



Mémoire présenté devant le jury de l'EURIA en vue de l'obtention du
Diplôme d'Actuaire EURIA
et de l'admission à l'Institut des Actuares

le 8 Septembre 2023

Par : Solène QUEFFEULOU

Titre : Introduction de critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs

Confidentialité : Non

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

**Membre présent du jury de l'Institut
des Actuares :**

David DUBOIS

Florence PICARD

Baptiste YON

Signature :

Entreprise :

Périclès Actuarial

Signature :

Membres présents du jury de l'EURIA : Directeur de mémoire en entreprise :

Rainer BUCKDAHNS

Pierre-Alexandre ETIENNE

Signature :

Invité :

Jérôme SPAGNOL

Signature :

**Autorisation de publication et de mise en ligne sur un site de diffusion
de documents actuariels**

(après expiration de l'éventuel délai de confidentialité)

Signature du responsable entreprise :

Signature du candidat :

Résumé

Depuis une dizaine d'années, les réglementations sur la finance durable se sont multipliées. L'un des objectifs de ces réglementations est de réorienter les capitaux vers des activités dites durables, qui contribueront à une meilleure gestion des risques climatiques et une transition vers plus de sobriété.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce mémoire. L'intention est d'étudier l'impact de l'intégration de critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs d'une compagnie d'assurance vie. Pour ce faire, deux indices seront construits pour projeter les actions, un indice ESG et un autre non ESG, afin de déterminer si leur prise en compte dans l'allocation d'actif contribue à une amélioration du couple rendement / risque.

La première partie de ce mémoire présente le contexte climatique et les enjeux pour le secteur assurantiel.

La deuxième partie concerne la création d'un indice ESG et d'un indice non ESG qui serviront à projeter les actions. Pour effectuer cela, des méthodes de *clustering* ont été mises en place et ont conduit au regroupement des entreprises en deux groupes : un grand groupe avec la majorité des entreprises et un groupe plus petit avec des entreprises non ESG. A la suite de ce regroupement les deux indices ont pu être construits.

Enfin, la troisième partie porte sur l'allocation stratégique d'actifs. Le bilan d'une compagnie d'assurance sera projeté, une frontière efficiente en univers monde réel sera tracée afin de déterminer les allocations optimales qui seront ensuite analysées lors d'une étude type ORSA.

Mots clefs: Allocation stratégique d'actifs, ESG, Construction d'indice, Changement climatique, Classification

Abstract

Over the last ten years, regulations on sustainable finance have proliferated. One of the aims of these regulations is to redirect capital towards so-called sustainable activities, which will contribute to better climate risk management and a transition towards greater sobriety.

It is in this context that this thesis is written. The intention is to study the impact of integrating ESG criteria into strategic asset allocation. To this end, two indices will be constructed to project equities, one ESG and the other non-ESG, in order to determine whether their inclusion in asset allocation contributes to an improvement in the risk/return trade-off.

The first part of this thesis presents the climate context and the issues at stake for the insurance sector.

The second part concerns the creation of an ESG index and a non-ESG index that will be used to project assets. To achieve this, clustering methods were implemented, leading to the grouping of companies into two groups : a large group with the majority of companies, and a smaller group with non-ESG companies. Following this grouping, the two indices were constructed.

Finally, the third part deals with strategic asset allocation. The balance sheet of a fictitious insurance company will be projected, and an efficient frontier will be drawn in order to determine optimal allocations, which will then be analyzed.

Keywords: Strategic asset allocation, ESG, Index construction, Climate change, Clustering

Note de Synthèse

Contexte et démarche

La prise de conscience des impacts du changement climatique sur le secteur assurantiel a conduit à une mobilisation croissante des acteurs et des autorités de contrôle. Dans ce contexte, les réglementations autour de ces sujets se multiplient et des exercices climatiques sont mis en place afin d'évaluer l'impact du réchauffement climatique, de sensibiliser le secteur à ces risques et d'améliorer la gestion de ces derniers.

Dans ce contexte de mobilisation croissante, de nombreux outils ont émergé. Les notes, labels et critères ESG servent à évaluer les performances en termes de durabilité et de responsabilité sociale d'une entreprise. Ils permettent ainsi aux investisseurs et aux consommateurs d'avoir à leur disposition un certain nombre de renseignements pour qu'ils puissent prendre une décision informée sur la façon dont ces éléments sont gérés.

L'émergence des critères ESG, conjuguée aux réglementations encourageant leur prise en compte, conduit à l'établissement d'une "nouvelle classe d'actifs" : les actions ESG.

L'objet de ce mémoire est d'étudier l'intérêt, en termes de performance et de risque, de l'intégration des critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs, via une segmentation au sein de la classe action.

Pour effectuer cela, l'approche adoptée consistera à créer deux indices qui serviront à projeter les actions. Ensuite, différentes allocations comportant des proportions variées d'action ESG et non ESG seront analysées.

Construction des indices actions

Le périmètre de ce mémoire porte sur les principales entreprises européennes. A l'issue du traitement des données, 106 entreprises sont retenues pour l'analyse. Pour chacune de ces entreprises, nous disposons d'un ensemble de données comprenant l'historique des cours boursiers ainsi que cinq variables ESG.

Afin de construire les deux indices actions, des méthodes de *clustering* ont été mises en place pour regrouper les entreprises selon des groupes homogènes d'un point de vue ESG.

Les analyses ont conduit à retenir la méthode des *k-means*. Toutefois, les résultats découlant de cette méthode dépendent du positionnement initial des points et nécessitent la spécification préalable du nombre de classes. Pour pallier ces limites, des méthodes visant à évaluer la qualité du regroupement et à déterminer le nombre optimal de classes ont été mises en œuvre.

Les résultats de l'ACP ont été utilisés en entrée des *k-means* afin d'éviter les problèmes liés aux corrélations. Cette méthode permet également d'améliorer la stabilité des résultats.

Les coefficients de Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin ont ensuite été calculés pour déterminer le nombre de classe optimal.

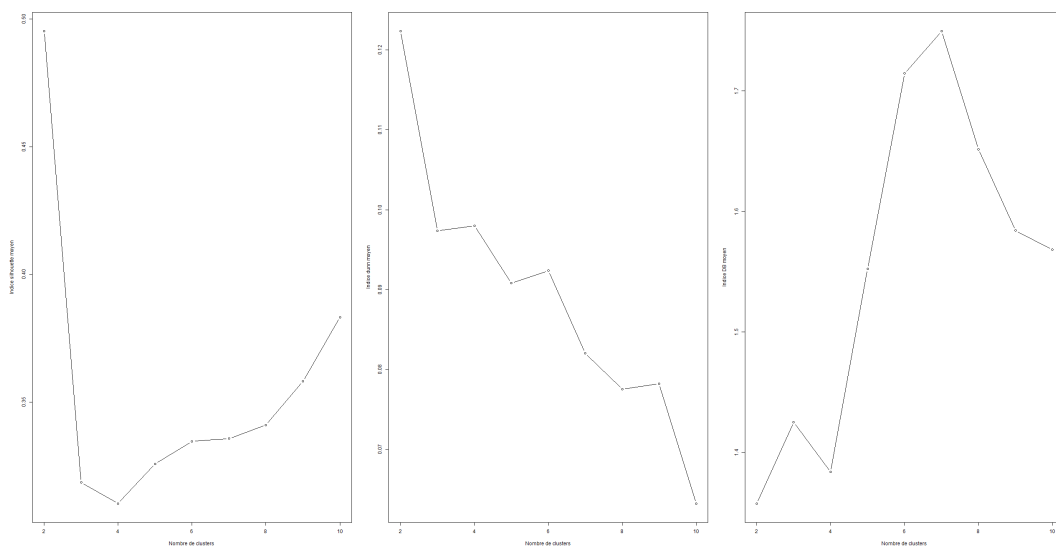


FIGURE 1 – Indice Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin moyen

A l'issue de ce regroupement, trois résultats sont possibles avec un nombre d'entreprise non ESG variant entre 11 et 18.

Suite à une analyse approfondie de ces trois classifications, le choix s'est porté sur le regroupement qui comprend 18 entreprises non ESG ainsi que 88 entreprises ESG. La classification finale représentée sur le premier plan principale est exposée ci-dessous :

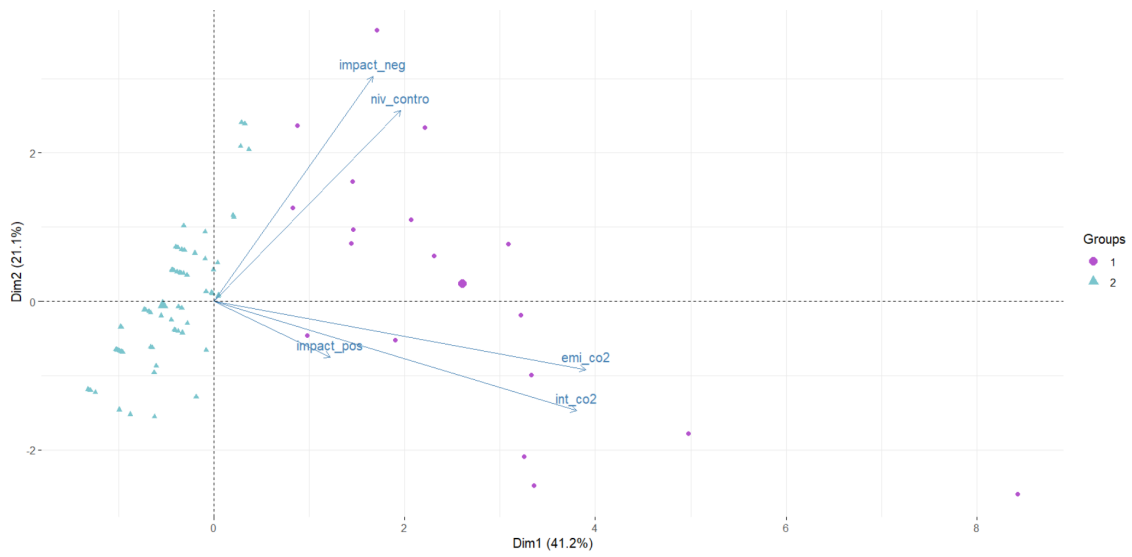


FIGURE 2 – Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 2

A partir de ces résultats, les deux indices ont pu être construits et étudiés.

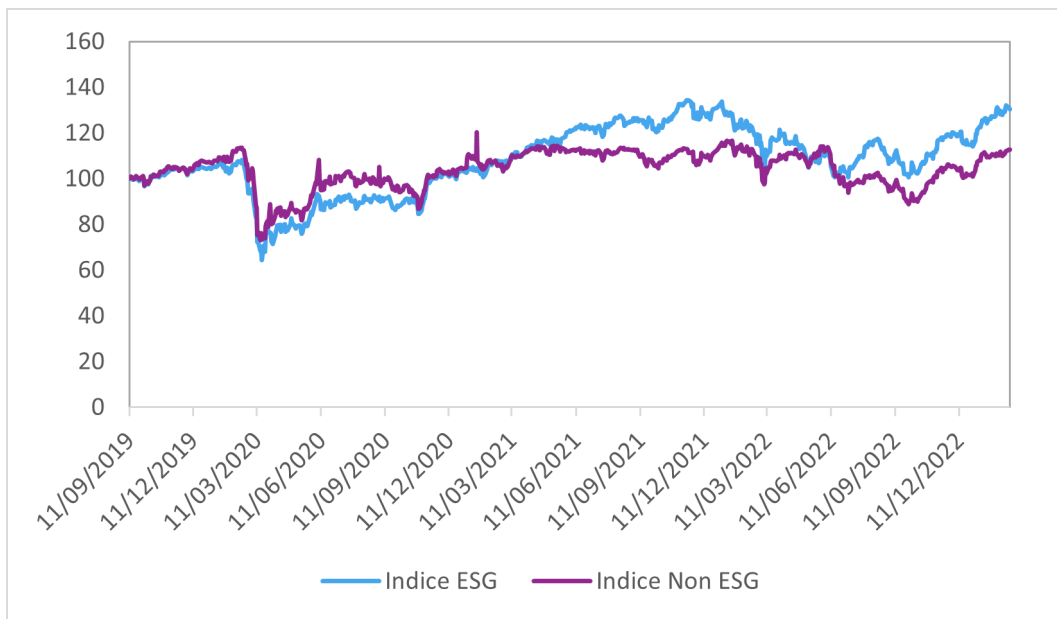


FIGURE 3 – Comparaison indice ESG et indice non ESG

Les deux indices suivent des tendances similaires avec une baisse en mars 2020 due à la crise du Covid et cette chute est légèrement plus prononcée pour l'indice ESG. Une surperformance de ce dernier est ensuite observée ainsi que des fluctuations plus mar-

quées, indiquant une volatilité plus élevée de l'indice ESG.

Cela est confirmé par le calcul de la volatilité annualisée et de la performance annuelle moyenne :

	Volatilité annualisée	Performance annuelle moyenne
Indice ESG	24,90%	7,09%
Indice non ESG	23,32%	3,34%

FIGURE 4 – Indicateurs de risque et de performance

Ces indicateurs ont ensuite été utilisés lors de l'allocation stratégique d'actifs afin de modéliser les deux indices actions.

Allocation stratégique d'actifs

L'allocation stratégique d'actifs est réalisée sur un portefeuille réel d'une compagnie d'assurance vie qui propose des produits épargnes et retraites et dont les données ont été anonymisées. Un large panel d'actifs a été testé au sein des allocations.

Une première analyse a été réalisée en univers monde réel sur 144 allocations. Afin d'éviter les forts changements au sein du portefeuille lors de la première année, la réallocation a été effectuée sur une période de 3 ans.

L'objectif était d'obtenir une frontière efficiente. Pour ce faire, les indicateurs de performance et de risques étaient respectivement, une moyenne et un quantile à 5% de la somme des produits financiers sur 5 ans et des plus ou moins values latentes R343-10 à 5 ans.

La frontière efficiente obtenue est représentée sur le graphique ci-dessous :

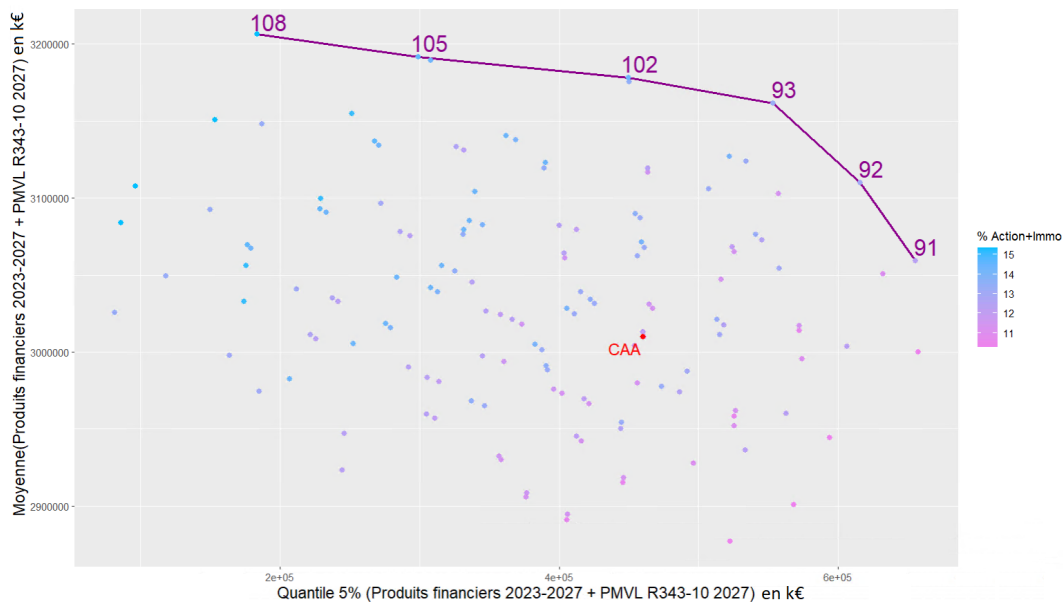


FIGURE 5 – Frontière efficiente

La frontière est inversée par rapport à une frontière de Markovitz classique car l'indicateur de risque utilisé est le quantile d'un gain et non pas l'écart-type. Par ailleurs, le point CAA (*Current Asset Allocation*) correspond à l'allocation initiale.

Six allocations efficientes sont identifiées. L'allocation 102 permet d'optimiser le rendement tout en maintenant un niveau de risque équivalent à l'allocation initiale. Les allocations 91, 92 et 93 sont prudentes, elles permettent de réduire le risque. De leur côté, les allocations 105 et 108 maximisent le rendement.

La nette différence de performance entre les deux indices actions s'est reflétée lors de l'allocation stratégique d'actifs où une préférence a été accordée à la classe ESG plutôt qu'à la classe non ESG.

Une deuxième analyse a ensuite été effectuée afin d'évaluer les impacts Solvabilité 2 sur ces allocations. Une projection type ORSA en déterministe monde réel sur 5 ans, puis stochastique risque neutre a donc été réalisée. Le SCR a été calculé ainsi qu'une série d'indicateurs complémentaires.

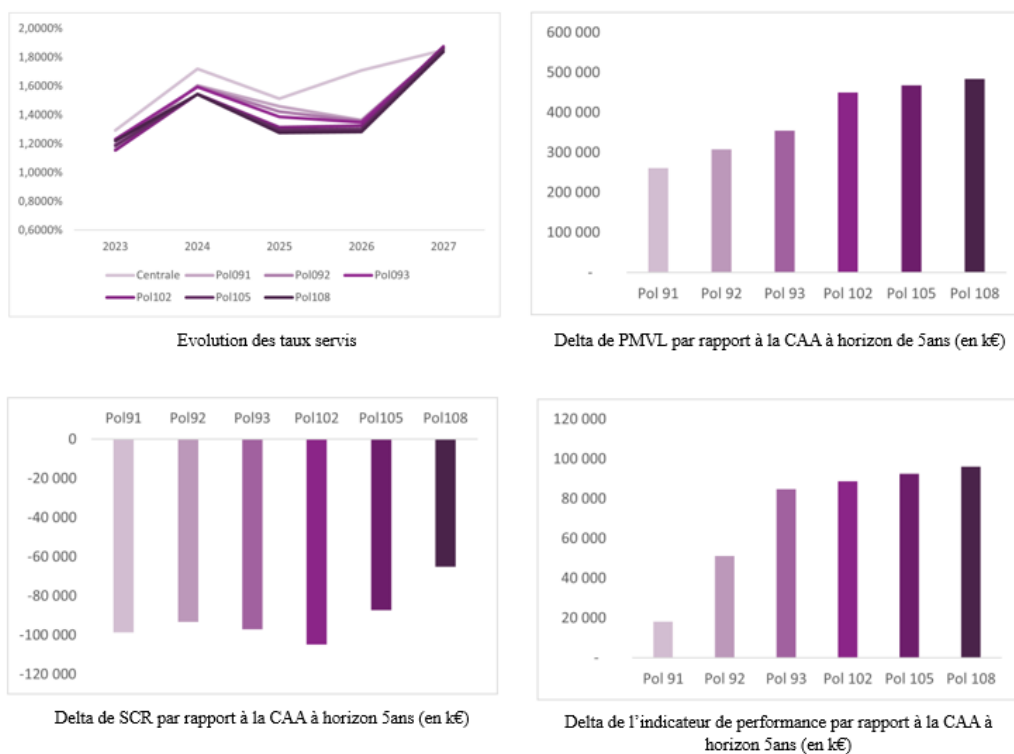


FIGURE 6 – Evolution des indicateurs

De nombreux indicateurs ont été analysés comme les SCR, les taux servis ou encore les PMVL qui conduisent à préconiser les allocations 93 et 102. En effet, l'allocation 102 est celle qui conduit au meilleur gain de SCR. Elle permet également d'améliorer la performance tout en maintenant un niveau de risque équivalent à la CAA. De son côté, l'allocation 93 permet de réduire le risque par rapport à la CAA en ne diminuant que légèrement la performance par rapport à l'allocation 102. Par ailleurs, le gain en SCR reste très important et le taux servis est légèrement plus important notamment sur les trois premières années.

