobilités en janvier 2025 illustre la rareté et la forte demande sur le marché des obligations vertes. Alors que le montant initial proposé s'élevait à un milliard d'euros, le carnet d'ordres a dépassé 6,6 milliards d'euros, soit plus de six fois la taille de l'offre. Cette forte sursouscription a conduit à un resserrement du *spread*, qui est passé d'une indication initiale autour de OAT+25 points de base à un prix final fixé à OAT+19 points de base²². Ce phénomène témoigne d'un intérêt marqué des investisseurs institutionnels, notamment des fonds de pension et des assureurs, pour des actifs verts de haute qualité.

L'offre de projets verts, et donc d'obligations vertes, est limitée, ce qui crée une rareté potentielle de ces titres sur le marché. En outre, le marché des obligations vertes est concentré [FATICA et PANZICA \(2024\)](#) et dominé par des stratégies d'investissement de type « buy-and-hold ». Cette situation limite la disponibilité et la liquidité des obligations vertes pour les investisseurs.

Revue externe Le vérificateur externe d'un EU Green Bond (EU GB) intervient avant et après l'émission pour garantir la conformité avec le règlement 2023/2631 et la taxonomie européenne. Avant l'émission, il identifie les responsables internes de l'émetteur, analyse les documents (prospectus, factsheet), évalue les procédures de sélection des projets financés, vérifie leur alignement à la taxonomie européenne (Règlement 2020/852), et s'assure que les informations sont cohérentes, fiables, compréhensibles et neutres. Il contrôle aussi la transparence sur les données de durabilité, la publication du plan des CAPEX, la mention du pourcentage d'alignement vert, et la conformité des documents avec les articles 4 à 8 du règlement. Après l'émission, il vérifie annuellement le suivi des projets et des performances ESG, l'allocation des fonds (85% alignée), la publication des rapports d'impact, des rapports annuels et du prospectus, la notification à l'ESMA. Il réalise des entretiens, des vérifications de cohérence, et croise les informations avec les pièces justificatives.

22. COMMUNIQUÉ DE PRESSE, Mercredi 29 janvier 2025, ÎLE-DE-FRANCE MOBILITÉS PREMIER ÉMETTEUR PUBLIC AU MONDE D'UNE OBLIGATION VERTE EUROPÉENNE (EuGB) D'UNE VALEUR D'UN MILLIARD D'EUROS.

Cadre d'analyse pour l'alignement ESG et la robustesse réglementaire des portefeuilles

En synthèse, dans un contexte réglementaire de plus en plus exigeant et marqué par la transition vers une économie durable, les assureurs vie doivent intégrer de manière stratégique le risque de transition ainsi que les critères ESG dans leurs modèles. Comme démontré dans cette revue, la taxonomie européenne fournit un cadre clair et structurant pour l'analyse de ce risque.

La revue des différentes approches d'intégration du risque de transition met en lumière plusieurs limites majeures. Les stress tests climatiques restent à ce jour expérimentaux et présentent une granularité sectorielle limitée, avec une surreprésentation de secteurs tels que l'énergie et une sous-modélisation de secteurs clés pour la transition. Par ailleurs, les modélisations fondées sur les critères ESG sont difficilement exploitables en raison du manque de standardisation et de la fiabilité insuffisante des données disponibles.

Enfin, l'intégration du risque de transition dans le calcul du besoin en capital réglementaire (SCR) demeure hétérogène.

Dans ce cadre, plusieurs axes d'étude sont retenus :

- **Optimisation d'un portefeuille actions** afin de réorienter les flux d'investissement vers la transition, conformément à la taxonomie européenne, tout en conservant un profil de risque adapté. L'accent sera mis sur l'optimisation sous contraintes ESG et la comparaison des indicateurs d'alignement (CAPEX et chiffre d'affaires).
- **Recalibrage du choc de *spread* appliqué aux obligations vertes**, fondé sur l'analyse de la croissance du marché des *Green Bonds*, de leur poids croissant dans les portefeuilles d'assureurs et de leur profil de risque, afin d'adapter les exigences en capital réglementaire au titre de Solvabilité II.
- **Méthodologie de suivi de l'alignement du portefeuille obligataire**, permettant de retracer les évolutions d'alignement à la taxonomie européenne. Cette approche distingue les effets liés aux contreparties, aux arbitrages, à la couverture des données et aux entrées/sorties de titres, offrant une lecture stratégique de la trajectoire ESG du portefeuille.
- **Projection économique du portefeuille à horizon 2035**, intégrant un générateur de scénarios de taux basé sur le modèle d'Ahlgrim. Cette projection permet d'anticiper les risques de non-alignement futur et d'évaluer la robustesse de la stratégie de gestion obligataire dans un cadre buy-and-hold.

Chapitre 2

Construction de portefeuilles durables : une approche d'optimisation sous contraintes de taxonomie verte

L'assureur dispose de plusieurs leviers pour allouer ses actifs, notamment la sélection des classes d'actifs. Comme l'illustre la Figure 2.1, les poches obligataires représentent une part importante de l'allocation des assureurs français, avec 26,4 % en obligations souveraines et 36,5 % en obligations corporate, pour l'allocation d'actifs hors unités de compte.

Une fois l'allocation cible définie par classe d'actifs, l'assureur répartit ses fonds entre les différents instruments disponibles au sein de chaque classe.

Dans cette section, nous nous focaliserons sur l'allocation de la poche actions, en particulier sur les entreprises françaises. En effet, comme le montre la Figure 2.2, 65,5% de la poche actions est investie en actions françaises. Peu d'indices spécifiques liés à la taxonomie verte sur ce segment existent actuellement. Par conséquent, une analyse approfondie nécessite d'examiner directement les entreprises, ce qui offre une granularité plus fine et une meilleure compréhension des risques associés. De plus, le risque de transition est plus facilement appréhendable lorsqu'on analyse les entreprises en portefeuille plutôt que des secteurs ou indices génériques.

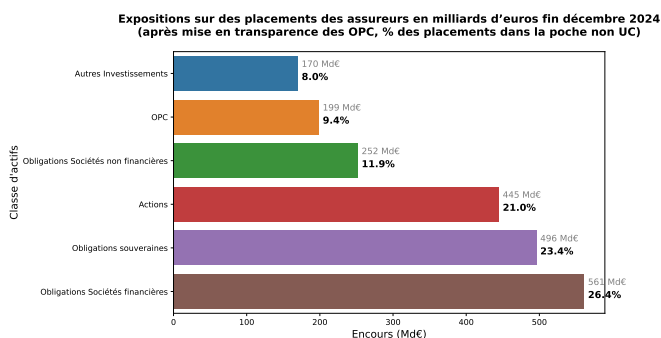


FIGURE 2.1 – Répartition des placements des assureurs français hors UC par classe d'actifs (source : ACPR)

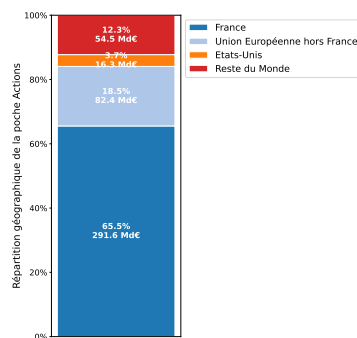


FIGURE 2.2 – Répartition géographique de la poche actions des assureurs français hors UC (source : ACPR)

Cadre européen et indicateurs d’alignement

Les institutions financières et les compagnies d’assurance sont désormais tenues de publier leurs ratios d’actifs verts, conformément aux exigences européennes. Pour les banques, il s’agit notamment du *Green Asset Ratio* (GAR), tandis que les assureurs doivent également déclarer le *Green Investment Ratio* (GIR). Dans l’étude [NEXIALOG \(2024\)](#), les ratios d’alignement oscillent entre 0,5 % et 6 % en termes de chiffre d’affaires, et entre 0,5 % et 9 % en termes de dépenses d’investissement. Ces ratios sont calculés sur la base de la taxonomie européenne, qui fournit un cadre normatif précis pour définir ce qu’est une activité durable, en s’appuyant sur des critères techniques et/ou qualitatifs.

L’utilisation de ces indicateurs dans une approche d’optimisation de portefeuille se distingue des approches antérieures par son ancrage dans un standard réglementaire européen reconnu. Elle présente ainsi une meilleure robustesse méthodologique et une moindre exposition au risque de *greenwashing*, puisqu’elle repose sur des données publiées et encadrées réglementairement.

Cette approche permet ainsi de capturer les deux dimensions clés de la transition : d’une part, le soutien direct aux activités déjà alignées avec les critères de durabilité de la taxonomie, et d’autre part, l’accompagnement des acteurs économiques dans leur transformation en finançant des investissements verts au sein de secteurs actuellement non durables.

L’intérêt principal réside dans la prise en compte des efforts financiers liés à la transition via les CAPEX verts, qui constituent le cœur même de cette réglementation. Cette méthode complète les approches existantes, telles que l’alignement carbone ou les trajectoires de décarbonation (SBTi). En effet, la plupart des études pénalisent les secteurs fortement émetteurs mais essentiels à l’économie (métallurgie, énergie, transport) sans nécessairement intégrer l’effort financier via les dépenses opérationnelles et en capital ¹.

La décarbonation d’un portefeuille conduit fréquemment à l’exclusion d’acteurs clés de la transition énergétique, notamment dans les secteurs de l’énergie et des services publics. Cette approche peut limiter la capacité de transition du portefeuille, dans la mesure où certaines solutions bas carbone proviennent de secteurs à forte intensité carbone. Il est dès lors crucial de différencier les émetteurs à forte empreinte carbone non alignés sur les objectifs de transition de ceux engagés dans une trajectoire de réduction de leurs émissions via l’adoption de technologies durables.

Nous proposons une modélisation fondée sur la théorie moderne de la construction de portefeuille (Markowitz), à laquelle sont ajoutées des contraintes d’alignement basées sur les CAPEX et le chiffre d’affaires. L’étude porte sur les données de l’exercice 2024, par souci de comparabilité ; les données des exercices 2023 et 2022 ne sont pas utilisées. En raison de contraintes liées à l’obtention des données (issues des rapports annuels des entreprises), l’analyse se limite au CAC 40, ce qui peut introduire certains biais sectoriels. Par ailleurs, certaines entreprises demeurent dans une certaine incertitude quant à la classification de leurs activités et à l’application du principe *Do No Significant Harm* (DNSH).

1. “Capital spending on physical assets for energy and land-use systems in the net-zero transition between 2021 and 2050 would amount to about \$275 trillion, or \$9.2 trillion per year on average, an annual increase of as much as \$3.5 trillion from today” [MCKINSEY \(2022\)](#)

Taxonomie Européenne

La transition vers une économie européenne neutre en carbone exige de rediriger massivement les capitaux privés vers des activités durables. La taxonomie verte européenne, lancée par la Commission en 2018, sert de "boussole environnementale"² pour guider ces investissements, s'inscrivant dans la stratégie globale du Pacte vert pour l'Europe avec des objectifs à 2030 et 2050.

La taxonomie évalue des activités, non des entreprises, ce qui permet de différencier des activités durables et non durables au sein d'une même structure. Une activité est qualifiée de durable si elle contribue substantiellement à un objectif environnemental, ne nuit pas aux autres et respecte des garanties sociales minimales.

La classification distingue trois types d'activités : celles contribuant directement à un objectif, les activités habilitantes qui soutiennent les premières, et les activités transitoires, qui améliorent les pratiques dans des secteurs sans alternative.

Enfin, la taxonomie est un outil technique mis à jour régulièrement et appliqué progressivement selon les secteurs. Sa longueur et technicité en font un instrument exigeant mais central pour l'alignement de la finance avec les objectifs climatiques européens. Jusqu'à la publication du règlement délégué de juin 2023, seuls les deux premiers objectifs (atténuation et adaptation au changement climatique) disposaient de critères techniques pleinement adoptés et applicables. Désormais, les critères pour les quatre autres objectifs (eau, économie circulaire, pollution, biodiversité) sont également adoptés et entrent progressivement en application depuis début 2024.

Cela se caractérise notamment par une classification : Une activité est dite alignée si elle contribue substantiellement à un objectif environnemental, ne nuit pas aux autres objectifs, respecte les garanties sociales minimales et est conforme aux critères techniques définis par la taxonomie et une activité est éligible si elle figure dans la liste des secteurs couverts par la taxonomie, indépendamment de son niveau de performance environnementale ou de conformité aux critères techniques.

2.1 Revue de littérature

La construction de portefeuilles durables est devenue une préoccupation centrale dans le domaine de la finance. Dans ce contexte, de nombreuses études ont cherché à intégrer les critères ESG dans les processus d'optimisation, en utilisant une grande variété d'approches, allant des scores ESG aux indicateurs d'émissions de carbone. Cette revue de littérature examine les principales contributions dans ce domaine, en soulignant les limites des méthodes existantes et la pertinence croissante des indicateurs réglementaires standardisés, tels que ceux issus de la taxonomie verte de l'Union européenne.

Dans un premier temps, des publications ont été sélectionnées à partir de plusieurs bases de données telles que Scopus, Web of Science, ResearchGate et ScienceDirect afin de répondre aux questions de recherche.

2. Commission européenne, « Taxonomie verte de l'Union européenne : mode d'emploi », Représentation permanente de la France auprès de l'UE, 13 janvier 2022, https://france.representation.ec.europa.eu/informations/taxonomie-verte-mode-demploi-2022-01-13_fr

Dans l'approche de [PEDERSEN, FITZGIBBONS et POMORSKI \(2021\)](#), le score ESG reflète à la fois les fondamentaux des entreprises (les rendements suivent alors un CAPM ajusté aux scores ESG), et les préférences des investisseurs pour la durabilité. À chaque niveau d'ESG correspond un ratio de Sharpe maximal, définissant la frontière ESG-SR qui illustre le compromis entre performance et durabilité. Néanmoins, des études montrent une divergence assez forte entre les scores ESG, dans [BERG, KÖLBEL et RIGOBON \(2022\)](#) la corrélation entre les scores est en moyenne de 0,54, et varie de 0,38 à 0,71. Les approches les plus courantes pour aligner un portefeuille avec les objectifs de l'Accord de Paris reposent sur l'utilisation de métriques cibles, dont les émissions de CO_2 constituent la mesure la plus fréquemment employée, avec diverses variantes (momentum, intensité, etc.). Un problème majeur de ces approches est qu'elles entraînent souvent, de manière quasi systématique, une exclusion ou une sous-pondération marquée de certains secteurs par rapport à l'indice de référence [CANO et KATIYAR \(2021\)](#); [BOLTON, KACPERCZYK et SAMAMA \(2022\)](#). Les secteurs tels que l'énergie, les services aux collectivités (utilities) ou encore les matériaux, qui nécessitent pourtant les plus importants investissements en capital pour assurer leur transition, sont paradoxalement ceux qui subissent les désinvestissements les plus importants. L'approche d'alignement est d'autant plus complexe que les émissions *Scope 3* (indirectes) sont difficilement mesurables, une limite soulignée dans l'approche de [LE GUENEDAL et RONCALLI \(2022\)](#).

Dans d'autres études, comme celle de [HILARIO-CABALLERO et al. \(2020\)](#), une approche tri-critère est proposée pour intégrer explicitement les préférences de l'investisseur, notamment en matière de risque carbone et d'investissement durable, en étendant le modèle classique de Markowitz via un algorithme génétique multi-objectifs. Cette méthode met davantage l'accent sur l'estimation fine des préférences de l'investisseur et leur impact sur la construction du portefeuille.

Finalement, la méthode et les résultats que nous présentons viennent compléter les approches existantes de neutralité carbone. Comme le souligne [RONCALLI \(2025\)](#), une limite importante de ces approches est qu'elles se concentrent uniquement sur la réduction de l'intensité carbone d'un portefeuille, ce qui ne garantit pas nécessairement une augmentation de la durabilité globale de l'économie.

2.2 Sélection de l'univers d'investissement et données ESG

Nous travaillons sur les entreprises du CAC 40. En annexe, figure la liste des entreprises considérées. Le CAC 40 est constitué de manière à réunir l'ensemble des plus grandes entreprises françaises, tout en essayant d'assurer une certaine représentation de l'économie française. L'intérêt de cette approche réside dans le fait que les entreprises du CAC 40 publient régulièrement des informations financières normalisées. De plus, leurs titres sont largement liquides, ce qui permet d'éviter les biais liés aux contraintes de liquidité ainsi que les effets de taille. Cela offre une optimisation plus stable et rapide grâce à un univers de taille réduite. Aussi, limiter l'univers d'investissement réduit le risque que le portefeuille soit trop ajusté aux données historiques, ce qui le rend plus robuste.

En ce qui concerne l'éligibilité et l'alignement à la taxonomie, chaque entreprise est tenue de publier ces informations dans son Document d'enregistrement universel. Les Graphiques [2.3](#) et [2.4](#) mettent

en évidence l'existence de plusieurs dimensions de l'alignement, soulignant qu'une analyse reposant sur une seule dimension est insuffisante pour appréhender pleinement les efforts de décarbonation et d'alignement vers une économie durable. À titre d'exemple, TotalEnergies consacre près de 16 % de ses dépenses d'investissement (CAPEX) à des activités durables, alors que seulement 2 % de son chiffre d'affaires est aligné avec les critères de la taxonomie. De plus, l'alignement des dépenses en capital est plus marqué que celui des revenus, ce qui montre que le taux d'alignement du portefeuille vis-à-vis des CAPEX est plus facilement atteignable que celui vis-à-vis des revenus.

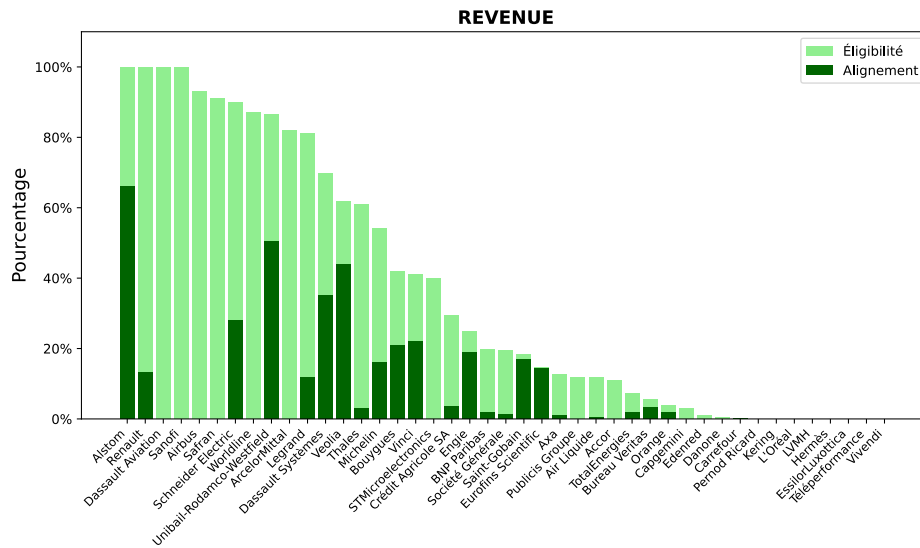


FIGURE 2.3 – Éligibilité et Alignement du CAC40 en termes de chiffre d'affaires en 2024³

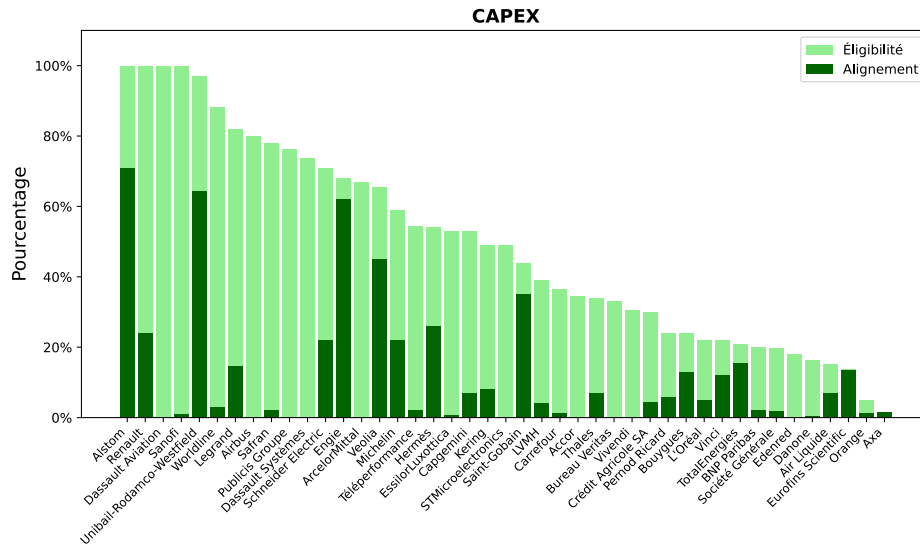


FIGURE 2.4 – Éligibilité et Alignement du CAC40 en termes de Capex en 2024

Ainsi, nous avons choisi d'inclure dans notre échantillon les entreprises ayant quitté le CAC 40 au cours de la période d'optimisation, afin de limiter l'effet de biais du survivant. En effet, retenir

3. Données basées sur les indicateurs clés de performance (KPI) d'investissement pour les assureurs et sur le ratio d'actifs verts (GAR) pour les banques.

uniquement les entreprises composant l'indice au 31/12/2024 reviendrait à optimiser un portefeuille en excluant d'emblée les sociétés ayant sous-performé et été retirées de l'indice. ⁴

Par cohérence, les entreprises ayant appartenu à la composition du CAC 40 pendant la période d'optimisation sont intégrées à notre analyse. Les sociétés ayant rejoint l'indice au cours de cette même période sont également prises en compte sur l'ensemble de l'horizon étudié. L'échantillon final comprend 43 entreprises. Sur le Tableau 2.1, on observe un taux d'alignement de 11,75 % pour les CAPEX et de 8,75 % pour le chiffre d'affaires.

| Type | Catégorie | Moyenne | Médiane | Variance | Écart-type | Minimum | Maximum |
|---------|-------------|---------|---------|----------|------------|---------|---------|
| CAPEX | Éligibilité | 49.33 | 49.0 | 8.51 | 29.16 | 0.0 | 100.0 |
| CAPEX | Alignement | 11.75 | 4.0 | 3.29 | 18.14 | 0.0 | 71.0 |
| REVENUE | Éligibilité | 36.63 | 19.6 | 14.17 | 37.64 | 0.0 | 100.0 |
| REVENUE | Alignement | 8.75 | 0.5 | 2.36 | 15.38 | 0.0 | 66.0 |

TABLE 2.1 – Statistiques descriptives (%)

2.2.1 Méthodologie

Cette section présente le cadre méthodologique adopté pour la construction, la modélisation et l'évaluation des portefeuilles d'investissement. Nous nous appuyons d'abord sur la théorie moderne du portefeuille développée par Markowitz, en utilisant l'optimisation moyenne-variance pour identifier les portefeuilles efficaces selon le compromis rendement-risque. Le modèle d'évaluation des actifs financiers (CAPM) est ensuite mobilisé pour estimer les rendements attendus et structurer la matrice de covariance. Enfin, nous étendons le problème classique d'optimisation en y intégrant des contraintes de durabilité, à travers des indicateurs environnementaux conformes à la taxonomie européenne, afin de concilier performance financière et alignement sur la taxonomie.

Optimisation de portefeuille : cadre théorique (Markowitz)

MARKOWITZ (1952) a formalisé l'optimisation de portefeuille en traitant le rendement espéré comme objectif et la variance des rendements comme risque à minimiser. Il a démontré qu'un portefeuille efficace maximise le rendement attendu pour un niveau de risque donné (variance). Cependant, TOBIN (1958) a montré qu'un portefeuille optimisé domine tous les autres s'il existe un actif sans risque. Cette méthode reste un standard en finance, malgré l'émergence de modèles plus sophistiqués (FAMA et FRENCH (1993), BLACK et LITTERMAN (1992), etc.).

Soit un univers de n actifs. Les rendements espérés annualisés sont notés $\mu \in \mathbb{R}^n$, et la matrice de covariance annualisée $\Sigma \in \mathbb{R}^{n \times n}$. On note r_f le taux sans risque. L'analyse porte sur un portefeuille *long only*, entièrement investi.

4. Deux entreprises ont toutefois été exclues en raison d'opérations en capital particulières susceptibles de fausser nos résultats. Atos a fait l'objet de plusieurs recapitalisations ainsi que d'un regroupement d'actions (reverse split), ce qui altère la comparabilité des données historiques. De même, Stellantis est issue d'une fusion intervenue au cours de notre période d'étude ; l'historique des prix n'étant pas complet, les corrélations et volatilités calculées auraient été biaisées par des périodes de mesure différentes.

Le rendement espéré du portefeuille est $R_p = w^\top \mu$. La variance est $\sigma_p^2 = w^\top \Sigma w$. L'écart-type est $\sigma_p = \sqrt{w^\top \Sigma w}$. Avec le vecteur de poids du portefeuille est noté $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^\top \in \mathbb{R}^n$, tel que w_i représente la proportion du portefeuille investie dans l'actif i .

Le portefeuille de variance minimale se calcule par la résolution du problème :

$$\min_w w^\top \Sigma w \quad \text{sous} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0.$$

Le rendement et le risque de ce portefeuille sont respectivement $R_{MV} = w_{MV}^\top \mu$ et $\sigma_{MV} = \sqrt{w_{MV}^\top \Sigma w_{MV}}$.

La frontière efficiente est obtenue en résolvant, pour chaque rendement cible R_t ,

$$\min_w w^\top \Sigma w \quad \text{sous contrainte} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w^\top \mu = R_t, \quad w_i \geq 0.$$

On a l'ensemble de portefeuilles optimaux $\{(R_t, \sigma_p(R_t))\}$. La frontière efficiente correspond aux portefeuilles avec $R_t \geq R_{MV}$.

Le portefeuille tangent maximise le ratio de Sharpe défini par

$$\text{Sharpe}(w) = \frac{w^\top \mu - r_f}{\sqrt{w^\top \Sigma w}}.$$

Il correspond au point de tangence entre la droite passant par $(0, r_f)$ et la frontière efficiente.

Le rendement et le risque du portefeuille tangent sont $R_T = w_T^\top \mu$ et $\sigma_T = \sqrt{w_T^\top \Sigma w_T}$.

La droite du marché des capitaux (CML) s'écrit :

$$R = r_f + \left(\frac{R_T - r_f}{\sigma_T} \right) \sigma,$$

avec $\sigma \geq 0$. Elle représente les portefeuilles composés d'une combinaison linéaire de l'actif sans risque et du portefeuille tangent.

La frontière efficiente et la CML définissent les portefeuilles optimaux selon le critère moyenne-variance.

2.2.2 Modélisation des rendements attendus : approche par le CAPM

Le *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) constitue le cadre de référence pour relier rendement et risque systématique. Initialement esquissé par TREYNOR (1961) puis formalisé par SHARPE (1964) puis LINTNER (1965), le CAPM repose sur l'idée que seule la volatilité non diversifiable, mesurée par le coefficient β_i doit être rémunérée. Ce modèle présente plusieurs avantages. Il permet notamment d'éviter le recours à des estimations historiques ou empiriques des rendements et des covariances, souvent très instables. Il se distingue également par la parcimonie et la significativité statistique de ses paramètres, ainsi que par son ancrage solide dans les pratiques de l'asset management, les bêtas étant des mesures observées et couramment utilisées en pratique.

L'estimation du bêta β_i d'un actif i repose sur la régression linéaire des rendements excédentaires de l'actif sur ceux du marché :

$$R_{i,t} - r_f = \alpha_i + \beta_i (R_{m,t} - r_f) + \epsilon_{i,t},$$

avec hypothèse $\mathbb{E}[\epsilon_{i,t}] = 0$ et $\text{Cov}(\epsilon_{i,t}, R_{m,t} - r_f) = 0$. L'estimation par moindres carrés ordinaires (OLS) fournit :

$$\hat{\beta}_i = \frac{\widehat{\text{Cov}}(R_i, R_m)}{\widehat{\text{Var}}(R_m)}, \quad \hat{\alpha}_i = \overline{R_i - r_f} - \hat{\beta}_i \overline{R_m - r_f}.$$

Cette relation est cohérente avec la théorie fondamentale du CAPM, postulée par [SHARPE \(1964\)](#) et [LINTNER \(1965\)](#), selon laquelle le rendement espéré satisfait :

$$\mathbb{E}[R_i] = r_f + \beta_i (\mathbb{E}[R_m] - r_f).$$

Le bêta β_i mesure la sensibilité systématique de l'actif aux fluctuations du marché, un $\beta_i > 1$ indique une plus forte volatilité systématique que le marché, un $\beta_i < 1$ indique une volatilité systématique moindre et un $\beta_i = 1$ signifie que l'actif suit en moyenne les mouvements du marché.

Pour valider l'estimation OLS, plusieurs diagnostics sont recommandés :

- Signifiante statistique de α_i (tester si $\alpha_i \neq 0$).
- Tests d'hétéroscédasticité sur les résidus $\epsilon_{i,t}$.
- Tests d'autocorrélation des résidus.
- Tests de normalité des résidus.

Ces étapes empiriques permettent de s'assurer que les hypothèses OLS sont acceptables ou de corriger l'estimation via *robust standard errors*.

Sous le modèle CAPM à un facteur (voir annexe [A](#)), la covariance entre les rendements annuels (ou sur la même période uniforme) de deux actifs i et j s'écrit :

$$\text{Cov}(R_i, R_j) = \beta_i \beta_j \text{Var}(R_m) + \delta_{ij} \sigma_{\epsilon,i}^2,$$

où :

- $\text{Var}(R_m)$ est la variance du rendement du marché sur la période d'estimation.
- $\sigma_{\epsilon,i}^2 = \text{Var}(\epsilon_{i,t})$ est la variance idiosyncratique de l'actif i , estimée à partir des résidus de la régression.
- δ_{ij} est le symbole de Kronecker ($\delta_{ij} = 1$ si $i = j$, 0 sinon), reflétant l'hypothèse d'erreurs idiosyncratiques non corrélées entre actifs.

Cette forme évite le calcul direct de toutes les covariances empiriques entre actifs, en se fondant sur la variance du marché et les bêtas individuels. La matrice Σ de taille $n \times n$ se construit donc en définissant pour chaque paire (i, j) :

$$\Sigma_{ij} = \beta_i \beta_j \text{Var}(R_m) + \begin{cases} \sigma_{\epsilon,i}^2, & \text{si } i = j, \\ 0, & \text{si } i \neq j. \end{cases}$$

On substitue $\widehat{\beta}_i, \widehat{\beta}_j$, et les estimations empiriques $\widehat{\text{Var}}(R_m), \widehat{\sigma}_{\epsilon,i}^2$.

2.2.3 Évaluation des portefeuilles : diversification, performance, alignement environnemental

L'évaluation des portefeuilles s'effectue selon plusieurs dimensions complémentaires. Tout d'abord, la concentration du portefeuille est mesurée à l'aide de l'indice de Herfindahl-Hirschman (HHI), qui permet d'apprécier le niveau de diversification des pondérations. Cet indice est défini par :

$$\text{HHI} = \sum_{i=1}^n w_i^2,$$

où w_i désigne la pondération de l'actif i dans le portefeuille. Une valeur élevée de l'indice HHI indique une forte concentration, tandis qu'une valeur faible suggère une meilleure diversification.

Ensuite, le ratio de Sharpe du portefeuille tangent est utilisé afin de caractériser l'efficacité du portefeuille en termes de rendement ajusté au risque. Ce ratio est particulièrement pertinent dans la mesure où le portefeuille tangent maximise le rendement excédentaire par unité de risque.

Par ailleurs, dans une perspective d'investissement durable, nous intégrons des critères environnementaux issus de la taxonomie verte européenne. Deux indicateurs d'alignement sont retenus : le taux de CAPEX verts, défini par

$$\mathcal{GC}_i = \frac{\text{CAPEX verts}_i}{\text{CAPEX total}_i},$$

et le taux de chiffre d'affaires verts, défini par

$$\mathcal{GT}_i = \frac{\text{Chiffre d'affaires vert}_i}{\text{Chiffre d'affaires total}_i}.$$

L'objectif est de résoudre un problème d'optimisation quadratique permettant de construire des portefeuilles conciliant rendement espéré, gestion du risque et alignement environnemental. Pour tout $R \in [\min \mu_i, \max \mu_i]$, on considère le problème suivant :

$$\min_{\mathbf{w} \in W} \mathbf{w}^\top \Sigma \mathbf{w} \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \langle \mathbf{w}, \boldsymbol{\mu} \rangle = R \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \quad \forall i \\ \langle \mathbf{w}, \mathcal{GC} \rangle \geq \tau \quad \text{et/ou} \quad \langle \mathbf{w}, \mathcal{GT} \rangle \geq \tau \end{cases}$$

où $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)^\top$ désigne le vecteur des pondérations du portefeuille, $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_n)^\top$ est le vecteur des espérances de rendement des actifs, $\Sigma \in \mathbb{R}^{n \times n}$ est la matrice de covariance des rendements, $\mathcal{GC} = (\mathcal{GC}_1, \dots, \mathcal{GC}_n)^\top$ est le vecteur des taux de CAPEX verts, $\mathcal{GT} = (\mathcal{GT}_1, \dots, \mathcal{GT}_n)^\top$ est le vecteur des taux de chiffre d'affaires verts, et $\tau \in [0, 1]$ représente le seuil minimal d'alignement environnemental souhaité.

2.3 Optimisation sous contraintes ESG : stratégie « *Fully Invested Long Only* »

Dans cette partie, nous étudions la frontière efficiente en imposant des contraintes classiques : l'impossibilité de vendre des actifs à découvert et l'obligation d'avoir un portefeuille entièrement investi.

La Figure 2.5 est construite avec les contraintes précédentes. Chaque point de la courbe représente la volatilité minimale atteignable pour un niveau de rendement cible donné, sous contraintes de pondérations positives et de somme unitaire.

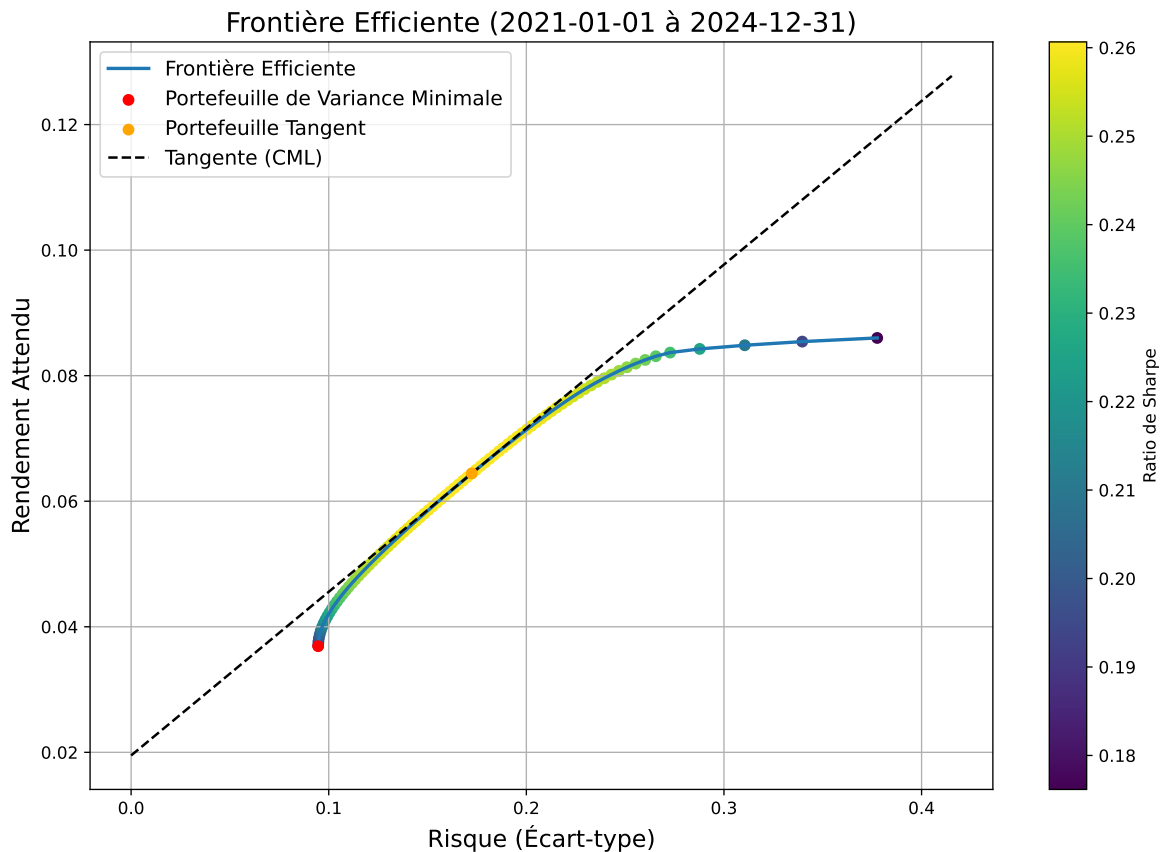


FIGURE 2.5 – Frontière efficiente des portefeuilles construits à partir des actions du CAC 40.

Le portefeuille tangent est composé de presque toutes les actions de l'univers avec quelques poids très faible, Figure 2.6.

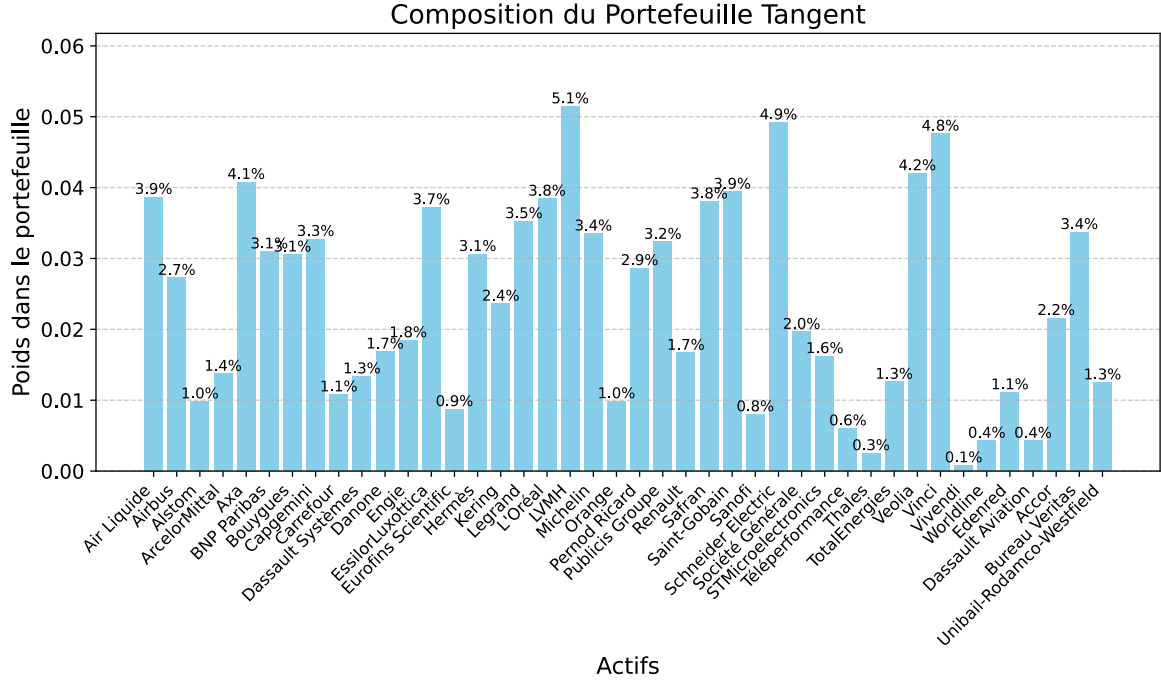


FIGURE 2.6 – Portefeuilles efficients construits à partir des actions du CAC 40.

Nous examinons le compromis entre l'alignement environnemental, le rendement et la volatilité, afin de déterminer s'il est possible d'atteindre un degré d'alignement significatif sans accroître de manière notable le risque du portefeuille. L'analyse approfondit ensuite l'évolution du portefeuille tangent et étudie dans quelle mesure les investissements verts peuvent être intégrés de façon cohérente au sein d'un cadre de gestion de portefeuille unifié.

2.3.1 Impact des contraintes de CAPEX verts

La contrainte de CAPEX verts permet d'intégrer un filtre vers des entreprises plus susceptibles d'être résilientes aux politiques climatiques futures (taxe carbone, normes environnementales). Elle diminue potentiellement le risque d'actifs échoués (*stranded assets*). Certaines études suggèrent que les entreprises investissant dans la durabilité affichent une meilleure performance financière à long terme (notamment via innovation, efficacité énergétique, réputation) [POURSOLEYMAN et al. \(2022\)](#). Pour tout $R \in [\min \mu_i, \max \mu_i]$, on résout le problème quadratique suivant :

$$\min_{\mathbf{w} \in W} \mathbf{w}^\top \Sigma \mathbf{w} \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \langle \mathbf{w}, \boldsymbol{\mu} \rangle = R \\ \sum w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \\ \langle \mathbf{w}, \mathcal{GC} \rangle \geq \tau \end{cases}$$

où :

- $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)^\top$ est le vecteur des pondérations du portefeuille,
- $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_n)^\top$ est le vecteur des espérances de rendement,
- $\Sigma \in \mathbb{R}^{n \times n}$ est la matrice de covariance des rendements,

- $\mathcal{GC} = (\mathcal{GC}_1, \dots, \mathcal{GC}_n)^\top$ est le vecteur des proportions de CAPEX verts selon la taxonomie,
- $\tau \in [0, 1]$ est le seuil minimal d'alignement CAPEX verts souhaité pour le portefeuille.