Conclusion

La mise en oeuvre de méthodes de classification a permis de regrouper les entreprises selon deux groupes distincts : l'un ESG et l'autre non ESG. Cette segmentation a servi de base pour la création de deux indices boursiers qui ont ensuite été utilisés lors de l'allocation stratégique d'actifs.

Cette étude montre qu'il est possible de construire de manière objective des indices très différents en se basant sur des variables ESG. Cette distinction élargit les perspectives en matière d'allocation stratégique d'actifs, en créant un levier d'action additionnel

et en permettant d'effectuer des combinaisons d'actifs supplémentaires, pour obtenir de nouvelles opportunités de performance. Par ailleurs, les compagnies d'assurance pourraient mettre en œuvre cette approche en l'adaptant à leurs propres portefeuilles.

Certaines limites ont néanmoins été mise en évidence et pourraient faire l'objet d'une étude supplémentaire.

Tout d'abord, l'horizon temporel pour les données boursières est restreint et comprend les récentes périodes de crises (Covid et guerre en Ukraine). Ensuite les données extra-financières proviennent d'un unique fournisseur et une analyse des éventuelles divergences de regroupement en fonction des fournisseurs aurait pu être intéressante. De plus, l'analyse pourrait être enrichie en incluant un plus grand nombre de variables ESG. Cependant, il est à noter que l'utilisation de données publiques dans le cadre de cette étude est intéressante pour la reproductibilité de l'analyse.

Ensuite, il est important de noter que la diversification au sein des deux indices constitue une limite à prendre en considération. En entreprenant une évaluation plus approfondie de cette diversification, il serait possible de réduire l'impact de ces biais potentiels. Cette démarche renforcerait la faisabilité de l'approche pour les compagnies, en leur permettant d'avoir une vision plus claire des risques et des rendements.

Toutefois, bien que certaines limites puissent être présentes, les résultats de cette étude suggèrent que l'intégration de critères ESG en segmentant les actions selon deux groupes différents semble tout de même intéressante. Cette approche pourrait ainsi être adoptée par les compagnies d'assurances.

Par ailleurs, cette méthode pourrait également être mise en place dans le cadre d'un ORSA en choquant notamment les actions ESG et les actions non ESG de manière différente.

Executive Summary

Context and approach

Growing awareness of the impact of climate change on the insurance industry has led to increasing mobilization on the part of players and supervisory authorities. Against this backdrop, regulations surrounding these issues are multiplying, and climatic exercises are being set up to assess the impact of global warming, raise awareness of these risks within the sector and improve risk management.

Against this backdrop of growing mobilization, a number of tools have emerged. ESG ratings, labels and criteria are used to assess a company's performance in terms of sustainability and social responsibility. In this way, these tools provide investors and consumers with the information they need to make informed decisions about how these aspects are managed.

The emergence of ESG criteria, combined with regulations encouraging them to be taken into account, has led to the establishment of a "new asset class" : ESG equities.

The aim of this thesis is to study the benefits, in terms of performance and risk, of integrating ESG criteria into strategic asset allocation, via segmentation within the equity class.

To achieve this, the approach adopted will consist of creating two indices, which will be used to project equities. Different allocations with varying proportions of ESG and non-ESG stocks will then be analyzed.

Equity index construction

The scope of this report covers the biggest European companies. Following data processing, 106 companies were selected for analysis. For each of these companies, we have a dataset comprising historical share prices and five ESG variables.

In order to construct the two equity indices, clustering methods were used to group companies into homogeneous groups from an ESG point of view.

The analyses led to the use of the k-means method. However, the results of this method depend on the initial positioning of the points and require prior specification of the number of classes. To overcome these limitations, methods have been implemented to assess the quality of the clustering and determine the optimum number of classes.

The results of the PCA were used as input to the k-means in order to avoid correlation problems. This method also improves the stability of the results.

The Silhouette, Dunn and Davies-Bouldin coefficients were then calculated to determine the optimal number of classes.

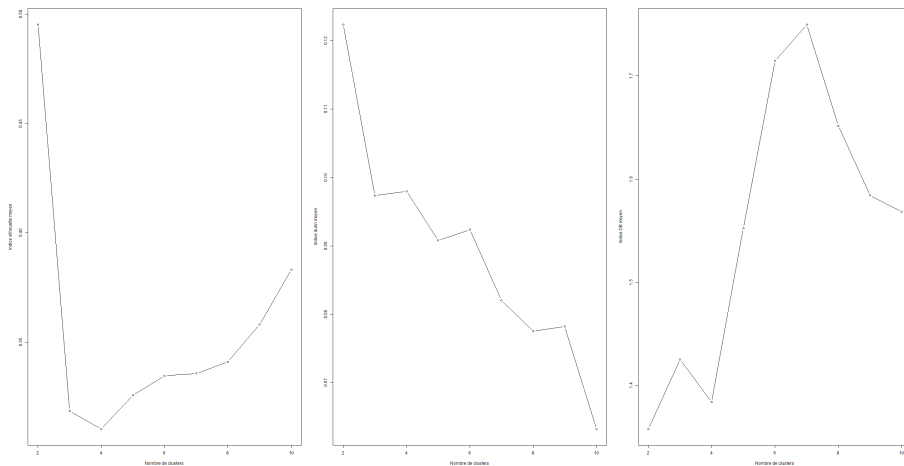


FIGURE 7 – Silhouette, Dunn and Davies-Bouldin average index

This grouping produces three possible results, with the number of non-ESG companies ranging from 11 to 18.

Following an in-depth analysis of these three classifications, the choice fell on the grouping that includes 18 non-ESG companies as well as 88 ESG companies. The final classification, shown on the main map, is outlined below :

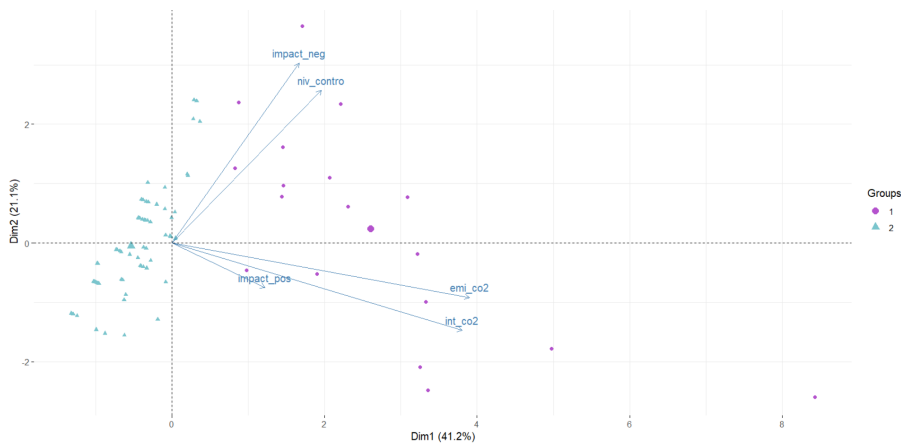


FIGURE 8 – Representation of the final classification according to axes 1 and 2

Based on these results, the two indices could be constructed and studied.

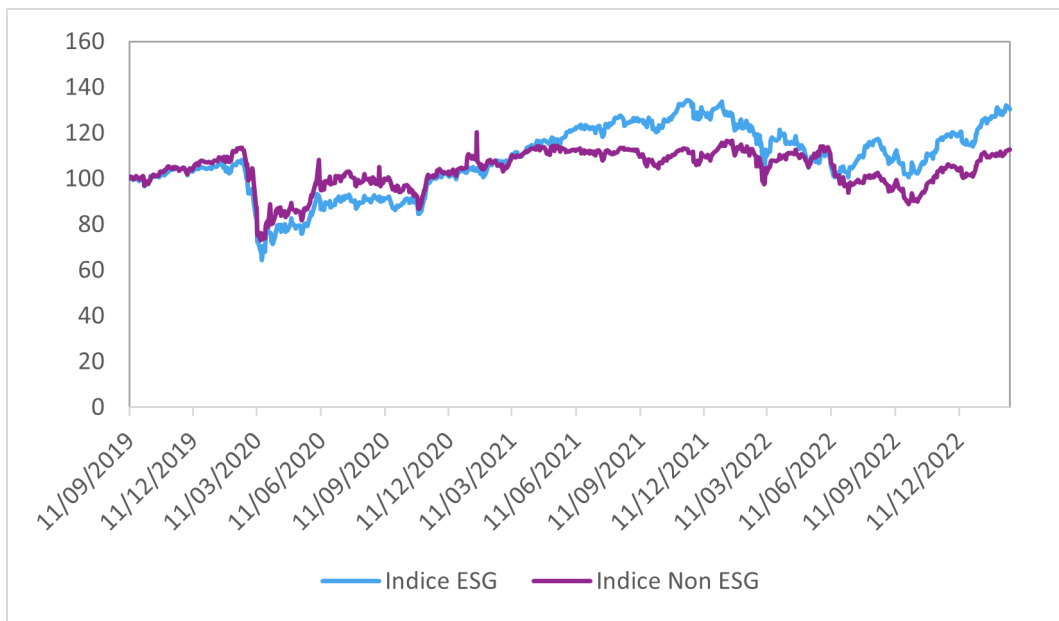


FIGURE 9 – Comparison of ESG and non-ESG indices

Both indices follow similar trends, with a drop in March 2020 due to the Covid crisis, and a slightly steeper fall for the ESG index. An outperformance of the latter is then observed, as well as more pronounced fluctuations, indicating a higher volatility of the ESG index.

This is confirmed by the calculation of annualized volatility and average annual performance :

	Annualized volatility	Average annual performance
ESG Index	24,90%	7,09%
Non ESG index	23,32%	3,34%

FIGURE 10 – Risk and performance indicators

These indicators were then used in the strategic asset allocation to model the two equity indices.

Strategic asset allocation

The strategic asset allocation is based on a real portfolio of an anonymized life insurance company offering savings and pension products. A wide range of assets will be tested within the allocations.

An initial analysis was carried out in a real-world environment on 144 allocations. In order to avoid strong changes within the portfolio during the 1st year, the reallocation was carried out over a 3-year period.

The objective was to achieve an efficient frontier. To this end, the performance and risk indicators were, respectively, an average and a 5% quantile of the sum of financial income over 5 years and unrealized capital gains or losses R-343-10 at the 5 years term.

The efficient frontier obtained is shown in the graph below :

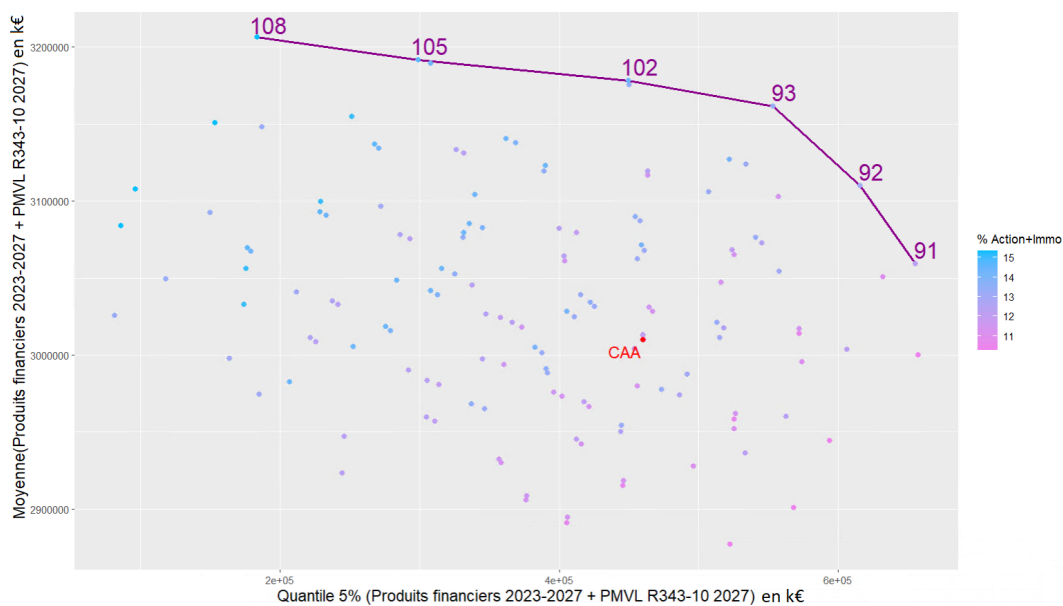


FIGURE 11 – Efficient frontier

The frontier is inverted compared to a classical Markovitz frontier, because the risk indicator used is a quantile and not the standard deviation. In addition, the CAA (Current Asset Allocation) point corresponds to the initial allocation.

Six efficient allocations are identified. Allocation 102 optimizes returns while maintaining a level of risk equivalent to the initial allocation. Allocations 91, 92 and 93 are conservative, reducing risk. Allocations 105 and 108 maximize returns.

The difference in performance between the two equities was reflected in the strategic asset allocation, where ESG equities outperform non-ESG equities.

A second analysis was then carried out on these allocations, using a deterministic real-world projection over 5 years, followed by a stochastic risk-neutral projection.

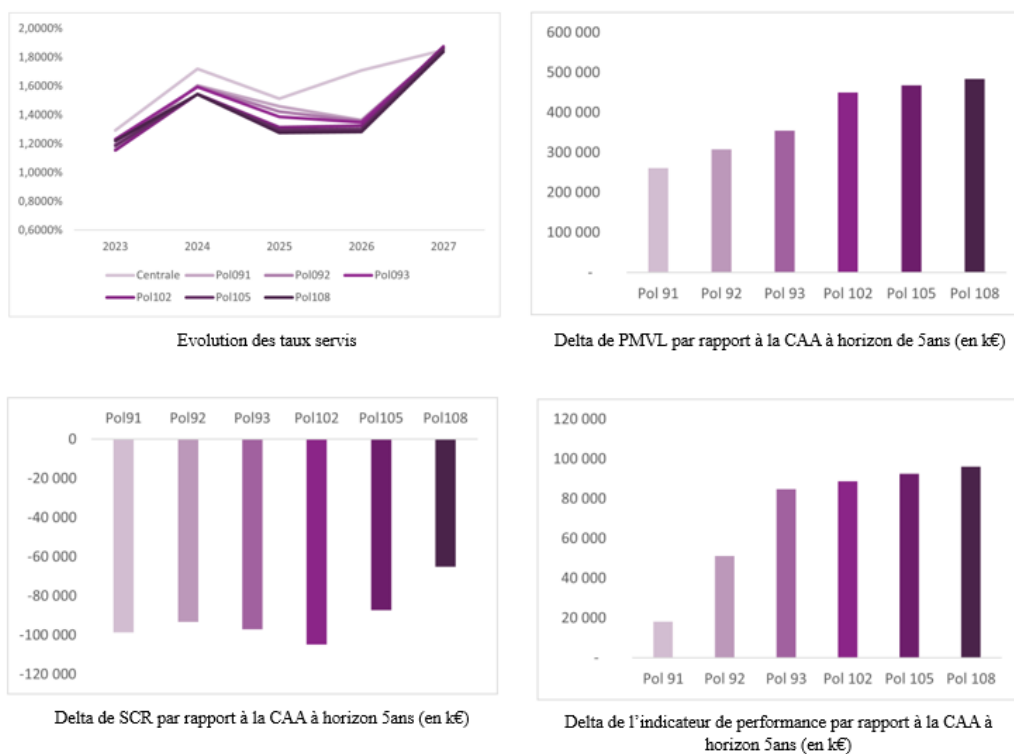


FIGURE 12 – Evolution of indicators

Numerous indicators were analyzed, such as SCRs, rates served and PMVLs, leading us to recommend allocations 93 and 102. Indeed, allocation 102 offers the best SCR gains. It also improves performance while maintaining a level of risk equivalent to the CAA. Allocation 93, on the other hand, reduces risk relative to CAA, while only slightly reducing performance relative to allocation 102. In addition, the gain in SCR remains very substantial, and the rate paid is slightly higher, particularly over the first three years.

Conclusion

Classification methods were used to group companies into two distinct groups : one ESG and the other non-ESG. This segmentation served as the basis for the creation of two stock market indices, which were then used for strategic asset allocation.

The results of this study are interesting, not least because the two indices constructed are very different. This distinction broadens the outlook for strategic asset allocation, by creating additional leverage and enabling additional asset combinations to be made, in order to obtain new performance opportunities. Insurance companies could also implement this approach by adapting it to their own portfolios.

Certain limitations have nevertheless been highlighted, and could be the subject of further study.

First of all, the time horizon for stock market data is limited and includes recent crisis periods (Covid and the war in Ukraine). Then the data comes from a single supplier, and an analysis of possible grouping discrepancies between suppliers could have been interesting. In addition, the analysis could be enriched by including a greater number of ESG variables. However, it should be noted that the use of public data in this study is interesting for the reproducibility of the analysis.

Secondly, it is important to note that diversification within the two indices is a limitation to be considered. By undertaking a more thorough assessment of this diversification, it would be possible to reduce the impact of these potential biases. This would reinforce the feasibility of the approach for companies, giving them a clearer view of risks and returns.

However, although certain limitations may be present, the results of this study suggest that the integration of ESG criteria by segmenting stocks into two different groups still seems interesting. This approach could also be adopted by insurance companies.

In addition, this method could also be implemented as part of an ORSA, with ESG and non-ESG equities being shocked in different ways.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Plus particulièrement, je souhaite remercier Pierre-Alexandre ETIENNE, mon tuteur, pour son suivi attentif, sa disponibilité et ses conseils. Il m'a beaucoup appris tout au long de cette alternance.

Un grand merci à Romain GAUCHON qui m'a également suivi lors de la réalisation de ce mémoire. Ses remarques pertinentes et sa pédagogie m'ont été d'une grande aide.

Je tiens également à remercier l'ensemble de mes collègues, qui ont toujours trouvé du temps pour répondre aux différentes questions que je pouvais avoir. Je remercie plus particulièrement Léa GUILLOT pour ses relectures attentives et ses nombreux conseils, Stanislas ROUSSEAU et Imran BOUKHENFER qui ont également relu mon mémoire ainsi que Yanis MAHRANE pour son soutien et ses remarques.

Mes remerciements vont également à l'ensemble du corps enseignant de l'EURIA avec une attention particulière à l'égard de Rainer BUCKDAHN et Mohammed BENNOUNA pour leurs suivis et leurs relectures.

Enfin je remercie mes amis et ma famille, avec une pensée particulière pour mes parents, qui ont eu le courage de lire et de corriger mon mémoire.

Table des matières

Introduction	1
1 Contexte et mise en place du sujet	3
1.1 Environnement actuel et enjeux climatiques	3
1.1.1 Le GIEC	3
1.1.2 Le réchauffement climatique	4
1.1.3 Les constats	5
1.1.4 Les enjeux et le rôle des compagnies d'assurances	7
1.2 Notions autour de l'ESG	9
1.2.1 Définition des critères ESG	9
1.2.2 Notations ESG	11
1.3 Etat des lieux réglementaires	12
1.3.1 Des réglementations générales	13
1.3.2 Des réglementations spécifiques aux entreprises financières	14
1.4 Motivation de l'étude	16
1.4.1 Problématique	16
1.4.2 Travaux effectués autour de l'allocation stratégique d'actifs	17
2 Création d'un indice ESG et d'un indice non ESG	20
2.1 Aspect théorique	20
2.1.1 Choix d'un critère ESG	20
2.1.2 Définitions générales en lien avec la classification	22
2.1.3 ACP : Analyse en Composante Principale	22
2.1.4 CAH : Classification Ascendante Hiérarchique	24
2.1.5 <i>k-means</i>	24
2.2 Analyse des données	27
2.2.1 Présentation des données	27
2.2.2 Hypothèses	29
2.2.3 Traitement des données	29
2.2.4 Analyse graphique	30
2.3 Mise en place des méthodes de <i>clustering</i> et résultats	34
2.3.1 Analyse en composantes principales	34
2.3.2 Méthodes de <i>clustering</i>	40

2.4	Construction de l'indice	52
2.4.1	Présentation des indices Eurostoxx 50 et Euronext 100	52
2.4.2	Recalcul de l'indice Eurostoxx 50	53
2.4.3	Construction des deux indices	54
3	Théorie moderne du portefeuille	57
3.1	Aspect théorique	57
3.1.1	Frontière efficiente	57
3.1.2	Allocation stratégique d'actifs	59
3.2	Modélisation	61
3.2.1	Présentation de l'entité	61
3.2.2	Hypothèses générales de modélisation	63
3.2.3	Modélisation de l'actif	64
3.2.4	Modélisation passif	66
3.2.5	Choix des indicateurs	67
3.2.6	Allocation à tester	68
3.2.7	Scénarios économiques	68
3.3	Résultats	71
3.3.1	Analyse de la frontière efficiente	71
3.3.2	Analyse des impacts Solvabilité 2	76
	Conclusion	86
	Glossaire	88
	Tables des figures	92
	Bibliographie	95
	Annexe	95
	A Résultats de la classification	96

Introduction

La prise de conscience des impacts du changement climatique sur le secteur assurantiel a conduit à une mobilisation croissante des acteurs et des autorités de contrôle. Dans ce contexte, les réglementations autour de ces sujets se multiplient et des exercices climatiques sont mis en place afin, d'évaluer l'impact du réchauffement climatique, de sensibiliser le secteur à ces risques et d'améliorer la gestion de ces derniers.

Suite à l'exercice climatique mis en place en 2020, l'ACPR conclut : "les assureurs doivent [...], intégrer les risques induits par [le changement climatique] dans leur processus d'évaluation des risques financiers. Cette meilleure prise en compte du risque de changement climatique est en effet nécessaire pour favoriser une meilleure allocation des ressources et assurer le financement de la transition."

Les réglementations intègrent également ces considérations. En effet, l'un de leurs principaux objectifs est de réorienter les capitaux vers des investissements durables, visant ainsi à améliorer la gestion des risques tout en alignant les flux financiers sur des objectifs environnementaux, sociaux et de gouvernance.

Par ailleurs, face à cette mobilisation croissante, de nombreux outils ont émergé. Les notes, labels et critères ESG servent à évaluer les performances en termes de durabilité et de responsabilité sociale d'une entreprise. Ils permettent ainsi aux investisseurs et aux consommateurs d'avoir à leur disposition un certain nombre de renseignements pour qu'ils puissent prendre une décision informée sur la façon dont ces éléments sont traités.

L'émergence de ces critères, conjuguée aux réglementations encourageant leur prise en compte au sein des entreprises, conduit à l'établissement d'une "nouvelle classe d'actifs" : les actions ESG.

L'objet de ce mémoire est d'étudier l'intérêt potentiel, en termes de performance et de risque, de l'intégration des critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs, via une segmentation au sein de la classe action. Pour ce faire, l'un des principaux objectifs sera de construire deux indices actions afin de projeter les actifs.

Pour répondre à cette problématique, ce mémoire sera divisé en trois parties.

Dans un premier temps, une présentation du contexte climatique et réglementaire, ainsi que des enjeux spécifiques au secteur assurantiel sera effectué. Cette partie permettra de mieux appréhender tous les aspects et conséquences liés à ce sujet.

Ensuite, une deuxième partie portera sur la création d'un indice ESG et d'un indice non ESG, qui seront utilisés pour projeter les actions. Pour effectuer cela, des méthodes de *clustering* seront mises en place afin de regrouper les entreprises selon des groupes homogènes du point de vue de ces critères.

Enfin, l'allocation stratégique d'actifs sera mise en place afin de mesurer les impacts liés à l'intégration de ces deux classes d'actions.

Chapitre 1

Contexte et mise en place du sujet

Ces dix dernières années, les réglementations autour de la finance durable se sont multipliées. L'un des objectifs de ces réglementations est de réorienter les capitaux vers des activités dites durables, qui contribueront à une meilleure gestion des risques climatiques et une transition vers plus de sobriété. Ces évolutions réglementaires soulignent ainsi le rôle que les acteurs du système financier peuvent jouer dans le développement de la transition environnementale et sociale.

Dans cette partie, un rappel concernant les enjeux climatiques sera effectué puis les notions autour de l'ESG utiles pour la suite de notre étude seront définies. Dans un troisième temps, les différentes réglementations autour de la finance durable seront présentées et enfin une dernière section conclura sur les motivations de l'étude.

1.1 Environnement actuel et enjeux climatiques

1.1.1 Le GIEC

Pour introduire les enjeux climatiques actuels, il est naturel de se référer au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) car il joue un rôle essentiel dans la compréhension du phénomène du changement climatique et de ses impacts.

Le GIEC (ou IPCC en anglais) est créé en 1988 et compte aujourd'hui 195 pays membres. Son objectif est de faire une synthèse des recherches effectuées dans le monde entier sur le changement climatique, il ne s'agit pas de conduire les recherches mais d'analyser les travaux existants. Les études du GIEC sont réalisées grâce à la contribution bénévole de milliers de scientifiques qui sont répartis en trois groupes de travail qui publient des rapports périodiquement.

Le premier groupe de travail étudie le système climatique et ses changements, le deuxième travaille sur les conséquences (impact, vulnérabilité et adaptation) et le troisième examine les solutions, il analyse les engagements nationaux et décrit les efforts à effectuer pour atténuer les effets du changement climatique.

Le premier rapport du GIEC a été publié en 1990 et, actuellement, six rapports d'évaluation ont été finalisés. Les trois parties du dernier rapport ont été publiées entre août 2021 et avril 2022 [Masson-Delmotte *et al.*, 2021, Pörtner *et al.*, 2022, Shukla *et al.*, 2022]. En plus de ces rapports d'évaluation, des analyses spéciales sont réalisées par le GIEC sur des sujets particuliers. Trois rapports ont été publiés entre 2018 et 2019 : le réchauffement climatique de 1.5°C, le changement climatique et les sols et enfin l'océan et la cryosphère dans un climat changeant. En mars 2023, un dernier rapport a été publié pour faire la synthèse des trois rapports d'évaluations et des trois rapports spéciaux.

1.1.2 Le réchauffement climatique

Selon le GIEC, le changement climatique correspond à une « variation de l'état du climat, qu'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus ». Ces variations peuvent être naturelles, c'est le cas par exemple lors de modification du cycle solaire ou à la suite d'éruptions volcaniques. Néanmoins, la cause principale de ces changements depuis le 19ème siècle est anthropique. En effet, d'après le GIEC "les activités humaines [...] ont sans équivoque causé le réchauffement climatique" [Core Writing Team et (eds.), 2023]. Il est dû à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre qui proviennent principalement de la combustion de combustible fossile comme le charbon, le pétrole ou le gaz.

Les gaz à effet de serre retiennent une partie de l'énergie solaire reçue par la terre. Il s'agit d'un phénomène naturel qui permet la vie sur terre en maintenant une température viable. Néanmoins, la concentration croissante de ces gaz dans l'atmosphère suite aux activités humaines entraîne une augmentation des températures. C'est ce que l'on appelle le réchauffement climatique.

Il existe de nombreux gaz à effet de serre comme le CO₂, le méthane ou le protoxyde d'azote. Chacun de ces gaz possède une durée de résidence dans l'atmosphère et un pouvoir de réchauffement, qui correspond à la capacité de chacun de ses gaz à garder la chaleur dans l'atmosphère pendant une durée donnée. Les gaz à effet de serre sont généralement évalués en équivalent CO₂, cela permet de comparer l'impact de ces derniers sur le réchauffement et de les cumuler. Le CO₂ étant la référence, son pouvoir de réchauffement a reçu la valeur de 1.

Gaz à effet de serre	CO2 Provient principalement de la combustion des énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz) et de la déforestation	Méthane Provient principalement de l'agriculture (élevages, rizières)	Protoxyde d'azote Issu essentiellement de l'utilisation d'engrais azotés en agriculture
Durée de séjour approximatif dans l'atmosphère (années)	100	12	120
Pouvoir de réchauffement global (évalué sur 100 ans)	1	28	300

FIGURE 1.1 – Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre

Ainsi, sur un siècle, émettre 1kg de méthane produira le même effet que si on avait émis 28 kg de CO₂.

1.1.3 Les constats

Il est important de noter que les constats et les recommandations mis en évidence dans la suite de cette partie sont principalement issus des rapports du GIEC et plus particulièrement du rapport de synthèse [Core Writing Team et (eds.), 2023]. Certaines parties sont par ailleurs complétées par des études de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques [OCDE, 2022]. Néanmoins, pour éviter les redondances, la source précise de ces informations ne sera pas systématiquement citée.

Aspect environnemental

Concernant l'aspect environnemental, le réchauffement planétaire a atteint +1,1°C par rapport au niveau moyen de 1850 à 1900 et chaque degré supplémentaire augmentera les risques. De nombreux phénomènes climatiques extrêmes sont déjà affectés par le changement climatique dans toutes les régions du monde. En effet la fréquence, l'intensité et la durée de ces événements (tempêtes, inondations, sécheresse, canicule, incendie...) sont aggravées.

D'après le GIEC, il est nécessaire d'effectuer une transition forte et immédiate de tous les secteurs pour réduire les émissions et garantir un futur sain pour tous. En effet, « une atténuation profonde, rapide et soutenue et une mise en œuvre accélérée des mesures d'adaptation au cours de cette décennie réduiraient les pertes et les dommages prévus pour les humains et les écosystèmes ». Pour rappel, l'atténuation correspond à la réduction de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cela comprend les mesures de réduction des émissions et le développement de méthodes de séquestration du carbone. L'adaptation correspond quant-à-elle aux mesures permettant de limiter les effets néfastes du changement climatique.

Pour mettre en place ces mesures rapidement, des investissements importants sont nécessaires. Toutefois, selon le GIEC, le niveau actuel des flux financiers mondiaux consacrés

à la transition est insuffisant ce qui restreint la mise en place des options d'adaptation, notamment dans les pays en développement. Les ressources financières mondiales nécessaires pour combler les déficits d'investissements sont disponibles, mais il faut rediriger ces capitaux vers des actions climatiques concrètes.

Le financement, la technologie et la coopération internationale jouent un rôle crucial pour déclencher une action climatique accélérée. Selon le GIEC, il est nécessaire de développer l'innovation technologique afin de favoriser l'adoption généralisée des technologies et des pratiques favorables au climat.

Aspect social

Concernant l'aspect social, 3,3 à 3,6 milliards d'humains vivent selon le GIEC dans des conditions de vulnérabilité forte devant le réchauffement climatique. Ce dernier touche les populations de manière disproportionnée et les communautés qui ont le moins contribué au changement climatique sont souvent les plus vulnérables. Par ailleurs, les pays peu développés auront plus de difficultés à s'adapter rapidement et efficacement que les pays développés. Il est également possible que les ressources considérables nécessaires pour lutter contre le réchauffement climatique entraînent une réduction du budget alloué aux programmes éducatifs et sociaux.

Le changement climatique pourrait générer de nouveaux conflits liés à l'accroissement des inégalités, la diminution des ressources alimentaires et énergétiques et aux problèmes territoriaux. En 10 ans, plus de 20 millions de personnes ont dû se déplacer à la suite de catastrophes naturelles. Ce nombre risque de fortement augmenter à cause de l'accélération de ces événements, de l'élévation du niveau de la mer et du risque de famine. Selon le GIEC, plus d'un milliard de personnes pourraient être menacées d'ici 2050 par des dangers côtiers. Pour lutter contre l'aggravation des inégalités sociales existantes, il est essentiel de mettre en place des actions visant à réduire ces inégalités et à garantir un accès équitable aux ressources permettant de s'adapter aux changements climatiques.

D'après le GIEC, il est nécessaire d'aider, en priorité, les personnes et les régions les plus vulnérables dont les ressources pour pouvoir faire face aux risques climatiques sont les plus limitées.

Il est également important d'accompagner les entreprises qui émettent beaucoup de carbone pour faciliter leur transition vers des activités durables, former leurs employés et permettre des reconversions professionnelles. Cela contribuera à réduire les impacts socio-économiques négatifs sur les communautés et les salariés concernés.

Aspect de la gouvernance

La gouvernance correspond à un ensemble de processus, de mesures et de règles qui permettent de contrôler une entité et d'assurer son bon fonctionnement. Il existe différentes formes de gouvernance comme la gouvernance d'entreprise, la gouvernance publique ou encore la gouvernance mondiale.

D'après le GIEC, un engagement politique fort et une gouvernance à plusieurs niveaux permettent de mener une action climatique efficace. Il est nécessaire de définir des objectifs précis, de mettre en place des processus de gouvernance qui intègrent à la fois les communautés locales, le secteur privé et la société civile et de coordonner les actions entre les différents secteurs tels que l'agriculture, l'énergie. . . Si elles sont établies à grande échelle les réglementations, peuvent permettre de réduire massivement les émissions.

L'OCDE recommande de mobiliser les citoyens, les entreprises et les acteurs internationaux et de les sensibiliser au changement climatique. Cela peut jouer un rôle sur la perception des risques, les degrés d'importance de ces derniers et les décisions d'investissements qui en résultent. Les entreprises devraient également être encouragées à mettre en place des évolutions pour assurer la continuité de leurs activités.

Selon le GIEC, le renforcement de la coopération internationale permettra également de mieux résister au changement climatique. Cette coopération internationale est un véritable défi car les risques ne sont pas les mêmes en fonction des pays, les intérêts sont donc différents. Par ailleurs, les capacités politiques, économiques et technologiques sont différentes tout comme la perception du changement climatique.

1.1.4 Les enjeux et le rôle des compagnies d'assurances

Les répercussions du changement climatique sur les compagnies d'assurance sont multiples car elles impactent à la fois le passif et l'actif des assureurs.

Du côté de l'actif, le changement climatique peut impacter négativement la valeur des investissements. En effet, les titres financiers peuvent être affectés suite à la mise en place de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (instauration d'une taxe carbone par exemple) ou à des scandales climatiques (risque d'image). La valeur des biens physiques d'une compagnie peut également être dégradée si ces derniers sont situés dans une zone sensible au changement climatique (zone inondable ou exposée aux incendies).

Du côté du passif, les assureurs ont des engagements envers leurs assurés et la multiplication des événements climatiques extrêmes risque d'entraîner une augmentation des sinistres et donc des coûts pour les assureurs [Bevere *et al.*, 2019].

Ce mémoire se concentre sur l'allocation stratégique d'actifs de compagnies d'assurance vie spécialisées dans l'épargne et la retraite. Pour ces dernières, le passif n'est que marginalement impacté par les risques ESG. En effet, les impacts sur ce dernier ne sont généralement pas analysés lors des exercices climatiques mis en place par les autorités de contrôle. C'est notamment le cas pour le nouvel exercice climatique de l'ACPR [CLERC *et al.*, 2023]. Par conséquent, seuls les impacts et les enjeux liés à l'actif seront abordés dans le reste de cette section.

Pour bien comprendre la suite de cette partie, il est nécessaire de rappeler deux définitions importantes.

Les risques de transition sont des risques qui résultent des effets de la mise en place d'un modèle économique bas-carbone. Ils comprennent par exemple les risques politiques (exigences en matière d'efficacité énergétique, augmentation du prix des produits utilisant des combustibles fossiles), les risques technologiques (remplacement d'une technologie par une autre ayant moins d'impact sur le climat), les risques de réputation...

Les risques physiques sont quant à eux des risques résultant des dommages directement causés par les phénomènes météorologiques et climatiques. On distingue les risques aigus qui découlent d'événements particulier comme l'augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles et les risques chroniques qui résultent de changements climatiques à plus long terme, tels que l'élévation du niveau de la mer.

La réalisation d'exercices climatiques a permis de mettre en évidence les enjeux et le rôle des compagnies d'assurances. Les objectifs de ces derniers étaient multiples : évaluer l'impact du réchauffement climatique, sensibiliser le secteur aux risques climatiques et améliorer la gestion de ces derniers.

L'exercice mené par la banque d'Angleterre [England, 2021] a montré que si les assureurs ne réagissent pas, les risques climatiques risquent d'entraver durablement et matériellement leur rentabilité. Les coûts devraient néanmoins être absorbables en partie parce que certaines pertes sont répercutées sur les assurés. Dans le cadre de l'assurance vie, cela peut se traduire par une diminution du taux servi.

L'ACPR estime que 10% des investissements des assureurs sont placés dans des secteurs sensibles au risque de transition (agriculture, secteurs producteurs ou consommateurs d'énergie fossiles...). Or, l'exercice climatique mené par l'ACPR [Clerc *et al.*, 2021] a montré que le coût du risque serait multiplié par trois dans ces secteurs.

Par ailleurs, l'exercice de l'ACPR a également montré que les assureurs devaient développer leurs actions destinées à la lutte contre le changement climatique dès maintenant en intégrant les risques climatiques lors de l'évaluation des risques financiers. Cette intégration est nécessaire pour permettre de mieux répartir les ressources et financer la transition. Ces recommandations ont été intégrées dans la révision de Solvabilité 2 qui est entrée en vigueur en août 2022. Les différentes exigences de cette réglementation se-

ront détaillées dans la partie 1.3.

Enfin, comme cela a été vu précédemment, il est nécessaire pour atteindre les objectifs climatiques d'augmenter fortement les investissements attribués à la transition. Selon le GIEC, il faudrait multiplier les investissements annuels pour l'atténuation par trois à six par rapport au niveau actuel afin de réduire radicalement les émissions à l'échelle de la planète et atteindre la neutralité carbone en 2050.¹

Avec 2501 milliards d'euros de placement en septembre 2022, les assureurs français ont un rôle important à jouer dans le financement de la transition environnementale et sociale qui doit s'engager.

En conclusion, le réchauffement climatique a de multiples conséquences et les aspects environnementaux, sociaux et de gouvernance sont impactés. De nombreux secteurs doivent s'adapter et c'est notamment le cas du secteur assurantiel. Les actifs et passifs de ce secteur seront touchés par le réchauffement climatique et les modèles d'évaluations des risques devront évoluer. Les risques climatiques devront notamment être pris en compte lors de l'évaluation des impacts financiers.

1.2 Notions autour de l'ESG

Cette partie vise à introduire les différentes notions liées à l'ESG qui seront utiles pour la suite de notre étude.

1.2.1 Définition des critères ESG

Les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) correspondent à un ensemble d'indicateurs utilisés pour mesurer les performances en termes de durabilité et de responsabilité sociale d'une entreprise. Ils permettent d'effectuer des analyses basées sur des critères extra-financiers. Il convient de préciser que la durabilité correspond à un mode de développement qui vise à satisfaire les besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Ces critères permettent aux investisseurs et aux consommateurs d'avoir à leur disposition un certain nombre de renseignements pour qu'ils puissent prendre une décision informée sur la façon dont ces éléments sont gérés. Par ailleurs, une bonne prise en compte des critères ESG peut améliorer la réputation d'une entreprise et contribuer au maintien

1. "Average annual modelled investment requirements for 2020 to 2030 in scenarios that limit warming to 2°C or 1.5°C are a factor of three to six greater than current levels, and total mitigation investments (public, private, domestic and international) would need to increase across all sectors and regions (medium confidence)"

sur le long terme de son activité [Friede *et al.*, 2015].

Afin de distinguer plus facilement les investissements qui prennent en compte ces critères, plusieurs labels se sont récemment développés. Il convient de noter que leur utilisation a été renforcée par la loi PACTE. En effet, depuis le 1er janvier 2022 les assureurs doivent proposer pour tout contrat d'assurance-vie multi-supports des UC labélisés ISR, Greenfin et respectant des caractéristiques solidaires (pas de label officiel mais le label FINANSOL peut-être utilisé). Ces trois labels ont chacun leurs propres objectifs et se concentrent plutôt sur l'un des critères ESG (l'aspect environnemental, social ou de gouvernance).