La contrainte supplémentaire peut dégrader la frontière efficiente, menant à des portefeuilles avec un risque plus élevé pour un même rendement ou vice versa. En restreignant l'allocation aux entreprises ayant une part suffisante de CAPEX verts, on peut exclure des secteurs ou leaders de marché performants mais peu engagés dans la transition, c'est pour cela qu'il est intéressant d'avoir une approche bottom-up pour traiter ce type de problématique à travers l'évolution du portefeuille en termes d'entreprises directement.

Le graphique 2.7 montre que le portefeuille tangent présente déjà un certain degré d'alignement des CAPEX, autour de 12%. À mesure que la contrainte d'alignement augmente, le portefeuille se concentre progressivement sur des entreprises appartenant à des secteurs nécessitant des investissements majeurs dans la transition, comme l'énergie (Engie), les services aux collectivités (Veolia), l'industrie (Alstom, Saint-Gobain) et l'immobilier (Unibail), qui sont également parmi les plus couvertes par la taxonomie verte. Lorsque l'exigence d'alignement dépasse 55%, l'univers investissable se réduit drastiquement à seulement cinq entreprises.

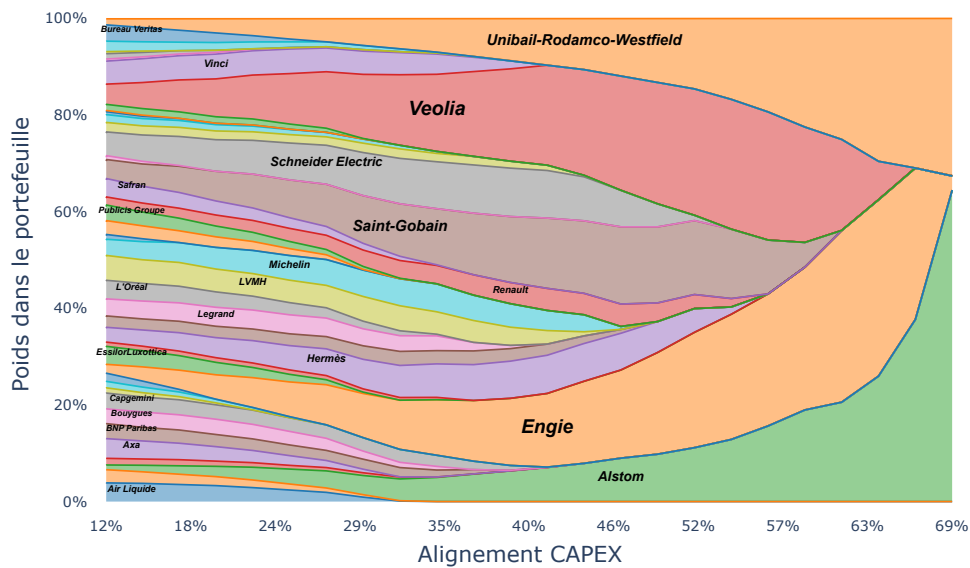


FIGURE 2.7 – Évolution de la composition du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d'alignement CAPEX du portefeuille (optimisation au 31/12/2024)

L'enjeu réside dans le compromis à trouver entre le financement de la transition et la préservation des caractéristiques financières du portefeuille, notamment en termes de volatilité et de rendement cible.

Les rendements ajustés au risque diminuent fortement à partir d'un alignement sur le CAPEX d'environ 35% (voir Figure 2.8). Il est possible d'augmenter le ratio d'alignement de près de 10 points sans impacter significativement la diversification (indice d'Herfindahl) ni le rendement ajusté au risque.

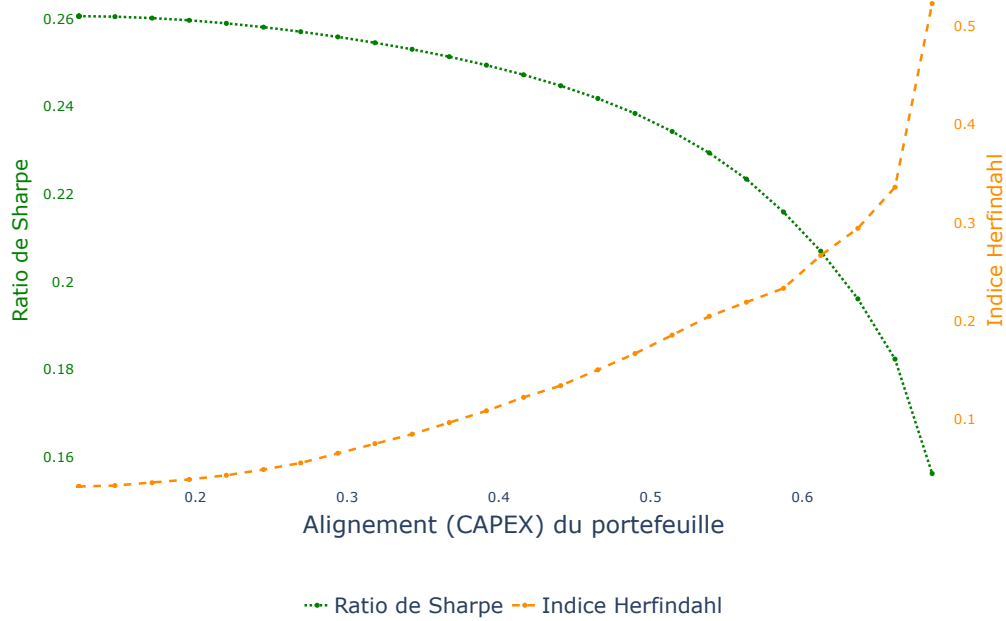


FIGURE 2.8 – Évolution du ratio de Sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaires du portefeuille

2.3.2 Impact des contraintes sur le chiffre d'affaires vert

Pour tout $R \in [\min \mu_i, \max \mu_i]$, on résout le problème quadratique suivant :

$$\min_{\mathbf{w} \in W} \mathbf{w}^\top \Sigma \mathbf{w} \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \langle \mathbf{w}, \boldsymbol{\mu} \rangle = R \\ \sum w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \\ \langle \mathbf{w}, \mathcal{GT} \rangle \geq \tau \end{cases}$$

où :

- $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_n)^\top$ est le vecteur des pondérations du portefeuille,
- $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_n)^\top$ est le vecteur des espérances de rendement,
- $\Sigma \in \mathbb{R}^{n \times n}$ est la matrice de covariance des rendements,
- $\mathcal{GT} = (\mathcal{GT}_1, \dots, \mathcal{GT}_n)^\top$ est le vecteur des proportions du chiffre d'affaires vert selon la taxonomie,
- $\tau \in [0, 1]$ est le seuil minimal d'alignement du chiffre d'affaires vert souhaité pour le portefeuille.

On observe sur la Figure 2.9 une forte concentration du portefeuille, avec 60% de l'allocation répartie sur seulement trois entreprises : Alstom (Industrie), Unibail (Immobilier) et Veolia (Utilities). L'enjeu est alors de trouver un compromis entre la réduction du risque et le financement de la transition.

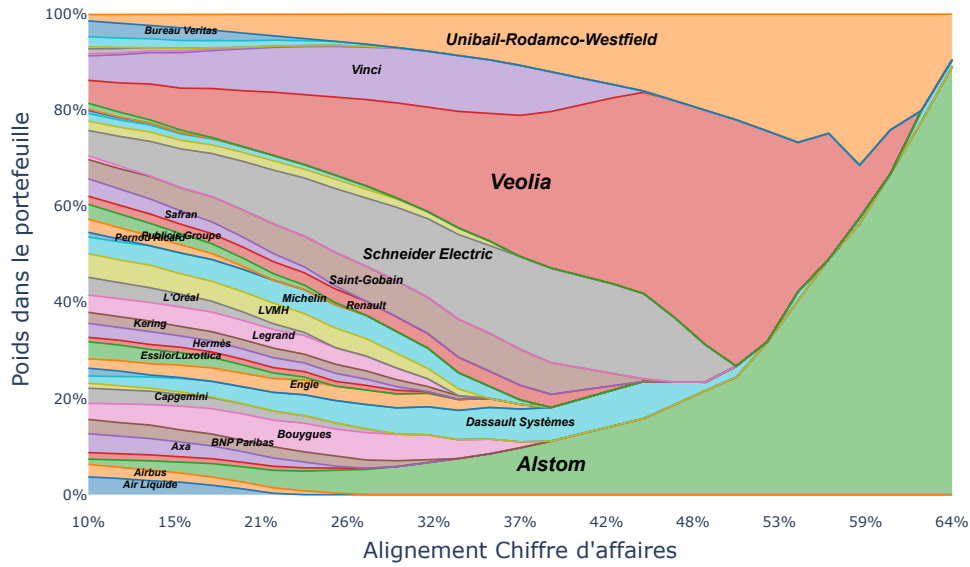


FIGURE 2.9 – Évolution de la composition du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d’alignement du chiffre d’affaires du portefeuille

Par ailleurs, sur le Graphique 2.10, on constate que l’indice de Herfindahl augmente de manière exponentielle avec la contrainte d’alignement. Néanmoins, le rendement ajusté au risque ne diminue que faiblement jusqu’à un alignement du chiffre d’affaires de 40%.

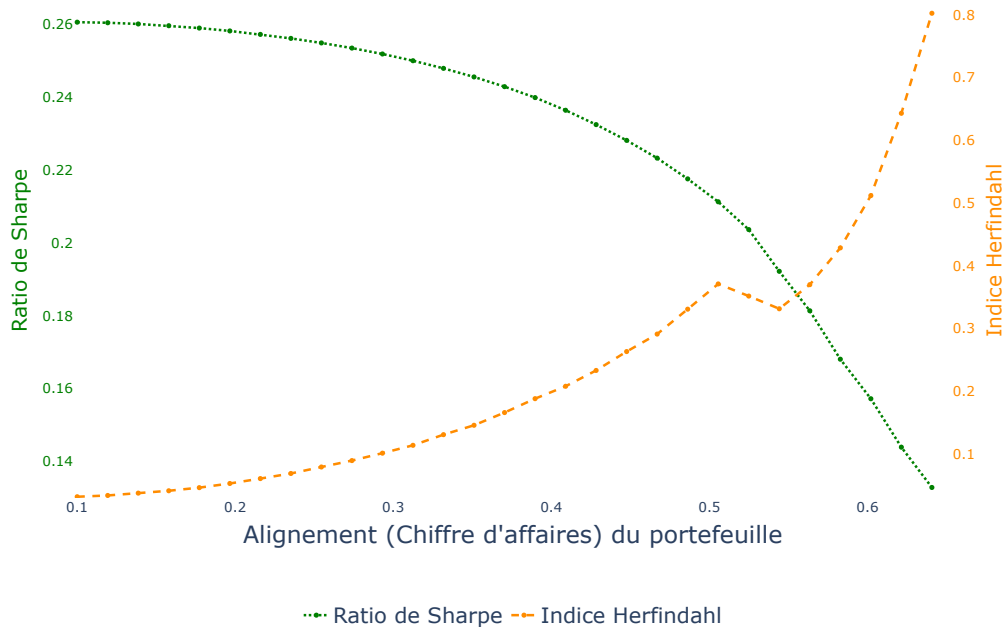


FIGURE 2.10 – Évolution du ratio de sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d’alignement du chiffre d’affaire du portefeuille

De manière similaire au cas de l’alignement avec les CAPEX, il est possible d’améliorer l’alignement

du portefeuille avec le chiffre d'affaires de 10 points de pourcentage sans détériorer le ratio de Sharpe. De plus, certains schémas d'allocation semblent cohérents entre les contraintes d'alignement sur le chiffre d'affaires et sur les CAPEX, notamment avec des pondérations notables attribuées à Veolia et Alstom. Cependant, certaines divergences apparaissent : Engie (secteur des services publics), auparavant favorisée, n'est plus priorisée (voir Figure 2.9).

2.3.3 Analyse comparative : arbitrage entre CAPEX et chiffre d'affaires verts

Il est possible d'améliorer l'alignement du portefeuille sans compromettre de manière significative le rendement ajusté au risque. Cependant, l'alignement simultané sur les deux critères, à savoir la part du chiffre d'affaires et celle des dépenses d'investissement (CAPEX), reste une problématique importante. Ces deux dimensions, bien que corrélées, introduisent des contraintes supplémentaires qui limitent les possibilités de diversification.

Pour tout $R \in [\min \mu_i, \max \mu_i]$, on résout le problème quadratique suivant :

$$\min_{\mathbf{w} \in W} \mathbf{w}^\top \Sigma \mathbf{w} \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \langle \mathbf{w}, \boldsymbol{\mu} \rangle = R \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \quad \forall i \\ \langle \mathbf{w}, \mathcal{GC} \rangle \geq \tau \quad \text{et} \quad \langle \mathbf{w}, \mathcal{GT} \rangle \geq \tau \end{cases}$$

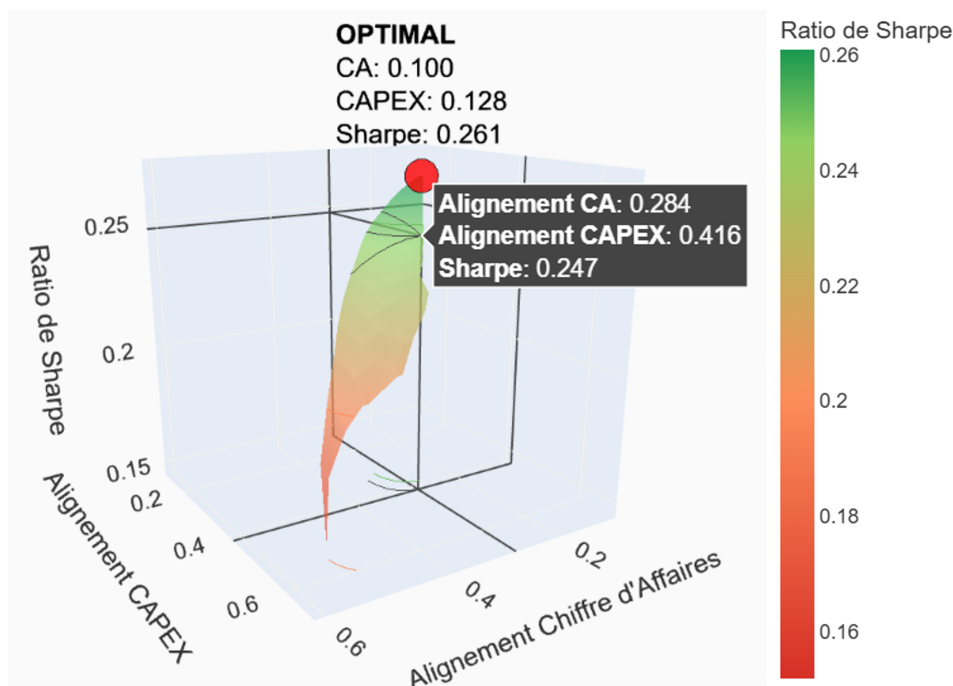


FIGURE 2.11 – Ratio de Sharpe du portefeuille tangent en fonction de l'alignement en termes de chiffre d'affaires et de CAPEX.

La Figure 2.11 met en évidence que certaines combinaisons d'alignement ne sont pas réalisables avec notre univers d'investissement, comme en témoigne l'absence de portefeuilles couvrant l'intégralité de la surface. On observe néanmoins qu'il est possible de satisfaire simultanément les deux contraintes

tout en maintenant un ratio de Sharpe relativement stable. Comme dans les analyses précédentes, un alignement excessif sur l'une ou l'autre des contraintes détériore significativement la performance du portefeuille, avec une diminution du ratio de Sharpe pouvant dépasser 40 % pour certains portefeuilles.

La Figure 2.12 illustre que l'orientation reste présente, bien que moins marquée, lorsqu'on s'aligne simultanément sur les deux contraintes. Il est évident que les investissements dans les services publics, tels que Veolia, contribuent de manière significative à l'alignement du portefeuille. En outre, comme observé précédemment, il existe des opportunités d'améliorer l'alignement sans dégrader substantiellement la diversification ni entraîner de changements majeurs de positions.

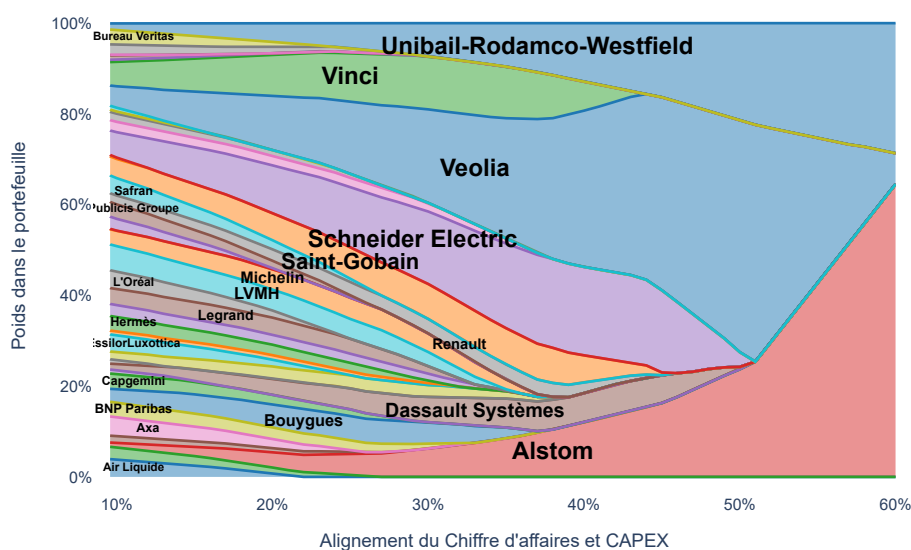


FIGURE 2.12 – Évolution du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaires et du CAPEX du portefeuille

Étude sectorielle

La taxonomie verte étant encore en cours de développement, elle ne couvre pas l'ensemble des secteurs et activités économiques. En conséquence, des biais sectoriels sont inévitables à mesure que l'on renforce les exigences d'alignement des portefeuilles. Certains secteurs, tels que la production d'électricité (utilities/énergie), l'industrie manufacturière, la construction et l'immobilier, sont bien couverts. En revanche, d'autres secteurs comme la finance, l'aviation ou la défense restent peu, voire pas du tout, étudiés en profondeur à ce stade.

Comme l'illustre la Figure 2.13, certains secteurs bien couverts par la taxonomie sont fortement favorisés à mesure que l'on augmente la contrainte d'alignement. Trois secteurs voient ainsi leur poids progresser significativement : les utilities, l'immobilier et l'industrie. En parallèle, la Figure 2.12 met en évidence les entreprises représentatives de ces secteurs dans le portefeuille : Veolia pour les utilities, Unibail-Rodamco-Westfield pour l'immobilier, et Alstom, Schneider Electric ou encore

Saint-Gobain pour l'industrie.

Néanmoins, cette répartition sectorielle reste limitée dans sa portée, car le secteur industriel est particulièrement vaste et hétérogène. Deux dynamiques distinctes peuvent être observées lorsque les contraintes d'alignement sont renforcées : d'une part, la part de l'industrie dans le portefeuille augmente; d'autre part, la composition du portefeuille au sein même de ce secteur évolue. Par exemple, la part de Safran passe d'environ 3,8 % sans contrainte à 0 % dès l'introduction d'une contrainte d'alignement à 25 % (voir Figure 2.6).

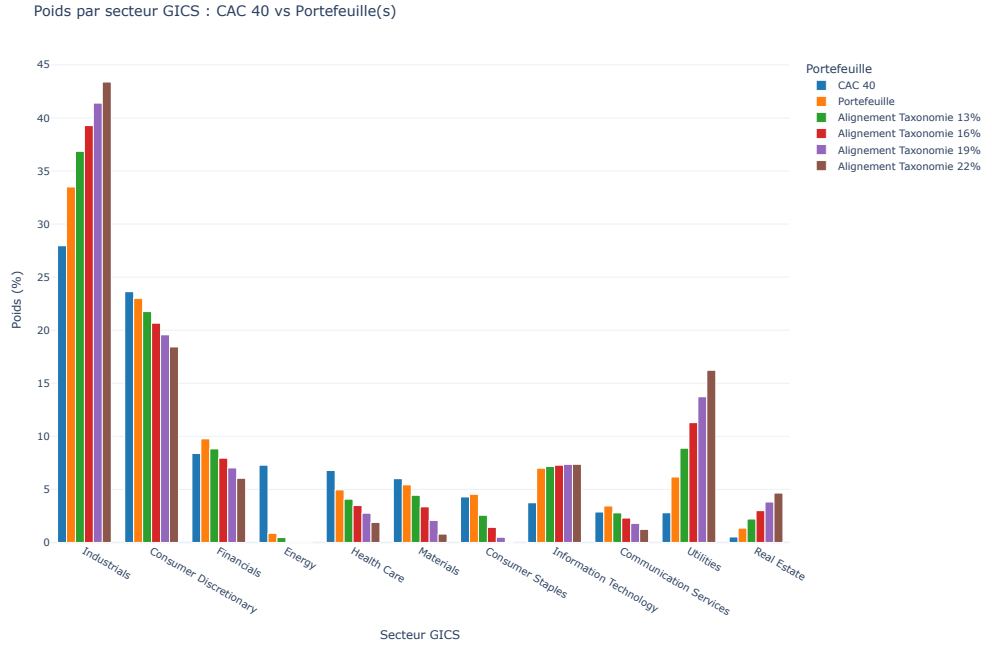


FIGURE 2.13 – Évolution sectorielle en fonction des contraintes d'alignement

Pour palier ce problème, on peut ajouter des contraintes sectorielles : Pour tout $R \in [\min \mu_i, \max \mu_i]$, on résout le problème quadratique suivant :

$$\min_{\mathbf{w} \in W} \mathbf{w}^\top \Sigma \mathbf{w} \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \langle \mathbf{w}, \boldsymbol{\mu} \rangle = R \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0 \quad \forall i \\ \langle \mathbf{w}, \mathcal{GC} \rangle \geq \tau \quad \text{et} \quad \langle \mathbf{w}, \mathcal{GT} \rangle \geq \tau \\ \underline{\ell}_j \leq \langle \mathbf{w}, s_j \rangle \leq \bar{u}_j, \quad j = 1, \dots, m \end{cases}$$

Nous introduisons ici une contrainte sectorielle qui impose des bornes inférieure $\underline{\ell}_j$ et supérieure \bar{u}_j sur l'exposition du portefeuille à chaque secteur s_j , $j = 1, \dots, m$, où chaque vecteur $s_j \in \mathbb{R}^n$ indique l'appartenance des actifs au secteur j . Néanmoins, nous n'approfondirons pas cet aspect, car il ne semble pas nécessaire, dans le cadre de notre problématique, de traiter ce type de contrainte. Par exemple, si l'on considère les pondérations issues de notre benchmark (le CAC 40), on observe une surpondération des secteurs industriels et de la consommation discrétionnaire par rapport aux indices mondiaux. Par ailleurs, la taxonomie européenne vise précisément à encourager les investissements dans certains secteurs spécifiques, ce qui limite la pertinence d'une contrainte sectorielle uniforme.

Cela étant dit, ne pas intégrer de contraintes sectorielles explicites peut exposer le portefeuille à des biais sectoriels non désirés, ou à une concentration excessive dans des secteurs dominants. Ce choix constitue donc une hypothèse qu'il conviendrait d'évaluer plus en détail dans des travaux ultérieurs, notamment en analysant l'impact de ces biais sur la performance, la diversification ou l'alignement ESG.

2.4 Analyse et robustesse

2.4.1 Concilier transition de décarbonation

Dans cette sous-section, nous analysons si le portefeuille a été décarboné à l'issue de l'optimisation, en termes d'intensité carbone *Scope 1 et 2*⁵, exprimée en tonne de CO_2 par millions de dollar de chiffre d'affaires et d'EVIC (*Enterprise Value Including Cash*), puis en termes d'émissions *scope 3*.

Soit $E_{1+2,i}$ l'intensité carbone *Scope 1 et 2* (même calcul pour le *scope 3*) de l'entreprise i , exprimée en tonnes de CO_2 par millions d'euros de chiffre d'affaires. Les émissions *Scope 1 et 2* du portefeuille sont calculées comme :

$$E_{1+2}^{portfolio} = \sum_{i=1}^n \omega_i \times E_{1+2,i}$$

où ω_i représente le poids de l'entreprise i dans le portefeuille et $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$.

La distinction entre les différents *scopes* permet d'identifier des dynamiques spécifiques qui peuvent être masquées lorsqu'on se limite à l'analyse des émissions totales. Cette approche est particulièrement pertinente au regard des incertitudes structurelles associées aux données du *Scope 3*.

En ce qui concerne le *Scope 1 et 2*, on observe une augmentation des émissions après optimisation, quel que soit le critère d'alignement retenu (CAPEX, chiffre d'affaires ou double alignement). Cette hausse peut résulter de plusieurs facteurs. D'une part, l'optimisation peut avoir orienté le portefeuille vers des secteurs à plus forte intensité carbone directe, mais jugés plus compatibles avec la transition selon la taxonomie. D'autre part, certaines entreprises très alignées sur leurs investissements futurs peuvent encore afficher un profil d'émissions actuel élevé. Enfin, il est possible que l'optimisation ait favorisé l'alignement au détriment d'une réduction immédiate des émissions directes.

S'agissant du *Scope 3*, l'alignement en termes de chiffre d'affaires s'accompagne d'une légère baisse des émissions *Scope 3*, traduisant un effet modeste mais réel d'un repositionnement vers des entreprises plus conformes à la taxonomie. En revanche, avec un alignement fondé sur le CAPEX, les émissions *Scope 3* restent globalement stables, ce qui suggère que les investissements projetés n'ont pas encore d'impact mesurable sur la chaîne d'approvisionnement ou sur les autres sources

5. *Scope 1* : Émissions directes générées par l'entreprise et ses activités (usines, installations, entrepôts, bureaux, flottes de véhicules détenues).

Scope 2 : Émissions indirectes liées à la consommation d'énergie achetée (électricité, vapeur, chauffage, refroidissement).

Scope 3 : Toutes les autres émissions indirectes de gaz à effet de serre (GES) sur l'ensemble de la chaîne de valeur, en amont et en aval (transport, déplacements, usage des produits, etc.).

d'émissions indirectes.

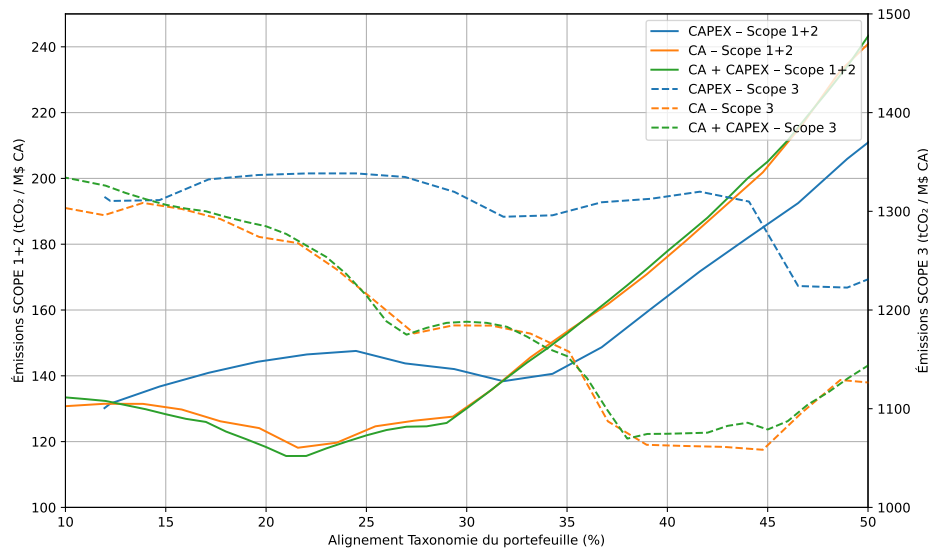


FIGURE 2.14 – Émissions de gaz à effet de serre (tCO₂e par million de dollars de chiffre d'affaires)

Intensité carbone par EVIC (*Enterprise Value Including Cash*) En complément de l'analyse par chiffre d'affaires, nous étudions également l'intensité carbone exprimée par rapport à l'EVIC⁶. Cette métrique présente l'avantage de prendre en compte l'intégralité de la structure capitalistique de l'entreprise, attribuant les émissions proportionnellement aux actionnaires comme aux porteurs de dette. L'EVIC reflète ainsi la valeur totale de l'entreprise et permet une allocation plus équitable des émissions carbone aux différents financeurs.

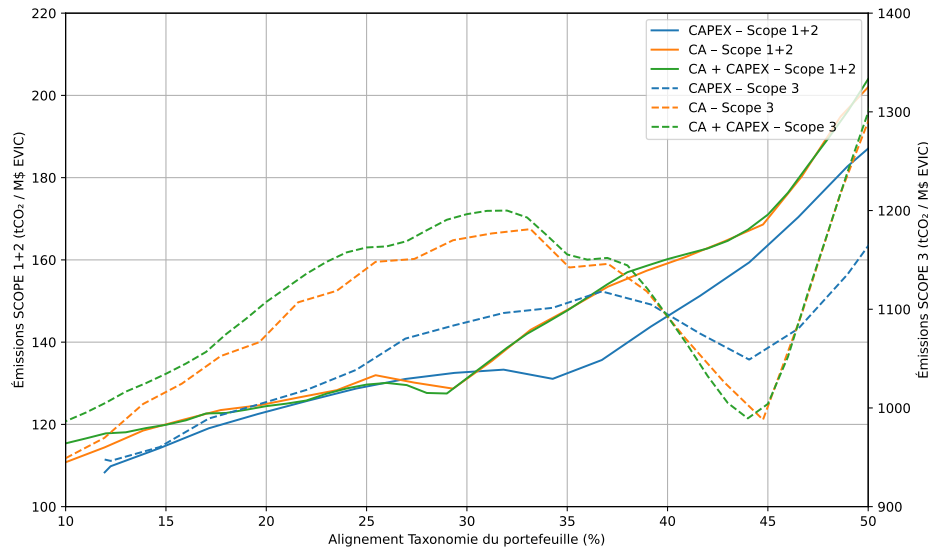
Les émissions du portefeuille basées sur l'EVIC sont calculées comme :

$$E_{EVIC}^{portfolio} = \sum_{i=1}^n \omega_i \times \frac{E_{total,i}}{EVIC_i}$$

où $E_{total,i}$ représente les émissions totales de l'entreprise i (Scope 1+2+3) et $EVIC_i$ sa valeur d'entreprise incluant la trésorerie.

Les métriques d'émissions rapportées à l'EVIC mènent au même constat : l'alignement du portefeuille avec la taxonomie européenne s'accompagne, dans le cadre de notre étude sur le CAC 40, d'une hausse des émissions de Scope 1 et 2. En revanche, aucune tendance claire ne se dégage concernant les émissions de Scope 3. Ces conclusions ont également été soulignées par l'analyse des portefeuilles et des indicateurs visant à réduire l'intensité carbone des investissements. En effet, la décarbonation des portefeuilles peut réduire le financement des secteurs les plus polluants, qui nécessitent pourtant des investissements importants pour leur transition [ANDRÉ \(2024\)](#).

6. L'EVIC (*Enterprise Value Including Cash*), tel que défini par MSCI, est calculé comme suit : $EVIC = \text{Capitalisation boursière} + \text{Intérêts minoritaires} + \text{Dette totale}$. Contrairement à l'*Enterprise Value* classique, la trésorerie n'est pas déduite de cette mesure.

FIGURE 2.15 – Émissions de gaz à effet de serre (tCO₂e par million de dollars investis)

2.4.2 Exposition factorielle

L'introduction d'une contrainte dans la gestion d'un portefeuille d'investissement peut entraîner des biais et des expositions non souhaitées, mais parfois inévitables pour satisfaire ladite contrainte. Par exemple, aligner un portefeuille sur la taxonomie verte peut conduire, indirectement, à privilégier certains styles de gestion (*value* ou *growth*) ou à surpondérer les petites capitalisations. Pour analyser et maîtriser ces effets, la méthode la plus couramment employée consiste à utiliser les données de portefeuilles factoriels afin d'établir la relation entre le portefeuille du gérant et ces portefeuilles de référence. Dans ce cadre, on note $R_{p,t}$ le rendement du portefeuille P à la date t et $R_{f,t}$ le taux sans risque correspondant. Le modèle à trois facteurs de FAMA et FRENCH (1993) s'écrit, en excès de taux sans risque :

$$R_{p,t} - R_{f,t} = \alpha_p + \beta_{m,p} (R_{m,t} - R_{f,t}) + \beta_{s,p} \text{SMB}_t + \beta_{h,p} \text{HML}_t + \varepsilon_{p,t},$$

où $R_{m,t}$ est le rendement du marché, SMB_t le facteur taille (*Small Minus Big*), HML_t le facteur *value* (*High Minus Low*) et $\mathbb{E}[\varepsilon_{p,t}] = 0$.

Les paramètres α_p , $\beta_{m,p}$, $\beta_{s,p}$ et $\beta_{h,p}$ sont estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO). En pratique l'attribution de performance sur la période considérée repose sur la décomposition de la performance excédentaire moyenne.

Nous examinons l'évolution des expositions des portefeuilles aux facteurs classiques de Fama-French (marché, taille et style *value*) en fonction de leur niveau d'alignement. L'objectif n'est pas de décomposer la performance, mais de comprendre comment l'alignement influence le profil de risque et le style des portefeuilles.

L'approche permet de mettre en évidence les changements éventuels d'exposition aux petites capitalisations ou au style *value* associés à l'alignement sur la taxonomie verte, tout en s'assurant que les relations avec les facteurs restent statistiquement significatives.

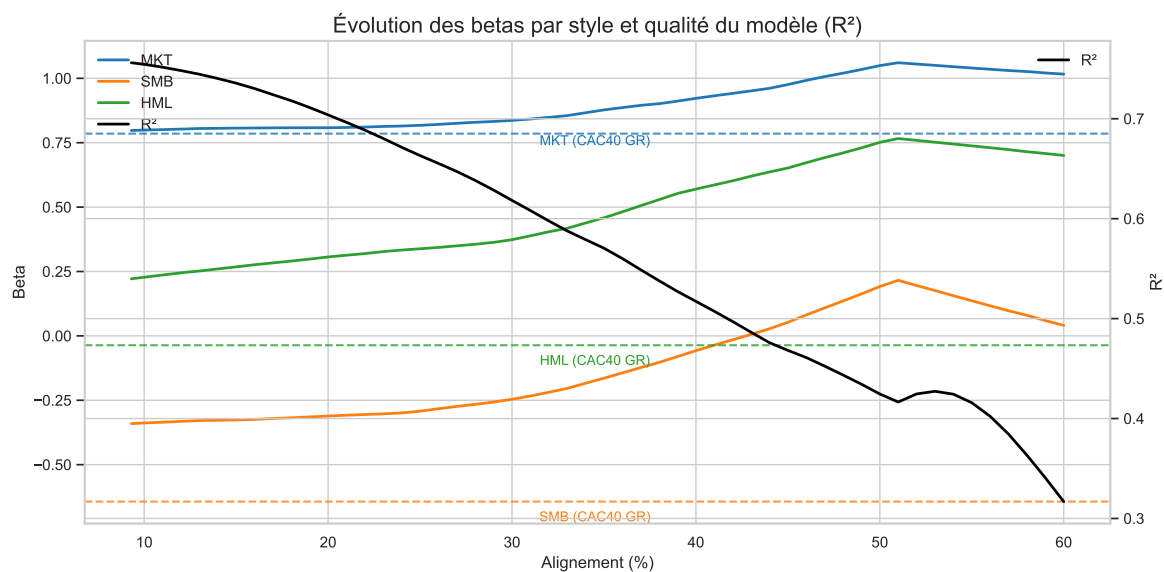


FIGURE 2.16 – Exposition factorielle selon la contrainte d’alignement

Ainsi en se basant sur les données des portefeuilles factorielles publié par French, sur les portefeuilles à 3 facteurs Europe, période du 1^{er} janvier 2021 au 31 décembre 2024.⁷ La Figure 2.16 montre que le portefeuille tangent présente une exposition plus élevée aux facteurs HML et SMB que le marché. Ce constat s’explique par la nature du CAC 40, indice pondéré par les capitalisations boursières, qui surpondère les grandes entreprises et réduit ainsi son exposition au facteur SMB. On observe par ailleurs une augmentation systématique de l’exposition aux facteurs HML (*Value*) et SMB (*Small Caps*) à mesure que la contrainte d’alignement se renforce, comme en témoigne la progression des coefficients bêta associés.

2.4.3 Analyse prospective

Les données issues de la taxonomie étant récentes, il est difficile de mettre en place une procédure rigoureuse de *backtesting* de la méthodologie. Nous nous intéresserons donc ici aux résultats observés sur le portefeuille au cours de la période suivant l’optimisation, soit le premier semestre 2025, afin de vérifier si la méthodologie présente des faiblesses dès ses débuts.

Nous sommes conscients que cette analyse présente certaines limites en termes de robustesse statistique. Elle permet néanmoins, dans un premier temps, d’évaluer si les portefeuilles ont été exposés à un risque excessif sur la période étudiée, ainsi que d’apprécier l’impact de la contrainte d’alignement, qu’il s’agisse d’une amélioration ou d’une dégradation de la performance.

Pour ce faire, nous utiliserons les données de cours des actions avec dividendes réinvestis, que nous comparerons à un indice de référence approprié, le *CAC 40 Gross Return*, correspondant à l’indice

7. Les rendements incluant dividendes et plus-values et sont continuellement composés. Les facteurs sont définis comme suit : $R_m - R_f$ correspond au rendement du portefeuille de marché européen pondéré par la capitalisation moins le taux sans risque (Euribor 1 mois). SMB (*Small Minus Big*) mesure la différence de rendement moyen entre petites et grandes capitalisations, et HML (*High Minus Low*) la différence entre valeurs à fort et faible ratio Book-to-Market, les portefeuilles étant construits par tri indépendant 2×3 (taille \times B/M) en fin juin de chaque année. Pour plus de détails : https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html Developed

CAC 40 avec réinvestissement des dividendes.

À première vue, le portefeuille tangent affiche une performance supérieure à celle de l'indice de référence, le CAC GR (voir Figure 2.17. En revanche, on observe une diminution progressive de la performance lorsque l'on renforce la contrainte d'alignement (CAPEX et chiffre d'affaires).

Un point particulièrement intéressant est le faible écart constaté entre la performance du portefeuille tangent et celle du portefeuille aligné à 20%. Ce constat corrobore les résultats obtenus lors de l'optimisation : un alignement autour de 20% ne dégrade que très faiblement le couple rendement/risque. Les portefeuilles fortement alignés (50-60%) subissent de fortes baisses, notamment en mai 2025 (choc sur les droits de douane). Le caractère très concentré de ces portefeuilles (trois entreprises) explique en grande partie cette variation.