Le critère environnemental étudie la façon dont l'entreprise tient compte de la durabilité dans ces décisions de gestion. Il considère par exemple les émissions carbone de l'entreprise, sa consommation d'énergie, la gestion de ses déchets et ses impacts sur la biodiversité. Le label Greenfin est notamment axé sur les aspects environnementaux. Son but est de distinguer les produits financiers qui contribuent au financement de la transition énergétique et écologique.

Le critère social étudie la façon dont l'entreprise traite ses salariés, ses clients et les sociétés dans lesquelles elle effectue ses opérations. Il tient compte par exemple des conditions de travail, de la diversité, de l'inclusion, de la santé, de la sécurité des employés, du dialogue social ou encore de l'engagement dans des initiatives sociales. Le label Finansol permet de distinguer les produits d'épargne solidaire des autres produits d'épargne.

Le critère de gouvernance étudie quant à lui la façon dont l'entreprise est dirigée, il cherche à évaluer sa gestion des risques, la responsabilité de ses dirigeants et sa transparence. Pour effectuer cela, les éléments examinés sont par exemple la composition du conseil d'administration, les mécanismes de contrôle interne, les politiques de rémunération ainsi que la communication de l'entreprise avec ses actionnaires. Le label IRS peut être utilisé pour différencier les produits tenant compte des critères de gouvernance. Il s'agit d'un label assez général qui distingue les placements respectant un ensemble de critère ESG.

Des exemples d'indicateur pouvant être utilisés pour évaluer les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance sont présentés ci-dessous :

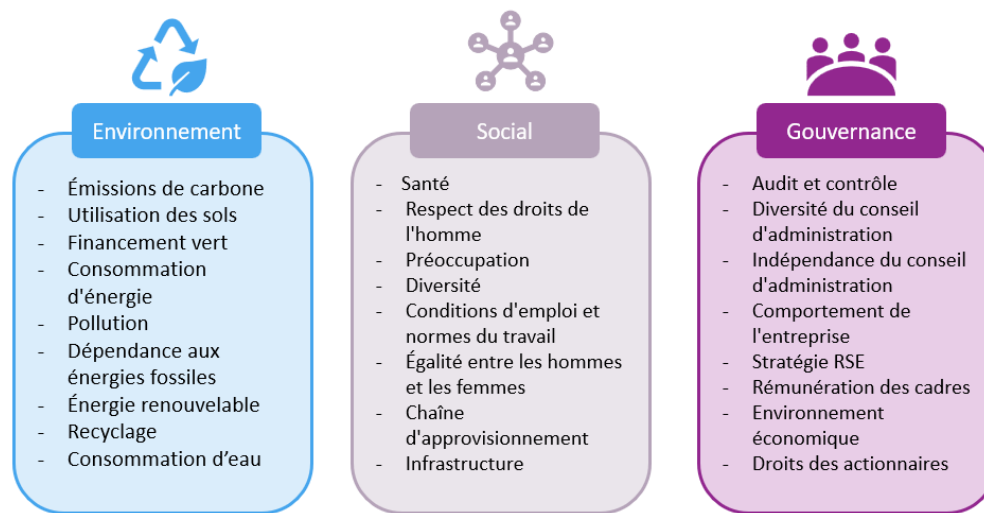


FIGURE 1.2 – Exemple de critères ESG

En plus des labels, d'autres outils basés sur ces critères se développent, tels que les indices boursiers ESG. Ces indices intègrent les critères ESG pour sélectionner des entreprises qui les composent afin de promouvoir des pratiques commerciales plus durables et responsables.

Néanmoins, les données utilisées et les critères spécifiques pris en compte pour construire ces derniers ne sont pas connus. Par ailleurs, la composition de certains indices ESG peut être remise en question au vu des recommandations du GIEC.

1.2.2 Notations ESG

Les notes ESG sont fournies par des agences de notations. Il peut s'agir d'agence de notations de crédit, de fournisseur d'indice ou encore d'acteur spécialisé autour du risque climatique. Leur objectif est d'évaluer les risques liés aux aspects environnementaux, sociaux et de gouvernance.

Cependant, il n'existe pas à l'heure actuelle de réglementation concernant leur évaluation. Il s'agit selon l'AMF d'une des principales limites des notations ESG [AMF, 2022].

En effet, de nombreuses études ont mis en évidence des écarts significatifs entre les notes ESG des différentes agences de notation. L'une d'entre elles montre que le coefficient de corrélation moyen entre les notes ESG de 7 agences de notation est de 0,45 [Gibson Brandon *et al.*, 2021]. A titre de comparaison le coefficient de corrélation est de 0,96 pour l'évaluation du risque de crédit [Berg *et al.*, 2022a].

Plusieurs éléments permettent d'expliquer les écarts entre les notes ESG des différentes agences de notation. Tout d'abord, le nombre de variable ESG évalué diffère fortement. Certaines agences vont étudier simplement 10 variables tandis que d'autres vont en étudier 400. Ensuite, les agences de notation peuvent mesurer la même variable à l'aide d'indicateurs différents. Il s'agit selon [Berg *et al.*, 2022b] de la principale source de divergence. Par ailleurs, la qualité des données peut être une source importante d'écart. Les données utilisées proviennent de sources variées : publications des entreprises, rapports réglementaires, média, ONG. . . Traiter ces données et évaluer leur qualité n'est pas évident. Pour un même type de document donné, la qualité des données peut varier. C'est par exemple le cas des rapports RSE dont la qualité est fortement corrélée aux moyens financiers [Janicka et Sajnóg, 2022]. Différentes pratiques existent, certaines agences de notation font par exemple le choix d'exclure les données communiquées par les entreprises car il peut exister un biais lié au marketing. D'autre part, les agences de notation ne vont pas avoir la même interprétation des paramètres ESG et la note qui leur est attribuée sera donc différente. Un dernier point pouvant être une source de divergence est le poids attribué aux indicateurs lors du calcul de la note globale. En effet, [Berg *et al.*, 2022b] met en évidence des disparités significatives au niveau des pondérations. Selon lui cela montre que les fournisseurs ont des points de vue sensiblement différents concernant l'importance des catégories.

Pour conclure, de nombreux outils se développent pour soutenir la construction d'un avenir plus durable. Les labels, les critères et les notes ESG permettent d'évaluer les entreprises en termes de durabilité et de responsabilité sociale ainsi que de faciliter la prise de décision des investisseurs. Ces outils contribuent également à stimuler les entreprises en les incitant à s'améliorer et à adopter des pratiques plus durables. Cependant, des efforts supplémentaires sont nécessaires, notamment en ce qui concerne l'harmonisation des notations ESG, qui présentent actuellement une trop grande hétérogénéité, limitant ainsi leur comparabilité.

1.3 Etat des lieux réglementaires

La signature des accords de Paris en 2015 est un élément majeur de la lutte contre le changement climatique. Il peut être considéré comme le point de départ à partir duquel les gouvernements se sont mobilisés pour tenter de limiter les impacts de celui-ci. Depuis, plusieurs mesures ont été développées à différents niveaux. A l'échelle européenne, le Green Deal (Pacte Vert) a notamment été mis en place avec deux objectifs majeurs : atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et baisser de 55% les émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990. Au niveau national, les objectifs européens ont été déclinés par la France à travers des lois et la stratégie nationale bas carbone (SNBC).

Dans la suite de cette partie, une rapide présentation des réglementations sera réalisée afin de mettre en évidence la diversité des travaux effectués. La multiplication de ces

réglementations traduit la volonté croissante des décideurs politiques de prendre en charge ce sujet.

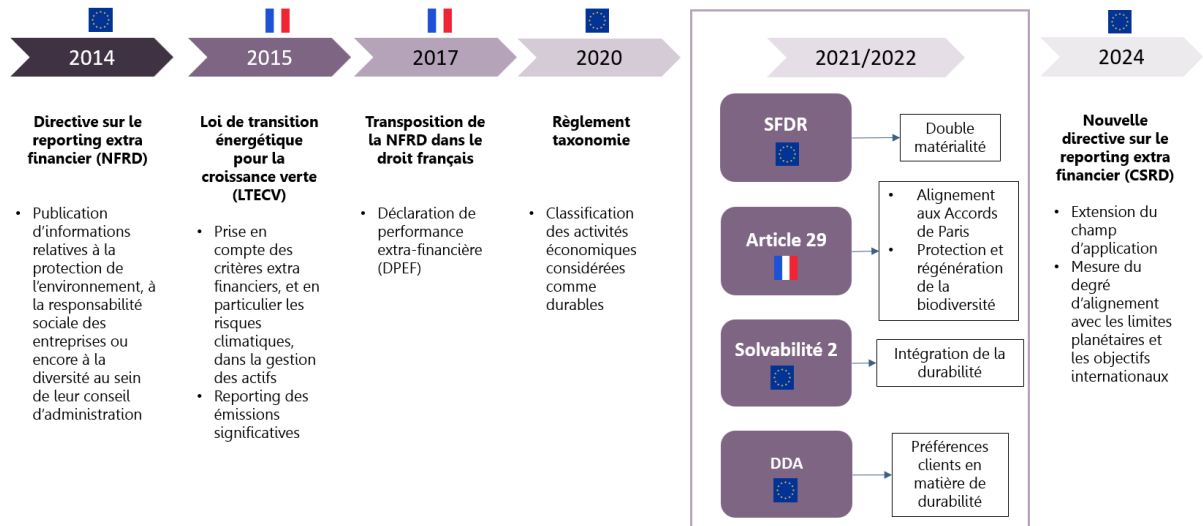


FIGURE 1.3 – Schéma des réglementations

1.3.1 Des réglementations générales

NFRD et CSRD

La directive européenne NFRD (Non-Financial Reporting Directive) est mise en place en 2014 et demande aux grandes entreprises d'effectuer un reporting extra-financier avec notamment la publication annuelle d'une Déclaration de Performance Extra-Financière (DPEF). Cette déclaration doit comporter des informations relatives à la protection de l'environnement, à leurs engagements sociétaux ou encore à la diversité au sein de leur conseil d'administration.

A partir de 2024, la directive CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) sera mise en place et va remplacer la NFRD en introduisant des exigences réglementaires plus détaillées et en étendant son champ d'application. Parmi les éléments clés on retrouve : l'analyse de la durabilité en termes de double matérialité (notion introduite par SFDR : Sustainable Finance Disclosure Regulation et qui sera détaillée dans la suite), la mesure du degré d'alignement avec les objectifs internationaux et l'utilisation d'indicateurs pour la publication des informations.

LTECV : Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte

La loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) est adoptée en 2015. Il s'agit d'une loi Française dont l'objectif est de lutter contre le réchauffement

climatique et de mettre en place un système énergétique durable.

Elle s'accompagne d'un plan d'action, la stratégie nationale bas carbone (SNBC), qui donne des orientations pour chaque secteur d'activité et fixe des budgets carbone (niveaux d'émissions sur une période de 5ans à ne pas dépasser). Son objectif est d'atteindre la neutralité carbone en 2050 et de réduire l'empreinte carbone des Français. Parmi les orientations, il est notamment demandé de réorienter les flux financiers vers des produits verts et d'intégrer les risques climatiques dans la gestion des actifs.

Taxonomie

Enfin, le règlement taxonomie adopté en 2020 confirme cette volonté de transparence et d'harmonisation à l'échelle européenne. Il s'agit d'un outil de classification permettant de déterminer si une activité économique est considérée comme durable sur le plan environnemental.

Il y a 6 objectifs environnementaux dans la taxonomie :

- atténuation du changement climatique ;
- adaptation au changement climatique ;
- utilisation durable et protection des ressources aquatiques et marines ;
- transition vers une économie circulaire ;
- prévention et réduction de la pollution ;
- protection et restauration de la biodiversité et des écosystèmes.

Une activité économique est considérée comme durable si elle contribue à un ou plusieurs objectifs environnementaux, ne cause pas de préjudice important à un objectif et est exercée dans le respect des garanties minimales.

Les entreprises devront déterminer la part de leurs activités éligibles, puis alignées et ensuite calculer un ensemble d'Indicateurs Clé de Performance (ICP ou KPI en anglais) pour chacun des objectifs environnementaux.

1.3.2 Des réglementations spécifiques aux entreprises financières

SFDR : Sustainable Finance Disclosure Regulation

Le règlement SFDR est entrée en vigueur en 2021. Son objectif est d'accroître la transparence des marchés financiers en termes de responsabilité environnementale et sociale. Il demande aux entreprises de fournir des informations de durabilités sur les produits financiers et d'utiliser des indicateurs pour évaluer les principales incidences négatives en matière de durabilité.

Par ailleurs, le règlement SFDR introduit la notion de "double matérialité", il s'agit d'étudier non seulement les impacts de l'environnement sur l'entreprise mais également ceux de l'entreprise sur son environnement. La réglementation demande également aux entreprises de classer leurs investissements selon 3 catégories :

- les fonds type article 9 qui ont pour objectif l'investissement durable ;

- les fonds type article 8 qui font la promotion de caractéristiques environnementales et/ou sociales ;
- les fonds type article 6 qui correspondent aux fonds restants.

Article 29

L'article 29 de la loi énergie climat (LEC) vise à harmoniser le droit français avec le règlement européen SFDR. Cette réglementation va plus loin que le droit européen sur les aspects de biodiversité, de climat et d'intégration des facteurs ESG dans la gestion des risques et la gouvernance des institutions financières.

Révision de solvabilité 2

La révision de solvabilité 2 est entrée en vigueur en 2022 pour y intégrer le risque de durabilité. Cette révision comporte notamment l'intégration du risque de durabilité dans le principe de personne prudente, dans l'évaluation du besoin global de solvabilité ainsi que dans les différentes politiques (souscription, provisionnement, gestion des risques et rémunération).

DDA : Directive sur la Distribution d'Assurances

Une modification du règlement DDA est également entrée en application en 2022. Cette révision demande notamment d'intégrer les préférences des clients en matière de durabilité, en complément des préférences en matière de prise de risque. Par ailleurs, la gouvernance et la surveillance des produits devra désormais inclure les facteurs de durabilité.

En plus de ces réglementations, de nombreux rapports et analyses sont publiés par les institutions de contrôle comme l'ACPR ou l'EIOPA. Ces rapports contiennent notamment des analyses de marchés, des orientations et des exemples de bonnes pratiques.

Pour conclure, on observe donc une multiplication des réglementations autour de la finance durable dont les principaux objectifs sont de favoriser la transparence des informations concernant les aspects ESG (Environnementaux, Sociaux et de Gouvernance), d'améliorer la gestion des risques climatiques et de mettre en place des actions vers une transition écologique.

Néanmoins, même si cela met en évidence une volonté d'agir, cette multiplication des réglementations rend difficile la compréhension globale de la situation. Il est essentiel de ne pas simplement ajouter de nouvelles réglementations les unes après les autres, mais plutôt d'essayer de les harmoniser. Il s'agit d'un sujet nouveau et des évolutions doivent être mises en place pour éviter la confusion et permettre une compréhension et une

application plus larges. En effet, pour rendre l'action efficace il est primordial d'impliquer non seulement les spécialistes du sujet, mais également l'ensemble des acteurs concernés.

1.4 Motivation de l'étude

1.4.1 Problématique

Ainsi, comme observé précédemment, les effets du réchauffement climatique sont multiples et les scientifiques s'accordent sur l'urgence d'agir dès maintenant.

Les impacts sur le secteur assurantiel sont importants et il est donc essentiel de transformer le secteur afin d'assurer sa pérennité et de renforcer sa résilience face aux risques climatiques croissants.

Par ailleurs, une prise de conscience de la responsabilité des acteurs du secteur financier, dans la lutte contre le changement climatique, est observée. Les assureurs ont un pouvoir d'action important et peuvent agir en faveur du changement. Cela peut, par exemple, passer par la promotion des investissements dans des projets respectueux de l'environnement.

En réaction, des réglementations autour de ces sujets se mettent donc en place avec deux objectifs principaux : la protection des institutions financières et la mise en place d'un environnement favorable au financement d'une transition vers une économie durable. Pour atteindre ces objectifs, plusieurs axes sont développés :

- le renforcement de la transparence et de la divulgation d'informations extra-financières, car la disponibilité des données constitue un défi majeur lorsqu'il s'agit de travailler sur des sujets liés à l'ESG ;
- l'amélioration de la gestion des risques climatiques ;
- la réorientation des capitaux vers des fonds durables.

C'est autour de ce dernier aspect que se concentra ce mémoire.

Comme mentionné dans la partie 1.2, des outils comme les critères et les notes ESG se sont développés. Des fonds ont en conséquence été créés afin d'intégrer les critères ESG dans leurs stratégies d'investissement. Ces fonds ESG cherchent à maximiser les rendements financiers tout en tenant compte des impacts environnementaux, sociaux et de gouvernance des entreprises.

Deux visions s'opposent concernant la performance des fonds ESG. Une première vision spontanée et qui continue à être soutenue par certains acteurs est que l'intégration de critères ESG dans les stratégies d'investissement entraînerait une diminution de la performance des actifs. En effet, selon eux, réduire l'univers d'investissement diminue les possibilités de diversification et donc le rendement. L'autre vision considère que les sociétés respectant un ensemble de critère ESG peuvent être considérées comme plus

stables et donc impacter positivement la performance. Tenir compte de critères ESG aurait donc des bénéfices car cela permettrait de mieux maîtriser les risques et d'identifier des opportunités d'investissements. De plus, la réputation de l'entreprise pourrait être positivement affectée, ce qui pourrait entraîner une augmentation des capitaux investis.

Il n'existe pas aujourd'hui de consensus clair concernant la surperformance ou la sous-performance des fonds ESG par rapport aux fonds classiques. De nombreuses études ont été réalisées et les conclusions varient. Néanmoins, une tendance vers une corrélation positive ou au moins non négative entre la performance et l'ESG semble se dégager. Une méta analyse réalisée sur plus de 200 de ces études a abouti à la conclusion suivante : « 80% des études examinées démontrent que les pratiques prudentes en matière de développement durable ont une influence positive sur la performance des investissements » [Clark *et al.*, 2015].

L'objectif de notre étude est d'étudier l'intérêt, en termes de performance et de risque, de l'intégration des critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs. Cette intégration se fera via une segmentation de la classe action en deux groupes, l'un ESG et l'autre non ESG, qui seront modélisés de manière distincte.

1.4.2 Travaux effectués autour de l'allocation stratégique d'actifs

De nombreux mémoires portent sur l'allocation stratégique d'actifs. Certains d'entre eux adoptent une approche classique consistant à générer de nombreuses allocations puis à effectuer une frontière efficiente pour ne garder que les allocations efficientes. C'est par exemple le cas de [Chauveau, 2013].

D'autres mémoires, quant à eux, mettent en place des méthodologies moins conventionnelles en utilisant des approches multi-objectifs. Par exemple, le mémoire de [Pierrat, 2017] présente une frontière efficiente en trois dimensions : un critère de rendement, un critère de risque et un critère correspondant à une mesure du rendement dans un scénario stressé. De son côté, l'objectif du mémoire de [Bismuth et Pierre, 2018] est de maximiser une fonction objectif afin d'optimiser un ensemble de critères adaptés aux objectifs de la compagnie.

Un dernier mémoire intéressant à mentionner est celui de [Charbonnel, 2022], qui traite de l'introduction de critères ESG dans le portefeuille d'actifs d'une compagnie d'assurance vie. Une projection ALM a été réalisée pour montrer que l'intégration de fonds plus durable dans un portefeuille d'assurance vie peut permettre des gains en fonds propres économiques. Une des ouvertures de ce mémoire est l'optimisation d'un triplet « rendement/risque/note ESG ». Néanmoins, deux limites sont mises en évidence : la variabilité des notes ESG qui rendrait l'étude sensible aux fournisseurs de données et les difficultés pour évaluer la performance ESG des obligations d'Etat, qui constituent

une grande partie des portefeuilles assurantiers. Une autre limite mise en évidence par ce mémoire est la difficulté pour obtenir des données fiables.

Quelques articles scientifiques portant sur l'intégration de critère ESG dans l'allocation d'actifs ont également été publiés et notamment [De Spiegeleer *et al.*, 2021].

Dans cet article, deux mesures spécifiques ont été utilisées pour évaluer la performance ESG d'une entreprise : la note ESG et l'intensité des émissions de gaz à effet de serre. Les actifs inclus dans l'étude proviennent des indices STOXX Europe 600 et Russell 1000. Il convient de noter que cette analyse ne comprend pas d'exclusions spécifiques. Les portefeuilles sont construits le long de la frontière efficiente moyenne-variance, en appliquant différentes contraintes relatives à la performance ESG de leurs composants. Ces contraintes sont appliquées au portefeuille dans son entièreté. Les résultats montrent que concernant les notes ESG il n'y a pas de preuves évidentes de l'amélioration de la performance des portefeuilles avec des scores élevés ou faibles. De plus, il est démontré que le choix de l'agence de notation a un impact significatif sur la performance des portefeuilles contraints par des critères ESG. L'étude indique également que les réductions d'émissions ne conduisent pas nécessairement à un risque accru ou à une diminution des rendements. Une transition douce vers une économie verte semble donc possible.

Pedersen et al ont quant à eux considéré qu'optimiser le risque, le rendement et les critères ESG pouvait être vu comme la maximisation des critères ESG et du ratio de sharpe. Pour chaque niveau ESG, le ratio de sharpe le plus élevé a donc été calculé. Les résultats montrent que l'augmentation du niveau d'ESG n'entraîne qu'une faible réduction du ratio de sharpe, ce qui signifie que les objectifs éthiques peuvent être atteints à un faible coût [Pedersen *et al.*, 2021].

Contrairement aux travaux mentionnés précédemment, la classe d'actif "action" sera scindée en deux sous classes, chacune étant modélisée de manière distincte. Pour ce faire, la démarche mise en oeuvre pour ce mémoire repose sur la création de deux indices boursiers distincts : l'un orienté vers les critères ESG, et l'autre non. Ces indices serviront, lors de l'allocation stratégique d'actifs, à effectuer les projections.

Cette partie a permis d'introduire l'objectif de notre étude : évaluer l'intérêt, en termes de performance et de risque, de l'intégration des critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs au sein de la classe action. L'examen des travaux existants sur le sujet a démontré que cette intégration semble réalisable sans compromettre significativement la performance financière. Cela a motivé notre étude qui sera effectuée en utilisant une approche méthodologique différente.

En conclusion, une prise de conscience des impacts du changement climatique sur le secteur assurantiel a conduit à une mobilisation croissante des acteurs et des autorités de contrôle, ainsi qu'au développement d'outils facilitant les prises de décisions. Sur la base de ces outils, de nombreuses études ont été réalisées visant à mesurer l'impact de l'intégration de critères ESG. Cette intégration s'est généralement basée sur l'évaluation globale du portefeuille, sans créer une classe d'actif spécifique. L'objectif de notre étude sera donc de créer une telle classe d'actif et d'évaluer son impact sur l'allocation stratégique d'actifs. Pour effectuer cela, l'approche adoptée consistera à créer deux indices, l'un ESG et l'autre non ESG qui serviront à projeter les actions. Ensuite, différentes allocations comportant des proportions variées d'action ESG et non ESG seront analysées.

Le chapitre suivant sera consacré à la création des deux indices qui serviront à projeter nos actions.

Chapitre 2

Création d'un indice ESG et d'un indice non ESG

L'objectif de ce chapitre est de séparer les indices Euro Stoxx 50 et Euronext 100 en deux indices : l'un ESG et l'autre non ESG. Comme mentionné dans la partie 1.2.2, il existe déjà des indices ESG. Néanmoins, ces derniers présentent des limites comme une opacité de construction et une classification qui ne correspond pas forcément aux recommandations du GIEC. Notre objectif sera donc de construire un indice permettant de pallier ces problématiques.

De plus, en développant notre propre indice ESG, l'ambition est de mettre en place une approche reproductible qui pourra s'adapter aux contextes ou aux objectifs spécifiques de certaines compagnies.

Dans la suite, nous utiliserons les termes "entreprises ESG" pour parler des entreprises appartenant au groupe ESG et "entreprises non ESG" pour celles du groupe non ESG.

2.1 Aspect théorique

2.1.1 Choix d'un critère ESG

Plusieurs possibilités peuvent être envisagées concernant le choix du critère ESG. Quelques idées non exhaustives seront présentées dans la suite.

Etude de la distribution d'un des indicateurs

L'une des possibilités est de regarder la distribution d'un des indicateurs ESG et de définir un seuil à partir duquel l'action peut être considérée comme ESG ou non. Plusieurs indicateurs sont à notre disposition avec leurs avantages et leurs inconvénients.

Il est par exemple possible d'utiliser l'intensité carbone. L'intensité carbone d'une entreprise est un indicateur qui évalue le rapport entre la quantité de gaz à effet de

serre émis et le chiffre d'affaire. Cette information est donc objective et peu retraitée. Néanmoins, elle ne tient pas compte des différences entre les secteurs (certains secteurs peuvent être décarbonés plus ou moins facilement). Elle ne tient pas non plus compte des aspects sociaux et de gouvernance.

La note ESG peut également être utilisée. Elle est construite à partir d'un ensemble d'indicateurs et elle permet de définir les risques environnementaux, sociaux et de gouvernance d'une entreprise. Le principal désavantage de cet indicateur est l'absence de critères universels pour déterminer ces notes ESG. En effet, comme évoqué dans la partie 1.2.2, les notes ESG sont très différentes d'une agence de notation à une autre. Une entreprise peut donc être bien notée par une agence de notation et mal notée par une autre. Par ailleurs, le poids attribué à chacun des indicateurs n'est pas connu.

L'un des inconvénients concernant cette méthode est le fait de n'utiliser qu'un seul indicateur comme critère ESG alors que plusieurs autres données sont disponibles. Un autre inconvénient est le fait qu'on détermine un seuil de manière relatif et pas absolu. Certaines entreprises mettent cependant en pratique cette approche au niveau de leur stratégie d'investissement. Il s'agit de la méthode "best in class" qui consiste à investir dans les entreprises les plus performantes du point de vue ESG pour chaque secteur.

Critère dépendant des objectifs européens

Une autre possibilité est de construire un critère à partir des objectifs fixés à l'échelle européenne. En effet des budgets carbone ont été fixés et déclinés par secteur. Il serait donc possible d'attribuer à chaque entreprise un niveau d'émissions de gaz à effet de serre, déterminé en fonction de sa position relative au sein de son secteur d'activité. Cette méthode permettrait d'avoir un indice cohérent avec les objectifs européens. Néanmoins un seul indicateur serait de nouveau utilisé.

Critère basé sur des méthodes de classification

Une autre possibilité est d'utiliser des méthodes de classification pour regrouper les entreprises selon des groupes homogènes d'un point de vu ESG. Il s'agit de la méthode que nous allons utiliser car elle est relativement facile à mettre en place et permet de considérer l'ensemble des données ESG qui sont à notre disposition.

La mise en place d'une classification supervisée aurait nécessité de connaître les entreprises ESG et les entreprises qui ne le sont pas. Pour ce faire, il aurait été possible de se baser sur les indices existants. Cependant, comme mentionné précédemment, ces indices présentent des limites que nous cherchons à dépasser. Notre objectif n'étant pas de reproduire les classifications existantes, il était donc naturel de se tourner vers des approches non supervisées.

2.1.2 Définitions générales en lien avec la classification

La classification permet de regrouper les individus dans des classes dans lesquelles ils sont les plus semblables. L'objectif est de parvenir à une répartition des individus de telle sorte qu'au sein d'un même groupe les individus se ressemblent le plus possible et que au sein de groupes différents les individus se ressemblent le moins possible.

Les définitions mathématiques qui vont suivre posent les bases nécessaires pour définir d'autres notions tout au long de l'étude.

Définition : Inertie

Soit $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ un ensemble fini de n individus caractérisés par p variables. On note $I(E)$ l'inertie de l'ensemble E et on a :

$$I(E) = \frac{1}{n} \sum_{e \in E} \|e - G\|^2, \text{ où } G = \frac{1}{n} \sum_{e \in E} e \text{ est le centre de gravité de } E.$$

Définition : Inertie intraclasse et inertie interclasse

Soit $S = \{C_1, \dots, C_k\}$ une partition de E en k classes.

L'inertie intraclasse correspond à la dispersion de l'ensemble des centres de gravités des k classes autour du centre de gravité G . Soit n_j le nombre d'individu au sein de la classe C_j . On a :

$$I_{intra}(S) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j I(C_j) \text{ avec } I(C_j) \text{ l'inertie de la classe } C_j.$$

L'inertie interclasse correspond à la dispersion de l'ensemble des centres de gravités des k classes autour du centre de gravité G . Soit d la distance euclidienne sur \mathbb{R}^p . On a :

$$I_{inter}(S) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k n_j d(G_j, G)^2 \text{ avec } G_j \text{ le centre de gravité de la classe } j.$$

Si l'inertie intraclasse est faible alors les classes sont homogènes et les individus sont peu éloignés du centre de gravité de leur classe. Si l'inertie interclasse est grande alors les différentes classes sont bien séparées.

2.1.3 ACP : Analyse en Composante Principale

L'ACP n'est pas une technique de classification, il s'agit d'une méthode de réduction de dimension qui peut être utilisée pour résumer l'information et l'illustrer de manière simple. Elle est tout de même présentée dans cette partie car sa faculté à produire des variables décorréelées peut aider à réduire les biais et à optimiser certaines méthodes de classification.

Son objectif est de représenter des individus situés dans un espace à p dimensions dans un sous-espace à dimension plus faible et dans lequel les variables sont décorréelées.

La projection des individus est effectuée sur un espace qui limite le plus possible la variation de l'inertie ou autrement dit la déformation du nuage de point. Il est possible d'évaluer la quantité d'information perdue lors de la réduction de la dimension en calculant le pourcentage d'inertie totale expliqué.

Soit une projection d'un nuage de point sur l'espace principal E_k engendré par les k premiers axes principaux u_1, \dots, u_k . Soit $\lambda_1, \dots, \lambda_p$ les valeurs propres associées aux vecteurs u_1, \dots, u_p .

Le pourcentage d'inertie totale expliqué par la sous espace principal E_k est :

$$\frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \dots + \lambda_k + \dots + \lambda_p}$$

Plus ce pourcentage est proche de 1, plus la projection est proche du nuage initial.

Par ailleurs, une valeur propre supérieure à 1 indique que la composante principale représente plus de variance que la variable initiale. Ce critère peut donc être utilisé pour déterminer quelles composantes principales garder. Il s'agit du critère de Kaiser et il ne s'applique que sur des données normalisées.

La qualité de la représentation des individus peut également être analysée. Pour un individu X_j , la qualité (notée QLT) de la représentation par le sous espace vectoriel E_k engendré par les k premiers axes principaux peut être évaluée par le carré du cosinus entre X_j et son projeté orthogonal $\pi_{E_k}(X_{j,\cdot})$ sur E_k . Soit (u_1, \dots, u_k) une base orthonormée de E_k . On note $(x, y) = \sum_{i=1}^n x_i y_i$ le produit scalaire usuel. On a :

$$QLT(j, k) = \cos^2(X_{j,\cdot}, \pi_{E_k}(X_{j,\cdot})) = \sum_{i=1}^k \cos(X_{j,\cdot}, u_i)^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_{j,\cdot}, u_i)^2}{\|X_{j,\cdot}\|^2}$$

Un individu est bien représenté par le sous espace vectoriel E_k si $QLT(j, k)$ est proche de 1. En effet, si $\cos(X_{j,\cdot}, u_i)^2$ est égal à 1 cela signifie que l'on ne perd pas d'information sur l'individu X_j en le projetant selon la direction u_i . Inversement, si $\cos(X_{j,\cdot}, u_i)^2$ est égal à 0 alors la direction u_i n'apporte aucune information sur l'individu X_j .

Il faut cependant être vigilant si l'individu est proche du centre de gravité. En effet l'ACP est souvent effectuée sur un tableau de données centré-réduit car les variables n'ont généralement pas toutes la même unité. Par exemple, dans le cadre de cette étude, certaines données seront évaluées sur une échelle variant de 1 à 5, tandis que d'autres pourront atteindre plusieurs millions. Centrer et réduire les données permet d'obtenir une projection qui ne dépend pas des unités de mesure. Ainsi un individu proche du centre de gravité est proche de l'origine si le tableau est centré. Or les vecteurs avec une norme faible sont toujours proches de leur projection et cela ne dépend pas de l'angle de projection.

2.1.4 CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

Le principe de cette méthode est de partir d'une partition initiale où toutes les classes sont des singletons puis de regrouper les deux classes les plus proches jusqu'à ce que tous les points soient regroupés. Pour effectuer cela, il est nécessaire de choisir une définition de la distance entre deux ensembles de points. Il en existe plusieurs : saut minimum, saut maximum, saut moyen, saut de Ward. . .

Soit deux ensembles de point A et B.

— Saut minimum : $d^*(A, B) = \min_{i \in A, j \in B} d(i, j)$

— Saut maximum : $d^*(A, B) = \max_{i \in A, j \in B} d(i, j)$

— Saut moyen : $d^*(A, B) = \frac{1}{n_A n_B} \sum_{i \in A, j \in B} d(i, j)$

— Saut de Ward : $d^*(A, B) = \frac{n_A n_B}{n_A + n_B} d(G_A, G_B)^2$

Le saut de Ward est la distance la plus utilisée, il s'agit d'une minimisation à chaque étape de la variance intraclasse. Cette distance a tendance à créer des classes de même taille et est sensible aux valeurs aberrantes. Le saut minimum est assez peu sensible aux valeurs aberrantes mais peut constituer des classes très étendues si deux classes éloignées sont reliées par un faible nombre d'individus proches les uns des autres. Au contraire, le saut maximum construit des classes plus condensées avec peu d'individus éloignés mais cette distance est très sensible aux valeurs aberrantes. La distance moyenne, quant à elle, crée des classes de faible variance et est peu sensible au bruit.

La CAH peut ensuite être représentée par un dendrogramme où la hauteur des branches correspond à la valeur du saut lors du regroupement des classes. Il faut donc effectuer la séparation à un endroit où le saut est important pour avoir des classes différentes les unes des autres.

Un inconvénient de cette méthode réside dans le fait qu'elle engendre des temps de calcul considérables lorsque le nombre d'individus augmente. Par conséquent, son utilisation sur des ensembles de données volumineux est limitée.

2.1.5 *k-means*

Comme évoqué ci-dessus, l'une des limites de la CAH est que les temps de calcul peuvent être très longs si le nombre d'individus est important. La méthode des *k-means* peut, quant à elle, être utilisée s'il y a beaucoup d'individus.

Cette méthode vise à classer des données en k groupes, où k est un nombre fixé à l'avance. Son principe repose sur la sélection des k points initiaux qui serviront de centres pour les classes. Ensuite, chaque individu va être affecté au centre dont il est le plus proche puis les centres de chaque classe vont être recalculés et devenir les k nouveaux centres. Ce processus est réitéré jusqu'à un certain nombre d'itérations fixées ou lorsque

que l'inertie intraclasse ne diminue plus.

Une des limites de cette méthode est que, contrairement à la CAH, elle nécessite de fixer à priori le nombre de classes k . Par ailleurs, le choix des points initiaux est un paramètre important à prendre en compte. En effet, la classification varie en fonction de l'initialisation. Cela peut conduire à une convergence de la somme des inerties intraclasse vers des minimums locaux plutôt que le minimum global et donc affecter la qualité de la classification.

Plusieurs méthodes existent pour évaluer la qualité du *clustering* et déterminer le nombre optimal de classe. Elles seront présentées ci-dessous.

Coefficient de Silhouette

Le coefficient de Silhouette est un coefficient qui analyse pour chaque point la distance par rapport aux points de la classe auquel il appartient et la distance par rapport aux points des autres classes.

Soit i un point appartenant à la classe k et J_k l'ensemble des points appartenant à la classe k . On note n_{J_k} le nombre d'observation appartenant à la classe k .

Soit $a(i)$ la distance moyenne du point par rapport à son groupe

$$a(i) = \frac{1}{n_{J_k} - 1} \sum_{j \in J_k, j \neq i} d(i, j).$$

Soit $b(i)$ la distance moyenne du point par rapport à son groupe voisin

$$b(i) = \min_{k' \neq k} \frac{1}{n_{J_{k'}}} \sum_{i' \in J_{k'}} d(i, i').$$

Le coefficient de Silhouette du point i est : $S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))}$

Ce coefficient est compris entre -1 et 1. Plus la valeur est proche de 1, plus le point est bien assigné à sa classe. La moyenne des coefficients de silhouette peut être calculée pour évaluer la qualité des classes.

L'indice de Dunn

L'indice de Dunn correspond au rapport entre la distance maximale entre deux éléments du même groupe et la distance minimale entre deux éléments de deux groupes distincts. Une valeur de l'indice élevée correspond donc à des groupes compacts et bien séparés.

Soit K l'ensemble des classes, J_k l'ensemble des points appartenant à la classe k et i un point appartenant à l'ensemble J_k . On a :

$$d_{min} = \min_{k \neq k'} \min_{i \in J_k, j \in J_{k'}} d(i, j)$$

$$d_{max} = \max_{k \in K} \max_{i, j \in J_k} d(i, j)$$

$$\text{Indice de Dunn} = \frac{d_{min}}{d_{max}}$$

L'indice de Davies-Bouldin

L'indice de Davies-Bouldin est une moyenne du maximum des rapports entre la distance d'un point par rapport au centre de son groupe et de la distance entre deux centres de groupes. Plus l'indice est faible, plus la qualité du clustering est importante.

Soit G_k le centre de gravité de la classe k et n_{J_k} le nombre d'observations appartenant à la classe k . On note $\bar{\delta}_k$ la distance moyenne entre un point et le centre de son groupe.

$$\text{On a : } \bar{\delta}_k = \frac{1}{n_{J_k}} \sum_{i \in J_k} d(i, G_k)$$

$$\text{Indice Davies-Bouldin} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \max_{k \neq k'} \left(\frac{\bar{\delta}_k + \bar{\delta}_{k'}}{d(G_k, G_{k'})} \right)$$

Ces méthodes sont donc des outils qui peuvent aider à déterminer le nombre optimal de classes et à évaluer la qualité du *clustering*. Néanmoins la méthode des *k-means* n'est pas nécessairement stable et la valeur de ces coefficients va donc varier en fonction des points initiaux. Plusieurs solutions peuvent permettre de stabiliser les résultats des *k-means* comme par exemple la réduction de la dimension à l'aide d'une ACP.

Utilisation des résultats de l'ACP

Pour améliorer la stabilité des résultats, une approche courante consiste à utiliser les résultats de l'ACP comme entrée pour les *k-means*. Comme évoqué précédemment, l'ACP permet de réduire le nombre de dimensions du problème en transformant les variables initiales en un ensemble plus restreint de composantes principales, tout en conservant autant que possible l'information contenue dans les données.

Cette méthode possède de nombreux avantages. Pour commencer, en réduisant le nombre de dimension, l'ACP permet de travailler avec moins de variables, ce qui facilite les calculs des *k-means* et réduit la volatilité des résultats. En effet, des complications surgissent lorsque le nombre de variables augmente considérablement dans un ensemble de données, cette problématique est appelée le fléau de la dimension [Bellman, 1961].