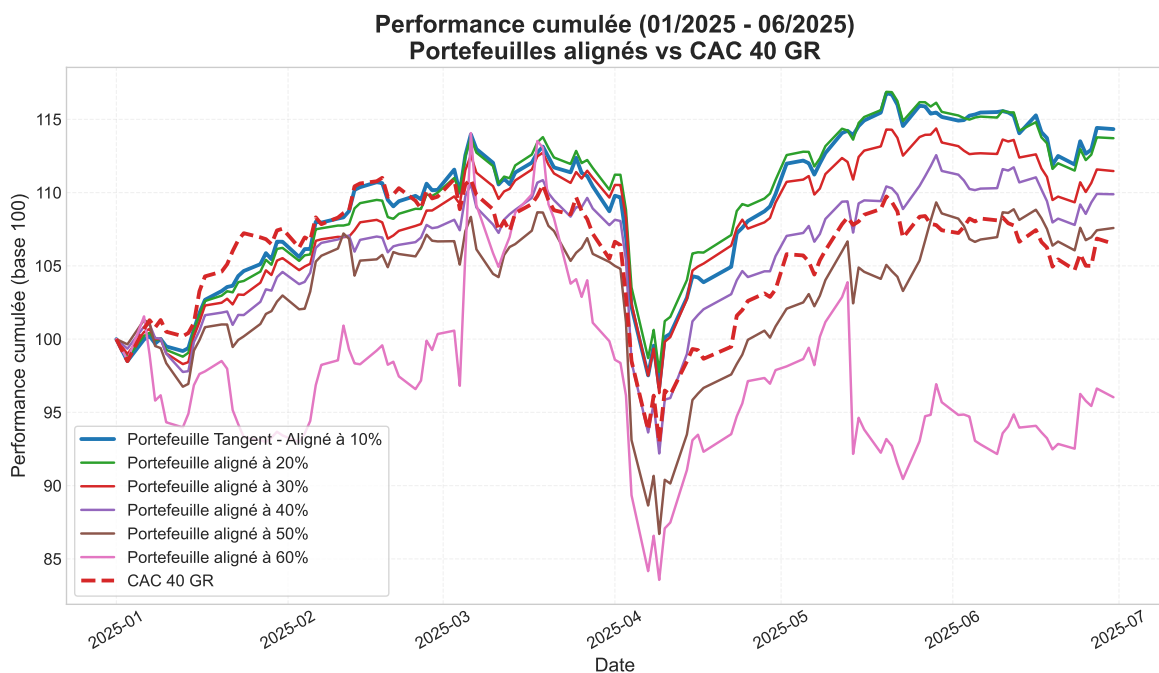


FIGURE 2.17 – Performance cumulée des portefeuilles

Nous analyserons ainsi les principales métriques classiques de gestion de portefeuille :

Alpha de Jensen L'alpha de Jensen permet d'évaluer la surperformance (ou sous-performance) d'un portefeuille par rapport à son rendement attendu selon le modèle d'évaluation des actifs financiers (CAPM). Autrement dit, il mesure la partie du rendement du portefeuille qui ne s'explique pas par le risque systématique capté par le bêta. Formellement, si R_p est le rendement annualisé du portefeuille, R_f le taux sans risque, R_m le rendement annualisé du marché (*benchmark*), et β le bêta du portefeuille, alors :

$$\alpha = R_p - (R_f + \beta(R_m - R_f))$$

Cette métrique sert à identifier la valeur ajoutée réelle du gestionnaire au-delà de la simple exposition au marché.

Tracking Error La *tracking error* mesure la volatilité des différences de rendement entre le portefeuille et son benchmark, ce qui traduit la variabilité de la performance active. Elle est donnée par :

$$TE = \sigma(R_p - R_m) \times \sqrt{N}$$

avec σ l'écart-type des différences de rendements sur la période observée, et N le nombre de périodes annualisées (typiquement 252 jours ouvrés). Cette métrique nous informe sur le niveau de risque spécifique assumé par le gestionnaire par rapport au benchmark.

Ratio d'information Le ratio d'information quantifie la capacité d'un portefeuille à générer un excès de rendement ajusté du risque spécifique, mesuré par la volatilité des écarts par rapport au benchmark (*tracking error*). Si on note R_p et R_m les rendements annualisés respectifs du portefeuille et du benchmark, et $TE = \sigma(R_p - R_m)\sqrt{N}$ la tracking error annualisée, alors :

$$IR = \frac{R_p - R_m}{TE}$$

Dans notre cas, ce ratio permet de mesurer la qualité du choix actif du gestionnaire, en rapportant le surcroît de performance au risque actif pris.

Ratio de Treynor Le ratio de Treynor évalue la performance excédentaire par unité de risque systématique assumé, mesuré par le bêta β . Il est défini comme :

$$\text{Treynor} = \frac{R_p - R_f}{\beta}$$

où R_p est le rendement annualisé du portefeuille, R_f le taux sans risque, et β la sensibilité du portefeuille au marché. Dans notre analyse, ce ratio permet de juger de la rémunération obtenue pour chaque unité de risque systématique supportée.

Finalement, les portefeuilles faiblement alignés (10 % à 30 %) affichent des performances annualisées nettement supérieures au benchmark, avec un Sharpe élevé ($> 1,2$) et une volatilité maîtrisée ($\sim 17\%$). Au-delà de 40 % d'alignement, la performance se dégrade rapidement tandis que la volatilité et la *tracking error* augmentent fortement. À 60 %, la performance devient négative, le ratio de Sharpe devient négatif et le bêta excède 1, traduisant une exposition accrue au marché.

Le coût en performance de l'alignement est donc faible jusqu'à 30 %, modéré à 40 %, puis prohibitif au-delà.

| Portefeuille | Perf. ann. (%) | Vol. ann. (%) | Bêta | Alpha (%) | Sharpe | Info | Treynor | Track. Err. (%) |
|---------------|----------------|---------------|------|-----------|--------|-------|---------|-----------------|
| Tangent - | 31,29 | 17,66 | 0,90 | 18,83 | 1,66 | 3,32 | 0,33 | 5,30 |
| Aligné à 10 % | | | | | | | | |
| Aligné à 20 % | 29,84 | 17,14 | 0,85 | 17,96 | 1,62 | 2,39 | 0,33 | 6,76 |
| Aligné à 30 % | 24,69 | 17,61 | 0,83 | 13,03 | 1,29 | 1,27 | 0,27 | 8,68 |
| Aligné à 40 % | 21,12 | 19,80 | 0,87 | 8,96 | 0,97 | 0,66 | 0,22 | 11,26 |
| Aligné à 50 % | 16,02 | 23,90 | 0,96 | 2,79 | 0,59 | 0,15 | 0,15 | 15,52 |
| Aligné à 60 % | -7,90 | 37,64 | 1,22 | -24,12 | -0,26 | -0,72 | -0,08 | 30,05 |
| CAC GR | 13,67 | 18,91 | 1,00 | - | 0,62 | - | 0,12 | - |

TABLE 2.2 – Métriques de performance annualisées des portefeuilles et du *benchmark* (Période : 01/01/2025 au 30/06/2025)

Optimisation de portefeuille durable : enseignements et limites

Cette étude met en évidence la pertinence d'intégrer des indicateurs réglementaires tels que les CAPEX verts et les revenus verts dans la construction de portefeuilles financiers. En s'appuyant sur le cadre théorique de Markowitz et en utilisant un modèle d'optimisation contraint par des critères ESG, nous démontrons qu'il est possible de construire des portefeuilles à la fois efficaces et partiellement alignés sur les objectifs de durabilité de l'Union européenne.

Toutefois, au-delà de certains seuils, les contraintes ESG entraînent une concentration sectorielle accrue et une baisse notable de la performance ajustée du risque. L'approche conjointe CAPEX/revenus, bien que conceptuellement solide, accentue ces tensions et met en lumière les limites de l'univers d'investissement utilisé.

En définitive, ce travail constitue une contribution pratique à la finance durable en montrant que l'intégration progressive des critères d'alignement peut être réalisée sans compromettre les principes fondamentaux de la gestion de portefeuille. Il ouvre la voie à des développements futurs, incluant des applications à d'autres indices, périodes temporelles ou approches de modélisation.

Chapitre 3

Green Bonds : Une nouvelle classe d'actif dans Solvabilité II ?

La réflexion à l'origine de ce travail trouve son origine dans les propositions réglementaires récentes, en particulier celles de [EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS AUTHORITY \(EIOPA\) \(2024b\)](#), qui envisagent d'introduire une charge en capital supplémentaire pouvant aller jusqu'à 17 % pour les actions liées aux énergies fossiles (option 3). Cette mesure vise à mieux refléter le profil de risque accru de ces actifs, tout en ayant un impact limité sur le ratio de solvabilité des assureurs, compte tenu de leur faible exposition actuelle (environ 1 %). Dans cette logique, il paraît pertinent de se demander si la démarche symétrique n'est pas envisageable : si les actifs néfastes pour le climat peuvent être pénalisés par une surcharge de capital, pourquoi ne pas prévoir, à l'inverse, une réduction de charge pour les actifs favorisant la transition énergétique ? Cette hypothèse repose sur un fondement empirique : plusieurs études montrent que les actifs dits « verts » présentent, en moyenne, un comportement différent de celui de leurs équivalents non verts, ce qui plaide en faveur d'un traitement prudentiel différencié [FATICA et PANZICA \(2024\)](#). Une telle approche pourrait à la fois encourager l'investissement durable et aligner les exigences de capital sur le profil de risque réel des actifs détenus.

Par ailleurs, l'allocation des assureurs européens vers les obligations vertes (« *Green Bonds* ») connaît une croissance marquée. Comme l'illustre la Figure 3.1, la part médiane allouée à ces instruments est passée de 2,1 % au premier trimestre 2021 à 7 % au quatrième trimestre 2024, sur un panel de 1300 assureurs.

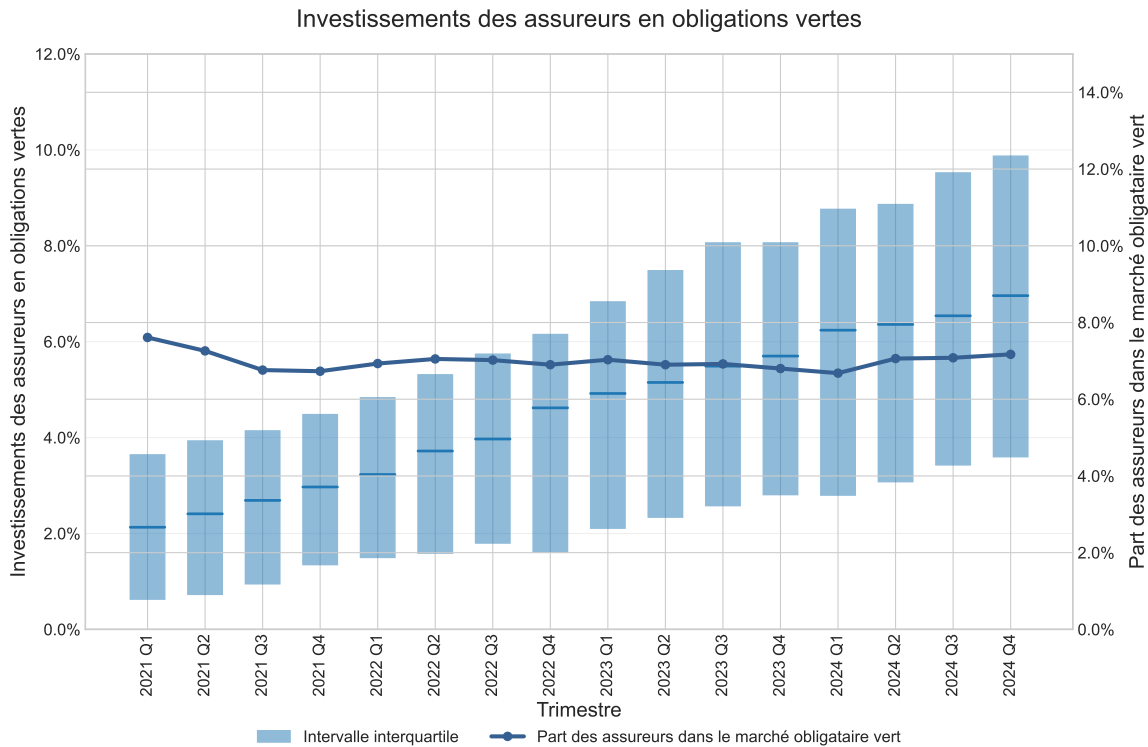


FIGURE 3.1 – Part des investissements en *Green Bonds* dans le total des investissements des assureurs par trimestre. Source : QRT et Refinitiv, EIOPA Risk Dashboard

Ainsi, la transition vers une économie bas carbone nécessite des financements dans tous les pans de l'économie, autant dans ceux généralement perçus comme durables que dans les secteurs à fortes émissions, comme l'agriculture, la construction, l'industrie et les transports. Pour rappel, un *Green Bond* est une obligation spécifiquement destinée à collecter des fonds pour des projets climatiques et environnementaux.

3.1 Volatilité *Green Bonds*

Plusieurs raisons nous ont conduits à étudier plus particulièrement le comportement des *Green Bonds*. Cependant, une critique fondée émerge directement de la théorie financière : un *Green Bond* est censé présenter le même risque de défaut qu'une obligation *pari passu*. Pourtant, plusieurs études mettent en évidence l'existence d'un *Greenium*, dont l'ampleur varie en fonction de la méthodologie employée, de la séniorité des obligations étudiées et de l'univers d'investissement. D'après PIETSCH et SALAKHOVA (2022), seuls les *Green Bonds* bénéficiant d'une revue externe présentent un *Greenium* statistiquement et économiquement significative, en particulier lorsqu'ils sont émis par des entreprises crédibles. Ces résultats rejoignent ceux de FATICA et PANZICA (2020) pour le marché primaire, où la présence d'une revue externe semble déterminante dans l'apparition du *Greenium*. À l'inverse, FLAMMER (2021) souligne l'absence de différence de prix pour les *Green Bonds* d'entreprises, une observation cohérente avec les travaux de LARCKER et WATTS (2020), qui ne constatent pas de différence de tarification sur le marché des obligations municipales vertes. On a

donc des avis divergeants quant à l'existence de la "*Greenium*".

Greenium

Les études plus récentes, réalisées avec davantage de données, concluent tout de même à l'existence d'un *Greenium*.

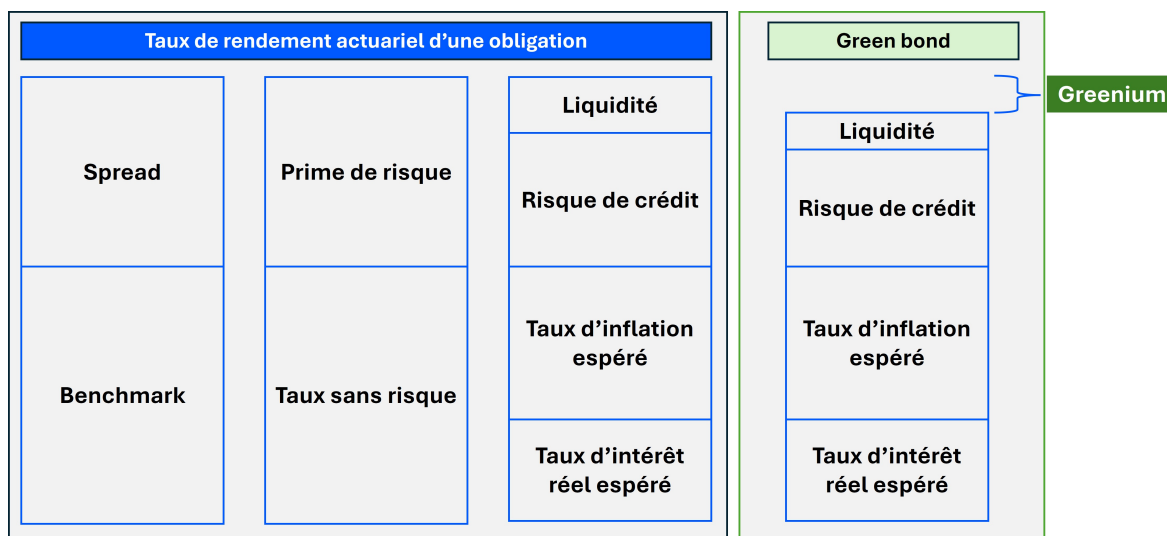


FIGURE 3.2 – Illustration de la *greenium* selon la *Building Block Theory* : les obligations vertes présentent un rendement inférieur à celui des obligations traditionnelles de maturité similaire.

Le Schéma 3.2 illustre la décomposition du rendement d'une obligation ainsi que la prime verte, correspondant à un rendement inférieur à celui d'une obligation de même qualité de crédit et de même maturité. Cet écart, appelé *greenium*, traduit soit une prime de rareté, soit une préférence des investisseurs pour les actifs durables, et se traduit par un coût de financement potentiellement plus avantageux pour les émetteurs «verts».

Pour le confirmer, on peut, à titre d'illustration, prendre l'exemple des obligations jumelles (*twin bonds*) allemandes. Le 2 septembre 2020, le gouvernement fédéral a émis son premier titre fédéral vert, une obligation verte à 10 ans arrivant à échéance en août 2030. Depuis, plusieurs autres titres verts ont été émis chaque année, via des adjudications et des syndications. La courbe des « *Green Bunds* » comprend désormais 8 titres verts avec des maturités de 5, 10 et 30 ans.

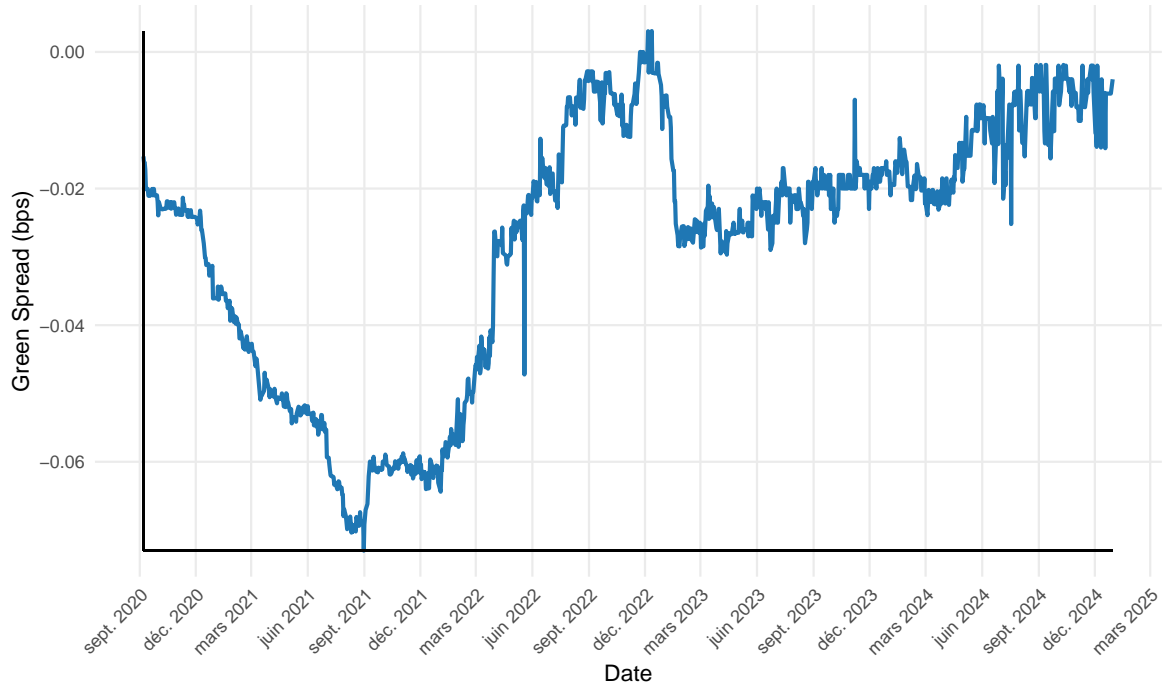


FIGURE 3.3 – *Green spread* de la première émission verte allemande (09/2020 – 12/2024). *Source* : Agence financière fédérale allemande (*Deutsche Finanzagentur*)

L'intérêt de ces émissions allemandes réside dans l'émission parallèle d'obligations¹ présentant des caractéristiques quasi identiques (même risque de crédit, même structure de flux de trésorerie, même durée) afin de mesurer le rendement actuariel² sans biais. Le *greenium* est défini comme suit :

$$\text{Greenium} := R_{\text{green}} - R_{\text{classique}} \quad (3.1)$$

Comme l'illustre la Figure 3.3, cette prime est presque toujours négative et dépasse 6 points de base sur certaines périodes.

Néanmoins, pour aller plus loin, nous nous intéressons à la volatilité du *spread*. [FATICA et PANZICA \(2024\)](#) observe que les primes de risque associées au facteur "vert" des obligations ont été d'autant plus élevées durant la période de crise du Covid-19.

Green supporting factor

Le *Green Supporting Factor* (GSF) est une mesure prudentielle proposée pour favoriser le financement de projets verts. Introduite par le rapport [HIGH-LEVEL EXPERT GROUP ON SUSTAINABLE FINANCE \(2018\)](#), l'argument central repose sur la valeur systémique positive des

1. L'obligation verte étudiée (ISIN : DE0001030708, émise le 02.09.2020, échéance 15.08.2030, zéro coupon) et l'obligation classique de référence (ISIN : DE0001102507, émise le 17.06.2020, échéance 15.08.2030) constituent une paire d'instruments financiers quasi-jumeaux.

2. Le rendement actuariel y d'une obligation est défini comme la solution de l'équation d'équivalence actuarielle : $P_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+y)^t}$ où P_0 représente le prix d'acquisition de l'obligation, CF_t les flux de trésorerie à la période t , et n la maturité. Pour une obligation à coupon zéro, cette formulation se simplifie en : $P_0 = \frac{F}{(1+y)^n}$ avec F la valeur faciale. Le rendement actuariel correspond ainsi au taux de rendement interne qui égalise la valeur présente des flux futurs au prix de marché, soit formellement : $y = \arg \min_r \left| P_0 - \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \right|$.

activités vertes, qui réduisent les risques environnementaux de long terme et intègrent des externalités positives.

Sa mise en œuvre se heurte néanmoins à plusieurs limites, notamment la nécessité d'une taxonomie claire définissant les actifs éligibles, la conduite d'études approfondies pour démontrer un profil de risque différencié, ainsi que la mise en place éventuelle d'un plafond afin d'éviter une bulle verte.

Cette proposition a suscité un large débat. Ses partisans soulignent son efficacité potentielle pour rediriger les financements vers les projets durables, tandis que ses critiques insistent sur le risque de distorsion dans l'évaluation du risque de crédit (cf. [CASTREN et RUSSO \(2024\)](#)). Dans le secteur bancaire, le GSF prendrait la forme d'une réduction des exigences de fonds propres réglementaires pour les expositions sur actifs verts, afin d'encourager le financement de la transition écologique. En revanche, la littérature reste très limitée concernant son application au secteur de l'assurance.

Nous présentons ensuite une méthodologie d'évaluation du risque appliquée aux instruments verts (*Green Bonds*). Celle-ci repose sur l'estimation des risques et des exigences en capital réglementaires, en s'appuyant sur les méthodes de calibrage utilisées par l'EIOPA lors de la mise en place de Solvabilité II, afin d'évaluer la faisabilité d'une telle mesure dans ce cadre prudentiel.

3.2 Cadre d'analyse

La définition donnée à l'article 13 de la directive européenne Solvabilité II [PARLEMENT EUROPÉEN \(2009\)](#) décrit le risque de crédit comme :

« le risque de perte ou de changement défavorable de la situation financière résultant de fluctuations dans la qualité de crédit des émetteurs de titres, des contreparties ou de n'importe quel autre emprunteur auquel l'assureur (ou le réassureur) est exposé. Cette exposition peut prendre la forme d'un risque de défaut d'une contrepartie, d'un risque de *spread* ou d'un risque de concentration. »

Partant de cette définition, nous pouvons préciser ce risque en évoquant les formes concrètes qu'il peut prendre pour un émetteur. Un événement de crédit tel que le défaut de paiement ou la restructuration de sa dette, la variation de son *spread* de crédit, ainsi que le changement de sa note auprès des grandes agences de notation peuvent ainsi être cités. S'agissant des *Green Bonds*, nous nous intéresserons plus particulièrement à la manière dont le risque de crédit associé aux actifs obligataires en portefeuille est pris en compte dans le cadre de Solvabilité II.

Solvabilité II propose une formule standard pour le calcul du SCR, décomposant les risques en six modules principaux : risque de marché, de souscription (vie, non-vie, santé), de contrepartie et risque lié aux actifs incorporels. Chaque module comprend plusieurs sous-modules, correspondant à des risques spécifiques évalués via des scénarios de stress (par exemple, un choc sur les actions ou l'immobilier pour le risque de marché). Ces sous-modules sont agrégés à l'aide de matrices de corrélation pour obtenir les besoins en capital des modules. Une seconde agrégation de ces six modules permet de déterminer le BSCR (*Basic Solvency Capital Requirement*). Comme illustré à la Figure 3.4, le risque de *spread* est un sous-module du SCR marché. Ce dernier sera examiné ici à

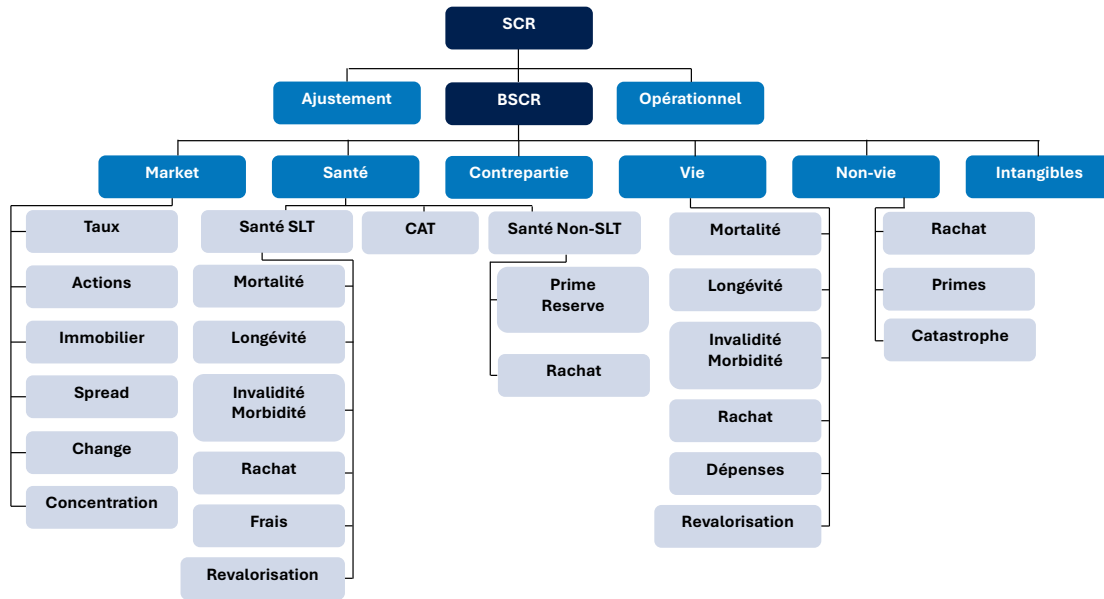


FIGURE 3.4 – Risques pris en compte dans la formule standard (EIOPA)

travers le prisme des obligations vertes. Pour plus de détail sur les modalités de Solvabilité II, voir Annexe B.

L'exigence de capital pour le risque de *spread* est définie dans le sous-module « risque de *spread* » selon l'article 175 du règlement délégué. Ce risque inclut la variation de la valeur des actifs en raison des changements dans les *spreads* de crédit. Le calcul de l'exigence de capital est formulé comme suit :

$$SCR_{\text{spread}} = SCR_{\text{bonds}} + SCR_{\text{securitisation}} + SCR_{\text{cd}}$$

où SCR_{bonds} représente l'exigence de capital pour les obligations et prêts, $SCR_{\text{securitisation}}$ pour les positions de titrisation, et SCR_{cd} pour les dérivés de crédit.

Le risque de *spread* sur les obligations et les prêts est spécifié à l'article 176. Il est calculé comme la perte de fonds propres de base due à une diminution relative de la valeur d'une obligation ou d'un prêt i , autres que les prêts hypothécaires conformes aux exigences de l'article 191. Le SCR (*Solvency Capital Requirement*) pour les obligations est la perte de fonds propres par rapport au scénario central suite à un stress sur la valeur de l'obligation ou du prêt :

$$SCR_{\text{spread}} = \Delta NAV = \Delta V_M - \Delta BE$$

où :

- NAV : Net Asset Value ou Actif Net Réévalué,
- VM : Valeur de Marché du portefeuille,
- BE : Best Estimate du portefeuille.

Le facteur de risque $stress_i$ dépend de la durée modifiée dur_i , qui est exprimée en années.

La valeur de marché stressée des titres exposés au risque de *spread* est donnée par :

$$VM_{\text{choquée}} = \sum_i VM_i \times (1 - \text{Stress}_i)$$

où :

- VM_i : valeur de marché initiale de chaque obligation i en portefeuille,
- Stress_i : fonction qui dépend de la duration modifiée Dur_i de l'obligation i (exprimée en années), et de sa notation (définie comme un échelon de qualité de crédit dans les actes délégués).

Pour rappel, on a :

$$D = \frac{1}{P} \sum_{t=1}^T t \cdot \frac{CF_t}{(1+y)^t}, \quad \frac{dP}{dy} = -\frac{D \cdot P}{1+y}, \quad D_{\text{mod}} = -\frac{1}{P} \frac{dP}{dy} = \frac{D}{1+y}$$

Avec P = prix du titre, CF_t = flux au temps t , y = taux actuariel, T = date d , D = duration de Macaulay, et D_{mod} = duration modifiée / sensibilité. La duration modifiée (ou sensibilité) est la variation relative, en pourcentage, du prix d'une obligation, résultant d'une variation de 1% du taux actuariel.

La fonction Stress_i est définie par :

$$\text{Stress}_i = a_i + b_i \times (Dur_i - \text{borne basse de la tranche de duration})$$

avec :

$$a_i = 0 \quad \text{pour tout } 0 < i \leq 5$$

Le facteur de risque stress_i dépend de la qualité de crédit et de la duration modifiée dur_i , selon un tableau spécifique lorsque l'émetteur bénéficie d'un avis externe sur sa qualité de crédit.

| Échelon de qualité de crédit | | 0 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 et 6 | |
|---|---|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Duration (dur_i) | $stress_i$ | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i |
| Jusqu'à 5 ans | $b_i \cdot dur_i$ | — | 0,9 % | — | 1,1 % | — | 1,4 % | — | 2,5 % | — | 4,5 % | — | 7,5 % |
| Supérieure à 5 et inférieure ou égale à 10 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 4,5 % | 0,5 % | 5,5 % | 0,6 % | 7,0 % | 0,7 % | 12,5 % | 1,5 % | 22,5 % | 2,5 % | 37,5 % | 4,2 % |
| Supérieure à 10 et inférieure ou égale à 15 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 7,0 % | 0,5 % | 8,4 % | 0,5 % | 10,5 % | 0,5 % | 20,0 % | 1,0 % | 35,0 % | 1,8 % | 58,5 % | 0,5 % |
| Supérieure à 15 et inférieure ou égale à 20 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 9,5 % | 0,5 % | 10,9 % | 0,5 % | 13,0 % | 0,5 % | 25,0 % | 1,0 % | 44,0 % | 0,5 % | 61,0 % | 0,5 % |
| Plus de 20 ans | $\min[a_i + b_i \cdot (dur_i - 20); 1]$ | 12,0 % | 0,5 % | 13,4 % | 0,5 % | 15,5 % | 0,5 % | 30,0 % | 0,5 % | 46,5 % | 0,5 % | 63,5 % | 0,5 % |

FIGURE 3.5 – Paramètres de calcul du SCR de *spread* article 176 Règlement délégué COMMISSION EUROPÉENNE (2014)

En appliquant les valeurs du Tableau 3.5, on obtient le Graphique 3.6. Comme on peut le voir sur ce dernier, le stress appliqué aux obligations à partir d'un *rating* BBB devient très important. Ces considérations sont cruciales, car une grande partie des *Green Bonds* corporate sont notés BBB. Par exemple, dans l'indice ICE Euro Corporate Green Bond Index, qui suit l'ensemble du marché des *Green Bonds* émis par des entreprises en euros, 63,85%(Juin 2025) de l'indice est composé d'obligations BBB.

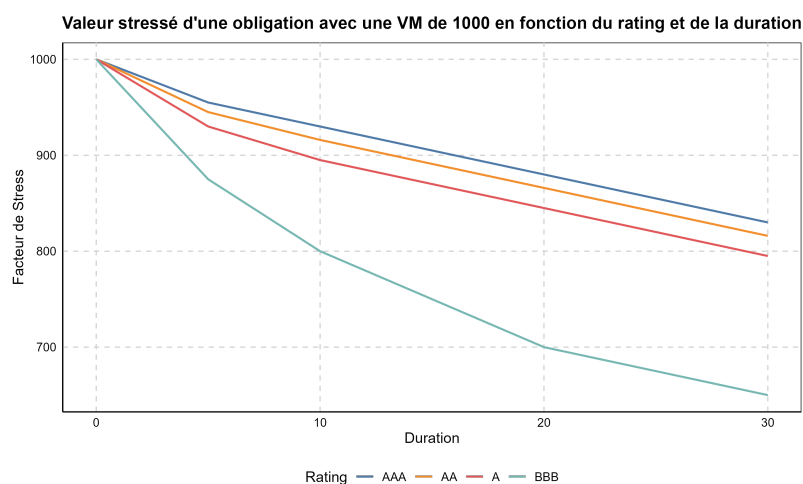


FIGURE 3.6 – Valeur de marché d'une obligation stressé en fonction du *rating* et de la duration

Cela pose deux problèmes :

- L'univers d'obligations vertes peut ne pas être suffisamment large pour permettre, en pratique, une réallocation vers des *Green Bonds* lors de l'arrivée à maturité des obligations existantes.
- Lors du calibrage des chocs, on risque de manquer de données sur les tranches de *rating*/maturité les plus rares.

C'est pourquoi nous nous attacherons à évaluer la robustesse de nos méthodologies sur ces 2 points par la suite.

3.3 Calcul du *spread* de crédit

| Méthode | Description | Formule / Calcul | Avantages | Limites | Usage typique |
|-------------------------------------|--|--|---|--|---|
| <i>Yield Spread</i> | Différence directe entre les rendements corporate et souverain. | $YS = Y_{\text{corporate}} - Y_{\text{gouvernement}}$ | Simple et intuitif. | Ignore la structure temporelle des taux. | Évaluation globale. |
| <i>Z-Spread</i> | <i>Spread</i> constant ajouté à la courbe des taux spots pour aligner le prix. | $P = \sum_{t=1}^T \frac{C}{(1 + (s_t + Z))^t} + \frac{F}{(1 + (s_T + Z))^T}$ | Tient compte de la courbe des taux. | Suppose un <i>spread</i> constant. | Obligations vanilles. |
| <i>Option Adjusted Spread (OAS)</i> | <i>Z-Spread</i> ajusté de la valeur des options intégrées (call/put). | $OAS = Z\text{-Spread} - \text{Val. de l'option}$ | Isole le risque de crédit pur. | Nécessite un modèle d'évaluation d'options. | Obligations <i>callable</i> / <i>puttable</i> . |
| <i>CDS Spread</i> | Coût annuel pour assurer le risque de défaut via un Credit Default Swap. | Relation d'arbitrage théorique avec le <i>spread</i> obligataire. | Reflète la perception marché en temps réel. | Différences de liquidité entre CDS et obligations. | Couverture du risque crédit. |

TABLE 3.1 – Comparaison des principaux *spread* de crédit

Choix de l'EIOPA : *Yield Spread* vs *CDS Spread*

L'EIOPA a retenu le *yield spread* plutôt que le *CDS spread* pour le calibrage du risque de *spread* sous Solvabilité II. Ce choix s'explique principalement par la disponibilité et l'universalité des données : les rendements obligataires sont publiés pour l'ensemble des émissions, incluant les PME, les souverains et les titres non cotés, tandis que les CDS ne couvrent que les émetteurs liquides de référence.

Sur le plan comptable, les assureurs européens valorisent majoritairement leurs portefeuilles obligataires en coût amorti³ ou en *fair value through OCI (IFRS)*, méthodes qui reposent directement

3. Conformément aux normes françaises, les obligations détenues par les assureurs sont comptabilisées au coût

sur les rendements. Le *yield spread* reflète ainsi plus fidèlement le risque de crédit des obligations détenues jusqu'à échéance, contrairement au CDS, instrument dérivé hors bilan.

D'un point de vue réglementaire, la robustesse et la stabilité sont également déterminantes. Les *spreads* des CDS se sont révélés très volatils lors des crises (2008, crise souveraine), tandis que le *yield spread* délivre une mesure plus stable, en cohérence avec l'horizon d'investissement à long terme des assureurs.

Par ailleurs, le CDS est un proxy imparfait du risque de *spread* total : il mesure essentiellement le risque de défaut, sans capturer la prime de liquidité ni le risque de taux, et le *basis risk* (écart variable entre CDS et *bond*) introduirait une incertitude supplémentaire.

Enfin, l'harmonisation européenne sous Solvabilité II bénéficie d'une méthodologie standardisée fondée sur le *yield spread*, applicable de manière uniforme à tous les États membres, y compris ceux dont le marché des CDS est peu développé.

Bien que le *yield spread* tende à inclure une prime de liquidité, pouvant conduire à une légère surévaluation du risque de défaut pur, son caractère pragmatique, simple, universel et son alignement comptable explique le choix de l'EIOPA. Une solution hybride (*yield spread* + CDS pour émetteurs liquides) reste envisageable, au prix d'une complexité accrue.

| Critère | Yield Spread | CDS Spread |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Couverture des émetteurs | Large : PME, États périphériques | Limitée : grands émetteurs liquides |
| Sensibilité à la liquidité | Faible | Élevée |
| Alignement réglementaire | Compatible (valorisation) | Solvabilité II Hors bilan (complexité dérivés) |
| Représentativité portefeuille | Directement lié aux obligations | Proxy imparfait (seulement défaut) |

TABLE 3.2 – Comparaison des *spreads* selon les critères clés

3.3.1 Calibrage du choc de *spread* (EIOPA)

Avant de présenter notre propre démarche de calibrage, il est important de préciser que la méthodologie exposée ci-après s'appuie directement sur les travaux [CHAUMIEN-HETROY \(2016\)](#). Ce mémoire constitue l'une des références méthodologiques les plus détaillées sur la reproduction du calibrage du risque de *spread* tel que défini par l'EIOPA dans le document [CEIOPS \(2009\)](#). L'objectif n'est pas de reproduire à l'identique les résultats de [CHAUMIEN-HETROY \(2016\)](#), mais bien de reprendre et adapter sa méthodologie afin de l'étendre à d'autres types d'actifs (notamment les obligations vertes et non vertes).

L'EIOPA précise dans le [CEIOPS \(2009\)](#) avoir déterminé les facteurs de risque du sous-module de *spread* en calculant les rendements annuels glissants des indices Merrill Lynch corporates, classés par notation et maturité. Pour chaque maturité, elle a soustrait les rendements des indices souverains. Les indices et la méthode seront détaillés ultérieurement. Enfin, les facteurs de risque ont été obtenus

d'acquisition et non à la juste valeur, sauf en cas de dépréciation durable. Pour plus d'informations, se référer au *Recueil des normes comptables françaises — Secteur de la gestion d'actifs*, version en vigueur au 1er janvier 2025.

via des Value-at-Risk (VaR) (Voir Annexe C) paramétriques, calculées avec le développement de Cornish-Fisher sur les variations annuelles des *spreads*.

Indices Merrill Lynch

Les données utilisées proviennent des indices *Merrill Lynch (ML)* pour les obligations *corporate* et souveraines, sur la période allant du 1er janvier 1999 au 31 juillet 2009. Les indices sont ventilés à la fois par maturité et par catégorie de notation, ce qui conduit à la constitution de 12 indices *corporate* et 12 indices souverains. Pour chaque catégorie de notation, trois tranches de maturité sont considérées : 1–5 ans, 5–10 ans et 10+ ans. Les performances des indices *corporate* ont été ajustées en soustrayant celles des indices souverains de maturité équivalente, de manière à isoler la composante de *spread* liée au risque de crédit. Ces indices proviennent du même fournisseur et reposent sur la même méthodologie que ceux utilisés dans le *Consultation Paper 70*, qui a servi de base au calibrage du module risque de marché de Solvabilité II.

VaR historique

La *VaR* historique est calculée en utilisant les valeurs passées de la quantité d'intérêt, ici les *spreads*, sans faire d'hypothèse sur leur distribution. La *VaR* correspond au quantile empirique choisi, par exemple le 0,5^e centile pour un niveau de confiance de 99,5%. Cette méthode est simple et repose uniquement sur les données historiques, mais elle nécessite que l'historique soit représentatif de l'horizon et du niveau de confiance considérés, et doit être mise à jour régulièrement pour tenir compte de l'évolution des marchés.

VaR paramétrique

La méthode paramétrique la plus simple pour estimer la *VaR* repose sur l'hypothèse de normalité, utilisant les deux premiers moments :

$$\text{VaR}(T, \alpha) = \mu_T + \sigma_T \cdot k_{1-\alpha} \quad (3.2)$$

avec μ_T l'espérance, σ_T l'écart-type, et $k_{1-\alpha}$ le quantile normal. Cette approche suppose une distribution symétrique à queue fine, ce qui est généralement invalide pour les *spreads* de crédit, qui sont plus sensibles aux chocs extrêmes et présentent donc des distributions à queue lourde.

VaR de Cornish Fisher

Pour appliquer la méthode paramétrique à des quantités qui ne suivent pas une distribution normale (comme les *spreads de crédit*), CORNISH et FISHER (1938) ont proposé une extension de la loi normale. Cette extension permet d'améliorer l'approximation des distributions réelles en prenant en compte les moments d'ordre 3 (*skewness*) et 4 (kurtosis). La *skewness* mesure l'asymétrie de la distribution, tandis que la kurtosis évalue la forme des queues de la distribution.