Ensuite, l'ACP permet de résoudre les éventuels problèmes de corrélations entre les variables explicatives. Elle décorrèle les variables en trouvant de nouvelles variables non corrélées (les composantes principales). Utiliser ces dernières permet donc d'éviter que des informations répétitives ne perturbent les résultats des *k-means*.

Combinaison des *k-means* et de la CAH

Une autre façon de stabiliser les résultats des *k-means* est de fixer l'initialisation des centres des classes. Ainsi, une approche régulièrement mise en oeuvre consiste à effectuer quelques itérations de la CAH puis utiliser les centres trouvés comme initialisation pour la méthode *k-means* [Lebart *et al.*, 1995].

Toutefois, se servir d'une CAH comme point de départ ne résout pas réellement le problème de stabilité. Il s'agit d'une méthode qui permet plutôt de contourner le problème en choisissant une initialisation, a priori, cohérente. Cette méthode est efficace, cependant, si les résultats se révèlent très instables, la solidité scientifique de l'approche peut être contestée car cela peut mettre en question la possibilité de généraliser les résultats.

Il existe un grand nombre de méthodes de regroupement supplémentaires, telles que la classification floue, la méthode de Kohonen, la méthode t-SNE, etc. Chacune de ces méthodes présente ses propres avantages et inconvénients. Pour notre étude, il a été décidé de se limiter à la mise en oeuvre de la CAH et des *k-means* car ces approches ont donné des résultats satisfaisants.

Pour résumer, des méthodes de classification seront utilisées dans la suite pour regrouper les entreprises selon des ensembles homogènes en termes d'impact ESG. La CAH est une méthode pour laquelle il n'est pas nécessaire de choisir en amont le nombre de classe, elle est facile à comprendre, visuelle mais le temps de calcul est exponentiel. De son côté, la méthode *k-means* a pour avantage d'être relativement simple à mettre en oeuvre et de convenir aux jeux de données volumineux, mais, ses résultats dépendent du positionnement initial des points et nécessitent la spécification du nombre de classes. Plusieurs méthodes existent néanmoins pour limiter ces inconvénients.

2.2 Analyse des données

2.2.1 Présentation des données

L'historique des cours et les données ESG utilisées sont issues de Boursorama. Concernant l'historique des cours, les données ont également été complétées par celles de investing.com lorsque celles de Boursorama étaient incomplètes.

Les données ESG de Boursorama sont fournies par Morningstar / Sustainalytics. Elles comprennent :

- Un risque lié aux controverses (noté `niv_contro` dans la suite) : l'évaluation du risque lié aux controverses consiste dans un premier temps à identifier les entreprises impliquées dans des événements ayant un impact négatif sur les aspects ESG. Puis une note est donnée en fonction du niveau d'implication de l'entreprise et de la façon dont l'incident est géré. La note va de 0 à 5 où 5 correspond à une controverse ayant un impact sur les aspects ESG important et entraînant des risques élevés pour l'entreprise.
- Une intensité carbone (notée `int_CO2`) : l'intensité carbone correspond aux tonnes de CO₂ équivalent émis par million d'euros de revenus générés.
- Une émission carbone sur 3 ans (notée `emi_CO2`) : l'émission carbone est calculée à partir des scopes 1 et 2. Le scope 1 concerne tous les gaz à effet de serre émis directement par l'entreprise comme par exemple les émissions liées aux équipements et aux installations de chauffage dans les locaux ou les émissions liées à la combustion de carburant des véhicules détenus par l'entreprise. Le scope 2 concerne les émissions indirectes liées à l'énergie : ce sont les émissions liées à la production des énergies utilisées par l'entreprise lors du processus de production. Elles dépendent de la source d'énergie primaire utilisée pour les produire (pétrole, nucléaire, énergies renouvelables).
La valeur donnée par Sustainalytics correspond à la somme des émissions carbonees sur 3 ans.
- Une implication dans des activités ayant un impact positif (notée `impact_pos`) : la note va de 0 à 12 et est déterminée en fonction du pourcentage de revenus qui provient d'une activité durable. L'activité est considérée comme durable si elle vérifie un critère de durabilité défini à partir notamment de normes d'industrie et de normes de marché. Les activités considérées couvrent un large éventail de domaines. Par exemple la fourniture de produits et services améliorant l'efficacité énergétique est une activité ayant un impact positif. Il y a également des activités liées à l'eau, l'éducation ou encore la santé.
- Une implication dans des activités ayant un impact négatif (notée `impact_neg`) : la note va de 0 à 23 et est déterminée en fonction du degré d'implication dans des activités controversées ainsi que dans certains cas du pourcentage de revenus qui provient de telles activités. Des activités peuvent être controversées pour des raisons réglementaires, de risques ou éthiques et elles sont regroupées en cinq domaines : défense, pratique métier, valeurs, énergie et environnement. Par exemple, l'implication dans l'extraction de sables bitumeux est une activité ayant un impact négatif. Les activités liées à l'alcool, au jeu d'argent... sont également considérées comme ayant un impact négatif.
- Une évaluation des risques ESG (non retenue pour l'étude) : la note correspondant au risque ESG permet d'évaluer les risques liés aux aspects environnementaux, sociaux et de gouvernance qui ne sont pas gérés par l'entreprise. La notation

dépend de l'exposition à ces risques et de leur gestion. De nombreux risques sont évalués comme par exemple le respect des droits de l'homme à la fois au niveau de la chaîne d'approvisionnement et au niveau des opérations propres à l'entreprise, l'utilisation des ressources, l'utilisation des sols et de la biodiversité. . . .

Deux limites concernant ces données peuvent toutefois être évoquées.

En effet, les données dont nous disposons proviennent d'un seul distributeur. Or, des écarts peuvent exister entre les fournisseurs de données. Cela concerne plus particulièrement les variables note ESG, impact positif, impact négatif et niveau de controverse. Par ailleurs, les données ESG sont relativement récentes et leur fréquence de mise à jour est encore limitée. La disponibilité de l'historique est donc restreinte voire inexistante.

2.2.2 Hypothèses

Pour effectuer le *clustering*, seules les données extra-financières seront prises en compte. Les données financières seront utilisées uniquement dans la partie 2.4 qui concerne la construction des deux indices.

Concernant le choix des variables explicatives, il a été décidé de ne pas utiliser la variable "risque ESG" en raison des nombreuses limites mises en évidence au début de cette étude (Partie 1.2.2).

Ensuite, par rapport à l'horizon temporel, plus ce dernier était important plus l'historique fourni par Boursorama comportait des valeurs manquantes. Afin de limiter le nombre de données à récupérer sur le site investing.com, il a été décidé de conserver celles comprises entre septembre 2019 et février 2023. Cet horizon tient compte des récentes périodes de crises (COVID et guerre en Ukraine). Un historique plus long aurait pu être intéressant afin de pouvoir lisser les données au moment de ces événements.

Par ailleurs, le périmètre de l'étude comporte les entreprises de l'EUROSTOXX 50 et de l'EURONEXT 100. Des méthodes de clustering ont été appliquées préalablement à chacun de ces deux indices mais, après traitement des données, nous disposions respectivement de 47 et 79 entreprises et les groupes non ESG comportaient très peu d'individus. Ainsi, afin d'améliorer la robustesse de notre étude, ces deux indices ont été combinés pour avoir un nombre d'entreprise plus important. Cela permet d'obtenir une représentation plus complète du marché et de limiter les impacts liés à des effets individuels.

Enfin, la composition des indices étant variable au cours du temps, il a été décidé de retenir les entreprises présentes dans l'indice au 30 décembre 2022.

2.2.3 Traitement des données

Dans la partie suivante, le traitement des données porte sur les données financières.

Pour certaines entreprises, les données issues de Boursorama étaient incomplètes et contenaient très peu de points. Des données ont donc été récupérées sur le site inves-

ting.com pour réduire le nombre de valeurs manquantes. Cela n'a pas permis de les éliminer complètement mais leur nombre a, néanmoins, fortement diminué. Effectivement, entre septembre 2019 et février 2023, 46 valeurs sont manquantes.

Par ailleurs, un backtesting des données a également été réalisé avant de remplacer les données de Boursorama par celles de investing.com. L'ensemble de l'historique issu de Boursorama a été comparé à celui de investing.com afin de s'assurer de leur cohérence. Ainsi malgré un nombre important de données manquantes sur le site Boursorama pour certaines entreprises, la comparaison avec les données de investing.com a permis de s'assurer de leur fiabilité. Deux entreprises, Randstad et Flutter Entertainment, ont tout de même été enlevées de nos données car des écarts importants ont été constatés. L'entreprise Universal Music Group a également été supprimée car étant cotée depuis peu, l'historique de données était trop faible.

Au final, nous disposons pour la construction de notre indice des données de 106 entreprises. Dans le détail, 20 entreprises étaient communes entre les deux indices, 21 ont été retirées car les données de durabilité n'étaient pas disponibles et enfin, comme évoqué précédemment, 3 entreprises ont également été supprimées suite aux problèmes liés aux cours boursiers.

2.2.4 Analyse graphique

La matrice de corrélation des variables extra-financières a été représentée ci-dessous.

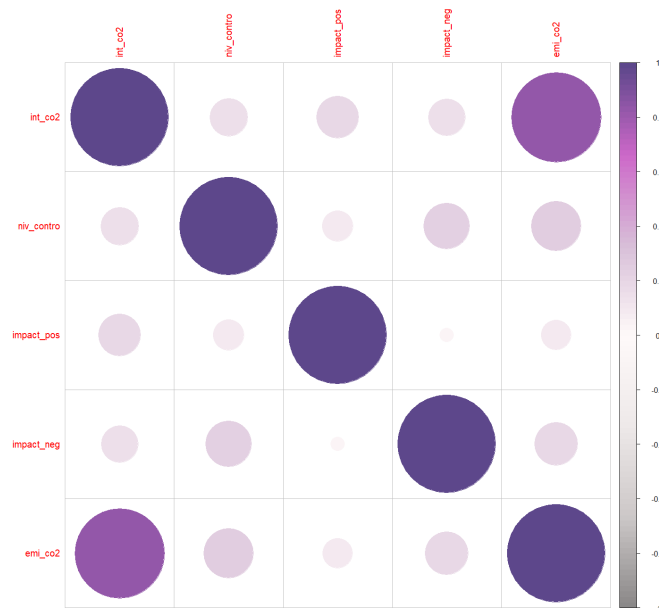


FIGURE 2.1 – Matrice de corrélation

Tout d’abord, l’intensité carbone et les émissions carbonées sont très corrélées. Cela peut refléter une faible efficacité énergétique c’est à dire qu’une grande quantité de gaz à effet de serre est émise pour chaque unité de production. Cette forte corrélation peut également mettre en évidence une dépendance importante aux combustibles fossiles.

D’un point de vue pratique il sera nécessaire de tenir compte de cette forte corrélation, en effet les deux variables apportent des informations similaires, un retraitement sera potentiellement nécessaire.

Ensuite, les corrélations de la variable impact positif vont à l’encontre de ce que l’on pourrait intuitivement attendre. En effet, cette dernière présente une corrélation faible mais positive avec toutes les autres variables. Or la variable impact positif traduit un effet bénéfique sur les aspects ESG tandis que les autres variables traduisent l’effet inverse. Ainsi, les entreprises qui mettent en œuvre des actions en faveur des aspects ESG ne sont pas nécessairement celles qui ont une faible empreinte environnementale.

Par ailleurs, l’observation des valeurs prises par cette variable révèle que de nombreuses entreprises ne sont pas engagées dans des activités ayant un impact positif. La variable peut théoriquement prendre des valeurs entre 0 et 12 et ici les valeurs vont simplement de 0 à 4. En effet, 12 activités sont prises en compte pour évaluer l’impact positif et les entreprises doivent avoir un certain pourcentage de revenus qui provient d’une de ces activités pour y contribuer. Ainsi, peu d’entreprises contribuent de manière suffisante à plusieurs de ces activités.

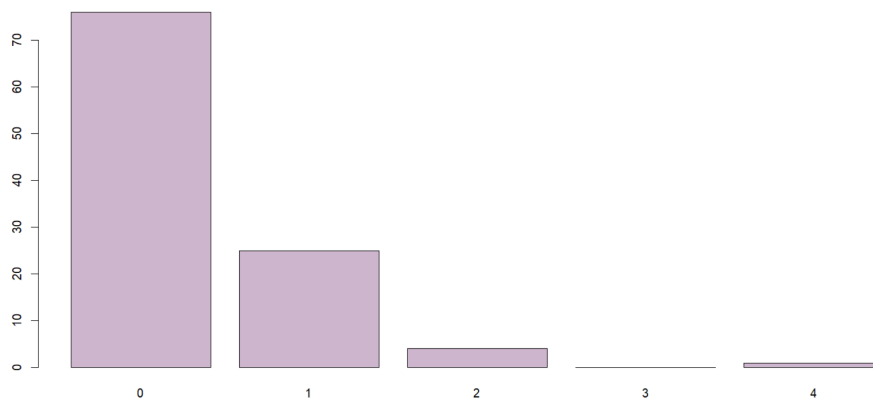


FIGURE 2.2 – Répartition de la variable impact positif

Les valeurs de la variable impact négatif ont également été étudiées. De nouveau, beaucoup d’entreprises ne sont pas impliquées dans des activités ayant un impact négatif. En effet, cette variable peut théoriquement prendre des valeurs comprises entre 0 et 23 et ici les valeurs vont simplement de 0 à 3.

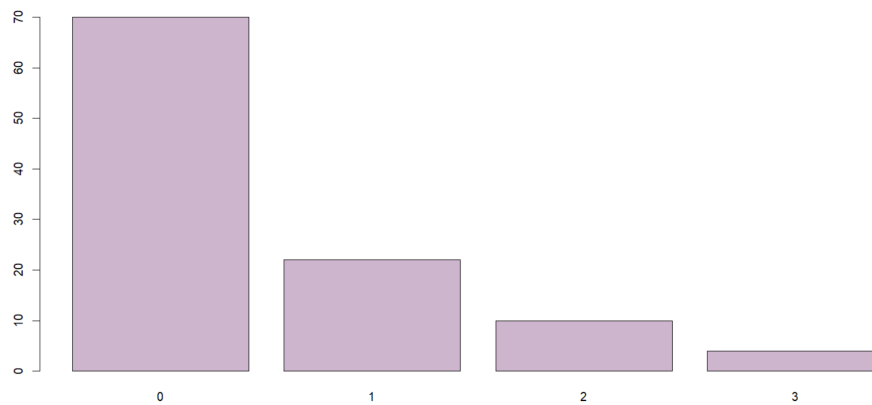


FIGURE 2.3 – Répartition de la variable impact négatif

Au vu de la faible distribution et de la prédominance des valeurs nulles, une limite concernant la pertinence de la notation de ces deux variables explicatives peut être évoquée. En effet, elles capturent peu de variations entre les observations, ce qui conduit à une distinction limitée entre les entreprises. Comme souligné dans la partie 2.2.1, une entreprise doit générer un certain pourcentage de revenus provenant d'une activité donnée pour contribuer à son impact, qu'il soit positif ou négatif. Ainsi, peu d'entreprises contribuent de manière significative à plusieurs de ces activités.

La variable "niveau de controverse" est également représentée sous la forme d'un histogramme et cette dernière est répartie de manière équilibrée sur la plage de valeurs.

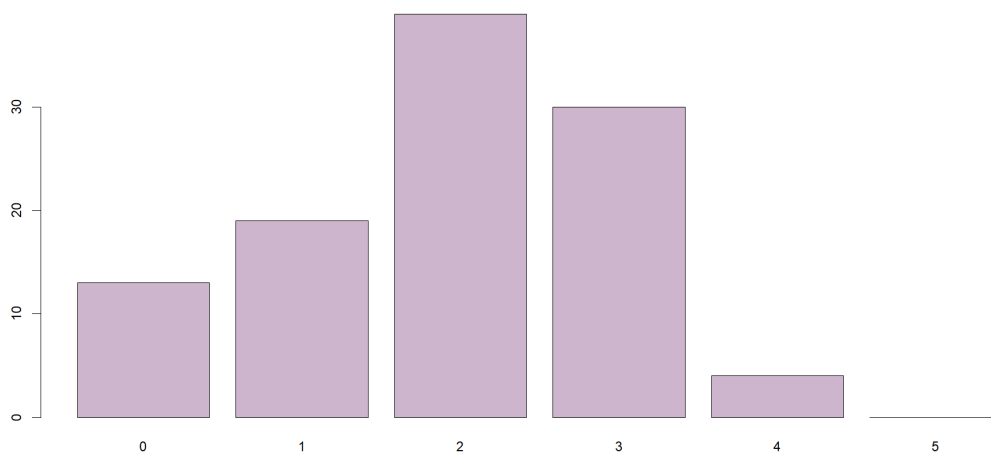


FIGURE 2.4 – Répartition de la variable niveau de controverse

Enfin, concernant l'intensité et les émissions carbonées, les valeurs sont dispersées avec beaucoup de valeurs extrêmes.

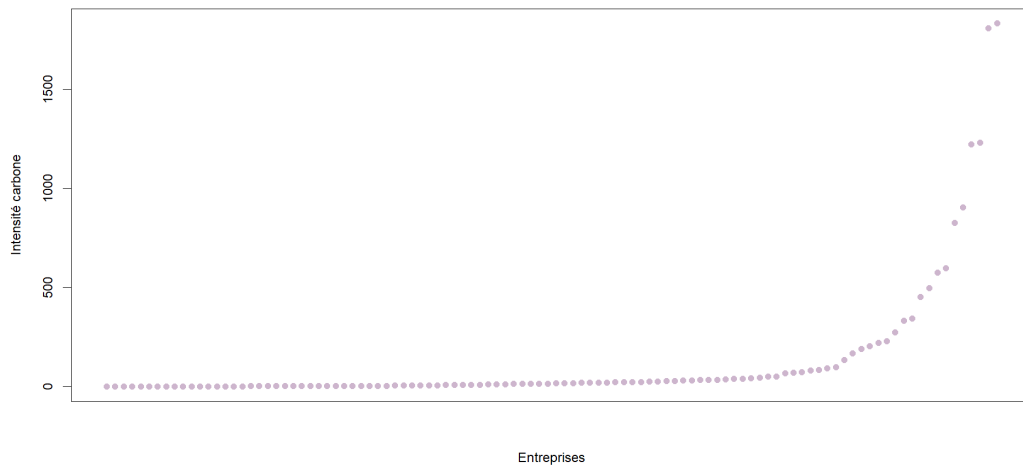


FIGURE 2.5 – Représentation de la variable intensité carbone

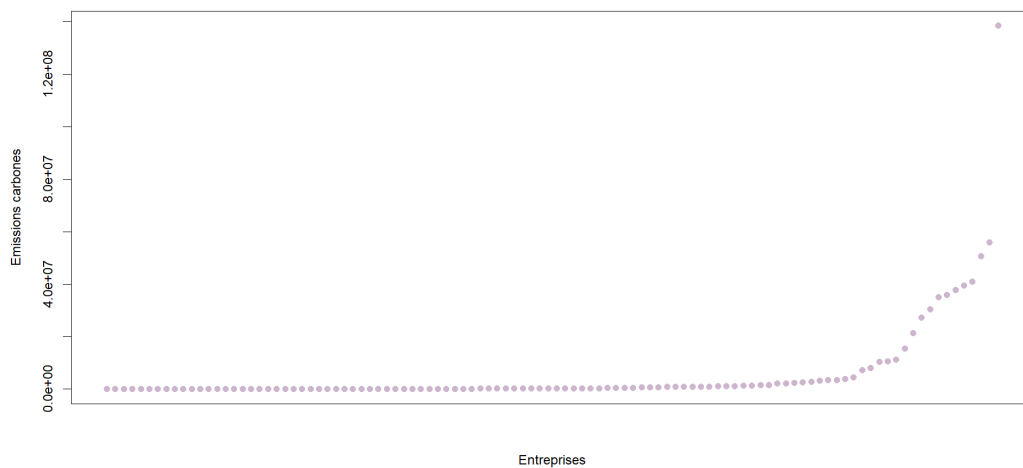


FIGURE 2.6 – Représentation de la variable émission carbone

Pour résumer, dans cette partie, une présentation des données et des différentes variables explicatives a été effectuée. Les différentes hypothèses ont été exposées et les données ont été traitées afin de réduire le nombre de valeurs manquantes tout en s'assurant de la qualité des données. Pour terminer une analyse graphique a été mise en place afin de mieux appréhender la base de données et de tenir compte de ces particularités lors des analyses qui vont suivre. Une attention particulière sera portée aux différentes unités des variables et à la forte corrélation entre l'intensité carbone et les émissions carbone.