L'équation permettant de calculer la Value-at-Risk est donnée par :

$$VaR = \mu + \sigma \cdot \left(q_{1-\alpha} + \frac{S}{6}(q_{1-\alpha}^2 - 1) + \frac{K}{24}(q_{1-\alpha}^3 - 3q_{1-\alpha}) - \frac{S^2}{36}(2q_{1-\alpha}^3 - 5q_{1-\alpha}) \right) \quad (3.3)$$

où :

- μ : la moyenne de la distribution.
- σ : l'écart-type de la distribution.
- S : un coefficient lié à l'asymétrie de la distribution (Skewness).
- K : un coefficient lié à l'aplatissement de la distribution (Kurtosis).

Pour des explications plus détaillées sur l'expression proposé par Cornish-Fisher voir Annexe C.

Nous exposons ici la démarche retenue pour reproduire le calibrage des *Value-at-Risk* (VaR) publié par l'EIOPA sur la période du 01/01/1999 au 31/07/2009. L'objectif est d'isoler l'impact de la taille de l'historique et des corrections appliquées par l'EIOPA, puis de comparer les résultats afin d'identifier les écarts et leurs sources.

Méthodologie de calibrage

La méthodologie se décline en six étapes clés :

1. **Sélection de la période historique** : 01/01/1999 – 31/07/2009, identique à celle utilisée par l'EIOPA pour garantir la comparabilité.
2. **Statistiques descriptives** : calcul de la moyenne, de l'écart-type, de l'asymétrie (skewness) et de la kurtosis pour chaque bucket de maturité (1–5 ans, 5–10 ans, +10 ans).
3. **VaR empirique historique** (quantile 99,5 %) : estimation directe sur les rendements.
4. **Ajustement Cornish–Fisher** : application de la correction pour tenir compte de la non-normalité et affiner la VaR extrême.
5. **Ajustement Rating** : application de la correction pour tenir compte des seniorité au sein de la tranche de *rating* A.
6. **Déduction des coefficients de chocs** : à partir des Value-at-Risk on déduit les chocs appliqués par tranche de maturité et *rating*. Cette démarche permet de rapprocher résultats de l'EIOPA ainsi que de s'approprier la méthode.

Statistiques descriptives et VaR historique

Le Tableau 3.3 présente les statistiques de base et la VaR empirique historique :

Ces résultats mettent en évidence que les VaR historiques sont particulièrement élevées pour les notations A et BBB. Toutefois, plusieurs limites doivent être soulignées. En premier lieu, la VaR historique des *spreads* pour l'indice de notation A 10+ apparaît inférieure à celle de l'indice AA 10+, ce qui constitue une incohérence. Ce phénomène a également été observé par l'EIOPA, et

| Note / Maturité | Moy. | Écart-type | Skewness | Kurtosis | VaR hist. (%) |
|-----------------|---------|------------|----------|----------|---------------|
| AAA 1–5 ans | 0.0000 | 0.0072 | -2.2745 | 7.5002 | -3,52 % |
| AA 1–5 ans | -0.0016 | 0.0129 | -1.8695 | 2.9260 | -4,68 % |
| A 1–5 ans | -0.0073 | 0.0328 | -2.5310 | 5.6373 | -13,76 % |
| BBB 1–5 ans | -0.0097 | 0.0277 | -0.6813 | 0.9973 | -9,36 % |
| AAA 5–10 ans | -0.0043 | 0.0183 | -2.3469 | 5.0658 | -7,25 % |
| AA 5–10 ans | -0.0096 | 0.0317 | -1.9254 | 2.7657 | -11,24 % |
| A 5–10 ans | -0.0217 | 0.0670 | -2.2911 | 4.2730 | -25,20 % |
| BBB 5–10 ans | -0.0160 | 0.0582 | -1.6379 | 3.4228 | -22,74 % |
| AAA +10 ans | -0.0110 | 0.0244 | -0.6017 | 0.1891 | -7,92 % |
| AA +10 ans | -0.0166 | 0.0402 | -1.6523 | 3.0791 | -16,29 % |
| A +10 ans | -0.0021 | 0.0371 | -0.4672 | 0.8028 | -12,01 % |
| BBB +10 ans | -0.0245 | 0.0805 | 0.2232 | 1.8326 | -23,55 % |

TABLE 3.3 – Statistiques descriptives et VaR historique (99,5 %) sur 1999–2009

s'explique en grande partie par la composition sectorielle de l'indice, notamment le poids important des émetteurs bancaires et la présence de titres subordonnés, qui influencent significativement les résultats.⁴

VaR de Cornish–Fisher

Après correction Cornish–Fisher, on obtient le Tableau 3.4 :

| Maturité | AAA | AA | A | BBB |
|----------|---------|----------|----------|----------|
| 1–5 ans | -3,32 % | -4,55 % | -11,75 % | -10,18 % |
| 5–10 ans | -6,83 % | -11,32 % | -24,20 % | -24,10 % |
| +10 ans | -8,43 % | -16,59 % | -12,08 % | -27,00 % |

TABLE 3.4 – VaR de Cornish–Fisher (99,5 %)

On observe une légère diminution des VaR par rapport à la méthode historique. Toutefois, le problème lié à la composition des indices, notamment la surreprésentation des émetteurs financiers, demeure. Il convient donc d'examiner le coefficient correcteur appliqué par l'EIOPA pour chaque tranche de notation. Pour les autres tranches, les résultats évoluent de manière cohérente avec le niveau de notation et la maturité, ce qui confirme la pertinence de l'approche.

Ajustements EIOPA pour la note A

L'EIOPA propose d'adoucir les VaR des émetteurs notés A selon le Tableau 3.5, la matrice des VaR corrigée sur les émetteurs notés A est donc la suivante :

Une réduction de 16,87 % (moyenne des variations sur 1–3 ans et sur 3–5 ans) a été appliquée à la VaR des titres de maturités comprises entre 1 et 5 ans, et une réduction de 11,35 % a été appliquée

4. Dans le CP70, il est indiqué : «The higher losses are largely due to the fact that in the A rating bucket some 50% of bonds were issued by financial firms while in the BBB bucket only 7% of the issues were from the financial sector.»

| Maturité | VaR CF initiale | VaR corrigée | Variation |
|----------|-----------------|--------------|-----------|
| 1–3 ans | 8,68 % | 6,80 % | –21,66 % |
| 3–5 ans | 13,08 % | 11,50 % | –12,08 % |
| 5–7 ans | 19,03 % | 16,50 % | –13,29 % |
| 7–10 ans | 23,73 % | 21,50 % | –9,40 % |
| +10 ans | 14,30 % | 24,00 % | +67,83 % |

TABLE 3.5 – Données initiales et corrigées EIOPA pour les émetteurs A

à la VaR des titres de maturités comprises entre 5 et 10 ans (moyenne des variations sur 5–7 ans et sur 7–10 ans). La VaR de 24 % proposée par l’EIOPA a été conservée sur les titres de maturités supérieures à 10 ans afin de conserver une croissance des VaR avec la maturité des titres.

Ce qui donne une matrice complète telle que ci-dessous (Tableau 3.6) :

| Maturités | VaR initiales | Variation EIOPA | VaR corrigées |
|-----------|---------------|-----------------|---------------|
| 1–5 ans | 11,81 | –16,87 % | 9,82 |
| 5–10 ans | 24,33 | –11,35 % | 21,57 |
| >10 ans | 12,18 | — | 24,00 |

TABLE 3.6 – VaR à 1 an (99,5 %) Cornish-Fisher des sous-indices Merrill Lynch Euro Corporates corrigées sur les titres notés A (du 31/12/1998 au 31/07/2009)

En appliquant ces correctifs on obtient (Tableau 3.7) :

| Rating | 1–5 ans | 5–10 ans | +10 ans |
|--------|----------|----------|----------|
| AAA | –3,32 % | –6,83 % | –8,43 % |
| AA | –4,55 % | –11,32 % | –16,59 % |
| A | –9,77 % | –21,45 % | –24,00 % |
| BBB | –10,18 % | –24,10 % | –27,00 % |

TABLE 3.7 – VaR après correctifs du *rating* A selon le *rating* et la maturité

On observe bien une croissance des chocs en fonction du *rating* ainsi que de la maturité.

Calibrage des coefficients de choc

Nous calibrons les coefficients de manière linéaire pour chaque tranche de maturité. Cette méthode est reprise dans plusieurs travaux, notamment CHAUMIEN-HETROY (2016) et ABITBOL (2023). En effet, l’EIOPA ne précise pas explicitement la manière dont elle obtient les chocs finaux. Nous utilisons donc la méthode suivante afin de nous rapprocher des résultats publiés par l’EIOPA (voir 3.8) :

En appliquant la méthode explicitée dans la Table 3.8 on obtient la matrice de choc suivante, similaire à ce que l’on peut trouver à l’article 176 du Règlement délégué.

| Durée (ans) | a_i | b_i |
|-------------|---------------------|--|
| 0-5 | 0 | $\frac{\text{VaR}_{1-5}}{5}$ |
| 6-10 | VaR_{1-5} | $\frac{\text{VaR}_{5-10} - \text{VaR}_{1-5}}{5}$ |
| 11-15 | VaR_{5-10} | $\frac{\text{VaR}_{>10} - \text{VaR}_{5-10}}{5}$ |
| > 15 | $\text{VaR}_{>10}$ | $\frac{\text{VaR}_{>10} - \text{VaR}_{5-10}}{5}$ |

TABLE 3.8 – Calibrage linéaire des coefficients a_i et b_i selon la tranche de maturité

| Échelon de qualité de crédit | Duration (dur_i) | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------------------------------|---|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i |
| Jusqu'à 5 ans | $b_i \cdot dur_i$ | - | -0,66% | - | -0,91% | - | -1,95% | - | -2,03% |
| Supérieure à 5 et ≤ 10 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -3,31% | -0,70% | -4,54% | -1,35% | -9,75% | -2,33% | -10,17% | -2,78% |
| Supérieure à 10 et ≤ 15 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -6,81% | -0,32% | -11,31% | -1,05% | -21,41% | -0,55% | -24,07% | -0,58% |
| Supérieure à 15 et ≤ 20 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -8,43% | -0,32% | -16,58% | -1,05% | -24,16% | -0,55% | -26,97% | -0,58% |
| Plus de 20 ans | $\min[a_i + b_i \cdot (dur_i - 20); 1]$ | -10,05% | -0,32% | -21,85% | -1,05% | -26,91% | -0,55% | -29,87% | -0,58% |

TABLE 3.9 – Paramètres a_i et b_i pour différentes durées et qualités de crédit

Table de stress finale

Le Tableau 3.10 reprend la table de choc complète.

Conclusion intermédiaire : Calibrage des chocs avec la méthode EIOPA

La reproduction de la méthodologie EIOPA sur le même historique, incluant le calibrage des coefficients de choc de *spread*, a permis d'obtenir une matrice de choc et de comprendre la méthodologie afin de reproduire et d'adapter la méthode aux obligations vertes. Cette étape a confirmé la compréhension des principaux enjeux liés à la modélisation : *Yield Spread*, VaR de Cornish-Fisher, retraitements et calibrage.

La prochaine étape consistera à appliquer la méthode aux actifs verts et non verts sur la même période afin d'obtenir leurs matrices de choc respectives.

| Sensibilité (ans) | Formule | AAA | AA | A | BBB |
|-------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | $b_i \cdot dur_i$ | -0,66 % | -0,91 % | -1,95 % | -2,03 % |
| 2 | $b_i \cdot dur_i$ | -1,32 % | -1,82 % | -3,90 % | -4,07 % |
| 3 | $b_i \cdot dur_i$ | -1,99 % | -2,72 % | -5,85 % | -6,10 % |
| 4 | $b_i \cdot dur_i$ | -2,65 % | -3,63 % | -7,80 % | -8,14 % |
| 5 | $b_i \cdot dur_i$ | -3,31 % | -4,54 % | -9,75 % | -10,17 % |
| 6 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -4,01 % | -5,89 % | -12,08 % | -12,95 % |
| 7 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -4,71 % | -7,25 % | -14,41 % | -15,73 % |
| 8 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -5,41 % | -8,60 % | -16,75 % | -18,51 % |
| 9 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -6,11 % | -9,96 % | -19,08 % | -21,29 % |
| 10 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -6,81 % | -11,31 % | -21,41 % | -24,07 % |
| 11 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -7,13 % | -12,36 % | -21,96 % | -24,65 % |
| 12 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -7,45 % | -13,41 % | -22,51 % | -25,23 % |
| 13 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -7,77 % | -14,46 % | -23,06 % | -25,81 % |
| 14 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -8,09 % | -15,51 % | -23,61 % | -26,39 % |
| 15 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -8,41 % | -16,56 % | -24,16 % | -26,97 % |
| 16 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -8,73 % | -17,61 % | -24,71 % | -27,55 % |
| 17 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -9,05 % | -18,66 % | -25,26 % | -28,13 % |
| 18 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -9,37 % | -19,71 % | -25,81 % | -28,71 % |
| 19 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -9,69 % | -20,76 % | -26,36 % | -29,29 % |
| 20 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -10,01 % | -21,81 % | -26,91 % | -29,87 % |
| 21 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -10,33 % | -22,86 % | -27,46 % | -30,45 % |
| 22 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -10,65 % | -23,91 % | -28,01 % | -31,03 % |
| 23 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -10,97 % | -24,96 % | -28,56 % | -31,61 % |
| 24 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -11,29 % | -26,01 % | -29,11 % | -32,19 % |
| 25 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -11,61 % | -27,06 % | -29,66 % | -32,77 % |

TABLE 3.10 – Valeurs de stress (%) selon la sensibilité

3.4 Construction d'indices représentatifs

Afin d'assurer la comparabilité des résultats, nous nous appuyons autant que possible sur les méthodologies employées pour la construction des indices ICE BofA Merrill Lynch. Celles-ci constituent une référence qui nous permettra d'analyser la volatilité du *spread* entre les obligations souveraines et les obligations d'entreprises vertes. Les seules divergences concerneront la sélection de l'univers d'investissement, adaptée à notre étude. Par ailleurs, à chaque étape de l'élaboration et du calibrage des indices, nous prendrons en compte l'impact de la méthodologie de construction sur les résultats obtenus.

3.4.1 Univers d'investissement

Les obligations incluses dans un indice obligataire répondent à des critères techniques précis portant sur le type d'instrument, la maturité, la taille d'émission, la notation de crédit, la liquidité, la devise, l'émetteur, ainsi que des exclusions spécifiques. Les méthodologies de pondération, de valorisation et de rebalancement garantissent la représentativité et la robustesse de l'indice.

Les obligations doivent être émises par des entreprises privées ou publiques non souveraines. Elles

doivent être libellées en euro (EUR), présenter un encours minimum de 100 millions d'euros et respecter les critères de notation et de durée résiduelle définis par le sous-indice.

Les obligations à taux fixe demeurent dans l'indice tant qu'elles satisfont à l'ensemble de ces critères. Les calculs de performance, de rendement, de duration, etc., sont effectués sur la base de leur coupon fixe. À l'inverse, les obligations à taux variable pures (*Floating Rate Notes*, FRN) sont exclues de l'indice, celui-ci visant à mesurer la performance des titres à taux fixe.

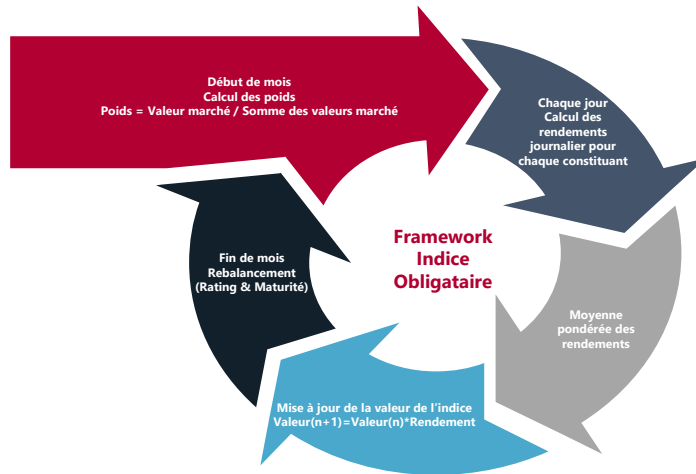
Enfin, les obligations perpétuelles, bien qu'elles n'aient pas d'échéance finale, peuvent être incluses si elles respectent les autres critères (devise, encours, notation). **Les obligations sont dites "corporates" dans la mesure où elles sont émises par des entreprises (hors souverains et quasi-souverains). Elles doivent avoir obtenu la certification CBI (Climate Bond Initiative).**

3.4.2 Indice *Green Bonds*

En résumé, la méthode de calcul de l'indice repose sur le calcul du rendement journalier de chaque constituant. Ensuite, le rendement journalier de l'indice est obtenu par la moyenne pondérée des rendements, selon le poids de chaque constituant dans l'indice. Ce poids est défini en début de mois par la valeur de marché du constituant divisé par la somme des valeurs de marché de l'ensemble des constituants. Aucun frais de transaction n'est appliqué lors des rebalancements. Pour le calcul des prix, on utilise le *mid-price*⁵. Une description de la prise en compte des frais de transaction est fournie en annexe ; il s'agit d'un point important dans la gestion obligataire, car ces frais (notamment le *spread bid-ask*) peuvent être élevés pour les obligations peu liquides. L'indice évolue ensuite de manière journalière en multipliant la valeur de l'indice de la veille par le rendement du jour. Le rebalancement est effectué mensuellement, en tenant compte de l'évolution du *rating* ainsi que de la maturité des titres. Pour plus de détails sur la méthodologie de construction de l'indice, voir Annexe D.

5. Le *mid-price* est la moyenne du prix proposé à l'achat (*bid*) et du prix proposé à la vente (*ask*) :

$$P_{\text{mid}} = \frac{P_{\text{bid}} + P_{\text{ask}}}{2}.$$

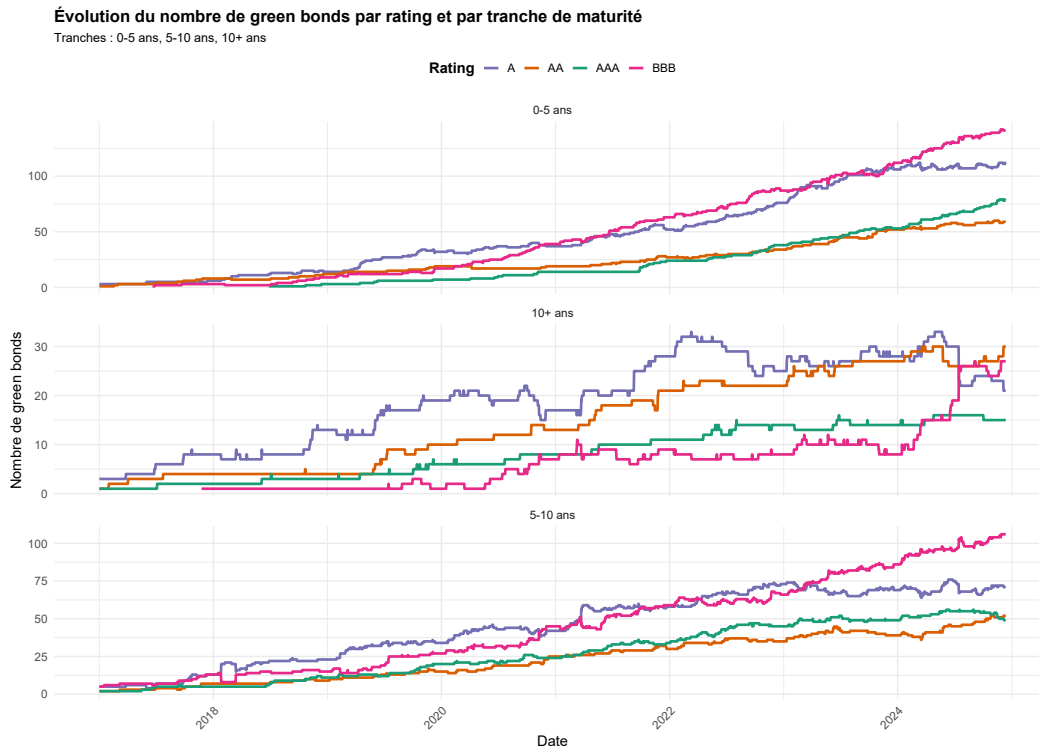
FIGURE 3.7 – Méthodologie Indice Obligatoire *Green*

Données

Les données nécessaires à la création des indices ont été les historiques de cotations journalières de l'ensemble des obligations vertes à taux fixes émises par des entreprises en euros avec le label CBI avec un nominal d'au moins 100 millions d'euros qui bénéficie d'un suivi par un agence de notation au moins. On obtient donc 852 obligations qui respectent ces critères. On a donc l'historique de prix journalier *Bid-Ask* de chaque obligation ainsi que son historique de *rating*. L'historique de prix étudié couvre la période 2019-2024.

Étude de volumétrie par Bucket

Le nombre d'obligations ainsi que le montant couvert par un indice sont des éléments très importants lors de la construction d'un indice obligataire. Comme nous l'avons souligné, une limite de notre méthodologie réside dans le nombre d'obligations vertes émises, en particulier lorsque l'on segmente notre échantillon de départ en plusieurs catégories (notation et maturité). De ce fait, une analyse approfondie de la volumétrie est nécessaire pour bien appréhender les variations des indices qui seront créés.

FIGURE 3.8 – Volume de *Green Bonds* par tranche de maturité et par *rating*

La Figure 3.8 permet de formuler plusieurs constats importants à garder à l'esprit lors de l'analyse des indices.

Premièrement, les indices ne peuvent commencer qu'à partir de la fin du premier semestre 2018. En effet, notre base de données ne contient une première obligation corporate AAA verte certifiée CBI qu'à partir de cette date.

Deuxièmement, on observe qu'il existe peu d'obligations avec une maturité supérieure à 10 ans, en particulier pour les titres notés BBB. Cela s'explique par le fait qu'un investisseur exigera une prime de risque plus élevée pour une obligation BBB à longue maturité. Or, la situation financière des émetteurs de cette catégorie ne justifie souvent pas l'émission de titres à échéance aussi lointaine. Cette limitation de l'univers obligataire entraîne ainsi un risque de biais, notamment lié à la faible volumétrie, ce qui induit un risque idiosyncratique non négligeable sur l'indice correspondant. Les chocs calculés à partir de cet indice devront donc être interprétés avec prudence.

Par conséquent, nous choisissons de calculer les indices à partir de 2019, afin de disposer d'une profondeur suffisante pour nos analyses de chocs, tout en intégrant l'épisode du Covid-19, qui constitue un événement de marché particulièrement pertinent.

Enfin, on observe qu'au fil du temps, la profondeur et la diversité des émissions s'accroissent, renforçant ainsi la robustesse de nos analyses. Les résultats relatifs aux maturités supérieures à 10 ans devront toutefois être interprétés avec prudence, en raison d'une volumétrie limitée, quel que soit le niveau de notation. En revanche, les maturités de 5 à 10 ans, ainsi que celles de 0 à 5 ans pour les notations AA, A et BBB, offrent les indices les plus robustes.

Analyse des indices *Green Bonds*

Une première analyse de la Figure 3.9, qui compare l'évolution de l'indice *Green Bond* à celle de l'indice de référence « ICE Euro Corporate », montre que, pour toutes les combinaisons de maturité et de *rating*, l'indice *Green Bond* sous-performe systématiquement l'indice *Corporate*. Les variations sont similaires entre les deux indices, avec une rupture marquée lors du choc du Covid-19, également soulignée dans [FATICA et PANZICA \(2024\)](#).

La période étudiée (2019–2024) est particulièrement pertinente car elle inclut deux événements majeurs : la crise du Covid-19 et une remontée rapide des taux d'intérêt en zone euro⁶. Cette hausse des taux a entraîné une forte dévalorisation des obligations à longue maturité, comme l'illustre la Figure 3.9. Les indices exposés à ces maturités longues ont donc enregistré des pertes plus importantes. À l'inverse, les indices constitués d'obligations à maturité courte ont également subi une baisse rapide, mais ont récupéré plus vite, en raison du renouvellement plus fréquent des obligations dans le portefeuille, leur permettant de bénéficier plus rapidement des nouveaux taux élevés.

En conséquence, plus la maturité d'un indice est longue, plus sa volatilité et son risque augmentent. Afin d'approfondir cette analyse, nous étudierons ensuite le *drawdown* ainsi que les rendements annuels des indices.

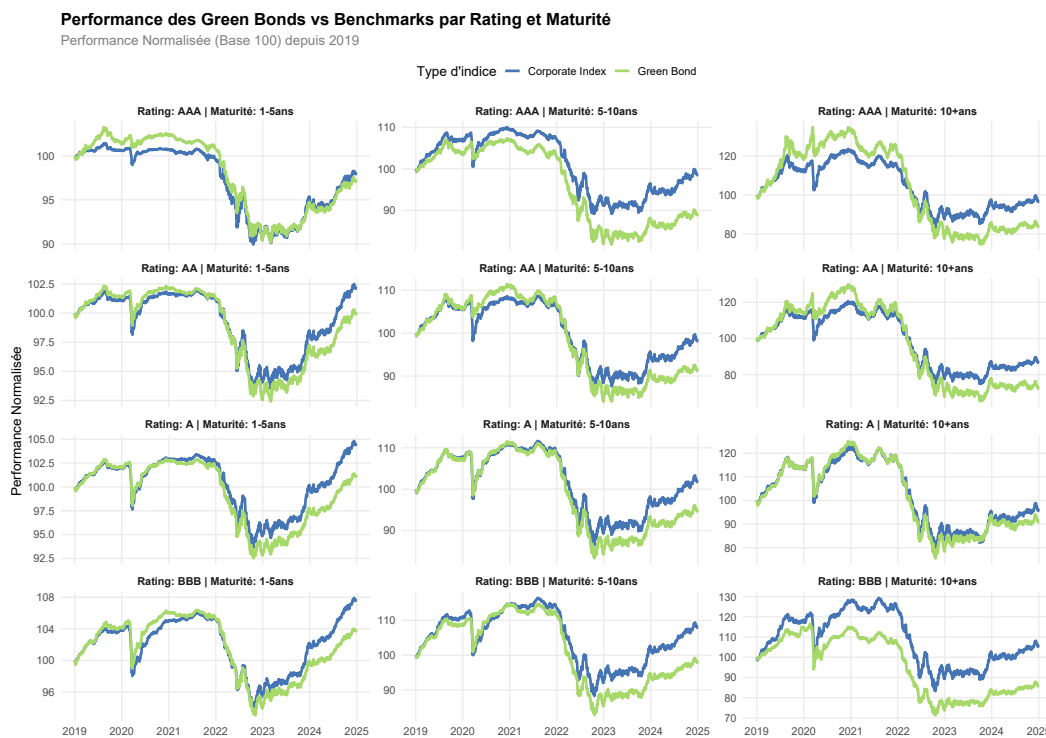


FIGURE 3.9 – Indice *Green Bond* contre Indice Corporate (2019-2024)

Le *drawdown* mesure la perte maximale enregistrée par un indice par rapport à son plus haut historique, ce qui permet d'évaluer la sévérité des baisses de marché et donc le risque de perte pour

6. Banque de France, *Les taux directeurs*, rubrique ABC de l'économie, juin 2025. Entre juillet 2022 et septembre 2023, face à une inflation trop forte, l'Eurosystème a engagé un cycle de hausse rapide de ses trois taux directeurs, avec dix augmentations successives.

l'investisseur.

Plus formellement, le *drawdown instantané* à la date t est défini par :

$$DD(t) = \frac{\max_{0 \leq s \leq t} P(s) - P(t)}{\max_{0 \leq s \leq t} P(s)},$$

où $P(t)$ désigne le niveau de l'indice à l'instant t et $\max_{0 \leq s \leq t} P(s)$ son plus haut historique antérieur ou égal à t .

Le Tableau 3.11 présente les *drawdowns* maximaux observés entre janvier 2019 et décembre 2024, selon le *rating* de crédit et la maturité des obligations, pour les indices *Green Bond* et leurs équivalents classiques.

On observe tout d'abord une tendance claire : le *drawdown* augmente significativement avec la maturité, quelle que soit la catégorie de notation. Cela confirme l'idée que les obligations de plus longue durée sont plus sensibles aux fluctuations des taux d'intérêt, et donc plus exposées au risque de marché. Par exemple, les obligations notées AAA affichent un *drawdown* d'environ $-12,7\%$ et $-9,7\%$ sur la tranche 1–5 ans, contre $-44,6\%$ à $-49,9\%$ pour la tranche 10 ans et plus.

En comparant les indices *green* et classiques, les différences sont généralement modestes, mais parfois significatives selon les segments. Par exemple, dans la catégorie A et la tranche 10 ans et plus, l'indice *green* subit un *drawdown* maximal de $-32,5\%$, contre $-38,5\%$ pour l'indice classique, suggérant une résilience relative des obligations vertes dans ce segment. De même, pour les AAA à maturité supérieure à 10 ans, le *drawdown* est plus élevé pour les obligations classiques ($-49,9\%$) que pour les *green bonds* ($-44,6\%$), ce qui renforce cette idée de résilience potentielle des obligations vertes dans les maturités longues. À l'opposé, sur la tranche 1–5 ans, on constate que les *Green Bonds* AAA subissent un *drawdown* légèrement plus marqué ($-12,7\%$) que leurs homologues classiques ($-9,7\%$), ce qui montre que l'effet « *green* » n'est pas systématiquement protecteur.

Enfin, les notations inférieures (comme BBB) ne montrent pas nécessairement une aggravation du *drawdown* par rapport aux notations supérieures. Par exemple, pour la tranche 10 ans et plus, les *drawdowns* atteignent $-36,1\%$ (*green*) et $-35,7\%$ (classique), soit des niveaux comparables à ceux observés dans des notations plus élevées comme AA ou A. Cela indique que, sur la période étudiée, la sensibilité au risque de taux domine celle liée au risque de crédit.

| Maturité | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique |
| 1–5 ans | $-12,7\%$ | $-9,7\%$ | $-10,1\%$ | $-12,5\%$ | $-11,3\%$ | $-8,6\%$ | $-9,4\%$ | $-11,6\%$ |
| 5–10 ans | $-23,8\%$ | $-24,6\%$ | $-25,4\%$ | $-28,0\%$ | $-19,0\%$ | $-20,1\%$ | $-22,6\%$ | $-24,2\%$ |
| 10+ ans | $-44,6\%$ | $-49,9\%$ | $-39,8\%$ | $-38,9\%$ | $-32,5\%$ | $-38,5\%$ | $-36,1\%$ | $-35,7\%$ |

TABLE 3.11 – Maximum *drawdown* par *rating* et maturité entre janvier 2019 et décembre 2024

Le Tableau 3.12 met en évidence des rendements annualisés globalement faibles, voire négatifs, sur la période 2019–2024, en particulier pour les maturités longues. Par exemple, les obligations AAA à plus de 10 ans enregistrent un rendement de $-3,5\%$ pour les *Green Bonds*, contre $-6,2\%$ pour les obligations classiques. Cette tendance reflète principalement l'impact négatif de la remontée des taux

sur les obligations de long terme, plus sensibles à la duration.

En comparaison *green* vs classique, les résultats restent contrastés selon les segments. Par exemple, dans la catégorie A à 1–5 ans, les *Green Bonds* sous-performent légèrement (–0,4 % contre 0,4 %), tandis que sur la tranche 10+ ans, ils montrent une meilleure résistance (–0,7 % contre –2,8 %). Un écart similaire est visible en catégorie AA long terme (–1,9 % pour les *Green Bonds* contre –3,0 % pour les classiques), suggérant que les obligations vertes ont parfois mieux absorbé les chocs de taux dans les maturités longues.

Les obligations notées BBB affichent globalement les meilleurs rendements, avec jusqu'à 1,5 % sur la tranche 1–5 ans pour les classiques, et des rendements positifs dans tous les segments sauf le plus long en *green* (–0,9 %). Cela pourrait refléter un portage plus élevé ainsi qu'une meilleure dynamique relative des *spreads* dans ce segment.

Ainsi, comme pour les *drawdowns*, la maturité reste le facteur dominant dans la performance, tandis que l'effet « *green* » varie selon les segments, sans générer de tendance structurelle uniforme.

| Maturité | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique |
| 1–5 ans | –0,6 % | 0,0 % | 0,2 % | 0,7 % | –0,4 % | 0,4 % | 0,9 % | 1,5 % |
| 5–10 ans | –2,3 % | –1,8 % | –1,1 % | –0,4 % | –0,3 % | –0,4 % | 0,4 % | 1,6 % |
| 10+ ans | –3,5 % | –6,2 % | –1,9 % | –3,0 % | –0,7 % | –2,8 % | –0,9 % | 1,0 % |

TABLE 3.12 – Rendement annualisé sur 5 ans par *rating* et maturité entre janvier 2019 et décembre 2024

Finalement les indices ont des caractéristiques très proches, néanmoins les différences que l'on a remarquées peuvent être accentuées lorsque l'on passe au rendement annuel glissant et que l'on compare à l'indice souverain.

Spread historique Sur la Figure 3.10, on observe que les écarts les plus marqués, quel que soit l'indice considéré, se sont produits sur les rendements glissants entre 2022 et 2023. Pour l'interprétation du Graphique 3.10, une zone bleue indique que, sur la période glissante considérée, les obligations souveraines ont affiché un meilleur rendement, tandis qu'une zone verte traduit une surperformance des indices d'obligations vertes corporate.

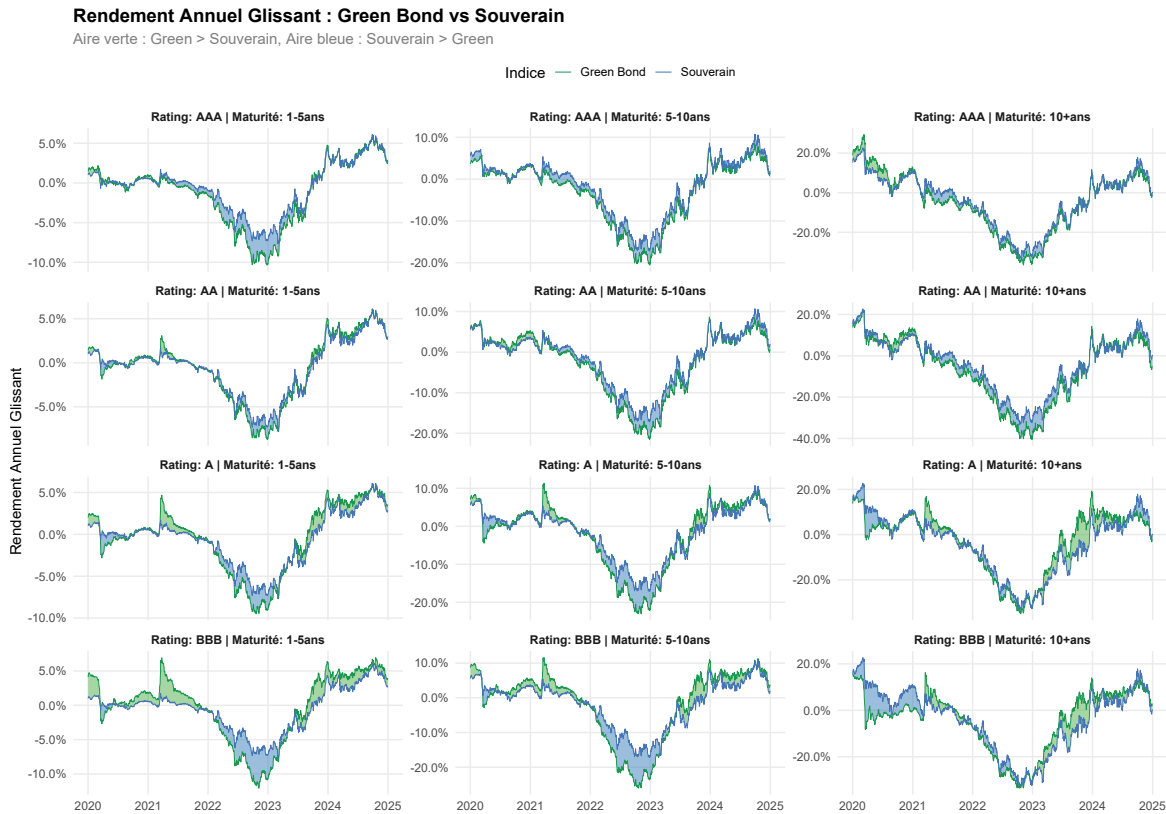


FIGURE 3.10 – Rendements glissants et *spread* des indices obligataires souverains et des indices obligataires verts

3.5 Matrice de choc verte extrapolée

L'objectif de cette partie est de réappliquer le processus de calibrage du choc de *spread* Solvabilité II, mais cette fois sur l'historique 2019-2024 des indices *Green*. Nous allons aussi comparer les indices *Green* avec les indices *corporate* classiques.

Comparaison *Green* et *non-Green* On applique la méthodologie EIOPA sur les indices *Green* et sur les indices *Corporate* classique sur l'historique 2019-2024. L'objectif est de faire une étude comparative du risque sur la période où l'on a de l'historique Green bond.

Le Tableau 3.13 présente les *Value-at-Risk* (VaR) à 99,5 % calculées selon une méthode historique sur les *spreads* de rendement annualisé glissant, par *rating* et maturité, pour les obligations vertes et classiques.

En comparant les obligations vertes et classiques, les différences de risque varient selon les segments. Dans les catégories AAA et AA, les *Green Bonds* affichent une VaR légèrement supérieure en courte maturité (AAA 1–5 ans : 3,07 % contre 2,87 %), mais inférieure en long terme (AAA 10+ ans : 6,23 % contre 13,12 %). Cela suggère une meilleure résilience des obligations vertes de longue maturité face aux chocs extrêmes, potentiellement liée à des émetteurs plus stables ou à une demande plus soutenue de la part des investisseurs ESG.

Dans les notations plus risquées (A et BBB), les résultats sont plus contrastés. Les obligations vertes présentent une VaR un peu plus élevée que les classiques dans certains cas, notamment BBB 10+ ans (17,04 % contre 14,59 %). Cela pourrait refléter une moindre liquidité ou une plus grande concentration sectorielle dans les segments verts de moindre qualité de crédit.

| Maturité | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------|---------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique |
| 1-5 ans | -3,07 % | -2,87 % | -1,61 % | -2,35 % | -2,66 % | -3,04 % | -4,98 % | -3,99 % |
| 5-10 ans | -3,92 % | -4,05 % | -4,58 % | -6,04 % | -6,73 % | -6,94 % | -10,04 % | -6,53 % |
| 10+ ans | -6,23 % | -13,12 % | -8,86 % | -14,74 % | -12,77 % | -15,91 % | -17,04 % | -14,59 % |

TABLE 3.13 – VaR historique à 99,5 % des *spreads* de rendement annualisé glissant par *rating* et maturité de janvier 2019 à décembre 2024

Comme indiqué dans la section précédente, la forme empirique des distributions justifie également le recours à la correction de Cornish-Fisher. En effet, la majorité des distributions de *spreads*, selon les couples *rating*/maturité, présentent des queues épaisses, comme l'illustre le QQ-plot de la Figure 3.11. L'utilisation directe d'un quantile de loi normale conduirait donc à sous-estimer le risque.

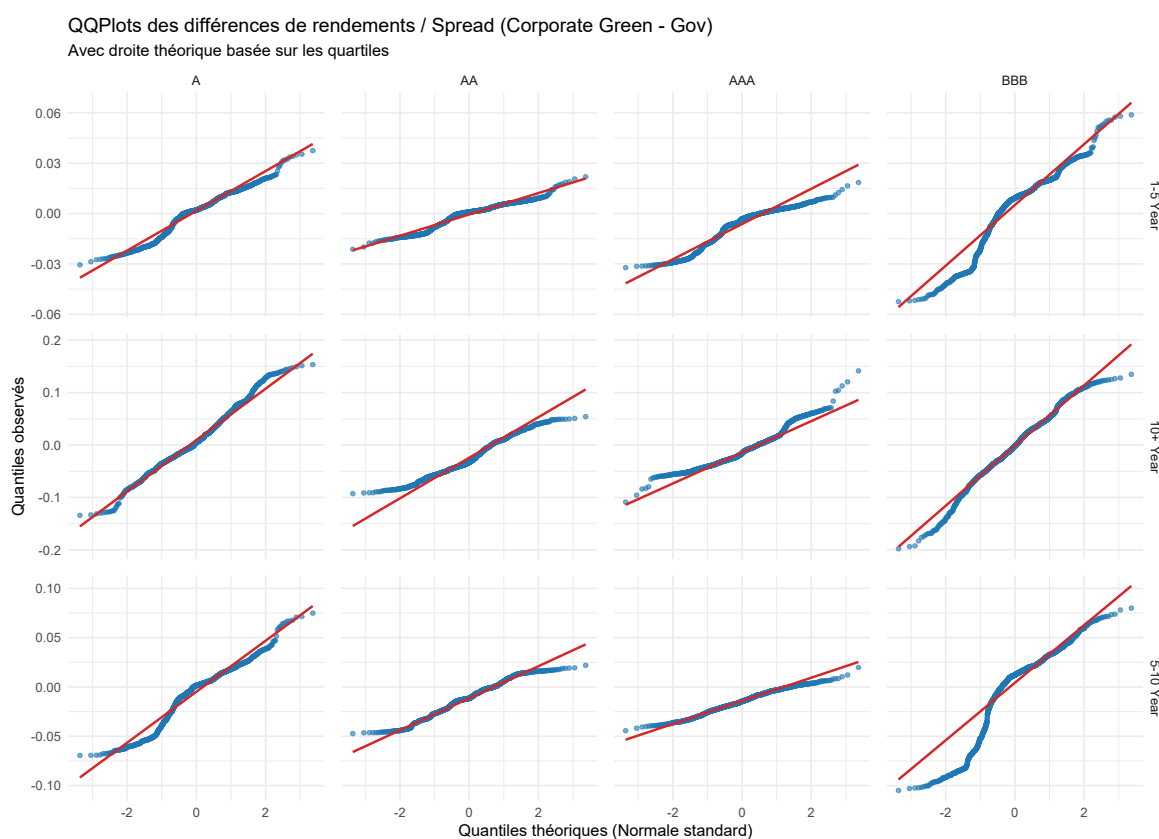


FIGURE 3.11 – QQ-plot des distributions de *spreads* entre obligations souveraines et obligations vertes, par maturité (lignes) et par notation (colonnes).