2.3 Mise en place des méthodes de *clustering* et résultats

L'objectif de la prochaine partie est d'obtenir une séparation robuste des individus. Pour cela, les données extra-financières provenant des 106 entreprises retenues, à l'issue du traitement des données, seront utilisées. Une ACP sera dans un premier temps effectuée et elle sera suivie par la mise en place de différentes méthodes de *clustering*.

2.3.1 Analyse en composantes principales

Pour commencer, une ACP a été réalisée afin de faciliter la visualisation des données. Les pourcentages de variance expliquée seront donc examinés afin de déterminer le nombre de dimension nécessaire pour une représentation adéquate des données. Par la suite, l'ACP sera utilisée pour identifier les individus ayant un impact significatif sur les variables, car ces cas particuliers ont le potentiel de fausser la représentation globale des autres éléments. Pour repérer ces derniers, une analyse des contributions individuelles sera donc entreprise.

	Valeurs propres	Variances expliquées	Variances expliquées cumulées
Dim1	2,06	41,24%	41,24%
Dim2	1,06	21,10%	62,34%
Dim3	0,97	19,40%	81,74%
Dim4	0,77	15,32%	97,06%
Dim5	0,15	2,94%	100%

FIGURE 2.7 – Valeurs propres

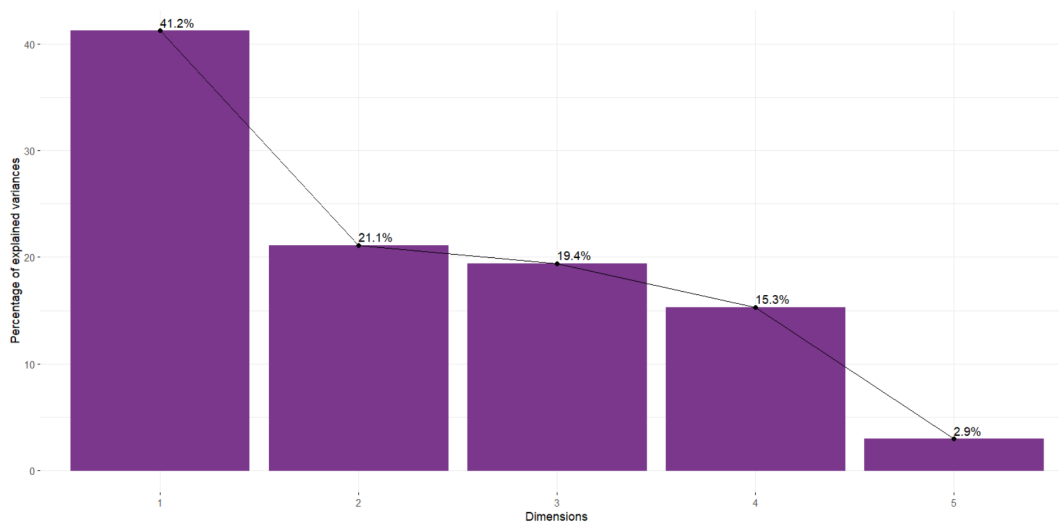


FIGURE 2.8 – Pourcentage de variance expliquée

Ces deux figures vont permettre de déterminer le nombre de dimension nécessaire pour effectuer une représentation adéquate des données.

Sur le tableau, seules deux valeurs propres sont supérieures à 1. Comme mentionné dans la partie 2.1.3, une valeur propre supérieure à 1 indique que la composante principale représente plus de variance que la variable initiale. Ce critère peut donc être utilisé pour déterminer quelles composantes principales garder.

Néanmoins, sur le graphique représentant le pourcentage de variance expliqué, la deuxième dimension n'explique pas considérablement plus de variance que la troisième ou que la quatrième (21,1% par rapport 19,4% et 15,3%). Il n'est donc pas manifeste de rejeter d'emblée ces dimensions.

Une analyse avec quatre composantes principales a été réalisée mais la stabilité des résultats était fortement diminuée. Trois composantes principales seront donc considérées pour la suite. Ensemble, elles expliquent 81,7% de la variance totale et capturent donc une grande partie de l'information contenue dans les données.

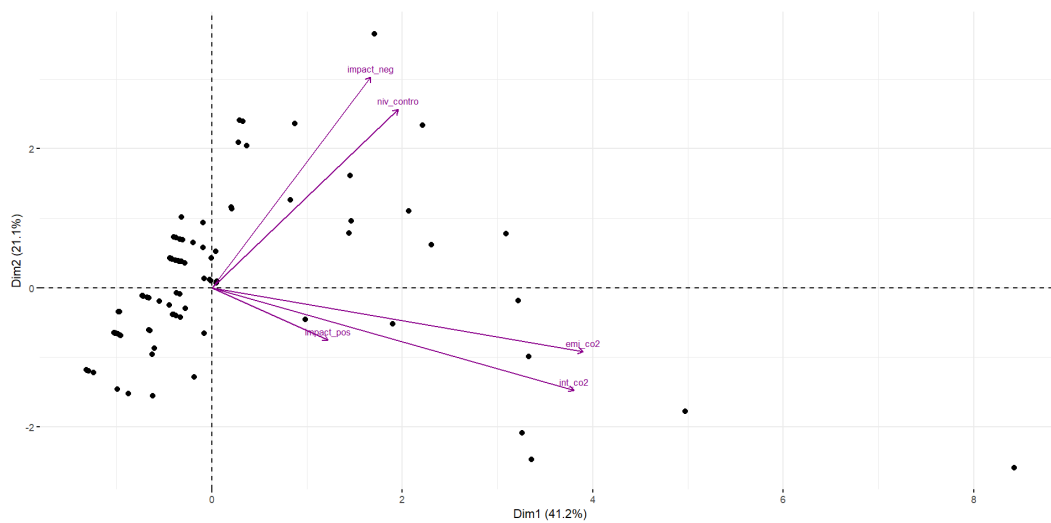


FIGURE 2.9 – Analyse en composante principale selon les dimensions 1 et 2

Ce graphique représente la position des individus sur le premier plan principal. Ici, l'axe horizontal correspondent à la première composante principale et l'axe vertical à la seconde.

Comme mentionné précédemment, le premier plan principal explique $41,2 + 21,1 = 62,3\%$ de l'inertie totale. L'ensemble des individus est donc bien représenté dans le premier plan principal. La première composante principale, qui explique $41,2\%$ de l'inertie totale, est corrélée positivement avec l'ensemble des variables. Les entreprises situées à droite de l'axe ont donc un impact négatif sur les aspects ESG. La deuxième composante principale, qui explique $21,1\%$ de l'inertie totale, est corrélée positivement avec le niveau de controverse et l'impact négatif, et négativement avec l'intensité carbone et les émissions carbonées.

Par ailleurs, la variable impact positif est orientée dans la même direction que les variables intensités carbonées et émissions carbonées. Toutefois la taille de la flèche montre que la corrélation de cette variable avec les deux premiers axes principaux est assez faible.

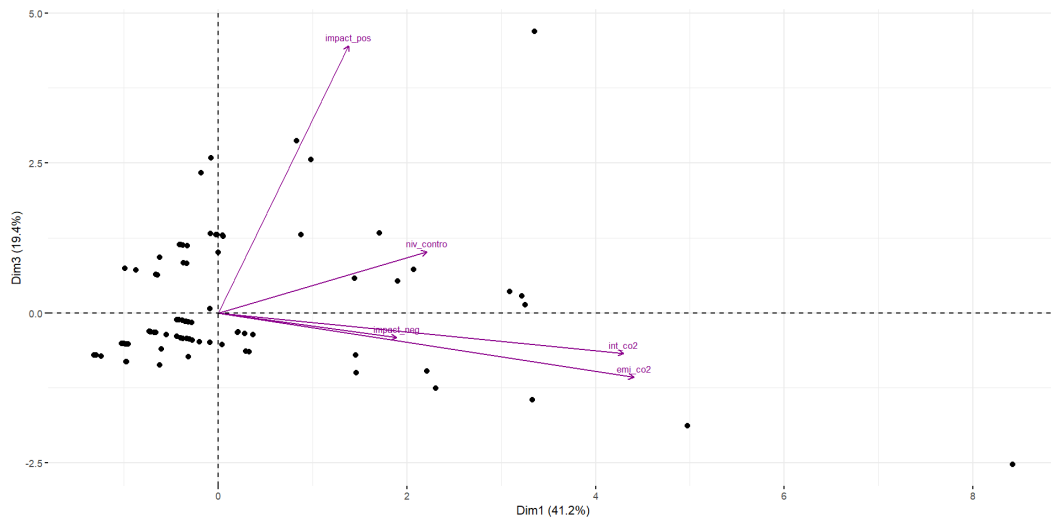


FIGURE 2.10 – Analyse en composante principale selon les dimensions 1 et 3

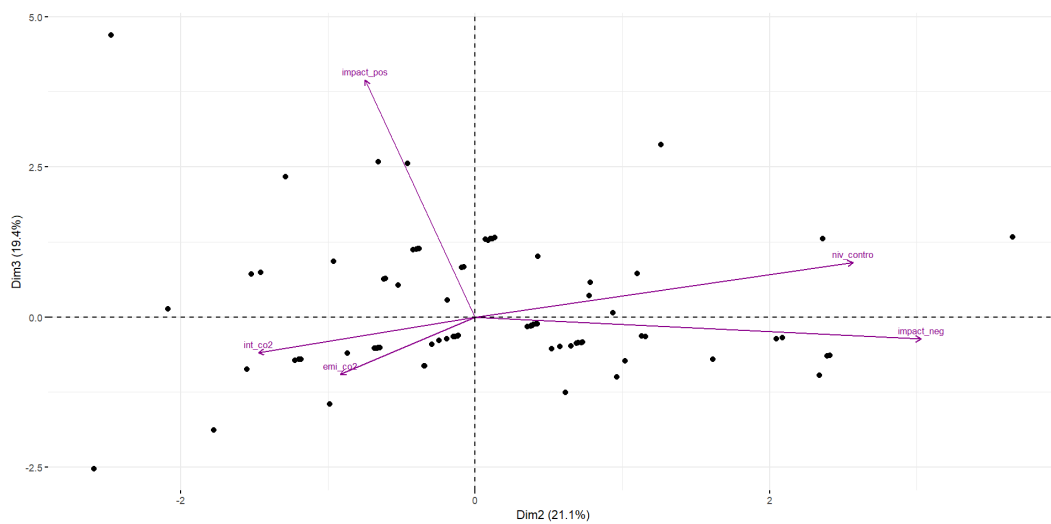


FIGURE 2.11 – Analyse en composante principale selon les dimensions 2 et 3

La représentation du troisième axe principal permet de mettre en évidence la forte corrélation de ce dernier avec la variable impact positif.

Une étude de la qualité de l'ACP a ensuite été effectuée.

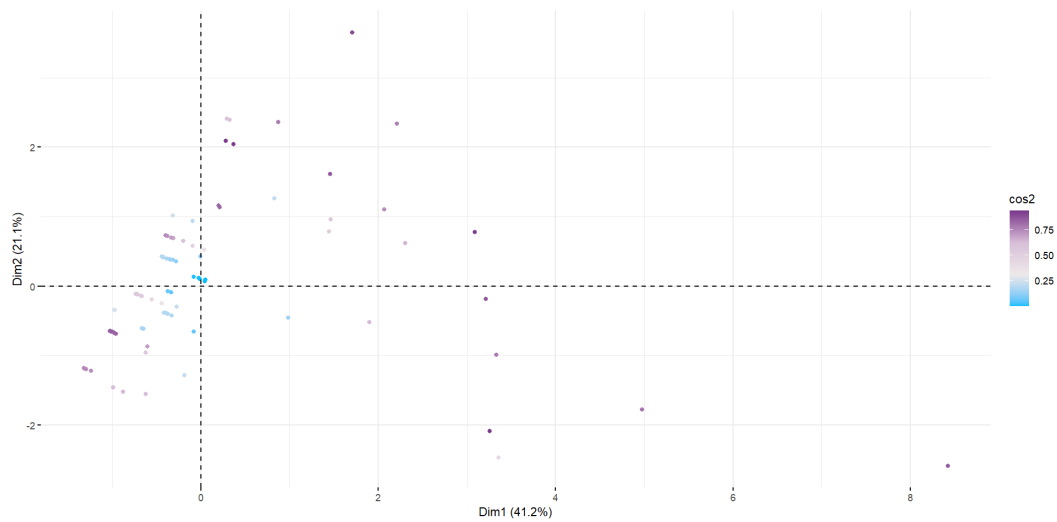


FIGURE 2.12 – Analyse des cos2

Les coefficients des cosinus carré présentent des valeurs majoritairement assez élevées, les entreprises sont donc globalement bien représentées sur le premier plan principal.

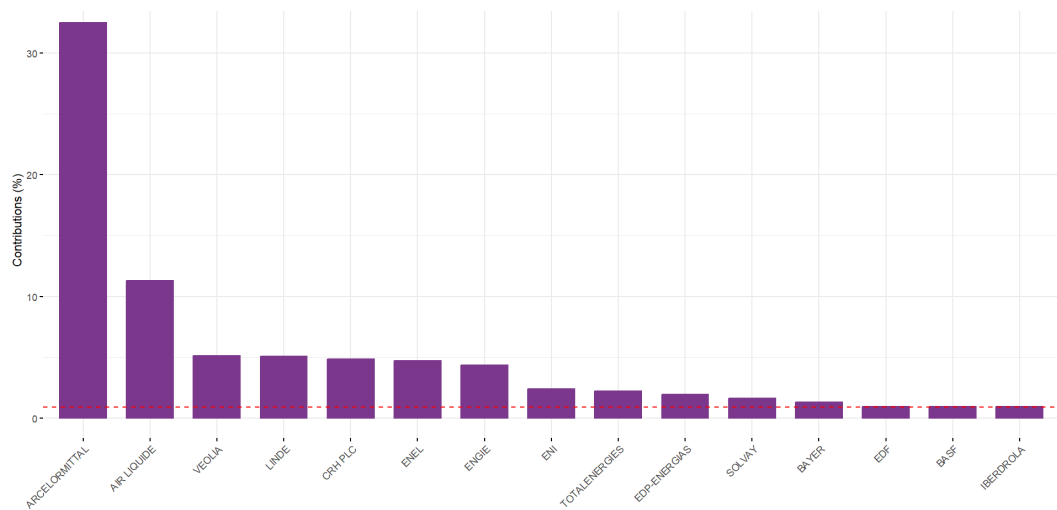


FIGURE 2.13 – Contribution au premier axe principal

Ce graphique permet de représenter la contribution des différentes entreprises au premier axe principal. Arcelormittal contribue très fortement à ce dernier. L'étude est donc refaite sans cette entreprise afin d'observer la modification éventuelle des résultats.

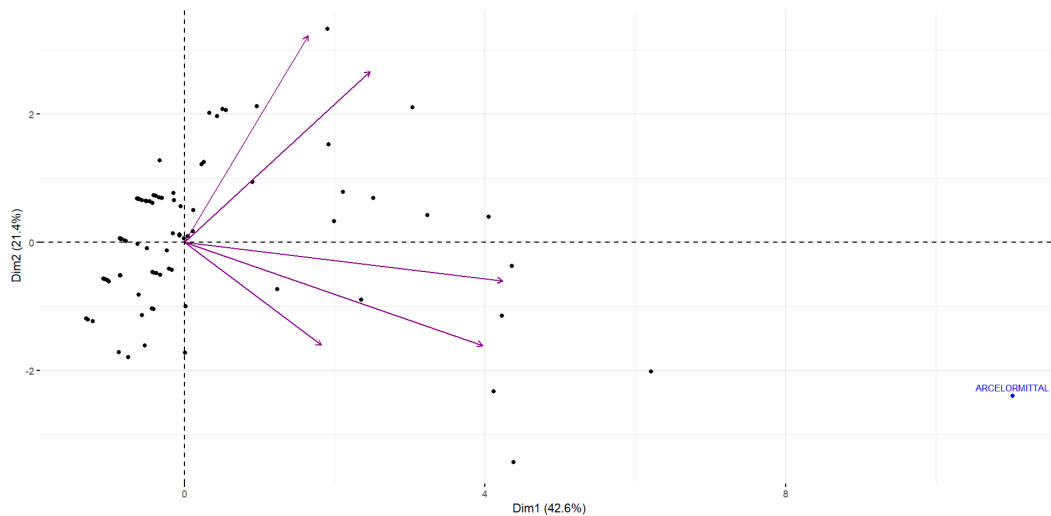


FIGURE 2.14 – Analyse en composante principale sans ArcelorMittal

L'entreprise ArcelorMittal est représentée en bleu, elle est affichée sur le graphique mais n'a pas été utilisée pour calculer les axes principaux. Il y a assez peu de différence entre ce nouveau graphique et l'ancien. Ainsi malgré sa forte contribution, ArcelorMittal ne fausse pas la représentation des autres individus. Par ailleurs, le pourcentage de variance expliquée par le premier plan principal reste sensiblement le même (64%) par conséquent le poids attribué aux variables explicatives n'est pas modifié de façon importante. Des variables explicatives n'ont donc pas été négligées par la présence de cette entreprise.

Toutefois, contrairement à ArcelorMittal, Veolia contribue très fortement au troisième axe principal et la représentation des données est modifiée de façon plus importante lorsque l'on retire cette dernière. En effet, Veolia est une entreprise émettant beaucoup de gaz à effet de serre mais qui est également impliquée dans de nombreuses activités ayant un impact positif. Ainsi en enlevant Véolia la corrélation des variables aux différents axes principaux est modifiée.

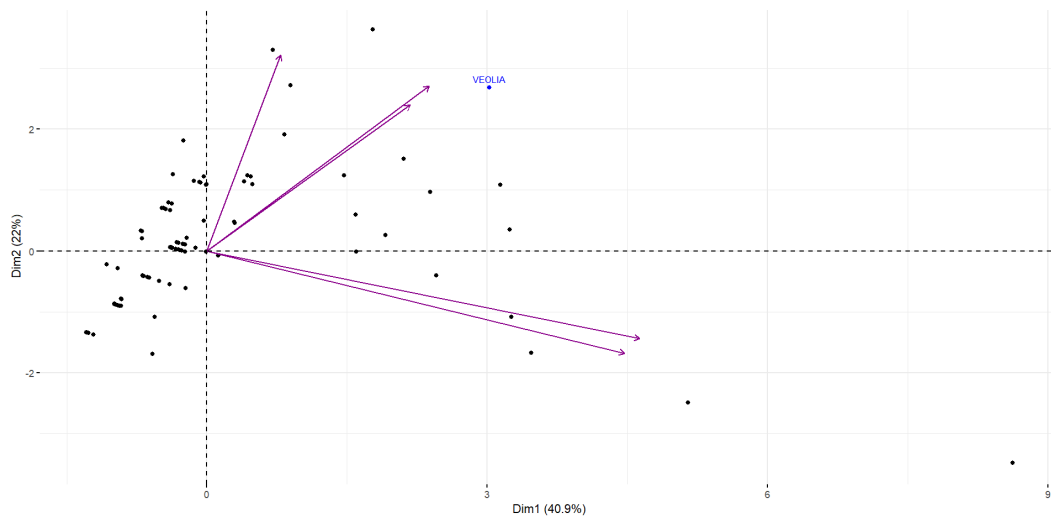


FIGURE 2.15 – Analyse en composante principale sans Veolia

Une attention particulière sera donc portée à cette entreprise.