Le Tableau 3.14 présente les valeurs à risque (VaR) à 99,5 % estimées selon l'approche Cornish-Fisher, appliquée aux *spreads* de rendement annualisé glissant. Pour rappel, cette méthode permet de capturer les déformations des distributions empiriques (asymétrie, kurtosis) et offre une estimation plus robuste des risques extrêmes que la simple approche historique.

Comme attendu, la VaR augmente avec la maturité, quel que soit le *rating* ou le caractère vert ou non de l'obligation. Pour les obligations notées BBB classiques, la VaR passe ainsi de $-4,96\%$ sur 1–5 ans à $-13,53\%$ sur 10 ans et plus. La même dynamique s'observe pour les obligations vertes, suggérant une sensibilité accrue aux chocs de marché sur les maturités longues.

Une tendance claire se dégage en faveur des obligations vertes de bonne qualité de crédit : pour les notations AAA et AA, les *Green Bonds* présentent systématiquement une VaR inférieure à leurs homologues classiques, notamment sur les maturités longues. Par exemple, en AAA 10+ ans, la VaR est de $-6,56\%$ pour les *Green Bonds* contre $-11,50\%$ pour les classiques, et en AA 10+ ans, de $-9,03\%$ contre $-14,57\%$. Cela peut refléter une meilleure stabilité des émetteurs verts, ou un appétit plus stable des investisseurs pour ces titres, réduisant ainsi la volatilité des *spreads*.

En revanche, cette supériorité relative s'inverse dans certains segments plus risqués. Les *Green Bonds* notés BBB affichent une VaR supérieure à celle des classiques sur les maturités longues ($-17,28\%$ contre $-13,53\%$), ce qui pourrait s'expliquer par une base d'émetteurs plus concentrée ou moins liquide dans ces catégories, rendant les *spreads* plus vulnérables aux épisodes de stress.

| Maturité | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique |
| 1–5 ans | $-3,5\%$ | $-3,25\%$ | $-1,97\%$ | $-2,10\%$ | $-3,17\%$ | $-2,85\%$ | $-5,79\%$ | $-4,96\%$ |
| 5–10 ans | $-4,18\%$ | $-4,09\%$ | $-5,03\%$ | $-6,44\%$ | $-8,15\%$ | $-6,57\%$ | $-11,85\%$ | $-7,78\%$ |
| 10+ ans | $-6,56\%$ | $-11,50\%$ | $-9,03\%$ | $-14,57\%$ | $-11,13\%$ | $-15,21\%$ | $-17,28\%$ | $-13,53\%$ |

TABLE 3.14 – VaR à 99,5 % des *spreads* de rendement annualisé glissant par *rating* et maturité (méthode Cornish-Fisher) de janvier 2019 à décembre 2024

Enfin, certaines incohérences apparaissent, pour le *rating* AAA, la VaR est parfois supérieure à celle du *rating* AA, et, pour les obligations classiques, la VaR des maturités supérieures à 10 ans notées A dépasse celle des BBB. Afin d'assurer une progression cohérente de la VaR lorsque le *rating* se dégrade, nous appliquons une règle de prudence qui ajuste les valeurs par maturité et notation, en remplaçant toute valeur moins défavorable par celle du *rating* supérieur. Cette correction garantit la monotonie du risque et limite l'impact des anomalies statistiques.

| Maturité | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique | Green | Classique |
| 1–5 ans | $-3,50\%$ | $-3,25\%$ | $-3,50\%$ | $-3,25\%$ | $-3,50\%$ | $-3,25\%$ | $-5,79\%$ | $-4,96\%$ |
| 5–10 ans | $-4,18\%$ | $-4,09\%$ | $-5,03\%$ | $-6,44\%$ | $-8,15\%$ | $-6,57\%$ | $-11,85\%$ | $-7,78\%$ |
| 10+ ans | $-6,56\%$ | $-11,50\%$ | $-9,03\%$ | $-14,57\%$ | $-11,13\%$ | $-15,21\%$ | $-17,28\%$ | $-15,21\%$ |

TABLE 3.15 – VaR à 99,5 % des *spreads* de rendement annualisé glissant par *rating* et maturité (méthode Cornish-Fisher, après application de la prudence) de janvier 2019 à décembre 2024

Tests et analyses temporelles

La période de calibrage utilisée pour obtenir les différentes matrices de chocs diffère de celle employée par l'EIOPA à l'époque. Ce choix s'imposait, dans la mesure où les obligations vertes (« *green bonds* ») n'existaient pas encore lors des calibrages initiaux.

Afin de mieux contextualiser les résultats obtenus sur les chocs, nous proposons d'étudier la stabilité temporelle des VaR à l'aide d'un historique glissant (fenêtre de 5 ans, similaire à notre approche sur les *Green Bonds*).

Le Graphique 3.12 illustre l'impact du choix de la période de calibrage sur la VaR.

La méthodologie employée est la suivante : soit une série de dates d'évaluation mensuelles $t \in \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. À chaque date t , on considère une fenêtre d'observation glissante de $\Delta t = 5$ ans. On étudie donc les données comprises dans l'intervalle $[t - \Delta t, t]$.

Pour chaque date t , on considère la série des *spreads* $\{r^{\text{spread}}(s)\}_{s \in [t - \Delta t, t]}$, à partir de laquelle on calcule la *Value-at-Risk* à 99,5% selon l'approche Cornish-Fisher :

$$\text{VaR}_{99,5\%}^{\text{CF}}(t) = \text{CornishFisher} \left(\{r^{\text{spread}}(s)\}_{s \in [t - \Delta t, t]} \right)$$

Un point particulièrement marquant concerne la VaR associée aux obligations notées A, pour les maturités 1–5 ans et 5–10 ans, lorsque la période incluant la crise des subprimes est intégrée à l'historique. Dans ce cas, la VaR sur ces maturités dépasse celle observée pour les maturités supérieures à 10 ans, ce qui contrevient à l'hypothèse classique d'une augmentation du risque avec la maturité.

Cette anomalie a été abordée en détail dans la section dédiée au calibrage. La méthodologie d'EIOPA, ainsi que notre reproduction de celle-ci, nécessitait un ajustement à l'aide d'un coefficient multiplicateur. En effet, certaines obligations de notation A incluses dans l'indice présentaient une structure de dette subordonnée, ce qui biaise la mesure du risque.

Pour certains couples notation/maturité, notamment les obligations notées AAA, on observe une bonne stabilité de la VaR dans le temps. À l'inverse, pour le *rating* BBB, des incohérences apparaissent : durant la période 2009–2014 (incluant la crise des subprimes), la VaR des maturités supérieures à 10 ans est inférieure à celle des maturités 5–10 ans, ce qui est peu intuitif.

Enfin, le calibrage proposé sur la période 2019–2024 présente l'avantage d'exclure les anomalies liées à la crise de 2008, notamment celles concernant les émetteurs financiers. L'utilisation d'un historique plus récent peut refléter les améliorations dans les pratiques de notation et les contrôles accrus mis en place par les agences de *rating*, éléments centraux de cette modélisation.

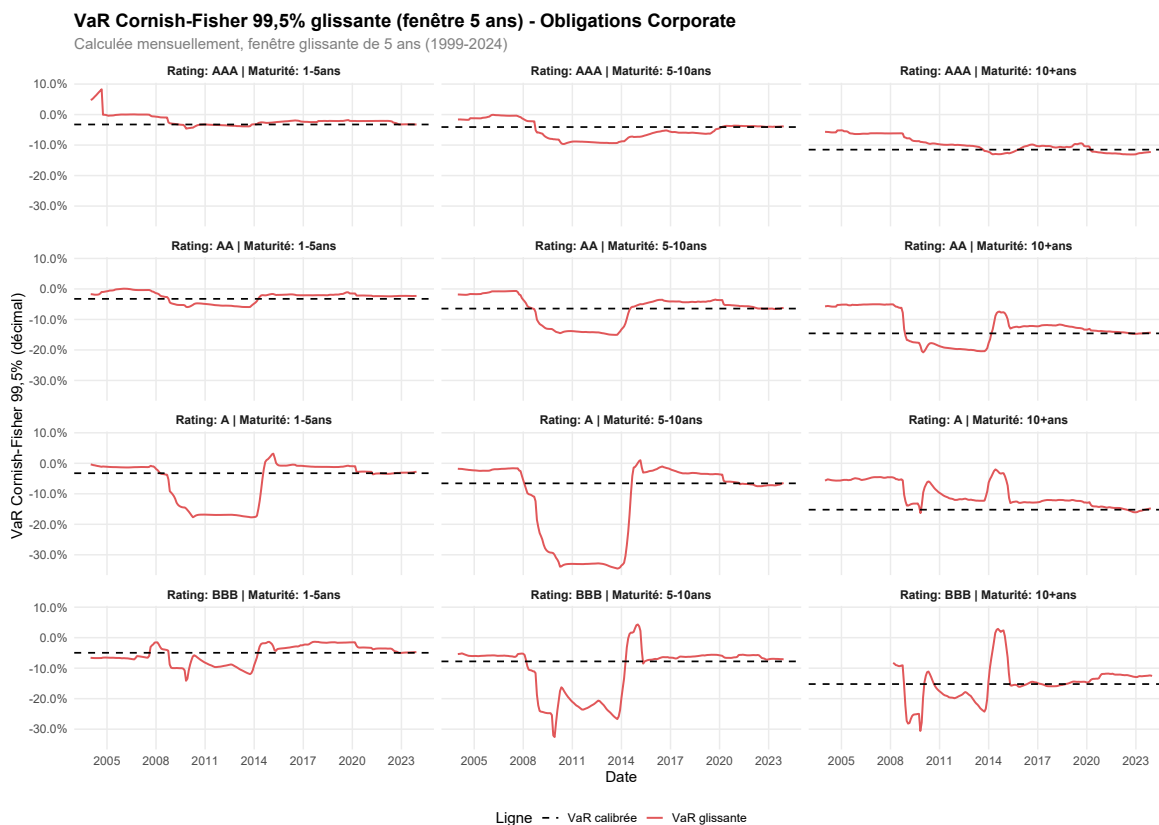


FIGURE 3.12 – VaR Cornish-Fisher 99,5% glissante sur obligations corporate avec fenêtre de 5 ans

Matrice de chocs *Green bonds*

L’approche repose sur des données de marché récentes (2019–2024), dans un contexte spécifique marqué par un choc de marché (Covid-19), ainsi qu’un pic d’inflation à 6,3% en février 2023 en France, accompagné d’une hausse rapide des taux. Concernant la matrice de choc illustrée dans le Tableau 3.16, le calibrage récent (2019–2024) des chocs pour les *Green Bonds* est globalement plus douce que celle de la formule standard, tout en conservant une forte différenciation selon le *rating* et la durée.

| Échelon de qualité de crédit | Duration (dur_i) | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|----------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i | a_i | b_i |
| Jusqu’à 5 ans | $b_i \cdot dur_i$ | - | -0,70 % | - | -0,70 % | - | -0,70 % | - | -1,16 % |
| Supérieure à 5 et ≤ 10 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | -3,50 % | -0,14 % | -3,50 % | -0,31 % | -3,50 % | -0,93 % | -5,79 % | -1,21 % |
| Supérieure à 10 et ≤ 15 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | -4,18 % | -0,16 % | -5,03 % | -0,27 % | -8,15 % | -0,20 % | -11,85 % | -0,36 % |
| Supérieure à 15 et ≤ 20 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | -4,97 % | -0,16 % | -6,36 % | -0,27 % | -9,14 % | -0,20 % | -13,66 % | -0,36 % |
| Supérieure à 20 et ≤ 25 ans | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | -5,77 % | -0,16 % | -7,70 % | -0,27 % | -10,14 % | -0,20 % | -15,47 % | -0,36 % |

TABLE 3.16 – Paramètres a_i et b_i recalibrés (2019–2024) pour les obligations *green*

À titre de comparaison, le Graphique 3.13 illustre les fonctions de choc obtenues à partir du calibrage spécifique aux obligations vertes, en les confrontant à celles issues de la formule standard. On observe

une réduction notable de l'intensité des chocs dans le cadre du calibrage sur les indices *Green Bonds*, ce qui suggère une moindre sensibilité au risque selon cette approche.

La forme des courbes reste similaire à celle de la formule standard, avec une structure par notation de crédit conservée : les obligations notées BBB subissent un choc significativement plus élevé que celles notées AAA, AA ou A. Cette cohérence dans la hiérarchie des chocs permet de maintenir une logique prudentielle tout en intégrant les spécificités des obligations vertes.

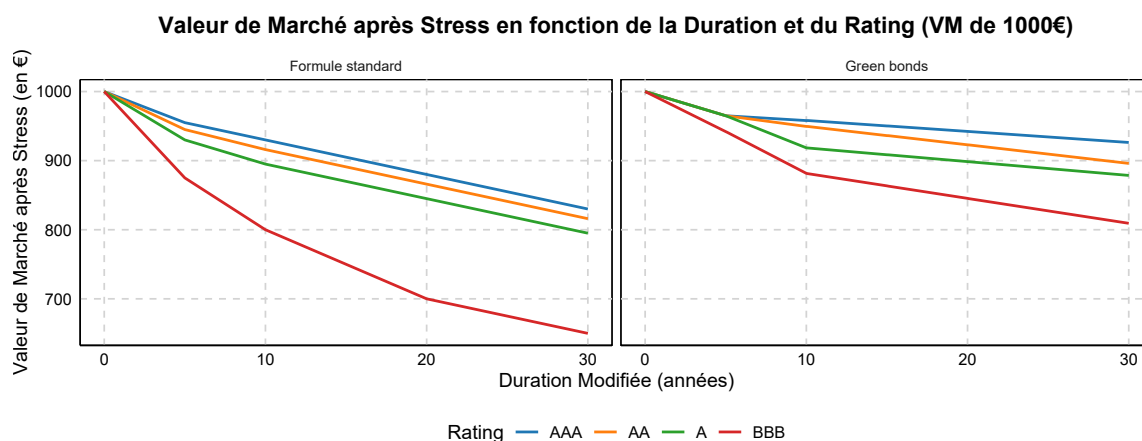


FIGURE 3.13 – Fonctions de choc : formule standard vs calibrage *Green Bonds*

Réduction des stress de *spread* : une avancée méthodologique pour les obligations vertes

Ce travail a permis de reproduire rigoureusement la méthodologie de calibrage des chocs de *spread* selon les standards EIOPA, puis de l'adapter aux obligations vertes à partir de données de marché récentes. La matrice de choc obtenue pour les *Green Bonds* présente une réduction significative des stress, tout en conservant une hiérarchie prudente par notation et durée. Cette approche met en lumière une sensibilité moindre au risque de crédit pour les actifs durables, en particulier sur les maturités longues.

Cependant, plusieurs limites doivent être soulignées : la profondeur historique des données vertes reste limitée, les biais sectoriels persistent, et la liquidité des titres peut affecter la robustesse des résultats. De plus, l'effet "*green*" n'est pas uniformément protecteur selon les segments de notation.

La suite du travail consiste à appliquer cette matrice de choc recalibrée à un portefeuille obligataire réel. L'objectif est d'analyser l'impact prudentiel de ce nouveau calibrage sur les exigences de capital, en comparant les résultats obtenus avec ceux de la formule standard. Cette étape permettra d'évaluer concrètement le potentiel d'intégration des *Green Bonds* dans les modèles ALM des assureurs, en conciliant performance financière, alignement réglementaire et transition durable.

| Sensibilité(ans) | Formule | AAA | | AA | | A | | BBB | |
|------------------|--------------------------------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | | Green | Standard | Green | Standard | Green | Standard | Green | Standard |
| 1 | $b_i \cdot dur_i$ | 0.70% | 0.90% | 0.70% | 1.10% | 0.70% | 1.40% | 1.16% | 2.50% |
| 2 | $b_i \cdot dur_i$ | 1.40% | 1.80% | 1.40% | 2.20% | 1.40% | 2.80% | 2.32% | 5.00% |
| 3 | $b_i \cdot dur_i$ | 2.10% | 2.70% | 2.10% | 3.30% | 2.10% | 4.20% | 3.48% | 7.50% |
| 4 | $b_i \cdot dur_i$ | 2.80% | 3.60% | 2.80% | 4.40% | 2.80% | 5.60% | 4.64% | 10.00% |
| 5 | $b_i \cdot dur_i$ | 3.50% | 4.50% | 3.50% | 5.50% | 3.50% | 7.00% | 5.80% | 12.50% |
| 6 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 3.64% | 5.00% | 3.81% | 6.08% | 4.43% | 7.70% | 7.00% | 14.00% |
| 7 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 3.78% | 5.50% | 4.12% | 6.66% | 5.36% | 8.40% | 8.21% | 15.50% |
| 8 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 3.92% | 6.00% | 4.43% | 7.24% | 6.29% | 9.10% | 9.42% | 17.00% |
| 9 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 4.06% | 6.50% | 4.74% | 7.82% | 7.22% | 9.80% | 10.63% | 18.50% |
| 10 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 5)$ | 4.20% | 7.00% | 5.05% | 8.40% | 8.15% | 10.50% | 11.84% | 20.00% |
| 11 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 4.34% | 7.50% | 5.30% | 8.90% | 8.35% | 11.00% | 12.21% | 21.00% |
| 12 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 4.50% | 8.00% | 5.57% | 9.40% | 8.55% | 11.50% | 12.57% | 22.00% |
| 13 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 4.66% | 8.50% | 5.84% | 9.90% | 8.75% | 12.00% | 12.93% | 23.00% |
| 14 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 4.82% | 9.00% | 6.11% | 10.40% | 8.95% | 12.50% | 13.29% | 24.00% |
| 15 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 10)$ | 4.98% | 9.50% | 6.38% | 10.90% | 9.15% | 13.00% | 13.65% | 25.00% |
| 16 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 5.13% | 10.00% | 6.63% | 11.40% | 9.34% | 13.50% | 14.02% | 26.00% |
| 17 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 5.29% | 10.50% | 6.90% | 11.90% | 9.54% | 14.00% | 14.38% | 27.00% |
| 18 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 5.45% | 11.00% | 7.17% | 12.40% | 9.74% | 14.50% | 14.74% | 28.00% |
| 19 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 5.61% | 11.50% | 7.44% | 12.90% | 9.94% | 15.00% | 15.10% | 29.00% |
| 20 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 15)$ | 5.77% | 12.00% | 7.71% | 13.40% | 10.14% | 15.50% | 15.46% | 30.00% |
| 21 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | 5.93% | 12.50% | 7.97% | 13.90% | 10.34% | 16.00% | 15.83% | 30.50% |
| 22 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | 6.09% | 13.00% | 8.24% | 14.40% | 10.54% | 16.50% | 16.19% | 31.00% |
| 23 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | 6.25% | 13.50% | 8.51% | 14.90% | 10.74% | 17.00% | 16.55% | 31.50% |
| 24 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | 6.41% | 14.00% | 8.78% | 15.40% | 10.94% | 17.50% | 16.91% | 32.00% |
| 25 | $a_i + b_i \cdot (dur_i - 20)$ | 6.57% | 14.50% | 9.05% | 15.90% | 11.14% | 18.00% | 17.27% | 32.50% |

TABLE 3.17 – Valeurs de stress (%) par sensibilité, *rating* et type (Green vs Standard)

Chapitre 4

Choc de *spread* calibré sur le portefeuille obligataire

Dans cette section, nous analysons de manière simplifiée l'impact du *spread* sur le SCR à l'aide d'un portefeuille obligataire représentatif du marché. Nous évaluons également la sensibilité du choc de *spread* sur notre portefeuille en fonction de différents niveaux de *Green Bonds* et mesurons l'impact que ces variations pourraient entraîner.

4.1 Portefeuille obligataire représentatif du marché

Les principales caractéristiques ayant un impact sur le calcul du SCR de *spread* sont le *rating* de l'émission, la nature corporate ou souveraine de l'obligation ainsi que sa durée modifiée. Dans un premier temps, nous constatons sur la Figure 4.1 que les obligations corporate représentent globalement 50,8 % de la poche obligataire des fonds en euros en 2022, selon les études disponibles¹. La composition des fonds euros conserve des proportions stables d'une année sur l'autre. Concernant la répartition par signatures (*ratings*), celle-ci demeure également stable dans le temps, en 2022 les portefeuilles étaient constitués presque en totalité d'obligations Investment Grade. Ces éléments constituent ainsi une base solide pour construire un portefeuille obligataire représentatif.

1. <https://www.goodvalueformoney.eu/documentation/composition-moyenne-des-fonds-en-euros-classiques-a-fin-2023>

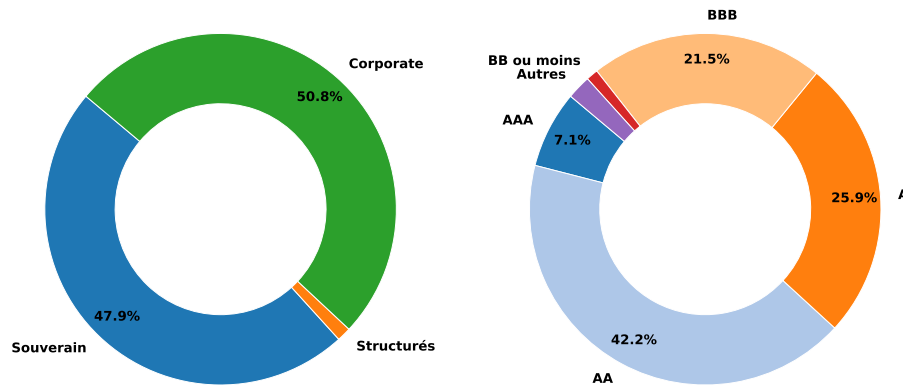


FIGURE 4.1 – Poche obligataire au sein des fonds en euros en France en 2022 (Source : Good Value for Money)

L'autre contrainte principale provient de la gestion du risque de taux à travers la durée et la structure des cash flow. Pour cela on a construit un portefeuille obligataire.

Portefeuilles obligataires

Le portefeuille obligataire représentatif présente une durée globale de 6,7 ans, reflétant un positionnement proche de celui des fonds en euros, avec une composante souveraine plus longue (9,1 ans de durée²) qui contribue à la sensibilité aux taux. Pour consulter la composition du portefeuille, se référer à l'annexe E.

La répartition entre émetteurs souverains et corporates est équilibrée, avec 50,6% en valeur de marché investis en obligations d'entreprise et 49,4% en dette souveraine. Les titres détenus sont exclusivement des obligations existantes sur le marché primaire ou secondaire, assurant une bonne liquidité et une valorisation fiable.

Sur le plan de la qualité de crédit, la structure de notation est globalement comparable à celle des fonds en euros, avec une légère surpondération du *rating* A. Le portefeuille couvre un spectre allant de la catégorie AAA à BBB, avec une exposition maîtrisée aux émetteurs notés BBB.

2. <https://www.franceassureurs.fr/nos-chiffres-cles/financement-de-leconomie/placements-assurance-2022-2/>

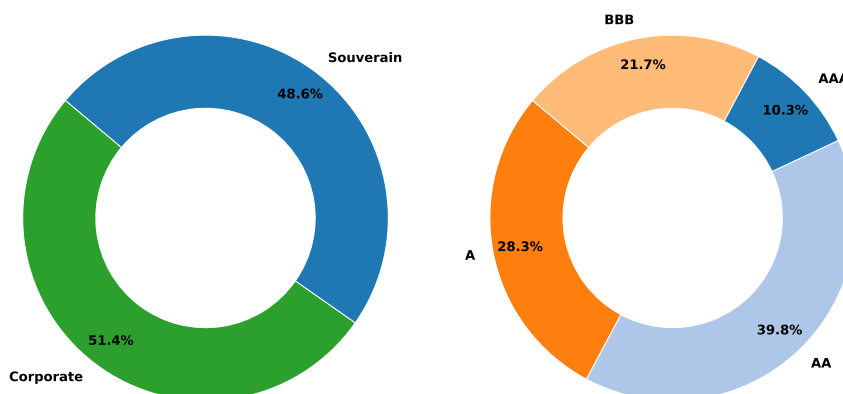


FIGURE 4.2 – Poche obligataire du portefeuille en Valeur marché

La composante souveraine est diversifiée géographiquement au sein de la zone euro, incluant la France, l'Allemagne, la Belgique, l'Italie, l'Espagne, les Pays-Bas, le Portugal, ainsi que des émetteurs supranationaux (Union européenne, BEI). La poche corporate regroupe des émetteurs de premier plan dans différents secteurs (finance, énergie, télécommunications, industrie, immobilier), principalement européens. En ce qui concerne la structure des flux, les obligations d'entreprises de durée plus courte représentent une grande partie des flux entre 2025 et 2035, comme on peut le voir en bleu foncé sur la Figure 4.3. Les obligations souveraines ont des durées jusqu'à maturité comprises entre 6 mois et 25 ans. Les flux sont plus importants sur les maturités courtes, puis décroissent de manière quasi lisse jusqu'en 2050.

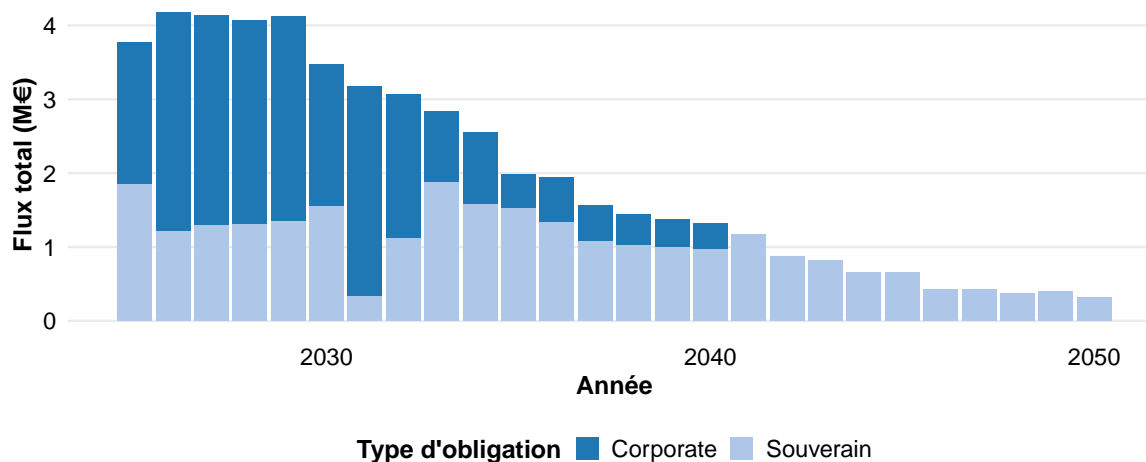


FIGURE 4.3 – Structure de flux du portefeuille obligataire

Le Tableau 4.1 présente les caractéristiques principales du portefeuille par segment. On remarque que le segment Corporate affiche un TRI plus élevé mais une durée plus courte, tandis que le segment Souverain a une durée plus longue avec un TRI légèrement inférieur.

| Segment | TRI | Duration | AAA | AA | A | BBB | Nombre |
|-----------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Corporate | 3,72 % | 4,88 | 0,00 % | 25,8 % | 45,2 % | 29,0 % | 50 |
| Souverain | 3,31 % | 8,99 | 21,1 % | 54,6 % | 10,4 % | 13,9 % | 26 |
| Total | 3,46 % | 6,84 | 10,3 % | 39,8 % | 28,3 % | 21,7 % | 76 |

TABLE 4.1 – Portefeuille obligataire – TRI, duration et répartition par notation

4.2 Choc de *spread* verts

Le risque de *spread* est comme on l'a vu un sous modules du SCR marché. Il se calcul avec la formule suivante :

$$SCR_{net} = \Delta NAV = \Delta V_M - \Delta BE$$

où :

- NAV : Net Asset Value ou Actif Net Réévalué,
- VM : Valeur de Marché du portefeuille,
- BE : Best Estimate du portefeuille.

La formule ci-dessus intègre les interactions entre actifs et passifs, les passifs étant affectés par la baisse de la valeur des actifs via la politique de redistribution de la participation aux bénéfices. Par exemple, en cas de choc défavorable, le rendement comptable diminue, entraînant une baisse de la distribution du résultat technique, ce qui réduit le Best Estimate.

Les interactions peuvent également se traduire par des comportements des assurés : dans un environnement où les rendements augmentent, une baisse de la distribution peut provoquer des rachats, notamment à travers des rachats conjoncturels.

Afin d'isoler l'impact sur le SCR indépendamment de la politique de gestion ou des lois de rachat, nous étudions :

$$SCR_{brut} = VM_{central} - VM_{choquée}$$

où :

- $VM_{central}$: Valeur de Marché du portefeuille avant choc.
- $VM_{choquée}$: Valeur de Marché du portefeuille après choc.

Ainsi, le SCR_{net} peut s'exprimer en fonction du SCR_{brut} et de ce que l'on appelle la capacité d'absorption, qui découle des interactions entre les actifs et les passifs :

$$\text{Capacité d'absorption} = \underbrace{BE_{central}}_{\text{Best Estimate avant choc}} - \underbrace{BE_{choquée}}_{\text{Best Estimate après application du choc}}$$

On a donc :

$$SCR_{\text{brut}} = SCR_{\text{net}} + \text{Capacité d'absorption}$$

L'objectif de cette étude n'est pas d'analyser l'impact à travers l'ensemble des modules de gestion, mais de se concentrer spécifiquement sur l'effet de la matrice de choc « verts » pour une compagnie d'assurance sur le SCR de *spread*. L'analyse vise à examiner comment cet impact varie en fonction de la structure du portefeuille et de la proportion d'actifs verts qu'il contient.

À titre d'illustration, certains acteurs du marché publient, pour l'année 2024, un taux d'absorption du risque de *spread* d'environ 23%. Dans le mémoire de [DEBERNARDI \(2014\)](#), cette capacité d'absorption est estimée à 36% pour le SCR de *spread*. Toutefois, il convient de souligner que cette capacité d'absorption dépend également de l'ampleur du choc appliqué.

Nous pouvons déjà nous attendre à un impact en faveur des *Green Bonds*. En effet, pour une même sensibilité et un même *rating*, les valeurs de stress des matrices de chocs sont systématiquement inférieures à celles des obligations standards. Par exemple, pour une sensibilité de 10 ans, l'écart est de 2,8 points pour les notations AAA (4,2% contre 7%) et peut atteindre 8,16 points pour les notations BBB (11,84% contre 20%). Cette tendance se retrouve sur l'ensemble des maturités, avec des différences proportionnellement plus marquées pour les *ratings* plus faibles et les sensibilités élevées.

4.3 Effet d'une allocation en obligations vertes sur le SCR de *spread*

Pour analyser l'effet d'une allocation en obligations vertes, on suppose que chaque obligation peut être décomposée en deux composantes : une fraction verte et une fraction classique.

Soit VM_{total} la valeur de marché d'une obligation, on pose :

$$VM_{\text{total}} = VM_{\text{vert}} + VM_{\text{classique}}$$

avec

$$VM_{\text{vert}} = \text{part_vert} \cdot VM_{\text{total}}, \quad VM_{\text{classique}} = (1 - \text{part_vert}) \cdot VM_{\text{total}}$$

Après application des chocs de *spread* correspondants, la valeur stressée du portefeuille devient :

$$VM_{\text{stress, mix}} = VM_{\text{vert, stress}} + VM_{\text{classique, stress}} = \text{part_vert} \cdot VM_{\text{vert, stress}} + (1 - \text{part_vert}) \cdot VM_{\text{classique, stress}}$$

Pour chaque *rating* r , la contribution au SCR de *spread* est :

$$\text{Contribution}_r = \sum VM_{\text{total}, r} - \sum VM_{\text{stress, mix}, r}$$

et le SCR total est la somme des contributions sur tous les *ratings* :

$$SCR_{\text{spread}} = \sum_r \text{Contribution}_r$$

Le Graphique 4.4 illustre l'évolution du SCR de *spread* en fonction de la part d'obligations vertes dans le portefeuille. On observe que cette répartition proportionnelle permet de maintenir une certaine stabilité des contributions relatives au SCR par *rating* et que l'allocation croissante en obligations vertes tend à réduire le SCR de *spread*.

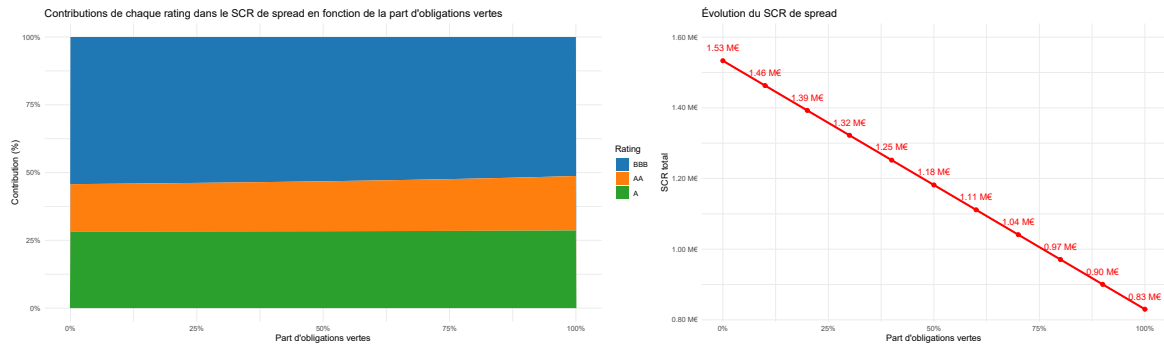


FIGURE 4.4 – Évolution du SCR de *spread* en fonction de la part d'obligations vertes dans le portefeuille

Finalement, la diminution du SCR de *spread* en fonction de la part d'obligations vertes est linéaire par construction. En effet, le choc appliqué à chaque obligation est une fonction affine du montant investi, $S(x) = a + b x$ (cf. fonction de choc). Dans notre étude, la part verte est allouée uniformément en valeur sur chaque obligation. Par conséquent, le SCR, qui résulte de l'agrégation de ces chocs sur le portefeuille, est une combinaison affine des valeurs stressées. L'application d'une fonction affine sur une combinaison linéaire de valeurs donne ainsi une fonction affine du pourcentage d'obligations vertes.

En pratique l'impact n'est pas parfaitement affine. La capacité d'absorption des passifs entraîne généralement une légère concavité : en effet, lorsque les chocs deviennent moins sévères (cas des obligations vertes), la part de risque absorbée par les passifs diminue en proportion, ce qui réduit l'effet marginal de l'augmentation de la part verte. Autrement dit, la réduction du SCR par unité de part verte diminue légèrement à mesure que la proportion de verts augmente.

Dans la suite de cette section, nous détaillons la structure du calcul du *Solvency Capital Requirement* (SCR), ainsi que la méthodologie de l'étude d'impact liée à l'application de chocs différenciés sur les obligations vertes.

Pour rappel, on a :

$$SCR = BSCR + Adj + Op$$

avec :

- *BSCR* : le capital requis de base résultant de l'agrégation des 6 modules de risques.
- *Adj* : ajustement au titre de la capacité d'absorption des pertes des provisions techniques et des

impôts différés.

- Op : l'exigence de capital pour le risque opérationnel.

Et

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} + SCR_{intangibles}$$

où les facteurs de corrélation $Corr_{i,j}$ sont spécifiés à l'annexe IV, point 1) de la Directive. $SCR_{intangibles}$ représente l'exigence de capital pour risque lié aux immobilisations incorporelles visées à l'article 203 de la Directive. Les matrices de corrélation sont données ci-dessous :

TABLE 4.2 – Matrice de corrélation du BSCR.

| | Vie | Non Vie | Santé | Marché | Contrepartie |
|--------------|------|---------|-------|--------|--------------|
| Vie | 100% | 0% | 25% | 25% | 25% |
| Non Vie | 0% | 100% | 0% | 25% | 50% |
| Santé | 25% | 0% | 100% | 25% | 25% |
| Marché | 25% | 25% | 25% | 100% | 25% |
| Contrepartie | 25% | 50% | 25% | 25% | 100% |

TABLE 4.3 – Matrice de corrélation du SCR Marché.

| | Taux | Action | Immobilier | Spread | Change | Concentration |
|---------------|------|--------|------------|--------|--------|---------------|
| Taux | 100% | 50% | 50% | 50% | 25% | 0% |
| Action | 50% | 100% | 75% | 75% | 25% | 0% |
| Immobilier | 50% | 75% | 100% | 50% | 25% | 0% |
| Spread | 50% | 75% | 50% | 100% | 25% | 0% |
| Change | 25% | 25% | 25% | 25% | 100% | 0% |
| Concentration | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% |

Pour quantifier l'impact de l'introduction de la matrice de choc verte sur le SCR, on prend les chiffres publiés dans [ACPR \(2024\)](#), une compagnie d'assurance-vie mixte à décomposition suivante de son SCR. Pour ce qui est du SCR marché, on se base sur les chiffres de [AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION \(ACPR\) \(2015\)](#), le SCR de *spread* représente donc 33% du SCR marché avant diversification.

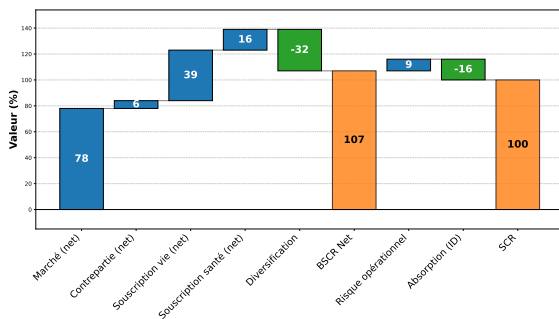


FIGURE 4.5 – Cascade du SCR global d'une compagnie d'assurance-vie mixte. Source : [ACPR \(2024\)](#)

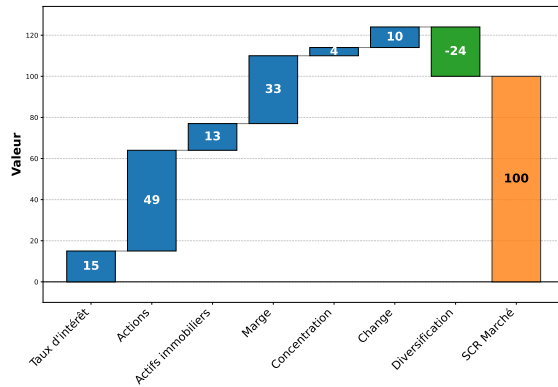


FIGURE 4.6 – Cascade du SCR marché. Source : [AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION \(ACPR\) \(2015\)](#)

Afin d'illustrer la mécanique de la formule standard et de la diversification, nous partons de la répartition publiée par l'ACPR (2015, 2024) pour une compagnie d'assurance-vie mixte. Cette cascade du SCR global fixe un SCR à 100 et présente la pondération relative des sous-modules de risque. En appliquant la répartition ACPR (2015, 2024) et en recalculant le gain de diversification, on obtient un BSCR de 103,7 (cf. Tableau 4.4), la différence est causée par des effets d'agrégation du SCR, qui ne sont pas sommés pour tous les acteurs et qui font que la logique d'agrégation avec une matrice ne donne pas exactement le résultat. De plus, il existe certaines disparités entre les assureurs, ce qui fait que la somme des diversifications des assureurs n'est pas égale à la diversification

obtenue lorsque l'on agrège tous les sous-modules. L'ensemble des modules est ensuite rééchélonné proportionnellement sur les sous-modules pour ramener le BSCR à 107, conformément aux chiffres publiés par l'ACPR. Cela permet de rendre les résultats directement comparables à la référence ACPR et d'évaluer de manière cohérente l'impact global de la nouvelle matrice de chocs sur le SCR.

| Module | ACPR (réf.) | Calcul brut | Ajusté (BSCR=107) |
|------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| Vie / Souscription vie | 39 | 39 | 40,2 |
| Non-Vie | – | – | – |
| Santé | 16 | 16 | 16,5 |
| Marché | 78 | 78 | 80,5 |
| Contrepartie | 6 | 6 | 6,2 |
| Somme stand-alone | 139 | 139 | 143,4 |
| Diversification | -32 | -35,30 | -36,4 |
| BSCR | 107 | 103,70 | 107 |
| Risque opérationnel | 9 | 9 | 9 |
| Absorption (ID) | -16 | -16 | -16 |
| SCR global | 100 | 96,7 | 100 |

TABLE 4.4 – Comparaison ACPR, calcul brut et rééchélonnement

On fait le même retraitement pour le SCR marché et on obtient le tableau 4.5 :

| Module | ACPR (réf.) | Calcul brut | Ajusté (SCR=100) |
|-------------------|-------------|-------------|------------------|
| Taux | 15 | 15 | 15,16 |
| Action | 49 | 49 | 49,53 |
| Immobilier | 13 | 13 | 13,14 |
| Spread | 33 | 33 | 33,36 |
| Change | 10 | 10 | 10,11 |
| Concentration | 4 | 4 | 4,04 |
| Diversification | -24 | -25,08 | -25,35 |
| Somme stand-alone | 124 | 124 | 125,35 |
| SCR Marché | 100 | 98,92 | 100,00 |

TABLE 4.5 – Comparaison ACPR, calcul brut et ajusté proportionnel (SCR=100).

À partir de cette hypothèse, considérons une compagnie de taille moyenne disposant d'un SCR de 100 millions. Nous allons alors évaluer l'impact de l'allocation à travers l'application de chocs sur un portefeuille obligataire représentatif.

Concrètement, pour chaque niveau de part verte $part_{verte}$, nous appliquons les pourcentages de diminution du SCR de *spread* obtenus précédemment (cf. Figure 4.4). Le SCR de *spread* ajusté s'écrit donc :

$$SCR_{Spread}^{new}(part_{verte}) = SCR_{Spread}^{base} \cdot \left(1 - \frac{d(part_{verte})}{100}\right)$$

où $d(part_{verte})$ est le taux de diminution correspondant à la part verte allouée.

Ce SCR de *spread* recalculé est ensuite réinjecté dans le calcul du SCR Marché, puis agrégé au BSCR global et enfin au SCR total selon la formule standard.

L'examen du Tableau 4.6 montre qu'une allocation proportionnelle de 10% en *Green Bonds* sur l'ensemble du portefeuille entraîne une diminution du SCR d'environ 1%, en raison de chocs de *spread* moins importants.

TABLE 4.6 – SCR selon la part verte dans les obligations

| SCR selon la part verte | | | | | | | |
|-------------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| Part Verte 0-5% | | Part Verte 5-10% | | Part Verte 10-15% | | Part Verte 15-20% | |
| Part (%) | SCR | Part (%) | SCR | Part (%) | SCR | Part (%) | SCR |
| 0,50 % | 99,95 | 5,50 % | 99,47 | 10,50 % | 98,99 | 15,50 % | 98,51 |
| 1,00 % | 99,90 | 6,00 % | 99,42 | 11,00 % | 98,94 | 16,00 % | 98,46 |
| 1,50 % | 99,85 | 6,50 % | 99,37 | 11,50 % | 98,89 | 16,50 % | 98,41 |
| 2,00 % | 99,80 | 7,00 % | 99,33 | 12,00 % | 98,84 | 17,00 % | 98,37 |
| 2,50 % | 99,76 | 7,50 % | 99,27 | 12,50 % | 98,80 | 17,50 % | 98,31 |
| 3,00 % | 99,71 | 8,00 % | 99,22 | 13,00 % | 98,75 | 18,00 % | 98,27 |
| 3,50 % | 99,66 | 8,50 % | 99,18 | 13,50 % | 98,70 | 18,50 % | 98,22 |
| 4,00 % | 99,61 | 9,00 % | 99,13 | 14,00 % | 98,65 | 19,00 % | 98,17 |
| 4,50 % | 99,56 | 9,50 % | 99,08 | 14,50 % | 98,60 | 19,50 % | 98,13 |
| 5,00 % | 99,51 | 10,00 % | 99,04 | 15,00 % | 98,55 | 20,00 % | 98,08 |

Ces résultats doivent être mis en perspective avec l'augmentation progressive de la part des *Green Bonds* dans les portefeuilles. En effet au quatrième trimestre de l'année 2024, les obligations vertes ont représenté 7% des investissements, voir Figure 3.1.

Vers un portefeuille plus vert : impact des matrices de chocs sur le SCR

L'application d'une matrice de chocs spécifique aux obligations vertes réduit progressivement le SCR de *spread* à mesure que la part d'actifs verts dans le portefeuille augmente. Avec une allocation de 20%, la baisse du SCR atteint environ 2%, tout en conservant la structure de risque par *rating*.

Cette approche illustre l'intérêt d'un calibrage différencié pour les actifs durables et nourrit les réflexions autour d'un *Green Supporting Factor* dans Solvabilité II. Elle complète les travaux du mémoire sur l'optimisation ESG, en quantifiant l'impact de la matrice de chocs verts sur la structure globale de solvabilité des assureurs.

Chapitre 5

Impact de la taxonomie et des *Green Bonds* sur la stratégie de gestion obligataire

Au-delà du SCR, la taxonomie et les obligations vertes (*Green Bonds*) sont intégrées dans la stratégie de gestion obligataire à long terme. Dans ce cadre, il est nécessaire de quantifier l'état initial de l'alignement du portefeuille ainsi que les opportunités et les risques de non-alignement futurs. Dans un premier temps, nous proposons une méthodologie pour mesurer l'évolution de l'alignement du portefeuille obligataire. Ensuite, à l'aide d'un générateur de scénarios de taux basé sur le modèle de Ahlgrim, nous projetons l'évolution de cet alignement sur le portefeuille obligataire en run-off.

5.1 Stratégies d'allocation d'actifs

Buy and Hold La stratégie *buy and hold* est largement adoptée par les assureurs pour plusieurs raisons liées à la gestion des obligations. La réserve de capitalisation permet de lisser les effets de marché sur les portefeuilles obligataires. Elle est alimentée lors de la réalisation de plus-values sur des titres obligataires, notamment en période de baisse des taux. La comptabilité au coût amorti assure une plus grande stabilité des fonds propres, réduisant la volatilité des résultats et renforçant les indicateurs de solidité financière. En limitant le nombre d'opérations, cette approche diminue également les frais de transaction et de gestion. Elle s'inscrit aussi dans une stratégie de dedication, alignant les flux de trésorerie des actifs sur ceux des passifs et facilitant la gestion jusqu'à l'échéance des titres. Enfin, elle offre une meilleure visibilité des flux futurs, améliorant la gestion actif/passif sur le long terme et renforçant la maîtrise des risques. Cette approche *buy and hold* constitue ainsi une stratégie prudente et efficace, parfaitement adaptée aux contraintes spécifiques des assureurs.

Introduction des *Green Bonds* Européens À ce jour, le nombre d'obligations vertes certifiées EUGB reste limité, ce qui restreint les maturités disponibles. Comme le montre le Tableau 5.1, ces

titres présentent une sensibilité supérieure à celle du portefeuille moyen. Bien que non abordée dans cette étude, une analyse des limites liées au réinvestissement des obligations arrivant à échéance offrirait des perspectives intéressantes sur les contraintes d’alignement dans la gestion obligataire. Par ailleurs, ces obligations offrent une certitude d’alignement à 100 %, garantissant ainsi un portefeuille conforme à la taxonomie verte à long terme.

| Émetteur | Montant (M€) | Maturité | Type émetteur | Rating | Coupon | TRI | Sensibilité |
|--------------------------|--------------|------------|---------------------|--------|---------|--------|-------------|
| European Investment Bank | 3 000 | 15/05/2037 | Agency / Parapublic | AAA | 3,13 % | 3,02 % | 9,68 |
| Île-de-France Mobilités | 1 000 | 25/05/2045 | Agency / Parapublic | AA | 3,80 % | 3,96 % | 13,55 |
| ABN AMRO | 750 | 25/02/2031 | Corporate | A | 3,00 % | 2,78 % | 4,99 |
| Iberdrola | 750 | 16/05/2035 | Corporate | BBB | 3,50 % | 3,35 % | 8,12 |
| A2A SpA | 500 | 30/01/2035 | Corporate | BBB | 3,625 % | 3,57 % | 7,77 |
| Covivio | 500 | 17/06/2035 | Corporate | BBB | 3,625 % | 3,66 % | 8,12 |
| Terna | 750 | 22/07/2031 | Corporate | A | 3,00 % | 3,04 % | 5,37 |
| Comunidad de Madrid | 500 | 30/07/2035 | Agency / Parapublic | A | 3,75 % | 3,76 % | 8,19 |
| Norsk Hydro | 500 | 17/06/2033 | Corporate | BBB | 3,75 % | 3,51 % | 6,69 |
| Sanm | 1 000 | 01/07/2032 | Corporate | BBB | 3,25 % | 3,25 % | 6,07 |

TABLE 5.1 – Obligations labellisées EUGB émises au 1^{er} août 2025 (Sources : sites des émetteurs, banques chefs de file de l’émission, Bourse de Francfort, calculs auteur)

5.2 Méthode *Shift Share*

L’évolution de l’alignement d’un portefeuille obligataire à la taxonomie verte résulte de plusieurs facteurs qu’il est nécessaire de distinguer pour attribuer correctement la performance extra-financière. La plupart des acteurs se contentent aujourd’hui d’une communication agrégée, sans préciser l’impact relatif de l’amélioration des contreparties, des arbitrages de portefeuille, des effets de marché ou de la disponibilité des données (EUROPEAN CENTRAL BANK (2021)).

La méthodologie proposée s’inspire des pratiques d’attribution en finance d’entreprise, où la croissance est classiquement décomposée entre effets organiques, périmètre et change. Transposée au champ de l’investissement durable, cette logique permet de distinguer : (i) l’effet contreparties, reflétant l’évolution propre des émetteurs déjà présents dans le portefeuille ; (ii) l’effet périmètre, lié aux entrées et sorties de titres ; (iii) l’effet valeur, résultant de la variation des prix et pondérations. À ces trois dimensions s’ajoute un facteur spécifique à notre étude : l’effet données. Celui-ci correspond à l’amélioration de la couverture d’information, lorsque des émetteurs initialement non renseignés voient leurs données d’alignement publiées a posteriori.

Cette décomposition garantit une mesure robuste et transparente de la trajectoire d’alignement, en isolant la part de progression réellement attribuable aux choix de gestion et à la performance intrinsèque des contreparties.

Méthodologie mathématique de quantification de l'alignement d'un portefeuille Soit un portefeuille d'actifs indexé par $i \in I$, et deux dates t_0 et t_1 . On note :

$A_i^t \in [0, 1]$ le niveau d'alignement Taxonomie verte de l'actif i à la date t ,

$V_i^t \geq 0$ la valeur de l'actif i dans le portefeuille à la date t .

On définit les poids relatifs du portefeuille :

$$w_i^t = \frac{V_i^t}{\sum_{j \in I} V_j^t}.$$

1. Alignement agrégé

L'alignement global du portefeuille à la date t est donné par la moyenne pondérée :

$$\text{Align}_t = \sum_{i \in I} w_i^t A_i^t.$$

2. Décomposition générale de la variation

La variation entre t_0 et t_1 s'écrit :

$$\Delta \text{Align} = \text{Align}_{t_1} - \text{Align}_{t_0}.$$

Afin d'analyser la trajectoire d'alignement ΔAlign du portefeuille obligataire, nous commençons par classer systématiquement l'univers des lignes en fonction de leur présence et de la disponibilité des données. Cette partition est indispensable : elle permet de distinguer clairement les moteurs de variation de l'alignement, en évitant tout double comptage et en garantissant la transparence de l'attribution.

Concrètement, les titres sont regroupés en quatre catégories, qui forment une partition complète de l'univers de départ et d'arrivée :

- **Lignes stables renseignées** : émetteurs présents aux deux dates d'observation, pour lesquels un niveau d'alignement est connu à la fois initialement et en fin de période. Ce noyau constitue la base d'analyse de la performance intrinsèque et de la réallocation interne.
- **Lignes stables nouvellement renseignées** : émetteurs présents aux deux dates, mais dont l'alignement n'était pas couvert à la date initiale et devient disponible en fin de période. Leur contribution reflète un pur effet de données, lié à l'amélioration de la couverture d'information.
- **Entrants** : émetteurs absents à la date initiale et apparaissant en fin de période. Leur alignement est intégré au résultat final comme effet de périmètre.
- **Sortants** : émetteurs détenus à la date initiale mais totalement cédés en fin de période. Leur alignement disparaît de la mesure.

On peut donc distinguer les sous-ensembles d'actifs :

$$S_{\text{stables}} = \{i \in I \mid V_i^{t_0} > 0, V_i^{t_1} > 0, A_i^{t_0}, A_i^{t_1} \text{ observés}\},$$

$$S_{\text{info}} = \{i \in I \mid V_i^{t_0} > 0, V_i^{t_1} > 0, A_i^{t_0} \text{ manquant}, A_i^{t_1} \text{ observé}\},$$

$$S_{\text{in}} = \{i \in I \mid V_i^{t_0} = 0, V_i^{t_1} > 0\}, \quad S_{\text{out}} = \{i \in I \mid V_i^{t_0} > 0, V_i^{t_1} = 0\}.$$

3. Décomposition séquentielle formalisée

Effet Contreparties (évolution intrinsèque) On fige les poids de t_0 et on ne fait varier que les niveaux d'alignement :

$$E_{\text{Contreparties}} = \sum_{i \in S_{\text{stables}}} w_i^{t_0} (A_i^{t_1} - A_i^{t_0}).$$

Effet Valeur/Mix (réallocation pondérale) On fige les niveaux d'alignement à t_1 et on fait varier les poids relatifs au sein de S_{stables} :

$$E_{\text{Valeur}} = \sum_{i \in S_{\text{stables}}} (w_i^{t_1} - w_i^{t_0}) A_i^{t_1}.$$

Effet Couverture (couverture d'information) On isole la contribution des actifs dont l'alignement devient observable à t_1 :

$$E_{\text{Couverture}} = \sum_{i \in S_{\text{info}}} w_i^{t_1} A_i^{t_1}.$$

Effet Périmètre Net (entrées et sorties) Cet effet combine les entrants (S_{in}) et les sortants (S_{out}) :

$$E_{\text{Périmètre}} = \sum_{i \in S_{\text{in}}} w_i^{t_1} A_i^{t_1} - \sum_{i \in S_{\text{out}}} w_i^{t_0} A_i^{t_0}.$$

4. Identité d'attribution

Par construction :

$$\Delta \text{Align} = E_{\text{Contreparties}} + E_{\text{Valeur}} + E_{\text{Données}} + E_{\text{Périmètre}}.$$

Cette identité constitue une décomposition additive stricte de la variation d'alignement, garantissant une attribution exhaustive. Elle est d'autant plus adaptée à notre étude que l'approche la plus courante en assurance, comme mentionné précédemment, repose sur une logique buy-and-hold.

Décomposition de l'évolution de l'alignement (2023–2024) sur le portefeuille

Entre 2023 et 2024, l'alignement du portefeuille obligataire dé référence (Annexe E) passe de 0,0948 à 0,1614, soit une progression nette de +0,0666. La décomposition séquentielle permet d'identifier

les moteurs précis de cette évolution :

| Effet | Valeur absolue | Part dans la hausse |
|---------------------------|----------------|---------------------|
| Contreparties | +0,0079 | 11,9% |
| Valeur/Mix | +0,0046 | 7,0% |
| Données | +0,0093 | 13,9% |
| Périmètre | +0,0448 | 67,2% |
| Total de la hausse | +0,0666 | 100% |

TABLE 5.2 – Décomposition des effets contribuant à l'évolution de l'alignement

Gestion verte du portefeuille obligataire La progression de l'alignement est portée en grande partie par l'effet périmètre, c'est-à-dire par les nouvelles positions ajoutées au portefeuille. Les contributions organiques (contreparties, allocation, données) restent positives.

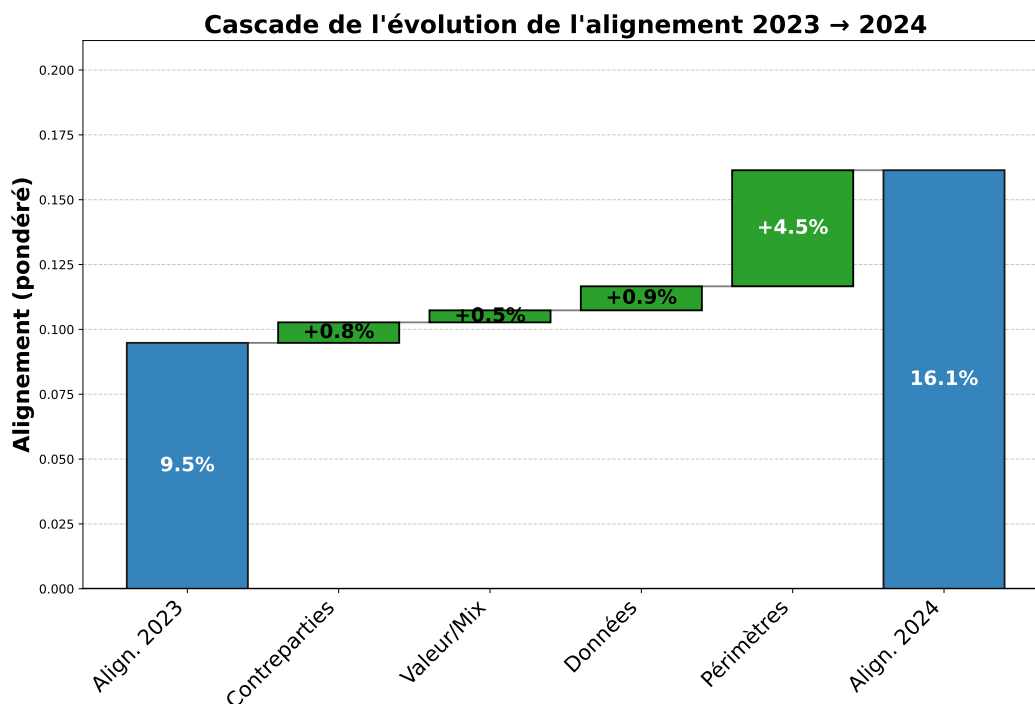


FIGURE 5.1 – Cascade de l'alignement : de 2023 à 2024 via les effets séquentiels

Analyse des différents effets Pour ce qui est des contreparties (+0,0079 ; 11,9% de la hausse) : l'amélioration de l'alignement provient en partie de la dynamique intrinsèque des émetteurs déjà en portefeuille. Cela traduit une création de valeur extra-financière réelle mais encore limitée par rapport aux autres facteurs.

Pour l'effet Valeur/Mix (+0,0046 ; 7,0%) : la réallocation des pondérations liée à l'évolution de la taille des expositions joue un rôle positif mais secondaire.

Pour l'effet Couverture (+0,0093 ; 13,9%) : l'amélioration de la couverture et de la qualité des données

contribue de façon notable à la progression de l'alignement, cela est dû à l'arrivée de l'information sur l'alignement de certains émetteurs.

Pour l'effet Périmètre (+0,0448 ; 67,2%) : l'essentiel de la hausse est expliqué par l'intégration de nouveaux investissements, en moyenne mieux alignés que le portefeuille existant.

Une lecture stratégique de la trajectoire d'alignement

La décomposition proposée permet de distinguer clairement les leviers qui façonnent l'évolution de l'alignement d'un portefeuille obligataire. Elle montre que seule une partie de la progression reflète la dynamique intrinsèque des émetteurs, tandis que le reste résulte de choix de gestion (allocation, arbitrages) ou de l'élargissement de la couverture informationnelle.

Cette approche offre ainsi un double bénéfice : elle constitue un outil opérationnel de pilotage du verdissement du portefeuille (via l'effet Valeur/Mix et l'effet Périmètre) et elle fournit un cadre d'évaluation robuste de la valeur ajoutée extra-financière des gérants.

En séparant la performance réelle de l'effet mécanique lié aux données, la méthodologie garantit une lecture transparente de la trajectoire d'alignement et renforce la crédibilité des stratégies d'investissement durable.

5.3 Générateur de scénario économique monde réel

Dans cette section, nous utilisons le modèle d'Ahlgrim pour projeter la valeur des obligations dans le temps, tout en intégrant les paramètres d'alignement à la taxonomie verte. Ce modèle, initialement présenté en 2005 dans le cadre d'une étude commandée par la Society of Actuaries (SOA), constitue un cadre intégré de projection économique.

Le terme intégré signifie ici que les variables projetées sont liées entre elles de manière structurée, permettant une cohérence dynamique entre les différents facteurs économiques. Le modèle tel que décrit dans [AHLGRIM, D'ARCY et GORVETT \(2005\)](#) inclut plusieurs classes d'actifs et sources de risque : immobilier, actions *small caps*, actions *large caps*, ainsi que leurs dividendes associés.

Cependant, dans le cadre de notre étude, nous nous concentrons uniquement sur les projections de taux d'intérêt, nécessaires à la valorisation des obligations. La structure simplifiée du modèle utilisée est illustrée en Figure 5.2.

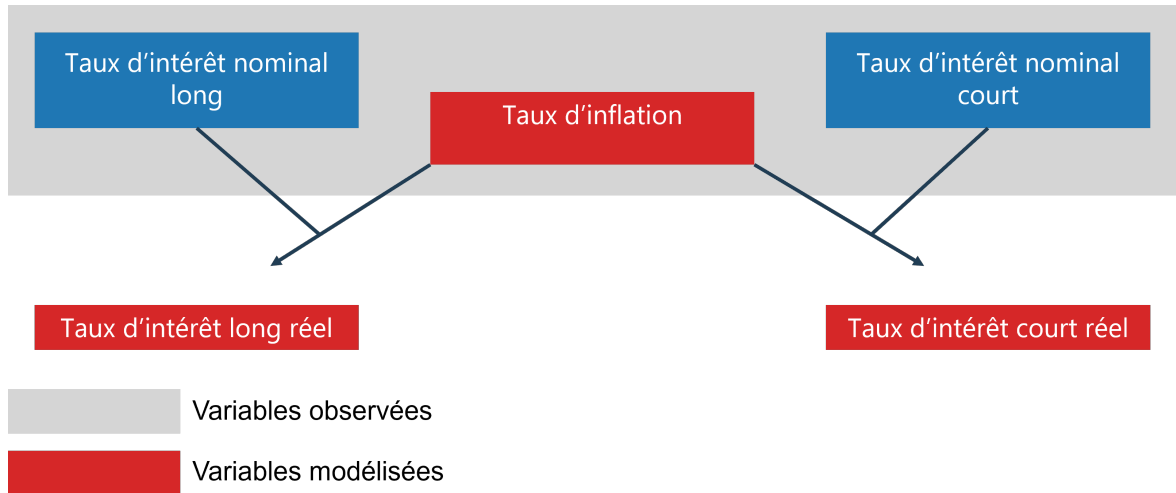


FIGURE 5.2 – Structure du modèle intégré

5.3.1 Facteurs modélisés et modèles

Modélisation de l'inflation Nous considérons des dynamiques de type Vasicek, permettant de modéliser l'évolution stochastique avec retour à la moyenne. Soit I_t la variable d'état au temps t . Le processus est défini par :

$$I_{t+1} = I_t e^{-\kappa} + \theta(1 - e^{-\kappa}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\kappa}}{2\kappa}} \varepsilon_t,$$

où :

- $\kappa > 0$ est la vitesse de rappel (force de rappel vers la moyenne),
- θ est la moyenne de long terme,
- $\sigma > 0$ est la volatilité,
- $\varepsilon_t \sim \mathcal{N}(0, 1)$ est un bruit gaussien centré réduit.

Ce processus est une discrétisation exacte du modèle de Vasicek en temps discret, voir [PLANCHET, THÉRON et KAMEGA \(2009\)](#).

Modélisation des taux court et taux long On considère un couple de variables (l_t, r_t) représentant respectivement le taux long et le taux court. Leur dynamique jointe est donnée par :

$$\begin{cases} l_{t+1} = l_t e^{-\kappa_L} + \theta_L(1 - e^{-\kappa_L}) + \sigma_L \sqrt{\frac{1 - e^{-2\kappa_L}}{2\kappa_L}} \varepsilon_t^{(L)}, \\ r_{t+1} = r_t e^{-\kappa_S} + \theta_S(1 - e^{-\kappa_S}) + \sigma_S \sqrt{\frac{1 - e^{-2\kappa_S}}{2\kappa_S}} \varepsilon_t^{(S)}, \end{cases}$$

où :

- $(\kappa_L, \theta_L, \sigma_L)$ sont les paramètres du processus de taux long,
- (κ_S, σ_S) sont les paramètres du processus de taux court (le taux long l_t joue ici le rôle de moyenne de long terme du court terme),

- $\varepsilon_t^{(L)}, \varepsilon_t^{(S)} \sim \mathcal{N}(0, 1)$ indépendants.

Ainsi, le taux court est attiré vers le taux long, tandis que le taux long est attiré vers son niveau de long terme θ_L .

Simulation des facteurs de risques corrélés On considère trois facteurs stochastiques : l'inflation I_t , le taux court r_t et le taux long l_t . Le vecteur des chocs aléatoires est défini par :

$$\varepsilon_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_t^{(I)} \\ \varepsilon_t^{(r)} \\ \varepsilon_t^{(l)} \end{bmatrix} \sim \mathcal{N}(0, \Sigma),$$

où Σ est la matrice de corrélation empirique estimée sur les résidus. Elle s'écrit :

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{I,r} & \rho_{I,l} \\ \rho_{I,r} & 1 & \rho_{r,l} \\ \rho_{I,l} & \rho_{r,l} & 1 \end{bmatrix}.$$

Pour générer des innovations corrélées, on effectue une factorisation de Cholesky :

$$\Sigma = LL^\top,$$

où L est triangulaire inférieure.

On simule alors un vecteur $Z_t \sim \mathcal{N}(0, I_3)$ de gaussiennes indépendantes, et on pose :

$$\varepsilon_t = LZ_t.$$

Ainsi, les chocs simulés reproduisent la corrélation empirique entre inflation, taux court et taux long.

Zéro-coupons réels. Pour une maturité M , les coefficients B_1 , B_2 et A sont définis par :

$$B_2(M) = \frac{1 - e^{-\kappa_r M}}{\kappa_r},$$

$$B_1(M) = \frac{\kappa_r}{\kappa_r - \kappa_l} \left(\frac{1 - e^{-\kappa_l M}}{\kappa_l} - \frac{1 - e^{-\kappa_r M}}{\kappa_r} \right),$$

$$A(M) = (B_2(M) - M) \left(\theta_l - \frac{\sigma_r^2}{2\kappa_r^2} \right) + B_1(M)\theta_l - \frac{\sigma_r^2}{4\kappa_r} B_2(M)^2 + \frac{\sigma_l^2}{2} \Xi(M),$$

où κ_r, σ_r sont les paramètres du taux court, $\kappa_l, \sigma_l, \theta_l$ ceux du taux long, et $\Xi(M)$ regroupe les termes d'intégration liés au modèle à deux facteurs (voir annexe technique).

Le prix d'un zéro-coupon réel au temps t dans le scénario n est alors donné par :

$$ZC_{\text{réel}}^{(n)}(t, M) = \exp\left(A(M) - B_2(M)r_t^{(n)} - B_1(M)l_t^{(n)}\right).$$

Zéro-coupons nominaux. On introduit un processus d'inflation I_t modélisé par un Vasicek à un facteur. Les coefficients associés sont :

$$B(M) = \frac{1 - e^{-\kappa_I M}}{\kappa_I}, \quad A(M) = \exp\left(\frac{(B(M) - M)(\kappa_I^2 \theta_I - \frac{1}{2} \sigma_I^2)}{\kappa_I^2} - \frac{\sigma_I^2 B(M)^2}{4\kappa_I}\right),$$

où $(\kappa_I, \theta_I, \sigma_I)$ sont les paramètres du processus d'inflation.

Le prix du zéro-coupon inflation indexé est :

$$ZC_{\text{infl}}^{(n)}(t, M) = A(M) \exp(-B(M)I_t^{(n)}).$$

Enfin, le prix du zéro-coupon nominal est obtenu comme produit du zéro-coupon réel et de la composante inflation :

$$ZC_{\text{nom}}^{(n)}(t, M) = ZC_{\text{réel}}^{(n)}(t, M) \cdot ZC_{\text{infl}}^{(n)}(t, M).$$

Hypothèse de projection On pose un horizon de valorisation $T > 0$. Soit $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ un espace probabilisé filtré $(\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$. On introduit la *courbe des taux sans risque* (instantanés) $r(t)$ et, pour chaque niveau de notation $r \in \mathcal{R} = \{\text{AAA}, \text{AA}, \text{A}, \text{BBB}\}$, une *prime de risque de crédit constante* notée $s_r \in \mathbb{R}_{\geq 0}$.

Nous énonçons formellement les hypothèses utilisées :

(A1) Spreads constants par notation.

$$\forall r \in \mathcal{R}, \forall t \geq 0, \quad s_r(t) = s_r \quad (\text{constante temporelle}).$$

(A2) Buy-and-hold Les obligations sont détenues jusqu'à maturité

(A3) Aucune migration de notation, aucun défaut. Pour tout émetteur i ayant notation r_i à la date 0 :

$$\Pr(\text{rating}_i(t) = r_i) = 1, \quad \Pr(\text{default}_i(t)) = 0, \quad \forall t \in [0, T].$$

Autrement dit, la matrice de transition de *ratings* est l'identité et la probabilité de survie est identiquement 1.

5.4 Projection horizon 2035 de l'alignement

Avant de projeter l'évolution future de l'alignement du portefeuille, il est indispensable de préciser la méthodologie retenue pour son calcul. En effet, plusieurs approches coexistent, notamment pour les instruments de dette. Comme le souligne [AUTORITÉ DES MARCHÉS FINANCIERS \(AMF\) \(2024\)](#), les acteurs français étudiés évaluent l'alignement sur la base de la valeur de marché, y compris lorsque l'instrument est comptabilisé au coût amorti. À l'inverse, la pratique courante en Europe consiste à utiliser la valeur comptable.

Dans le cadre de cette étude, nous retenons la valeur de marché pour le calcul des indicateurs d'alignement. Nous faisons par ailleurs l'hypothèse d'une stabilité de l'alignement des contreparties.

Cette hypothèse est conservatrice : en pratique, la tendance observée est à l'augmentation progressive de l'alignement, portée par la mise en conformité des entreprises, la généralisation de la publication des indicateurs et l'essor des investissements verts.

Le calcul de l'alignement global est réalisé, comme pour les instruments actions, sur la base d'une moyenne pondérée par la valeur investie. Formellement, pour un portefeuille P constitué d'actifs $i \in I$, de valeurs V_i^t et de niveaux d'alignement A_i^t à la date t , on définit le poids de l'actif i :

$$w_i^t = \frac{V_i^t}{\sum_{j \in I} V_j^t}.$$

L'alignement global du portefeuille à la date t est alors :

$$\text{Alignement}^t = \sum_{i \in I} w_i^t A_i^t.$$

Ainsi, l'alignement sur le chiffre d'affaires (CA) et sur les dépenses d'investissement ($CAPEX$) se calculent respectivement selon :

$$\text{Alignement}_{CA}^t = \sum_{i \in I} w_i^t A_{i,CA}^t, \quad \text{Alignement}_{CAPEX}^t = \sum_{i \in I} w_i^t A_{i,CAPEX}^t.$$

Analyse de l'alignement prospectif Comme le montre la Figure 5.3, le portefeuille obligataire est déjà bien structuré au sens de la taxonomie verte (alignement croissant et au-dessus de 15% pour les deux indicateurs). Indépendamment des évolutions intrinsèques des émetteurs, l'alignement du portefeuille progresse de manière continue jusqu'en 2033. Cela offre à l'assureur une marge de manœuvre pour réinvestir dans des obligations potentiellement moins alignées si des opportunités de marché se présentent, ou au contraire pour renforcer encore davantage l'alignement taxonomique.

La forte baisse observée en 2032 s'explique par deux facteurs principaux : Premièrement, le portefeuille étudié devient peu significatif en taille (environ 5 millions d'euros), ce qui rend chaque sortie d'émetteur particulièrement impactante. Deuxièmement, la sortie de Klépierre, un émetteur fortement aligné (70%), entraîne une chute notable de l'alignement global.

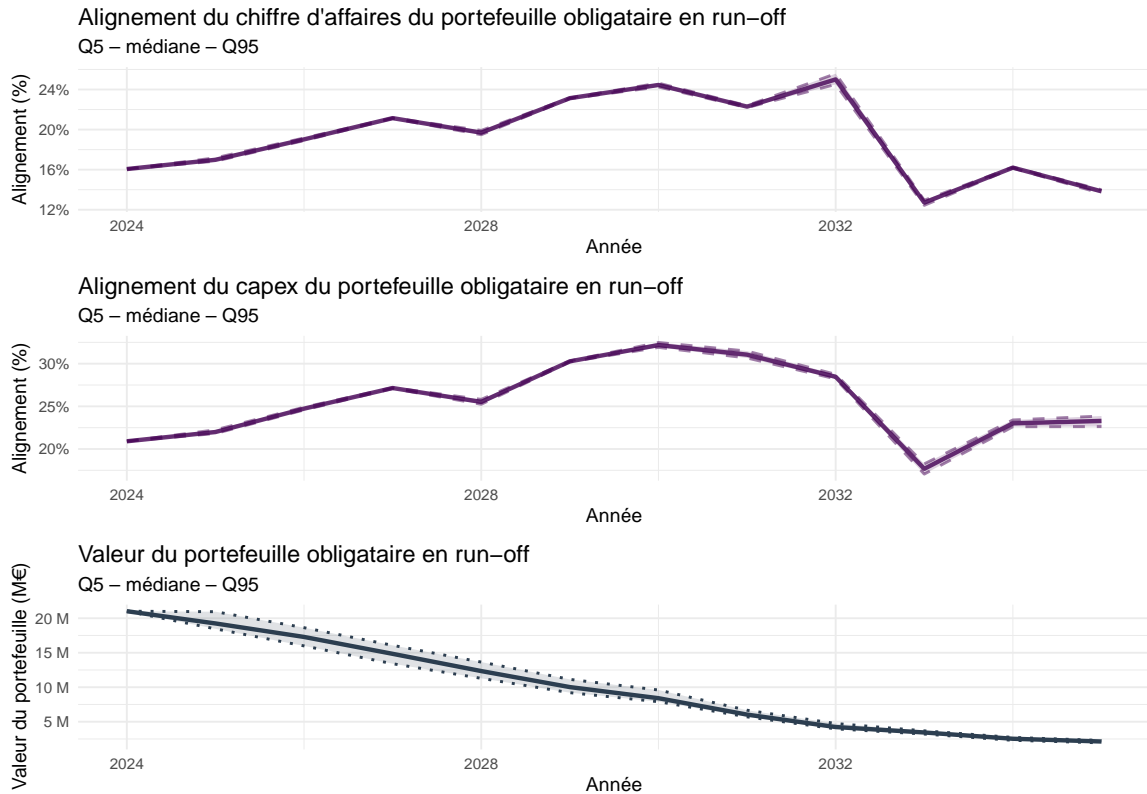


FIGURE 5.3 – Projection d'alignement sur la taxonomie verte et valeur du portefeuille à horizon 2035.

Enfin, ce cas d'usage illustre l'intérêt de suivre des indicateurs extra-financiers à travers différents scénarios économiques. Une étape ultérieure consisterait à intégrer ce suivi dans une projection globale, en y ajoutant des modules de gestion de type achat-vente. Ces stratégies pourraient, de la même manière que la gestion des écarts de durée ou l'appariement des flux futurs, permettre d'anticiper les creux dans les indicateurs extra-financiers et d'adopter rapidement des mesures correctives.

Par ailleurs, la conception multi-actifs de la taxonomie offre la possibilité de projeter l'alignement pour toutes les classes d'actifs, permettant ainsi d'évaluer l'alignement non seulement à l'échelle d'une classe, mais également sur l'ensemble du portefeuille. Dans cette étude, nous nous concentrons sur la partie obligataire, car c'est la classe d'actifs où les décisions ont le plus d'impact et où les coûts de transaction et opérationnels sont les plus élevés. Le portefeuille actions, quant à lui, peut être réorienté plus facilement.

Conclusion

Ce mémoire s'inscrit dans un contexte marqué par la montée en puissance des exigences réglementaires européennes en matière de durabilité, dont la taxonomie verte constitue l'élément central. Ce cadre normatif, en définissant des critères précis pour qualifier les activités durables, vise à orienter les flux financiers vers la transition écologique. Il soulève néanmoins des zones d'ombre, notamment sur l'intégration du risque de transition dans les modèles prudentiels.

Les travaux menés ont permis d'évaluer les impacts de cette réglementation sur la gestion d'actifs des assureurs vie. L'analyse des portefeuilles actions a montré qu'un alignement modéré, de l'ordre de 20 à 30% sur les CAPEX ou le chiffre d'affaires verts, peut être atteint sans dégrader significativement le rendement ajusté au risque ni la diversification. Au-delà de ces seuils, la performance se détériore et la concentration sectorielle s'accroît. Par ailleurs, l'alignement sur la taxonomie ne garantit pas une baisse de l'intensité carbone du portefeuille et induit des biais factoriels, notamment une orientation vers des styles « value » et des capitalisations plus faibles.

Concernant la poche obligataire, qui représente la majeure partie des portefeuilles des assureurs, nous avons reproduit la méthodologie de calibrage des chocs de spread utilisée par l'EIOPA dans Solvabilité II et construit une matrice spécifique aux obligations vertes certifiées CBI. Les résultats montrent des chocs systématiquement inférieurs à ceux de la formule standard, en particulier pour les maturités longues et les notations élevées. L'application de cette matrice à un portefeuille représentatif conduit à une réduction progressive du SCR de *spread*, de l'ordre de 1% pour une allocation de 10% en *green bonds*, ce qui alimente les réflexions autour d'un éventuel « *Green Supporting Factor* ».

Enfin, une méthodologie opérationnelle a été proposée pour mesurer et décomposer les variations du ratio d'actifs verts dans un portefeuille obligataire, en distinguant les effets liés aux contreparties, aux arbitrages, aux données et au périmètre. Cette approche a été complétée par une projection à horizon 2035, intégrant des scénarios économiques et des hypothèses de gestion « *buy and hold* », afin d'identifier les risques potentiels de non-alignement futur.

En synthèse, ces travaux démontrent qu'il est possible pour les assureurs d'intégrer progressivement les critères de durabilité dans leurs modèles de gestion sans compromettre les principes fondamentaux de la gestion financière, à condition de calibrer finement les contraintes ESG et d'adapter les outils prudentiels aux spécificités des actifs verts. Ils ouvrent la voie à des développements futurs, notamment l'extension des analyses à d'autres classes d'actifs, l'intégration de scénarios climatiques dans les modèles ALM et l'exploration de méthodes avancées, telles que l'apprentissage automatique ou les approches bayésiennes, pour la projection des trajectoires d'alignement.

Annexes

A Complément sur la Taxonomie - Tests statistiques CAPM

Expression analytique de $\text{Cov}(R_i, R_j)$ dans le CAPM

$$\begin{aligned}
 \text{Cov}(R_i, R_j) &= \mathbb{E}[(R_i - \mathbb{E}[R_i])(R_j - \mathbb{E}[R_j])] && \text{(définition)} \\
 &= \mathbb{E}\left[(\beta_i((R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f]) + \epsilon_i) \right. && \text{(modèle : } R_i - R_f = \alpha_i + \beta_i(R_m - R_f) + \epsilon_i) \\
 &\quad \left. \cdot (\beta_j((R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f]) + \epsilon_j)\right] \\
 &= \mathbb{E}\left[\beta_i\beta_j((R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f])^2 \right. && \text{(développement du produit)} \\
 &\quad + \beta_i((R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f])\epsilon_j \\
 &\quad + \beta_j((R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f])\epsilon_i \\
 &\quad \left. + \epsilon_i\epsilon_j\right] \\
 &= \beta_i\beta_j\mathbb{E}[(R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f]]^2 && \text{(linéarité de l'espérance)} \\
 &\quad + \beta_i\mathbb{E}[(R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f]]\epsilon_j \\
 &\quad + \beta_j\mathbb{E}[(R_m - R_f) - \mathbb{E}[R_m - R_f]]\epsilon_i \\
 &\quad + \mathbb{E}[\epsilon_i\epsilon_j] \\
 &= \beta_i\beta_j\text{Var}(R_m - R_f) + 0 + 0 + \mathbb{E}[\epsilon_i\epsilon_j] && \text{(Cov}(R_m - R_f, \epsilon_i) = 0) \\
 &= \beta_i\beta_j\text{Var}(R_m - R_f) + \delta_{ij}\sigma_{\epsilon,i}^2 && \text{(erreurs idiosyncratiques non corrélées)} \\
 &= \beta_i\beta_j\text{Var}(R_m) + \delta_{ij}\sigma_{\epsilon,i}^2 && \text{(} R_f \text{ déterministe)}
 \end{aligned}$$

$$\boxed{\text{Cov}(R_i, R_j) = \beta_i\beta_j\text{Var}(R_m) + \delta_{ij}\sigma_{\epsilon,i}^2}$$

Tests statistiques CAPM

Pour évaluer la robustesse du modèle de régression dans ce cadre, nous effectuons différents tests statistiques couramment utilisés :

Enfin, nous analysons les résultats des tests portant sur la signification des bêtas, l'autocorrélation des résidus et l'ajustement du modèle (R^2).

Significativité des bêtas : Tous les coefficients bêta sont statistiquement significatifs au seuil de 1 %, à l'exception de Vivendi ($p = 0,008$). Les écarts-types sont plutôt raisonnables, bien que certains titres, comme Vivendi ou Worldline, présentent une incertitude plus élevée.

Statistique de Durbin-Watson (DW) : La majorité des valeurs de la statistique DW sont proches de 2, ce qui suggère une absence d'autocorrélation des résidus pour la plupart des titres analysés.

| Test | Formule | But du test | Modalités (légende) |
|--|---|---|---|
| Coefficient de détermination (R^2) | $1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ | Mesure la qualité d'ajustement du modèle; plus R^2 est proche de 1, plus le modèle explique bien la variance des données. | y_i : valeur observée \hat{y}_i : valeur prédite \bar{y} : moyenne des y_i n : nombre d'observations |
| Durbin-Watson | $\frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$ | Détecte l'autocorrélation des erreurs (surtout d'ordre 1). Une valeur proche de 2 indique une absence d'autocorrélation. | e_t : résidu à l'instant t n : nombre d'observations |
| Ljung-Box | $n(n + 2) \sum_{k=1}^h \frac{\hat{\rho}_k^2}{n - k}$ | Teste l'hypothèse d'indépendance globale des résidus. Un p -valeur faible suggère une autocorrélation significative. | $\hat{\rho}_k$: autocorrélation au retard k n : nombre d'observations h : nombre de retards considérés |
| Jarque-Bera | $\frac{n}{6} \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$ | Teste la normalité des résidus. Une p -valeur élevée indique que la normalité ne peut être rejetée. | S : asymétrie (skewness) K : kurtosis n : nombre d'observations |

TABLE 3 – Résumé des tests statistiques pour évaluer la robustesse du modèle de régression

R^2 : Les coefficients de détermination sont globalement bons pour des actions typiques comme Axa, Schneider ou Vinci, ce qui suggère qu'une part substantielle de la variance des rendements est expliquée par le modèle. En revanche, des R^2 plus faibles sont observés pour certains actifs tels que Vivendi, Eurofins ou Sanofi. Cela est courant pour des titres moins sensibles au marché global, comme les valeurs défensives ou de croissance.

Normalité des résidus : Le test de Jarque-Bera est le plus souvent rejeté, ce qui indique une non-normalité des résidus quasi-généralisée. Ce phénomène est bien documenté dans les applications empiriques du CAPM.

| Actif | Beta | R² | DW | LjungBox p | JB p |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------|-------------------|-------------|
| Air Liquide | 0.703 (0.044) [0.000] | 0.502 | 2.409 | 0.002 | 0.000 |
| Airbus | 1.517 (0.079) [0.000] | 0.586 | 2.367 | 0.015 | 0.000 |
| Alstom | 0.919 (0.108) [0.000] | 0.218 | 1.748 | 0.306 | 0.000 |
| ArcelorMittal | 1.457 (0.089) [0.000] | 0.506 | 2.163 | 0.209 | 0.000 |
| Axa | 1.203 (0.049) [0.000] | 0.701 | 2.065 | 0.205 | 0.000 |
| BNP Paribas | 1.426 (0.071) [0.000] | 0.611 | 2.007 | 0.153 | 0.000 |
| Bouygues | 1.022 (0.055) [0.000] | 0.571 | 2.185 | 0.255 | 0.000 |
| Capgemini | 1.189 (0.061) [0.000] | 0.596 | 2.407 | 0.013 | 0.000 |
| Carrefour | 0.543 (0.068) [0.000] | 0.200 | 2.234 | 0.151 | 0.000 |
| Dassault Systèmes | 0.658 (0.070) [0.000] | 0.254 | 2.064 | 0.322 | 0.000 |
| Danone | 0.484 (0.050) [0.000] | 0.266 | 2.245 | 0.076 | 0.000 |
| Engie | 1.033 (0.065) [0.000] | 0.490 | 2.064 | 0.568 | 0.000 |
| EssilorLuxottica | 0.889 (0.052) [0.000] | 0.527 | 2.240 | 0.085 | 0.000 |
| Eurofins Scientific | 0.444 (0.090) [0.000] | 0.085 | 2.087 | 0.783 | 0.000 |
| Hermès | 0.876 (0.063) [0.000] | 0.425 | 1.884 | 0.081 | 0.000 |
| Kering | 1.196 (0.073) [0.000] | 0.510 | 2.159 | 0.320 | 0.000 |
| Legrand | 0.946 (0.047) [0.000] | 0.606 | 2.234 | 0.032 | 0.016 |
| L'Oréal | 0.805 (0.048) [0.000] | 0.517 | 2.088 | 0.292 | 0.000 |
| LVMH | 1.098 (0.052) [0.000] | 0.629 | 2.144 | 0.259 | 0.000 |
| Michelin | 0.950 (0.050) [0.000] | 0.583 | 2.094 | 0.382 | 0.000 |
| Orange | 0.549 (0.056) [0.000] | 0.272 | 2.420 | 0.000 | 0.000 |
| Pernod Ricard | 0.805 (0.050) [0.000] | 0.502 | 2.205 | 0.221 | 0.233 |
| Publicis Groupe | 1.097 (0.068) [0.000] | 0.499 | 2.261 | 0.001 | 0.000 |
| Renault | 1.636 (0.094) [0.000] | 0.540 | 2.070 | 0.548 | 0.008 |
| Safran | 1.449 (0.074) [0.000] | 0.600 | 2.605 | 0.000 | 0.000 |
| Saint-Gobain | 1.337 (0.063) [0.000] | 0.633 | 1.933 | 0.000 | 0.000 |
| Sanofi | 0.455 (0.061) [0.000] | 0.178 | 2.162 | 0.474 | 0.000 |
| Schneider Electric | 1.082 (0.045) [0.000] | 0.689 | 2.016 | 0.413 | 0.508 |
| Société Générale | 1.596 (0.087) [0.000] | 0.566 | 1.978 | 0.337 | 0.000 |
| STMicroelectronics | 1.251 (0.082) [0.000] | 0.473 | 1.847 | 0.420 | 0.000 |
| Téléperformance | 0.823 (0.108) [0.000] | 0.183 | 2.111 | 0.635 | 0.000 |
| Thales | 0.697 (0.078) [0.000] | 0.236 | 2.059 | 0.656 | 0.000 |
| TotalEnergies | 1.008 (0.070) [0.000] | 0.446 | 1.892 | 0.297 | 0.000 |
| Veolia | 1.206 (0.055) [0.000] | 0.650 | 2.259 | 0.178 | 0.000 |
| Vinci | 1.144 (0.044) [0.000] | 0.719 | 2.099 | 0.013 | 0.000 |
| Vivendi | 0.564 (0.212) [0.008] | 0.027 | 2.375 | 0.053 | 0.000 |
| Worldline | 1.094 (0.140) [0.000] | 0.191 | 2.302 | 0.037 | 0.000 |
| Edenred | 0.852 (0.071) [0.000] | 0.359 | 2.301 | 0.136 | 0.000 |
| Dassault Aviation | 0.773 (0.077) [0.000] | 0.280 | 2.063 | 0.800 | 0.000 |
| Accor | 1.287 (0.077) [0.000] | 0.517 | 2.181 | 0.277 | 0.000 |
| Bureau Veritas | 0.760 (0.048) [0.000] | 0.491 | 2.164 | 0.422 | 0.000 |

TABLE 4 – Bêtas calibrés sur l'historique avec le modèle CAPM

Le Graphique 4 présente la part des dépenses opérationnelles (OPEX) éligibles et alignées avec la taxonomie européenne. On observe que la majorité des entreprises affichent un taux d'éligibilité et d'alignement nul. Cela s'explique par la réglementation : en dessous d'un certain seuil, les dépenses sont considérées comme non matérielles, et les entreprises doivent alors déclarer une valeur de 0.

Ainsi, les données relatives aux dépenses opérationnelles ne sont pas utilisées dans l'optimisation pour plusieurs raisons. D'une part, il existe une grande incertitude autour de ces chiffres : de nombreux acteurs ne sont pas encore en mesure de les quantifier précisément, ce qui les conduit souvent à déclarer 0%. D'autre part, les OPEX n'apportent pas nécessairement d'information complémentaire significative par rapport aux CAPEX verts ou au chiffre d'affaires vert.

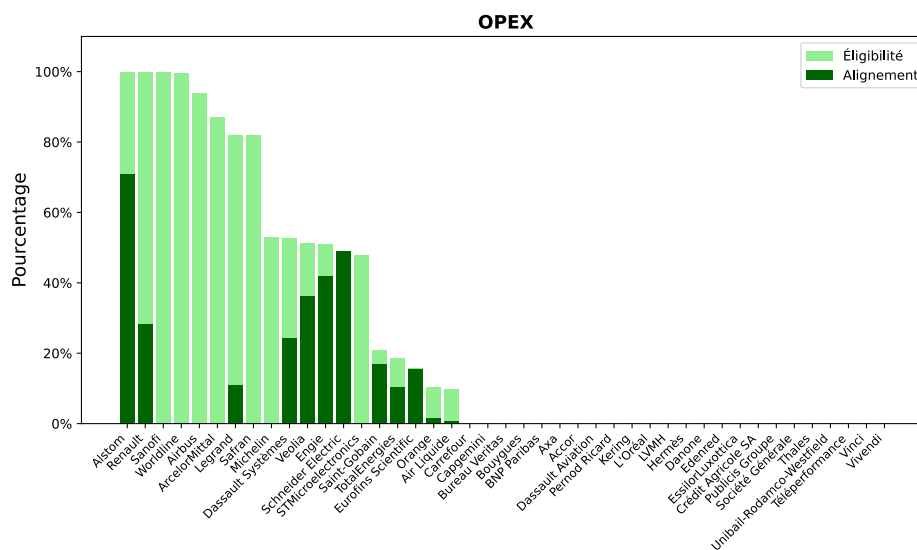


FIGURE 4 – Éligibilité et alignement du CAC 40 en termes de dépenses opérationnelles en 2024

B Cadre réglementaire et exigences de Solvabilité II

1. Introduction à la norme Solvabilité II

La directive Solvabilité II, adoptée en novembre 2009, constitue le régime prudentiel européen applicable aux entreprises d'assurance et de réassurance. Elle est entrée en vigueur le **1er janvier 2016**. Elle repose sur trois niveaux réglementaires :

Niveau 1 – directive fondatrice (Directive 2009/138/CE) : principes directeurs.

Niveau 2 – Règlement délégué (UE 2015/35) et normes techniques d'exécution : modalités de calcul et reporting.

Niveau 3 – Lignes directrices de l'EIOPA : harmonisation des pratiques de supervision (principe *comply or explain*).

2. Objectifs de la norme

- Harmoniser la mesure des fonds propres et du capital requis au niveau économique entre les États membres.
- Évaluer la solvabilité globale fondée sur tous les risques, en intégrant les spécificités de chaque assureur (vie/non-vie, ALM, réassurance, etc.).
- Inciter les assureurs à renforcer leur gestion des risques, le contrôle interne et la gouvernance.
- Améliorer la surveillance des groupes par une harmonisation des méthodes de contrôle.
- Garantir une communication efficace envers le public et les autorités de contrôle.

3. Les Piliers

La directive Solvabilité II est structurée selon une approche en trois piliers complémentaires. Cette organisation permet de couvrir de manière cohérente l'ensemble des dimensions essentielles à la solidité prudentielle des assureurs : financières, qualitatives et informationnelles.

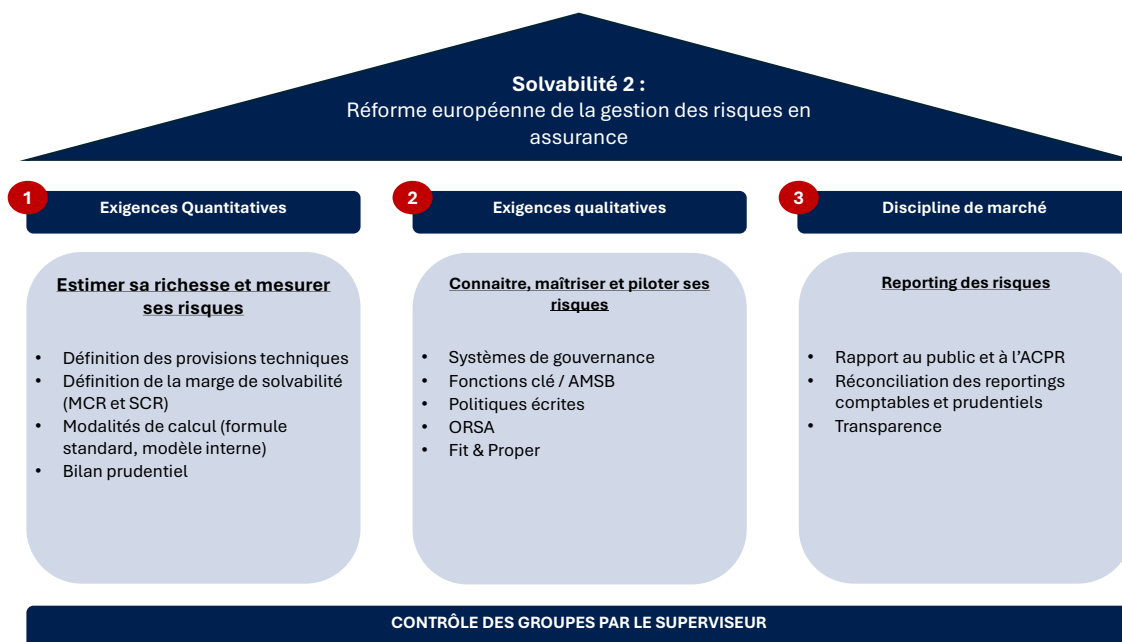


FIGURE 5 – Les piliers du régime Solvabilité II
Source : Cours « Solvabilité II » — Maryam Hariki, Kevin Ma

Le Pilier 1 : exigences quantitatives Le Pilier 1 de Solvabilité II fixe les règles de valorisation du bilan prudentiel et de calcul des exigences de capital réglementaire.

Valorisation des actifs et passifs

- **Actifs** : évalués à leur juste valeur de marché.
- **Passifs** : correspondent aux engagements envers les assurés, principalement constitués des provisions techniques, auxquels s'ajoutent les fonds propres réglementaires.

Provisions techniques Elles représentent le montant qu'un assureur devrait verser pour transférer immédiatement l'ensemble de ses engagements à un tiers. Elles se composent de :

1. **Meilleure estimation (Best Estimate)** : valeur actualisée des flux futurs, pondérés par leurs probabilités et actualisés au taux sans risque.
2. **Marge pour risque (Risk Margin)** : calculée selon la méthode du coût du capital, elle reflète la rémunération qu'exigerait un assureur reprenneur pour couvrir les risques non transférables.

Exigences de capital

- **Solvency Capital Requirement (SCR)** : niveau de fonds propres nécessaire pour couvrir l'ensemble des risques réglementés, avec un niveau de confiance de 99,5 % sur un an.
- **Minimum Capital Requirement (MCR)** : seuil minimal de capital, correspondant à une probabilité de couverture de 85 %, borné entre 25 % et 45 % du SCR. Son franchissement entraîne des mesures de contrôle renforcées.

Fonds propres réglementaires Une fois les actifs valorisés au marché et les provisions techniques déterminées, on obtient les fonds propres réglementaires (ou *Net Asset Value – NAV* en terminologie Solvabilité II), qui servent de base à l'évaluation de la solvabilité de l'entreprise d'assurance.

Pilier 2 : Exigence qualitatives Le Pilier 2 de la Directive Solvabilité II définit l'ensemble des exigences qualitatives en matière de gestion des risques et de gouvernance. Ce système permet de piloter la stratégie mise en place.

Selon l'article 44 de la Directive Solvabilité II sur la gestion des risques :

« Les entreprises d'assurance et de réassurance mettent en place un système de gestion des risques efficace, qui comprenne les stratégies, processus et procédures d'information nécessaires pour déceler, mesurer, contrôler, gérer et déclarer, en permanence, les risques, aux niveaux individuel et agrégé, auxquels elles sont ou pourraient être exposées ainsi que les interdépendances entre ces risques. »

Systeme de gouvernance

Le Pilier 2 impose à chaque assureur de disposer d'un système de gouvernance robuste, garantissant un pilotage sain, prudent et transparent de l'activité. Cela implique :

- une organisation claire avec des responsabilités définies ;
- des dirigeants et responsables de fonctions clés compétents et intègres (*fit & proper*) ;
- un ensemble de politiques écrites couvrant : souscription, provisionnement, investissements et ALM, liquidité, risque opérationnel (y compris cyber) et réassurance.

Les quatre fonctions clés, soit gestion des risques, conformité, audit interne et fonction actuarielle doivent être nommées, disposer de moyens suffisants et être indépendantes dans leurs travaux. Les contrôles internes doivent assurer la conformité et la fiabilité des opérations, tandis que toute externalisation significative doit être encadrée contractuellement et suivie.

Gestion des risques et ORSA

La gestion des risques doit couvrir l'ensemble du profil de risque de l'entreprise, avec :

- une cartographie des risques à jour ;
- des seuils d'appétence définis ;
- des stress tests et scénarios simulant des événements extrêmes ;
- une intégration directe dans les décisions stratégiques.

L'**ORSA** (*Own Risk and Solvency Assessment*) est un élément central : il s'agit d'une évaluation régulière et prospective, sur plusieurs années, de l'adéquation du capital aux risques actuels et futurs. Il doit inclure des scénarios défavorables réalistes et sévères, être validé par le conseil d'administration et transmis au superviseur dans les délais. Au-delà de l'exercice réglementaire, l'ORSA doit servir d'outil de pilotage stratégique.

Pilier 3 : Reporting prudentiel et communication publique Le Pilier 3 de *Solvabilité II* encadre la **communication publique** et le **reporting au superviseur** afin d'assurer transparence et comparabilité.

Communication publique : SFCR (*Solvency and Financial Condition Report*) Il est publié au moins une fois par an :

- **Contenu** (structure de niveau 2) : activités et performance ; système de gouvernance ; profil de risque ; évaluation du capital et des provisions techniques ; gestion des fonds propres.
- **Format** : narration + tableaux normalisés (extraits des templates applicables).
- **Accessibilité** : publication publique (site web de l'organisme), version groupe le cas échéant.

Reporting au superviseur : RSR, QRTs, autres

- **RSR** (*Regular Supervisory Report*) : rapport narratif détaillé remis au superviseur (solo et groupe) couvrant activités, gouvernance, profil de risque, évaluation et capital.
- **QRTs** (*Quantitative Reporting Templates*) : états quantitatifs harmonisés selon la taxonomie EIOPA.
- **Périmètre** : solo et groupe, avec éventuels **NST** (National Specific Templates) selon l'autorité locale.
- **Fréquence** : *annuelle* (RSR, QRTs, SFCR) et *trimestrielle* (QRTs).

C *Value-at-Risk* : Généralités et approfondissement sur la VaR de Cornish-Fisher

Value-at-Risk (VaR)

La *Value-at-Risk* (VaR) est essentiellement un quantile de la distribution des pertes et profits associée à la détention d'un actif ou d'un portefeuille d'actifs sur une période spécifique. En d'autres termes, c'est une mesure du niveau maximal de perte potentielle qui peut survenir en cas de mouvements adverses des prix de marché, et elle permet de fournir une estimation quantitative du risque financier.

Soit X une variable aléatoire associée au rendement r , et soit $F(x)$ la fonction de répartition de cette distribution des pertes et profits, définie par :

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

La VaR à un niveau de confiance α est définie par la relation suivante :

$$P[X \leq \text{VaR}_\alpha] = 1 - \alpha \quad (2)$$

En réécrivant cette équation en termes de fonction de répartition :

$$F(\text{VaR}_\alpha) = 1 - \alpha \quad (3)$$

Pour déterminer la VaR à un niveau de confiance α , on utilise l'inverse de la fonction de répartition F , notée F^{-1} , de la manière suivante :

$$\text{VaR}_\alpha = F^{-1}(1 - \alpha) \quad (4)$$

Cela permet de déterminer la valeur seuil V_α telle que la probabilité que la valeur r soit inférieure ou égal à V_α soit égale à $1 - \alpha$, correspondant au niveau de confiance souhaité pour la VaR.

Pour illustrer le concept de *Value-at-Risk* (VaR), on considère une variable aléatoire suivant une loi normale de rendement, caractérisée par un rendement moyen de 5% (= 0.05) et une volatilité de 15% (= 0.15). Cette hypothèse, bien que simplificatrice, est souvent utilisée dans les premiers modèles de risque de marché.

Sur le Graphique 6, la courbe représente la densité de probabilité de cette distribution. La VaR à 95% correspond au quantile 5% de cette loi, c'est-à-dire le seuil de rendement en dessous duquel ne devraient tomber que 5% des pertes les plus extrêmes. Graphiquement, cette zone est matérialisée en rouge, sur la gauche de la distribution. Elle représente la "zone de risque", correspondant aux pertes potentielles rares mais significatives.

La moyenne est représentée par une ligne pointillée bleue. Elle indique le rendement espéré à long terme, mais ne reflète pas le risque extrême pris par l'investisseur. La VaR complète cette information

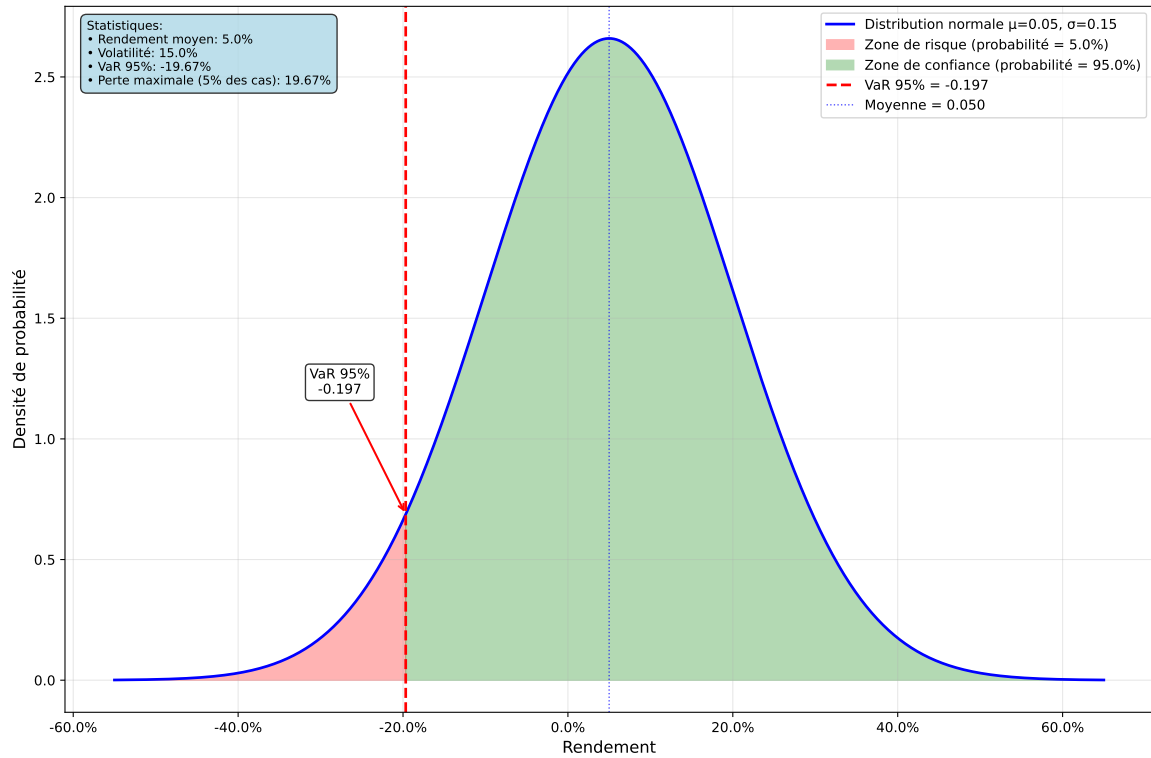


FIGURE 6 – Illustration de la *Value-at-Risk* (VaR) avec une distribution normale

en quantifiant la perte maximale attendue avec une certaine probabilité sur un horizon de temps de donné.

TABLE 5 – Correspondance des notations de crédit entre agences

| Description | Moody's | | S&P | | Fitch | |
|--------------------------|---------|-----|------|------|-------|-----|
| | LT | CT | LT | CT | LT | CT |
| Prime. Sécurité maximale | Aaa | P-1 | AAA | A-1+ | AAA | A1+ |
| | Aa1 | | AA+ | | AA+ | |
| High Grade | Aa2 | | AA | | AA | |
| | Aa3 | | AA- | | AA- | |
| | A1 | A+ | A-1 | A+ | A1 | |
| Upper Medium Grade | A2 | | A | | A | |
| | A3 | P-2 | A- | A-2 | A- | A2 |
| | Baa1 | | BBB+ | | BBB+ | |
| Lower Medium Grade | Baa2 | P-3 | BBB | A-3 | BBB | A3 |
| | Baa3 | | BBB- | | BBB- | |
| | Ba1 | | BB+ | B | BB+ | B |
| Non Investment Grade | Ba2 | | BB | | BB | |
| | Ba3 | | BB- | | BB- | |
| | B1 | | B+ | | B+ | |
| Hautement spéculatif | B2 | | B | | B | |
| | B3 | | B- | | B- | |
| | Caa | | CCC+ | C | CCC | C |
| Risque substantiel | Ca | | CCC | | | |
| Extrêmement spéculatif | C | | CCC- | | | |
| Peut-être en défaut | | | D | | DDD | |
| En défaut | | | | | DD | |
| | | | | | D | |

Démonstration de l'approximation de Cornish-Fisher

Objectif

On veut approximer la VaR (Value at Risk) d'un actif dont la distribution n'est pas normale, en corrigeant la VaR normale à l'aide des moments d'ordre 3 et 4 (skewness et kurtosis).

Notations

On note Φ (resp. φ) la CDF (resp. PDF) d'une loi $\mathcal{N}(0, 1)$ et $z_\alpha = \Phi^{-1}(\alpha)$.

On pose la variable centrée-réduite de fonction de répartition F_Z :

$$Z = \frac{R - \mu}{\sigma},$$

Notons :

$$S = [Z^3] \quad (\text{skewness}), \quad K = [Z^4] - 3 \quad (\text{kurtosis excédentaire}).$$

1. Préliminaires

Moment d'une variable aléatoire Soit une variable aléatoire réelle X représentant le rendement d'un portefeuille. On note :

$$\begin{aligned} \mu &= \mathbb{E}[X] \\ \sigma^2 &= \mathbb{V}[X] \\ \gamma_1 &= \frac{\mathbb{E}[(X - \mu)^3]}{\sigma^3} : \text{coefficient d'asymétrie (skewness)} \\ \gamma_2 &= \frac{\mathbb{E}[(X - \mu)^4]}{\sigma^4} - 3 : \text{kurtosis excès} \end{aligned}$$

La VaR au niveau de confiance $\alpha \in (0, 1)$ d'une loi normale On définit comme le quantile q_α tel que :

$$\mathbb{P}(X \leq q_\alpha) = \alpha$$

Si $X \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$, alors :

$$\text{VaR}_\alpha = \mu + z_\alpha \cdot \sigma$$

où z_α est le quantile de la loi normale standard (centrée réduite). Mais si X n'est pas normale, cette formule est biaisée.

Définitions des polynômes d'Hermite Il existe deux définitions classiques des polynômes d'Hermite :

$$H_i(x) = (-1)^i e^{x^2/2} \frac{d^i}{dx^i} (e^{-x^2/2}) \quad (\text{définition des probabilistes, utilisée ici}),$$

$$\hat{H}_i(x) = (-1)^i e^{x^2} \frac{d^i}{dx^i} (e^{-x^2}) \quad (\text{définition des statisticiens}).$$

Les premiers polynômes d'Hermite (version probabilistes) sont :

$$H_0(x) = 1, \quad H_1(x) = x, \quad H_2(x) = x^2 - 1, \quad H_3(x) = x^3 - 3x.$$

Idée du développement de Cornish-Fisher Le développement de Cornish-Fisher permet d'approcher le quantile d'une variable aléatoire X à partir de celui d'une variable normale standard

$Z \sim \mathcal{N}(0, 1)$, en corrigeant les moments. On approxime :

$$q_\alpha \approx \mu + \sigma \cdot z_\alpha^{CF}$$

où z_α^{CF} est une correction du quantile z_α de la normale.

Développement (Cornish-Fisher)

Proposition 1 (Quantile de Cornish–Fisher, ordre $O(S^2, K)$). *Le quantile α de Z est approché par*

$$q_\alpha^{CF} = z_\alpha + \frac{S}{6} (z_\alpha^2 - 1) + \frac{K}{24} (z_\alpha^3 - 3z_\alpha) - \frac{S^2}{36} (2z_\alpha^3 - 5z_\alpha) + o(S^2, K). \quad (5)$$

En conséquence, le quantile α de R vaut $q_\alpha(R) = \mu + \sigma q_\alpha^{CF}$.

Edgeworth pour la CDF centrée-réduite. Notons H_n les polynômes d’Hermite probabilistes :

$$H_0 = 1, H_1 = z, H_2 = z^2 - 1, H_3 = z^3 - 3z, H_5 = z^5 - 10z^3 + 15z.$$

Le développement d’Edgeworth (CDF) à l’ordre $O(S^2, K)$ s’écrit

$$F_Z(z) = \Phi(z) + \varphi(z) \left[\frac{S}{6} H_2(z) + \frac{K}{24} H_3(z) + \frac{S^2}{72} H_5(z) \right] + o(S^2, K), \quad (6)$$

obtenu en intégrant l’Edgeworth densité via l’identité $\frac{d}{dz}[\varphi(z)H_{n-1}(z)] = -\varphi(z)H_n(z)$. Pour plus de détail, voir [BARNDORFF-NIELSEN et COX \(1989\)](#).

Inversion de Cornish–Fisher. On cherche w_α tel que $F_Z(w_\alpha) = \alpha$. Écrivons $w_\alpha = z_\alpha + \delta$ avec $\delta = O(S, K)$. Posons

$$B(z) = \frac{S}{6} H_2(z) + \frac{K}{24} H_3(z) + \frac{S^2}{72} H_5(z).$$

À partir de (6),

$$F_Z(z_\alpha + \delta) = \Phi(z_\alpha + \delta) + \varphi(z_\alpha + \delta) B(z_\alpha + \delta).$$

Développons jusqu’au second ordre en δ :

$$\begin{aligned} \Phi(z_\alpha + \delta) &= \Phi(z_\alpha) + \varphi(z_\alpha)\delta - \frac{1}{2}z_\alpha\varphi(z_\alpha)\delta^2 + o(\delta^2), \\ \varphi(z_\alpha + \delta) &= \varphi(z_\alpha)(1 - z_\alpha\delta) + o(\delta), \\ B(z_\alpha + \delta) &= B(z_\alpha) + B'(z_\alpha)\delta + o(\delta). \end{aligned}$$

Comme $\Phi(z_\alpha) = \alpha$, la condition $F_Z(w_\alpha) = \alpha$ équivaut, après division par $\varphi(z_\alpha)$, à

$$0 = \delta + B(z_\alpha) + [B'(z_\alpha) - z_\alpha B(z_\alpha)]\delta - \frac{1}{2}z_\alpha\delta^2 + o(S^2, K).$$

Écrivons $\delta = \delta_1 + \delta_2$ avec $\delta_1 = O(S, K)$ et $\delta_2 = O(S^2, K)$. On obtient itérativement

$$\delta_1 = -B(z_\alpha), \quad \delta_2 = B'(z_\alpha)B(z_\alpha) - \frac{1}{2}z_\alpha B(z_\alpha)^2.$$

En utilisant $H'_n(z) = nH_{n-1}(z)$, et en ne gardant que les termes $O(S^2, K)$, on simplifie et on trouve

$$w_\alpha = z_\alpha + \frac{S}{6}H_2(z_\alpha) + \frac{K}{24}H_3(z_\alpha) - \frac{S^2}{36}(2z_\alpha^3 - 5z_\alpha) + o(S^2, K),$$

c'est-à-dire la formule (5).

Passage à la VaR. Le quantile de R est $q_\alpha(R) = \mu + \sigma q_\alpha^{\text{CF}}$. Pour la perte $L = -R$ mesurée comme quantile gauche,

$$\alpha(L) = F_L^{-1}(\alpha) = -q_\alpha(R) = -\mu - \sigma q_\alpha^{\text{CF}}.$$

Interprétation

- Terme en $S/6$: Capture l'effet d'asymétrie sur les queues de distribution.
- Terme en $K/24$: Ajuste pour l'épaisseur des queues (kurtosis).
- Terme en $S^2/36$: Corrige les interactions non-linéaires de l'asymétrie.

Conditions de validité

Pour conserver l'ordre des quantiles, la transformation doit être bijective croissante. Ce qui revient à l'inéquation suivante (pour plus de détail, voir [MAILLARD \(2020\)](#)) :

$$k_-(s) \leq k \leq k_+(s),$$

avec

$$k_\pm(s) = 4 + \frac{11}{9}s^2 \pm \sqrt{\frac{s^4}{81} - \frac{8}{3}s^2 + 16}.$$

Dans le cadre de notre application aux obligations vertes, le respect de cette condition est illustré par le graphique suivant :

D Méthodologie de calcul des indices obligataires

Méthodologie Green Bond Index

La valeur de clôture quotidienne de l'indice est une fonction de la valeur de l'indice à la fin du mois précédent et du rendement cumulé depuis le début du mois :

$$IV_{n,t} = IV_{0,t} \times (1 + TRR_{n,t}) \quad (7)$$

où :

- $IV_{n,t}$ = valeur de clôture de l'indice au jour n du mois t
- $IV_{0,t}$ = valeur de clôture de l'indice à la fin du mois précédent t
- $TRR_{n,t}$ = rendement total cumulé depuis le début du mois pour l'indice au jour n du mois t

Rendements de l'indice

Le rendement cumulé depuis le début du mois pour un indice ($TRR_{n,t}$) est égal à la somme des rendements individuels des constituants pondérés par leur poids en début de mois :

$$TRR_{n,t} = \sum_{i=1}^k BTRR_{i,n,t} \times W_{ti,0,t} \quad (8)$$

où :

- $TRR_{n,t}$ = rendement total cumulé depuis le début du mois pour l'indice au jour n du mois t
- $BTRR_{i,n,t}$ = rendement total cumulé depuis le début du mois pour le titre i au jour n du mois t
- $W_{ti,0,t}$ = poids du titre i en début de mois t

Avec les coûts de transaction, on a la formule suivante :

$$TRR_{n,t} = \sum_{i=1}^k (BTRR_{i,n,t} \times W_{ti,0,t}) - TC_t \quad (9)$$

où :

- TC_t = coût de transaction de l'indice pour le mois en cours t

Coût de transaction

Le coût de transaction appliqué est basé sur l'écart entre le prix acheteur et le prix vendeur de chaque titre, exprimé en pourcentage de son prix d'indice plus les intérêts courus. L'ajustement du rendement

est appliqué aux nouvelles inclusions dans l'indice ainsi qu'aux titres dont les poids augmentent dans l'indice, lors de chaque rééquilibrage mensuel.

Pour chaque titre de l'indice, le coût de transaction est calculé à la fin de chaque mois comme suit :

$$TC_{i,t} = \frac{spread_{i,t}}{price_{i,t} + accrued_{i,t}} \quad (10)$$

où :

- $TC_{i,t}$ = coût de transaction du titre i à la date de fin de mois t
- $spread_{i,t}$ = prix vendeur moins prix acheteur du titre i à la date de fin de mois t
- $price_{i,t}$ = prix du titre i à la date de fin de mois t
- $accrued_{i,t}$ = intérêts courus du titre i à la date de fin de mois t

Les rendements totaux depuis le début du mois sont calculés quotidiennement pour chaque obligation dans sa monnaie de dénomination (c'est-à-dire, le rendement total local). Les flux de trésorerie provenant des paiements obligataires reçus au cours du mois sont conservés dans l'Indice en tant qu'élément distinct jusqu'à la fin du mois, puis supprimés lors du rééquilibrage. La trésorerie ne génère aucun revenu de réinvestissement tant qu'elle est détenue dans l'Indice.

Les intérêts courus sont calculés en supposant un règlement le jour civil suivant (y compris lorsque ce jour est un jour non ouvré).

La formule du rendement total depuis le début du mois est la suivante :

$$BTRR_n = \frac{(P_n + AI_n) - (P_0 + AI_0) + C \times (1 + \frac{r}{d})^t}{P_0 + AI_0} \quad (11)$$

où :

- $BTRR_n$ = rendement total depuis le début du mois pour un titre individuel au jour n
- P_n = prix du jour actuel
- P_0 = prix de fin de mois précédent
- AI_n = intérêts courus du jour actuel
- AI_0 = intérêts courus de fin de mois précédent
- C = paiements de coupon reçus pendant la période (y compris les remboursements de capital à la valeur de marché actuelle)
- r = taux de réinvestissement (actuellement zéro)
- t = nombre de jours entre la réception du flux de trésorerie et le jour n
- d = convention de calcul des jours pour le réinvestissement

Rendements périodiques et annualisés

Les rendements périodiques entre deux dates peuvent être dérivés des valeurs de l'indice au début et à la fin de la période. Comme les valeurs de l'indice représentent des niveaux de clôture, les rendements

de période incluent les mouvements de marché du dernier jour de la période, mais excluent ceux du premier jour. Ainsi, pour capturer les rendements du mois de juin, on divise la valeur de l'indice du 30 juin par celle du 31 mai :

$$TRR = \frac{IV_n}{IV_0} - 1 \quad (12)$$

où :

- TRR = rendement total périodique
- IV_n = valeur de clôture de l'indice à la fin de la période
- IV_0 = valeur de clôture de l'indice au début de la période

Rendements annualisés

Les rendements annualisés sont dérivés des rendements totaux périodiques :

$$AnnTRR_n = (1 + TRR_n)^{\frac{365}{d}} - 1 \quad (13)$$

où :

- $AnnTRR_n$ = rendement total annualisé pour la période n
- TRR_n = rendement total périodique pour la période n
- d = nombre de jours dans la période

E Portefeuille obligataire de référence

| Nominal | Rating | ISIN | Émetteur | Secteur | Alignement CAPEX 2024 | Alignement CA 2024 | Valeur 31/12/2024 |
|-----------|--------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 450 000 € | BBB | FR0010535567 | Veolia | Utilities (eau/environnement) | 44,90% | 44,00% | 450 090 € |
| 550 000 € | AA | XS2676816940 | Nordea Bank Abp | Banque | 4,10% | 4,00% | 552 200 € |
| 375 000 € | BBB | FR0013428513 | Engie | Utilities (énergie) | 62,00% | 19,00% | 267 150 € |
| 315 000 € | AA | FR0014005RZ4 | Crédit Agricole | Banque/Assurance | 4,38% | 3,64% | 270 428 € |
| 600 000 € | A | XS2535307743 | Medtronic | Santé | 0,00% | 0,00% | 594 780 € |
| 350 000 € | AA | XS2176569312 | TotalEnergies | Énergie/Pétrole & Gaz | 15,50% | 1,90% | 267 225 € |
| 400 000 € | BBB | FR0013457967 | Praefp | Immobilier | 0,00% | 0,00% | 352 000 € |
| 840 000 € | BBB | FR001400NDQ2 | Klépierre | Immobilier | 70,00% | 72,00% | 856 380 € |
| 393 750 € | A | BE0390124874 | KBC Group | Banque | 0,90% | 0,80% | 398 475 € |
| 315 000 € | BBB | XS2573712044 | BBVA | Banque | 0,84% | 0,57% | 333 050 € |
| 200 000 € | A | BE0002799808 | KBC Group | Banque | 0,90% | 0,80% | 172 160 € |
| 500 000 € | AA | FR0013236544 | Arkéa | Banque mutualiste | 7,70% | 7,77% | 500 200 € |
| 299 250 € | A | FR001400DNG3 | Bouygues | Industrie/Construction | 13,00% | 21,00% | 322 352 € |
| 410 000 € | AA | IT0005319949 | Crédit Agricole SA | Banque | 4,38% | 3,64% | 340 997 € |
| 472 500 € | AA | XS2652069480 | DNB | Banque | 4,84% | 4,82% | 490 195 € |
| 425 250 € | BBB | XS2525226622 | Santander | Banque | 3,24% | 2,99% | 427 802 € |
| 386 941 € | AA | XS2767224921 | Svenska Handelsbanken | Banque | 3,40% | 3,30% | 399 517 € |
| 393 750 € | BBB | FR001400KHG0 | Engie | Utilities (énergie) | 62,00% | 19,00% | 405 346 € |
| 315 000 € | BBB | XS2747600018 | E.ON | Utilities (énergie) | 98,00% | 99,00% | 316 181 € |
| 315 000 € | BBB | XS2743711298 | RWE | Utilities (énergie) | 94,00% | 21,00% | 321 458 € |
| 236 250 € | A | FR001400MIG4 | RTE | Utilities (réseau électrique) | 90,00% | 90,00% | 239 652 € |
| 400 000 € | A | FR001400N285 | Schneider Electric | Industrie/Équipement | 22,00% | 28,00% | 399 640 € |
| 544 853 € | BBB | XS2788600869 | Deutsche Telekom | Télécoms | 0,30% | 0,50% | 545 997 € |
| 315 000 € | A | FR001400CND2 | Air Liquide Finance | Matériaux/Gaz industriels | 6,90% | 0,50% | 308 732 € |
| 299 250 € | A | XS2779792337 | Statkraft | Utilities (énergie renouvelable) | 94,50% | 49,00% | 303 589 € |
| 400 000 € | A | XS2710354544 | Nationwide Building Society | Banque/Mutuelle | 0,00% | 0,00% | 409 480 € |
| 300 000 € | BBB | XS2796609787 | Saint-Gobain | Matériaux/Construction | 35% | 17% | 303 300 € |
| 499 053 € | AA | FR001400M4Z8 | Crédit Agricole | Banque (crédit hypothécaire) | 4,38% | 3,64% | 488 723 € |
| 315 000 € | BBB | XS2332689681 | DNFSDC | Institutionnel/Divers | 54,17% | 47,49% | 284 193 € |
| 500 000 € | AA | FR001400GGZ0 | BFCM | Banque mutualiste | 5,87% | 5,70% | 519 500 € |
| 700 000 € | A | FR001400L248 | Thales | Industrie/Défense | 7% | 3% | 704 620 € |
| 315 000 € | BBB | PTBPIZOM0035 | Banco BPI | Banque | 4,20% | 2,90% | 317 111 € |
| 315 000 € | BBB | FR001400DY43 | Orange | Télécoms | 1,3% | 1,9% | 325 033 € |
| 315 000 € | A | FR0013264421 | RTE | Utilities (réseau électrique) | 90,00% | 90,00% | 298 211 € |
| 157 500 € | AA | FR001400G5Z3 | Crédit Agricole | Banque (crédit hypothécaire) | 4,38% | 3,64% | 159 217 € |
| 500 000 € | A | XS2678226114 | Assabs | Institutionnel/Divers | 0,00% | 0,00% | 520 750 € |
| 500 000 € | BBB | FR001400LY92 | BNP Paribas | Banque | 2,12% | 1,84% | 514 400 € |
| 283 500 € | A | XS2697983869 | Esbire | Institutionnel/Divers | 85,53% | 24,03% | 293 054 € |
| 750 000 € | AA | FR001400CQ85 | Crédit Mutuel Arkéa | Banque mutualiste | 7,70% | 7,77% | 757 425 € |
| 500 000 € | A | FR001400I5S6 | Legrand | Industrie/Équipement | 14,6% | 11,9% | 511 400 € |
| 393 750 € | A | FR001400N277 | Schneider Electric | Industrie/Équipement | 22,00% | 28,00% | 395 601 € |
| 315 000 € | AA | FR001400EZL5 | Arkéa | Banque mutualiste | 7,70% | 7,77% | 321 190 € |
| 300 000 € | AA | XS2484327999 | Deutsche Bahn | Transport/Infrastructure | 70,10% | 67,20% | 285 975 € |
| 500 000 € | A | XS2593105393 | AstraZeneca | Santé | 2,00% | 0,00% | 508 350 € |
| 550 000 € | A | DE000A3LT431 | BMW | Automobile | 29,10% | 14,60% | 552 750 € |
| 400 000 € | A | XS2712746960 | Rabobank | Banque | 4,67% | 4,61% | 408 320 € |
| 504 000 € | A | XS2769892519 | Siemens | Industrie/Équipement | 18,20% | 25,40% | 509 746 € |
| 700 000 € | A | DE000CB0HRQ9 | Commerzbank | Banque | 3,59% | 3,33% | 680 050 € |
| 550 000 € | A | FR0014006XA3 | Société Générale | Banque | 1,88% | 1,40% | 521 400 € |
| 350 000 € | A | FR0014006IU2 | Société Générale | Banque | 1,88% | 1,40% | 338 870 € |

TABLE 6 – Portefeuille obligataire - Partie Corporate – informations principales (Nominal, Rating, ISIN, Émetteur, Secteur, Alignement CAPEX/CA 2024, Valeur au 31/12/2024), *Source Rapport Annuel, Bourse de Francfort*

F Calibrage Générateur de Scénarios Economiques

Données Les données couvrent l'évolution de l'inflation et des taux d'intérêt réels long et court terme. L'inflation est mesurée par l'Indice des Prix à la Consommation (Insee, Friggitt). Les taux nominaux proviennent de différentes sources selon les périodes : taux des obligations émises (1955-1959, Insee), TMEOG (1960-1988, Insee), TME (depuis 1989, Banque de France) pour les taux long terme ; day-to-day rate (1955-1997, Insee), taux moyen des prêts interbancaires (1998-2013, Banque de France), Euribor 1 mois (depuis 2014, Banque de France) pour les taux court terme.

Les taux réels sont calculés à partir des taux nominaux et de l'inflation selon la formule :

$$\text{Taux réel} = \frac{1 + \text{Taux nominal}}{1 + \text{Inflation}} - 1$$

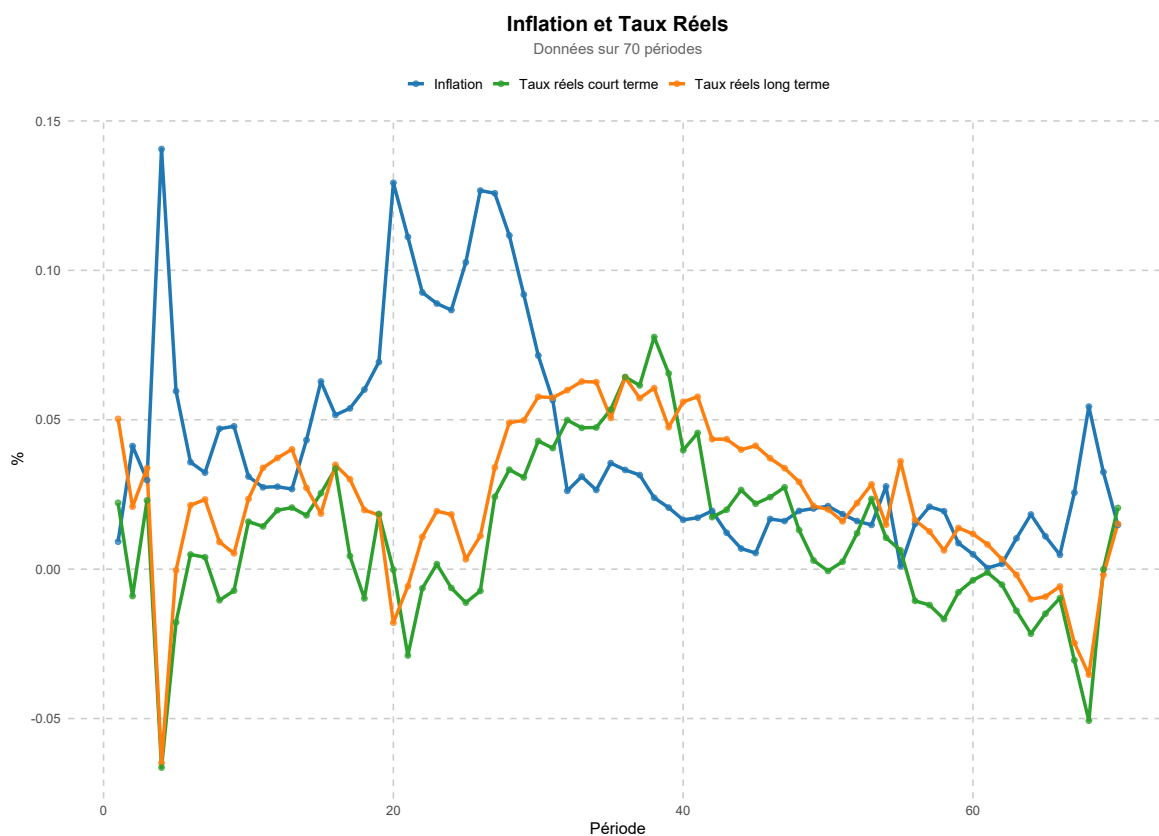


FIGURE 8 – Évolution de l'inflation et des taux réels long et court terme en France. On observe des pics d'inflation importants dans les années 1970-1980, générant des taux réels négatifs. Depuis les années 1990, l'inflation baisse et les taux réels long et court terme se stabilisent, reflétant une politique monétaire plus prévisible.

On voit sur la Figure 8 que les années 1970-1980 présentent de forts pics d'inflation entraînant des taux réels négatifs sur les deux horizons. Après 1990, la stabilisation de l'inflation permet aux taux réels long et court terme de converger et de rester positifs, illustrant un cadre monétaire plus stable et prévisible.

Inflation On estime les paramètres du modèle de la manière suivante :

$$Tx_Inflation_{t+1} = \alpha + \beta Tx_Inflation_t + \varepsilon_t$$

Le modèle est significatif et a un pouvoir explicatif correct, il valide presque tout les tests statistiques sauf la normalité des résidus,

TABLE 7 – Résultats des tests statistiques

| Test | Résultat | Interprétation |
|---------------------|---------------------------------|---|
| R^2 | 0.6449 | Pouvoir explicatif satisfaisant |
| Coefficient β | p-value $< 2 \times 10^{-16}$ | Variable explicative très significative |
| Fisher | p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ | Modèle significatif |
| Moyenne des résidus | ≈ 0 | Condition respectée |
| Jarque-Bera | p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ | Normalité rejetée |
| Breusch-Godfrey | p-value = 0.2831 | Pas d'autocorrélation de premier ordre |
| ARCH (ordre 1) | p-value = 0.0597 | Pas d'hétéroscédasticité au seuil 5% |

Pour ce qui est des paramètres du modèle, la moyenne long terme d'inflation semble élevé au vu de la politique monétaire de BCE, il est déjà question de cela dans [PLANCHET, THÉRON et KAMEGA \(2009\)](#), pour nos simulations, nous choisissons donc d'utiliser une inflation moyenne de 2%, étant l'objectif de la BCE.

TABLE 8 – Paramètres estimés du modèle d'inflation

| Paramètre | Valeur |
|--------------------------------|--------|
| Moyenne de long terme | 0.0410 |
| Vitesse de retour à la moyenne | 0.2213 |
| Volatilité du processus | 0.0235 |

Taux réels de long terme On estime les paramètres du modèle de la manière suivante :

$$Tx_{t+1}^{LT} = \alpha + \beta Tx_t^{LT} + \varepsilon_t$$

Le modèle est significatif, avec un pouvoir explicatif satisfaisant. Les principaux tests statistiques donnent les résultats suivants :

TABLE 9 – Résultats des tests statistiques – Taux réels long terme

| Test | Résultat | Interprétation |
|---------------------|----------------------------------|--|
| R^2 | 0.5223 | Pouvoir explicatif correct |
| Coefficient β | p-value = 2.36×10^{-12} | Très significatif |
| Fisher | p-value = 2.36×10^{-12} | Modèle globalement significatif |
| Moyenne des résidus | ≈ 0 | Condition respectée |
| Jarque-Bera | p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ | Normalité rejetée |
| Breusch-Godfrey | p-value = 0.1949 | Pas d'autocorrélation de premier ordre |
| ARCH (ordre 1) | p-value = 0.2512 | Pas d'hétéroscédasticité |

Les paramètres estimés sont les suivants :

TABLE 10 – Paramètres estimés du modèle des taux réels long terme

| Paramètre | Valeur |
|--------------------------------|--------|
| Moyenne de long terme | 0.0222 |
| Vitesse de retour à la moyenne | 0.3320 |
| Volatilité du processus | 0.0204 |

Taux réels de court terme On estime les paramètres du modèle de la manière suivante :

$$\Delta T x_{t+1}^{CT} = \alpha + \beta (\widehat{T x}_{t+1}^{LT} - T x_{t+1}^{CT}) + \varepsilon_t$$

Le modèle est significatif mais le pouvoir explicatif reste limité par rapport au cas du long terme. Les résultats des tests statistiques sont les suivants :

TABLE 11 – Résultats des tests statistiques – Taux réels court terme

| Test | Résultat | Interprétation |
|---------------------|--|--|
| R^2 | 0.1639 | Pouvoir explicatif faible |
| Coefficient β | Estimate = 0.3549, p-value = 0.00709 | Variable explicative significative |
| Fisher | F-statistic = 8.035, p-value = 0.00709 | Modèle globalement significatif |
| Moyenne des résidus | ≈ -0.0034 | Condition respectée |
| Jarque-Bera | p-value $< 2.2 \times 10^{-16}$ | Normalité rejetée |
| Breusch-Godfrey | p-value = 0.3754 | Pas d'autocorrélation de premier ordre |
| ARCH (ordre 1) | p-value = 0.851 | Pas d'hétéroscédasticité |

Les paramètres estimés sont les suivants :

TABLE 12 – Paramètres estimés du modèle des taux réels court terme

| Paramètre | Valeur |
|--------------------------------|---------|
| Vitesse de retour à la moyenne | 0.4384 |
| Volatilité du processus | 0.02017 |

Glossaire

| | |
|--------------|--|
| LEC | Loi Énergie-Climat |
| NFRD | Non-Financial Reporting Directive |
| TCFD | Task Force on Climate-related Financial Disclosures |
| FFA | Fédération Française de l'Assurance |
| GAR | Green Asset Ratio |
| CSRD | Corporate Sustainability Reporting Directive |
| ESMA | European Securities and Markets Authority |
| EBA | European Banking Authority |
| Capex | Capital Expenditure |
| Opex | Operating Expenditure |
| ESG | Environnemental, Social and Governance |
| SBTi | Science Based Targets initiative |
| EIOPA | European Insurance and Occupational Pensions Authority |
| SCR | Solvency Capital Requirement |
| ICP | Indicateur Clé de Performance |
| GSF | Green Supporting Factor |
| BSCR | Basic Solvency Capital Requirement |
| CDS | Credit Default Swap |
| PME | Petites et Moyennes Entreprises |
| CBI | Climate Bonds Initiative |
| ORSA | Own Risk and Solvency Assessment |
| NGFS | Network for Greening the Financial System |
| UC | Unités de Compte |
| ISR | Investissement Socialement Responsable |
| UE | Union Européenne |
| ALM | Asset and Liability Management |
| PER | Plan d'Épargne Retraite |
| GSE | Générateur de scénarios économiques |
| DNSH | Do No Significant Harm |
| BCE | Banque Centrale Européenne |

Table des figures

| | | |
|-----|---|-------|
| 1 | Indices obligataires verts contre indices obligataires non verts comparables (2019-2025) | ix |
| 2 | Évolution du ratio de Sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d’alignement du chiffre d’affaires du portefeuille | x |
| 3 | Émissions de gaz à effet de serre (tCO ₂ e par million de dollars de chiffre d’affaires) . | xi |
| 4 | Cascade de l’alignement : de 2023 à 2024 via les effets séquentiels | xii |
| 5 | Fonctions de choc : formule standard vs calibrage <i>Green Bonds</i> | xiii |
| 6 | Green bond indices versus comparable non-green bond indices (2019–2025) | xvi |
| 7 | Evolution of Sharpe ratio and portfolio concentration as a function of portfolio turnover alignment constraint | xvii |
| 8 | Greenhouse gas emissions (tCO ₂ e per million USD of turnover) | xviii |
| 9 | Alignment cascade : from 2023 to 2024 via sequential effects | xix |
| 10 | Shock functions : standard formula vs. Green Bond calibration | xx |
| 1.1 | Processus de Pilotage de l’Allocation d’Actifs | 7 |
| 1.2 | Graphique illustrant le fonctionnement d’un modèle ALM en assurance | 8 |
| 1.3 | Couverture croissante des pays par des taxonomies ou des cadres d’obligations durables, selon les économies avancées (AE) et les économies émergentes et en développement (EMDE). | 12 |
| 1.4 | Alignement à la taxonomie des portefeuilles d’obligations d’entreprises non financières et d’actions des assureurs de l’EEE | 14 |
| 1.5 | Ratio d’éligibilité à la taxonomie européenne par acteur. Source : Rapport LEC29 des principaux assureurs vie français en termes d’encours (NEXIALOG (2024)). | 15 |
| 1.6 | Processus de calcul du Green Investment Ratio (GIR) : de l’actif total en actif aligné. Source : AUTORITÉ DES MARCHÉS FINANCIERS (AMF) (2024) | 16 |
| 1.7 | Part des <i>Green Bonds</i> en Europe (<i>ICMA Green Bond Principles</i> et <i>CBI Climate Bond Standard</i>) (Source : European Environment Agency) | 20 |
| 1.8 | Marché des <i>Green Bonds</i> par pays d’émission (Source : Refinitiv, données de juillet 2025)) | 20 |

| | | |
|------|--|----|
| 1.9 | Marché des <i>Green Bonds</i> par devise d'émission (Source : Refinitiv, données de juillet 2025)) | 20 |
| 1.10 | Emissions d'obligation verte Européenne au 1 aout 2025 | 21 |
| 1.11 | Structure d'une émission obligataire avec les parties prenantes de la première émission EUGB d'un émetteur public : Île-de-France Mobilités. | 23 |
| 1.12 | Répartition géographique et typologie des investisseurs lors de l'émission d'obligations vertes européennes (EUGB) de janvier 2025. <i>Source : Communiqué d'Île-de-France Mobilités</i> | 24 |
| 2.1 | Répartition des placements des assureurs français hors UC par classe d'actifs (source : ACPR) | 27 |
| 2.2 | Répartition géographique de la poche actions des assureurs français hors UC (source : ACPR) | 27 |
| | 31figure.caption.61 | |
| 2.4 | Éligibilité et Alignement du CAC40 en termes de Capex en 2024 | 31 |
| 2.5 | Frontière efficiente des portefeuilles construits à partir des actions du CAC 40. | 36 |
| 2.6 | Portefeuilles efficients construits à partir des actions du CAC 40. | 37 |
| 2.7 | Évolution de la composition du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d'alignement CAPEX du portefeuille (optimisation au 31/12/2024) | 38 |
| 2.8 | Évolution du ratio de Sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaires du portefeuille | 39 |
| 2.9 | Évolution de la composition du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaires du portefeuille | 40 |
| 2.10 | Évolution du ratio de sharpe et de la concentration du portefeuille en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaire du portefeuille | 40 |
| 2.11 | Ratio de Sharpe du portefeuille tangent en fonction de l'alignement en termes de chiffre d'affaires et de CAPEX. | 41 |
| 2.12 | Évolution du portefeuille tangent en fonction de la contrainte d'alignement du chiffre d'affaires et du CAPEX du portefeuille | 42 |
| 2.13 | Évolution sectorielle en fonction des contraintes d'alignement | 43 |
| 2.14 | Émissions de gaz à effet de serre (tCO ₂ e par million de dollars de chiffre d'affaires) | 45 |
| 2.15 | Émissions de gaz à effet de serre (tCO ₂ e par million de dollars investis) | 46 |
| 2.16 | Exposition factorielle selon la contrainte d'alignement | 47 |
| 2.17 | Performance cumulée des portefeuilles | 48 |

| | | |
|------|--|-----|
| 3.1 | Part des investissements en <i>Green Bonds</i> dans le total des investissements des assureurs par trimestre. Source : QRT et Refinitiv, EIOPA Risk Dashboard | 52 |
| 3.2 | Illustration de la <i>greenium</i> selon la <i>Building Block Theory</i> : les obligations vertes présentent un rendement inférieur à celui des obligations traditionnelles de maturité similaire. | 53 |
| 3.3 | <i>Green spread</i> de la première émission verte allemande (09/2020 – 12/2024). Source : Agence financière fédérale allemande (<i>Deutsche Finanzagentur</i>) | 54 |
| 3.4 | Risques pris en compte dans la formule standard (EIOPA) | 56 |
| 3.5 | Paramètres de calcul du SCR de <i>spread</i> article 176 Règlement délégué COMMISSION EUROPÉENNE (2014) | 58 |
| 3.6 | Valeur de marché d'une obligation stressé en fonction du <i>rating</i> et de la duration | 58 |
| 3.7 | Méthodologie Indice Obligataire <i>Green</i> | 68 |
| 3.8 | Volume de <i>Green Bonds</i> par tranche de maturité et par <i>rating</i> | 69 |
| 3.9 | Indice <i>Green Bond</i> contre Indice Corporate (2019-2024) | 70 |
| 3.10 | Rendements glissants et <i>spread</i> des indices obligataires souverains et des indices obligataires verts | 73 |
| 3.11 | QQ-plot des distributions de <i>spreads</i> entre obligations souveraines et obligations vertes, par maturité (lignes) et par notation (colonnes). | 74 |
| 3.12 | VaR Cornish-Fisher 99,5% glissante sur obligations corporate avec fenêtre de 5 ans | 77 |
| 3.13 | Fonctions de choc : formule standard vs calibrage <i>Green Bonds</i> | 78 |
| 4.1 | Poche obligataire au sein des fonds en euros en France en 2022 (Source : Good Value for Money) | 81 |
| 4.2 | Poche obligataire du portefeuille en Valeur marché | 82 |
| 4.3 | Structure de flux du portefeuille obligataire | 82 |
| 4.4 | Évolution du SCR de <i>spread</i> en fonction de la part d'obligations vertes dans le portefeuille | 85 |
| 4.5 | Cascade du SCR global d'une compagnie d'assurance-vie mixte. Source : ACPR (2024) | 86 |
| 4.6 | Cascade du SCR marché. Source : AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION (ACPR) (2015) | 86 |
| 5.1 | Cascade de l'alignement : de 2023 à 2024 via les effets séquentiels | 93 |
| 5.2 | Structure du modèle intégré | 95 |
| 5.3 | Projection d'alignement sur la taxonomie verte et valeur du portefeuille à horizon 2035. | 99 |
| 4 | Éligibilité et alignement du CAC 40 en termes de dépenses opérationnelles en 2024 | 107 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5 | Les piliers du régime Solvabilité II Source : Cours « Solvabilité II » — Maryam Hariki, Kevin Ma | 109 |
| 6 | Illustration de la <i>Value-at-Risk</i> (VaR) avec une distribution normale | 113 |
| 7 | Domaine de validité Cornish–Fisher et positionnement des spreads verts | 118 |
| 8 | Évolution de l’inflation et des taux réels long et court terme en France. On observe des pics d’inflation importants dans les années 1970-1980, générant des taux réels négatifs. Depuis les années 1990, l’inflation baisse et les taux réels long et court terme se stabilisent, reflétant une politique monétaire plus prévisible. | 123 |

Liste des tableaux

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Propositions d'intégration des facteurs ESG et climatiques selon domaines clés | 10 |
| 1.2 | Comparaison des principaux standard pour les <i>Green Bonds</i> | 19 |
| 2.1 | Statistiques descriptives (%) | 32 |
| 2.2 | Métriques de performance annualisées des portefeuilles et du <i>benchmark</i> (Période : 01/01/2025 au 30/06/2025) | 50 |
| 3.1 | Comparaison des principaux <i>spread</i> de crédit | 59 |
| 3.2 | Comparaison des <i>spreads</i> selon les critères clés | 60 |
| 3.3 | Statistiques descriptives et VaR historique (99,5 %) sur 1999–2009 | 63 |
| 3.4 | VaR de Cornish–Fisher (99,5 %) | 63 |
| 3.5 | Données initiales et corrigées EIOPA pour les émetteurs A | 64 |
| 3.6 | VaR à 1 an (99,5 %) Cornish-Fisher des sous-indices Merrill Lynch Euro Corporates corrigées sur les titres notés A (du 31/12/1998 au 31/07/2009) | 64 |
| 3.7 | VaR après correctifs du <i>rating</i> A selon le <i>rating</i> et la maturité | 64 |
| 3.8 | Calibrage linéaire des coefficients a_i et b_i selon la tranche de maturité | 65 |
| 3.9 | Paramètres a_i et b_i pour différentes durées et qualités de crédit | 65 |
| 3.10 | Valeurs de stress (%) selon la sensibilité | 66 |
| 3.11 | Maximum <i>drawdown</i> par <i>rating</i> et maturité entre janvier 2019 et décembre 2024 . . . | 71 |
| 3.12 | Rendement annualisé sur 5 ans par <i>rating</i> et maturité entre janvier 2019 et décembre 2024 | 72 |
| 3.13 | VaR historique à 99,5 % des <i>spreads</i> de rendement annualisé glissant par <i>rating</i> et maturité de janvier 2019 à décembre 2024 | 74 |
| 3.14 | VaR à 99,5 % des <i>spreads</i> de rendement annualisé glissant par <i>rating</i> et maturité (méthode Cornish-Fisher) de janvier 2019 à décembre 2024 | 75 |

| | | |
|------|--|-----|
| 3.15 | VaR à 99,5 % des <i>spreads</i> de rendement annualisé glissant par <i>rating</i> et maturité (méthode Cornish-Fisher, après application de la prudence) de janvier 2019 à décembre 2024 | 75 |
| 3.16 | Paramètres a_i et b_i recalibrés (2019–2024) pour les obligations <i>green</i> | 77 |
| 3.17 | Valeurs de stress (%) par sensibilité, <i>rating</i> et type (Green vs Standard) | 79 |
| 4.1 | Portefeuille obligataire – TRI, duration et répartition par notation | 83 |
| 4.2 | Matrice de corrélation du BSCR. | 86 |
| 4.3 | Matrice de corrélation du SCR Marché. | 86 |
| 4.4 | Comparaison ACPR, calcul brut et rééchelonnement | 87 |
| 4.5 | Comparaison ACPR, calcul brut et ajusté proportionnel (SCR=100). | 87 |
| 4.6 | SCR selon la part verte dans les obligations | 88 |
| 5.1 | Obligations labellisées EUGB émises au 1 ^{er} août 2025 (Sources : sites des émetteurs, banques chefs de file de l'émission, Bourse de Francfort, calculs auteur) | 90 |
| 5.2 | Décomposition des effets contribuant à l'évolution de l'alignement | 93 |
| 3 | Résumé des tests statistiques pour évaluer la robustesse du modèle de régression | 105 |
| 4 | Bêtas calibrés sur l'historique avec le modèle CAPM | 106 |
| 5 | Correspondance des notations de crédit entre agences | 114 |
| 6 | Portefeuille obligataire - Partie Corporate – informations principales (Nominal, Rating, ISIN, Émetteur, Secteur, Alignement CAPEX/CA 2024, Valeur au 31/12/2024), <i>Source Rapport Annuel, Bourse de Francfort</i> | 122 |
| 7 | Résultats des tests statistiques | 124 |
| 8 | Paramètres estimés du modèle d'inflation | 124 |
| 9 | Résultats des tests statistiques – Taux réels long terme | 124 |
| 10 | Paramètres estimés du modèle des taux réels long terme | 125 |
| 11 | Résultats des tests statistiques – Taux réels court terme | 125 |
| 12 | Paramètres estimés du modèle des taux réels court terme | 125 |

Bibliographie

- ABITBOL, M.-D. (2023). « Recalibrage des chocs de la formule standard pour les risques de marché ». Mémoire de master. ISUP.
- ACPR (2024). *Chiffres du marché français de la banque et de l'assurance 2023 – Rapport statistique annuel*. Banque de France.
- AHLGRIM, Kevin C., Stephen P. D'ARCY et Richard W. GORVETT (2005). « Modeling of Economic Series Coordinated with Interest Rate Scenarios ». In : *Proceedings of the Casualty Actuarial Society* XCII, p. 177-238. URL : https://www.casact.org/sites/default/files/database/proceed_proceed05_05187.pdf.
- ALESSI, Lucia et Stefano BATTISTON (2022). « Two sides of the same coin : Green Taxonomy alignment versus transition risk in financial portfolios ». In : *International Review of Financial Analysis* 84, p. 102319. ISSN : 1057-5219. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102319>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1057521922002708>.
- ANDRÉ, Jerome (2024). « Surprise ! Portfolio decarbonization does not (necessarily) lead to economy decarbonization ». Manuscrit inédit, Laboratoire d'Économie de Dauphine, DIAL-IRD.
- AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION (ACPR) (2020). *Scénarios et hypothèses principales de l'exercice pilote climatique*. Rapport technique. URL : <https://acpr.banque-france.fr/scenarios-et-hypotheses-principales-de-l'exercice-pilote-climatique>.
- AUTORITÉ DE CONTRÔLE PRUDENTIEL ET DE RÉOLUTION (ACPR) (déc. 2015). *Analyse de l'exercice 2015 de préparation à Solvabilité II*. Note d'analyse n°56. Autorité de contrôle prudentiel et de résolution. URL : https://acpr.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/20151222_as56-analyse-de-l'exercice-2015-de-preparation-a-solvabiliteii.pdf.
- AUTORITÉ DES MARCHÉS FINANCIERS (AMF) (2024). *Étude sur le reporting Taxonomie des sociétés financières cotées*. <https://www.amf-france.org/sites/institutionnel/files/private/2024-12/etude-sur-le-reporting-taxonomie-des-societes-financieres.pdf>.
- BARNDORFF-NIELSEN, Ole E. et David R. COX (1989). *Asymptotic techniques for use in statistics*. Monographs on Statistics and Applied Probability. London ; New York : Chapman et Hall. ISBN : 0412314002.
- BERARD, A. (2023). « Comment la prise en compte du risque de transition impacte-t-elle l'actif d'un assureur vie ? » Mémoire de master. Université Paris Dauphine.

- BERG, Florian, Julian F. KÖLBEL et Roberto RIGOBON (2022). « Aggregate Confusion : The Divergence of ESG Ratings ». In : *Review of Finance* 26.6, p. 1315-1344. DOI : [10.1093/rof/rfab054](https://doi.org/10.1093/rof/rfab054). URL : <https://academic.oup.com/rof/article/26/6/1315/6590670>.
- BLACK, Fischer et Robert LITTERMAN (1992). « Global Portfolio Optimization ». In : *Financial Analysts Journal* 48.5, p. 28-43. ISSN : 0015198X. URL : <http://www.jstor.org/stable/4479577>.
- BOLTON, Patrick, Marcin KACPERCZYK et Frédéric SAMAMA (2022). « Net-Zero Carbon Portfolio Alignment ». In : *Financial Analysts Journal* 78.2, p. 19-33. DOI : [10.1080/0015198X.2022.2033105](https://doi.org/10.1080/0015198X.2022.2033105). URL : <https://doi.org/10.1080/0015198X.2022.2033105>.
- CANO, Guillermo et Saurabh KATIYAR (déc. 2021). *Net-Zero Alignment : Portfolio Construction Approaches for Investors*. Research Insights. MSCI ESG Research LLC. URL : <https://www.msci.com/documents/10199/6e5fd0b5-2d0a-e928-2b34-415dd31e464a>.
- CASTREN, Olli et Riccardo RUSSO (2024). *Green-Supporting Factors, Brown-Penalising Factors and the Prudential Framework*. Rapp. tech. EBA Staff Paper No. 19. European Banking Authority. URL : https://www.eba.europa.eu/sites/default/files/2024-08/f8a17406-92dd-4ec4-9675-c251a8f8b9a4/Staff%20paper_Green-supporting%20factors%20brown-penalising%20factors%20and%20the%20prudential%20framework.pdf.
- CEIOPS (2009). *Draft CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II : SCR Standard Formula Article 109b – Calibration of Market Risk Module*. Consultation Paper. Committee of European Insurance et Occupational Pensions Supervisors.
- CHAUMIEN-HETROY, I. (2016). « Modélisation du risque de spread et du risque souverain dans le cadre de l'ORSA ». Mémoire d'actuaire. CEA.
- COMMISSION EUROPÉENNE (2014). *Règlement délégué (UE) 2015/35 de la Commission du 10 octobre 2014 complétant la directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II)*. URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32015R0035>.
- CORNISH, E. A. et Ronald A. FISHER (1938). « Moments and Cumulants in the Specification of Distributions ». In : *Revue de l'Institut International de Statistique / Review of the International Statistical Institute* 5.4, p. 307-320. DOI : [10.2307/1400905](https://doi.org/10.2307/1400905). URL : <https://www.jstor.org/stable/1400905>.
- DEBERNARDI, Anthony (2014). « Estimation infra-annuelle d'un ratio de couverture Solvabilité II ». Mém. de mast. ISFA.
- DEMORGNY, A.-S. (2021). « Identification des facteurs du risque de transition à intégrer dans la gestion des risques d'un portefeuille d'investissements d'un assureur vie ». Mémoire de master. Institut du Risque Management (IRM).
- DERREAL, A. (2023). « Intégration du risque de transition climatique dans l'ORSA d'un assureur vie : Approche méthodologique ». Mémoire de master. Université Paris Dauphine.
- EUROPEAN BANKING FEDERATION (2024). *Green Asset Ratio cannot be to sustainability what CET1 is to capital*. Position paper. URL : <https://www.ebf.eu/wp-content/uploads/2024/01/Green-Asset-Ratio-January-2024-002-2.pdf>.
- EUROPEAN CENTRAL BANK (2021). *Climate-related Risk and Financial Stability*. Rapp. tech.

- EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS AUTHORITY (EIOPA) (2021). *Insurers' Sustainability Reporting : EIOPA's Technical Advice on Key Performance Indicators under Article 8 of the Taxonomy Regulation*. Rapport technique. URL : <https://www.eiopa.europa.eu/system/files/2021-03/eiopa-21-184-sustainability-non-financial-reporting-advice-art8-taxonomy-regulation.pdf>.
- (2024a). *Factsheet on EEA Insurance Investments and EU Taxonomy Alignment*. Factsheet. URL : https://www.eiopa.europa.eu/document/download/ecab0fde-15da-4546-a234-0126d8624eb2_en?filename=Factsheet%20-%20Insurance%20Green%20investments%202024.pdf.
- (nov. 2024b). *Prudential Treatment of Sustainability Risks Report*. Technical Report. URL : https://www.eiopa.europa.eu/publications/final-report-prudential-treatment-sustainability-risks-insurers_en.
- FAMA, Eugene F. et Kenneth R. FRENCH (1993). « Common risk factors in the returns on stocks and bonds ». In : *Journal of Financial Economics* 33.1, p. 3-56. ISSN : 0304-405X. DOI : [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(93\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0304-405X(93)90023-5). URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0304405X93900235>.
- FATICA, Serena et Roberto PANZICA (2020). *Green bonds as a tool against climate change ? JRC Working Papers in Economics and Finance*. Joint Research Centre, European Commission. DOI : [10.2760/24092](https://doi.org/10.2760/24092).
- (2024). « Sustainable investing in times of crisis : Evidence from bond holdings and the COVID-19 pandemic ». In : *Journal of Banking Finance* 166, p. 107238. ISSN : 0378-4266. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2024.107238>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426624001559>.
- FLAMMER, Caroline (2021). « Corporate green bonds ». In : *Journal of Financial Economics* 142.2, p. 499-516. ISSN : 0304-405X. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X21000337>.
- FRANCONY, C. (2024). « Intégration du risque climatique dans les scénarios risque-neutre des trajectoires actions ». Mémoire de master. ENSAE.
- HIGH-LEVEL EXPERT GROUP ON SUSTAINABLE FINANCE (2018). *Financing a Sustainable European Economy*. URL : https://finance.ec.europa.eu/system/files/2018-01/180131-sustainable-finance-final-report_en.pdf.
- HILARIO-CABALLERO, Adolfo et al. (2020). « Tri-Criterion Model for Constructing Low-Carbon Mutual Fund Portfolios : A Preference-Based Multi-Objective Genetic Algorithm Approach ». In : *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17.17. ISSN : 1660-4601. DOI : [10.3390/ijerph17176324](https://doi.org/10.3390/ijerph17176324). URL : <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/17/6324>.
- HM TREASURY (2024). *UK Green Taxonomy Consultation Response*.
- KHOUEIRY, E. (2022). « Prise en compte des risques de durabilité dans le calcul du capital de solvabilité requis sous Solvabilité II ». Mémoire de master. ISUP.
- LARCKER, David F. et Edward M. WATTS (2020). « Where's the greenium? » In : *Journal of Accounting and Economics* 69.2, p. 101312. ISSN : 0165-4101. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2020.101312>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165410120300148>.

-
- LE DOUSSAL, A. (2024). « Intégration des critères ESG pour l'allocation d'actifs d'un assureur santé ». Mémoire de master. Université Paris Dauphine.
- LE GUENEDAL, Théo et Thierry RONCALLI (2022). *Portfolio Construction with Climate Risk Measures*. SSRN Working Paper. Available at SSRN : <https://ssrn.com/abstract=3999971> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3999971>. DOI : 10.2139/ssrn.3999971. URL : <https://ssrn.com/abstract=3999971>.
- LINTNER, John (1965). « The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets ». In : *The Review of Economics and Statistics* 47.1, p. 13-37. ISSN : 00346535, 15309142. URL : <http://www.jstor.org/stable/1924119>.
- MAILLARD, Didier (déc. 2020). « A User's Guide to the Cornish Fisher Expansion ». Preprint, HAL archive. URL : <https://hal.science/hal-02987694>.
- MARKOWITZ, Harry (1952). « Portfolio Selection ». In : *The Journal of Finance* 7.1, p. 77-91. ISSN : 00221082, 15406261. URL : <http://www.jstor.org/stable/2975974>.
- MCKINSEY (2022). *The Net-Zero Transition : What It Would Cost, What It Could Bring*. McKinsey Global Institute. URL : <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring#/>.
- NEXIALOG (2024). *Analyse des rapports Art. 29 LEC 2023 et 2024 : Benchmark des pratiques de durabilité des 23 plus grands assureurs vie*. URL : <https://www.nexialog.com/publication/analyse-des-rapports-article-29-lec-loi-energie-climat-2023-et-2024/>.
- OULID AZOUZ, N. (2023). « Net Zero Investment Portfolios ». Mémoire de master. ENSAE.
- PARLEMENT EUROPÉEN (2009). *Directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II)*. URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32009L0138>.
- PEDERSEN, Lasse Heje, Shaun FITZGIBBONS et Lukasz POMORSKI (2021). « Responsible investing : The ESG-efficient frontier ». In : *Journal of Financial Economics* 142.2, p. 572-597. ISSN : 0304-405X. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2020.11.001>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X20302853>.
- PIETSCH, Allegra et Dilyara SALAKHOVA (sept. 2022). *Pricing of Green Bonds : Drivers and Dynamics of the Greenium*. ECB Working Paper Series 2728. European Central Bank. DOI : 10.2139/ssrn.4227559. URL : <https://doi.org/10.2139/ssrn.4227559>.
- PLANCHET, F., P. THÉRON et M. JUILLARD (2011). *Modèles financiers en assurance : Analyses de risque dynamiques*. Éditions Economica.
- PLANCHET, F., P. THÉRON et A. KAMEGA (2009). *Scénarios économiques en assurance : Modélisation et simulation*. Économica.
- POURSOLEYMAN, Ehsan et al. (2022). « Business sustainability performance and corporate financial performance : The mediating role of optimal investment ». In : *Managerial Finance* 48.2, p. 348-369. DOI : 10.1108/MF-01-2021-0040. URL : <https://doi.org/10.1108/MF-01-2021-0040>.
-

- QUEFFEULOU, S. (2023). « Introduction de critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs ». Mémoire de master. EURIA.
- RONCALLI, Thierry (2025). *Handbook of Sustainable Finance*. Lecture notes, University Paris-Saclay, ENSAE and Sorbonne University. DOI : [10.2139/ssrn.4277875](https://doi.org/10.2139/ssrn.4277875).
- SHARPE, William F. (1964). « Capital Asset Prices : A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk ». In : *The Journal of Finance* 19.3, p. 425-442. ISSN : 00221082, 15406261. URL : <http://www.jstor.org/stable/2977928>.
- TOBIN, J. (1958). « Liquidity Preference as Behavior Towards Risk ». In : *The Review of Economic Studies* 25.2, p. 65-86. ISSN : 00346527, 1467937X. URL : <http://www.jstor.org/stable/2296205>.
- TREYNOR, Jack L. (1961). *Market Value, Time, and Risk*.
- WU, L. (2022). « Optimisation de l'allocation d'actifs sous le risque de transition climatique, dans le cadre d'un exercice pilote climatique ». Mémoire de master. ISUP.