Au cours de cette analyse, les données ont pu être représentées et les trois premiers axes principaux ont été visualisés. Ils représentent une grande partie de l'information contenue dans les données et seront utilisés dans la suite pour stabiliser les *k-means*. Par ailleurs, une contribution significative d'ArcelorMittal au premier axe principal a été constatée, mais une analyse plus approfondie a démontré que cette entreprise ne fausse pas la représentation des autres individus. En revanche, Véolia contribue très fortement au troisième axe principal et une attention particulière lui sera accordée dans la suite de l'étude.

2.3.2 Méthodes de *clustering*

Les résultats de plusieurs processus de *clustering* sont présentés dans cette partie.

Comme observé dans la partie 2.2, les variables explicatives présentent des unités très diverses, ce qui se traduit par des échelles de valeurs très variées. Dans la partie suivante, les données ont donc été centrées et réduites afin que chaque variable contribue de la même façon au *clustering*.

Classification ascendante hiérarchique

Le premier graphique représente la hauteur du saut en fonction du nombre de classe pour la méthode de Ward.

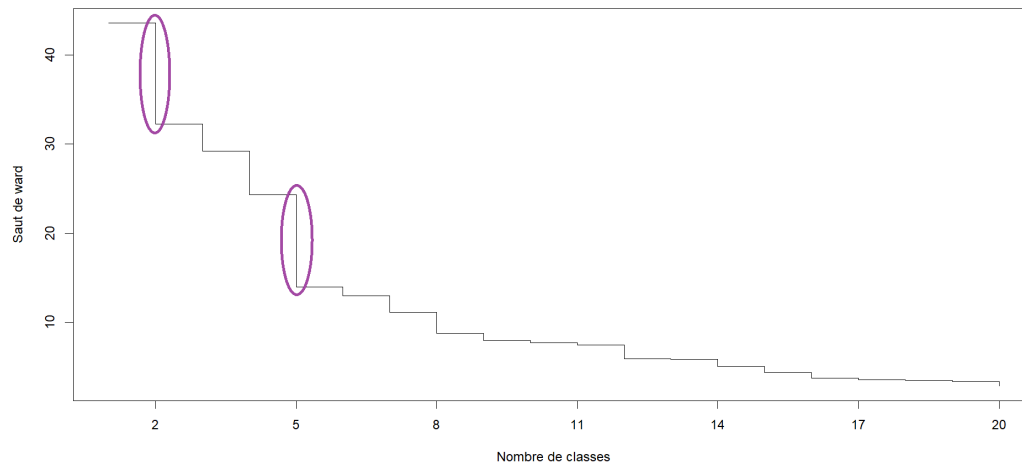


FIGURE 2.16 – Hauteur du saut en fonction du nombre de classe

Le premier saut et le quatrième saut sont les plus importants, la séparation en deux ou cinq classes est donc recommandée.

Pour commencer, l'arbre avec la séparation en deux groupes est représenté ci-dessous. Le nom de chaque entreprise avec son groupe associé figure en Annexe A.

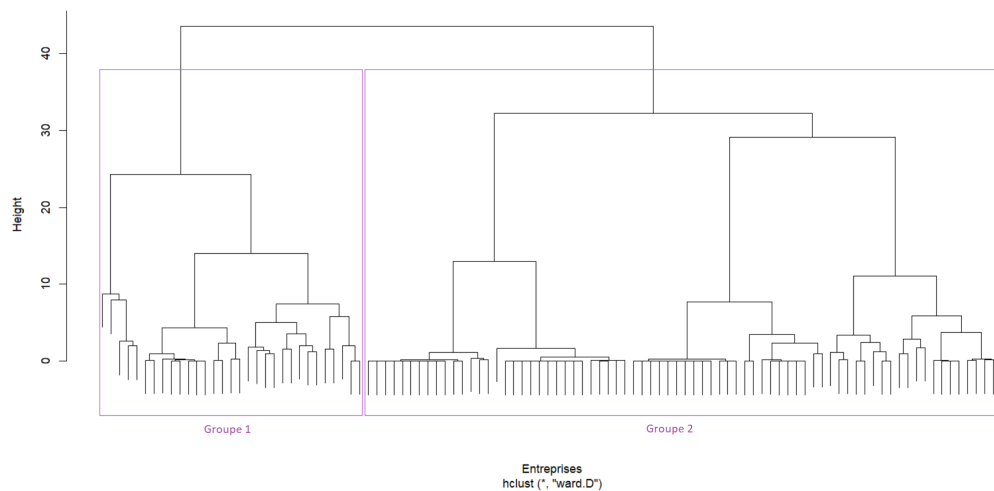


FIGURE 2.17 – Classification ascendante hiérarchique avec le saut de Ward

Le premier groupe correspondant à l'encadré de gauche comporte 31 entreprises, il est notamment composé des grandes entreprises du secteur de l'énergie (Total, ENI, Air Liquide) et du secteur de la chimie (BASF, LINDE). Le deuxième groupe comporte quant à lui 75 entreprises.

Cette classification a été représentée sur le premier plan principal.

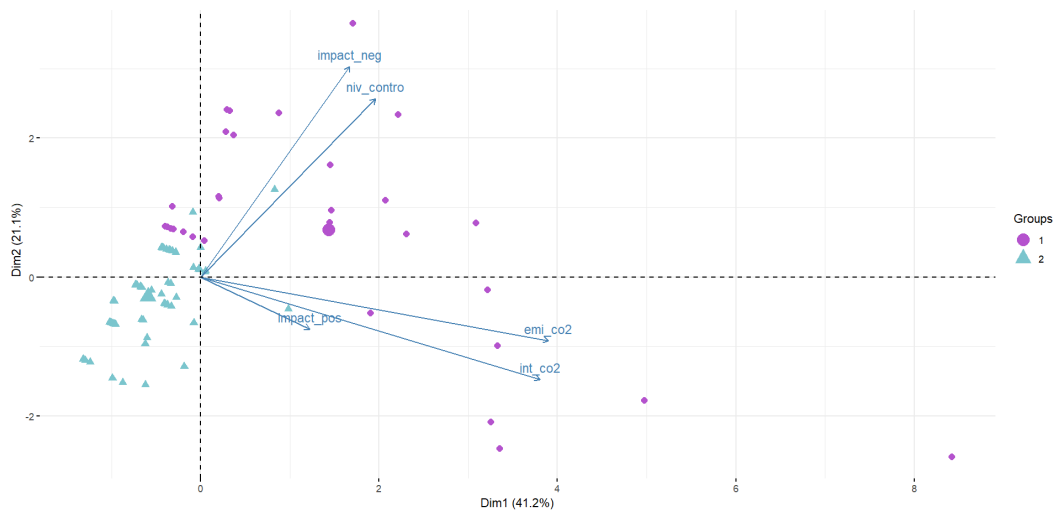


FIGURE 2.18 – Analyse en composante principale avec le saut de Ward (2 classes)

Les entreprises appartenant au premier groupe sont généralement celles qui présentent une corrélation positive avec les variables émissions carbonées, intensité carbone, impact négatif et niveau de controverse. Par ailleurs, en dehors des entreprises situées au niveau de l'axe vertical et dans la partie supérieur du graphique, la distinction entre les deux groupes est plutôt nette lorsqu'on les représente avec l'ACP.

Ensuite, concernant la classification en 5 groupes, l'arbre est de nouveau représenté avec les encadrés correspondant.

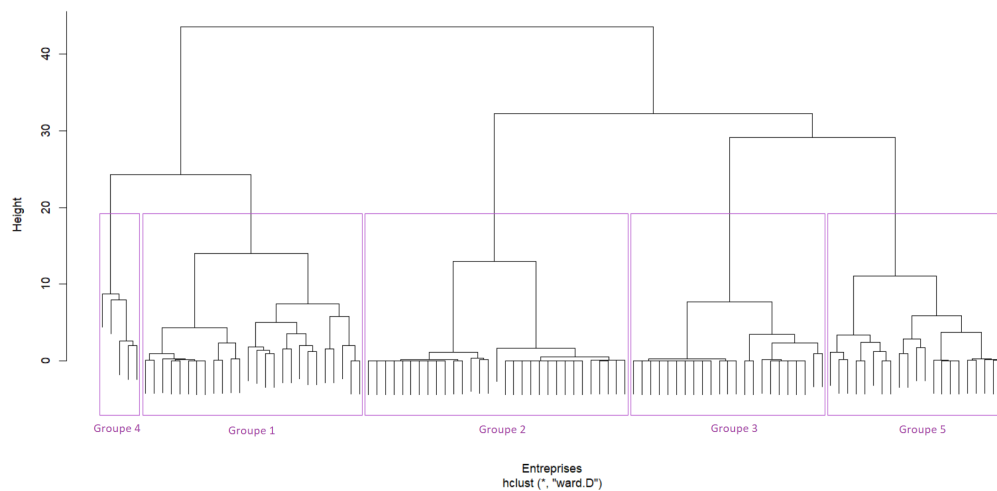


FIGURE 2.19 – Analyse en composante principale avec le saut de Ward (5 classes)

Les cinq groupes sont composés en allant de gauche à droite de 5, 26, 31, 23 et 21

entreprises. De nouveau la composition de chacun des groupes figure en Annexe A.

La classification est représentée sur le premier plan principal.

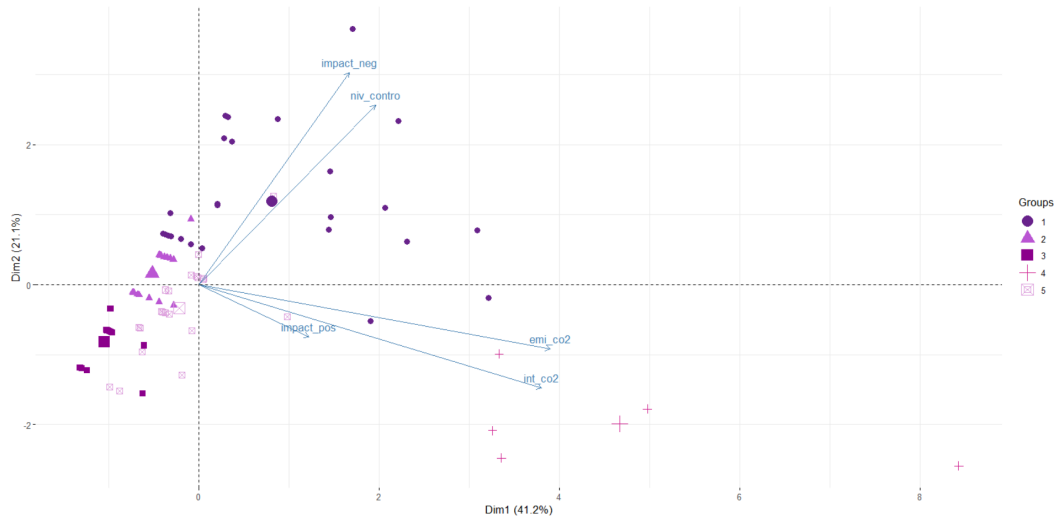


FIGURE 2.20 – Analyse en composante principale avec le saut de Ward (5 classes)

Une fois de plus, la distinction entre les cinq groupes est plutôt nette, notamment pour les groupes 1 et 4. Le groupe 1 est corrélé positivement avec les variables impact négatif et niveau de controverse, et le groupe 4 présente une relation similaire avec les variables émission carbone et intensité carbone. Les trois autres groupes sont corrélés négativement avec l'ensemble des variables explicatives, ils correspondent donc à des groupes plutôt ESG.

Les résultats obtenus avec le saut minimum, le saut maximum et le saut moyen sont également examinés.

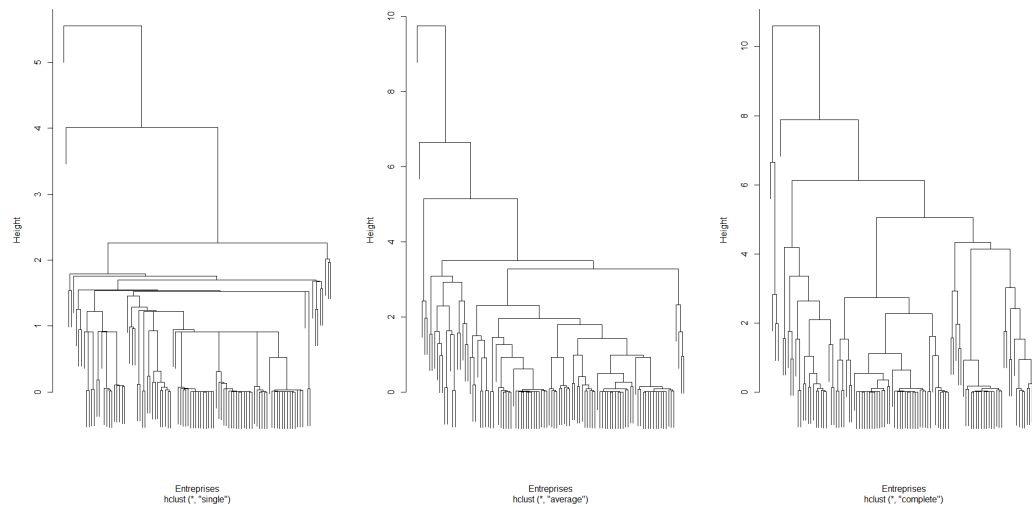


FIGURE 2.21 – Classification ascendante hiérarchique avec le saut minimum, maximum et moyen

Les classifications obtenues sont très différentes. Des classes beaucoup plus hétérogènes, en termes de nombre d'individus, sont privilégiées avec un très grand groupe d'un côté et un ou plusieurs plus petit de l'autre.

Dans le cadre de cette étude, le but de la mise en place des méthodes de classification n'est pas de détecter les anomalies, mais plutôt de distinguer les actifs ESG des actifs non ESG. Dans ce contexte, la formation de petits groupes très homogènes et d'un groupe plus hétérogène est donc moins souhaitable.

Par ailleurs, ce type de classification est moins intéressant pour la création d'un indice. En effet, ne prendre en compte qu'un nombre limité d'entreprises peut engendrer des biais. Par exemple, l'indice sera moins représentatif du marché et beaucoup plus sensible aux événements spécifiques impactant une entreprise ou un secteur en particulier.

La classification obtenue avec le critère de Ward semble donc être celle qui convient le mieux à notre problématique. Cette classification sera donc conservée.

Pour conclure, la méthode du saut de Ward est privilégiée lorsque l'on met en place la classification ascendante hiérarchique et elle conduit à séparer les entreprises en 2 ou 5 groupes. Afin de déterminer le regroupement à effectuer parmi les deux choix possibles, une autre méthode de classification sera mise en place : les *k-means*.

k-means

Afin d'éviter les problèmes liés aux corrélations, l'algorithme des *k-means* a été implémenté en utilisant les résultats de l'ACP comme données d'entrée.

Cet algorithme a également été implémenté de manière traditionnelle, en utilisant en entrée les données sans ACP, afin de comparer les résultats. Cependant, cela a mis en évidence un important problème de stabilité. En effet, les classifications obtenues pouvaient varier considérablement d'une exécution à une autre. De plus, le choix du nombre optimal de classes (déterminé à l'aide des coefficients de Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin) présentait également des variations.

Plusieurs options ont donc été envisagées comme le fait d'utiliser les résultats de la CAH comme initialisation ou d'effectuer une boucle sur les graines pour maximiser un coefficient tel que la silhouette. Ces méthodes ne règlent cependant pas les problèmes de stabilité. En effet comme évoqué dans la partie 2.1.5 il s'agit de méthodes qui permettent plutôt de contourner le problème en choisissant un point de départ a priori cohérent. Ce sont des méthodes efficaces mais si les résultats sont très instables cela reste scientifiquement insuffisant.

Par conséquent, il a été décidé de conserver la première approche. Elle permet d'éviter les problèmes liés aux corrélations tout en améliorant la stabilité des résultats.

Comme vu dans la partie Analyse en composantes principales, les trois premiers axes principaux sont utilisés comme données d'entrée pour les *k-means*.

Pour commencer, les indices de Silhouette, de Dunn et de Davies-Bouldin sont calculés afin de déterminer le nombre de classe optimal. Pour chaque indicateur, trois graphes issues de trois initialisations aléatoires différentes sont représentés.

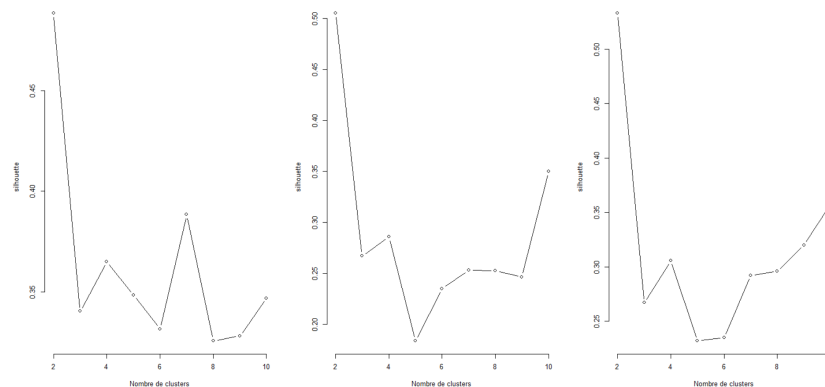


FIGURE 2.22 – Indice de Silhouette

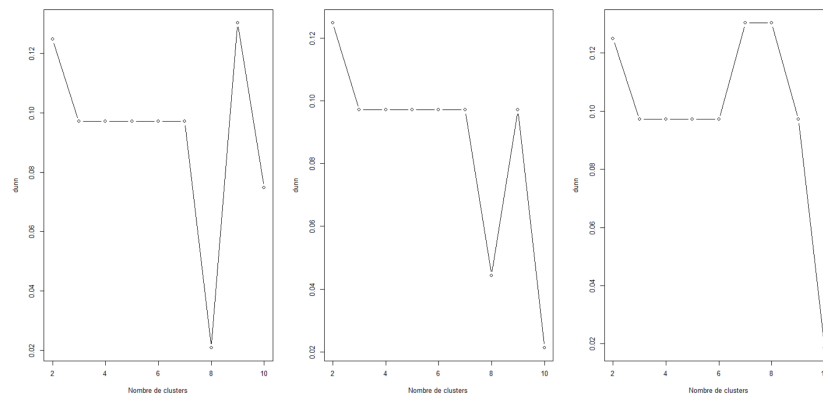


FIGURE 2.23 – Indice de Dunn

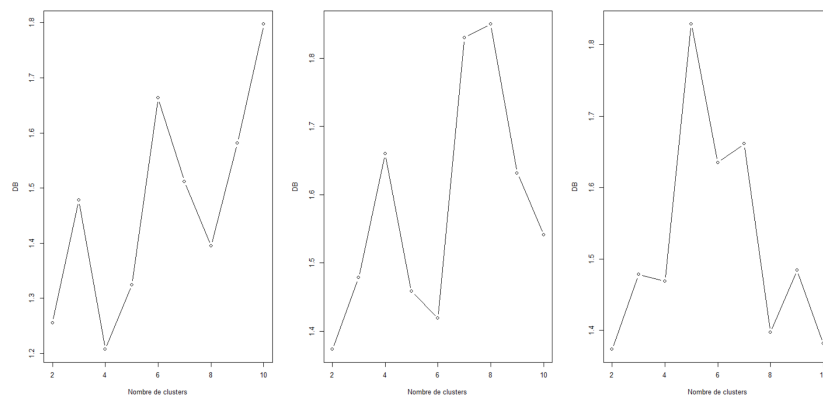


FIGURE 2.24 – Indice de Davies-Bouldin

Malgré l'utilisation de l'ACP, les résultats restent variables. Toutefois le choix du nombre optimal de classes se stabilise. En effet, bien que les valeurs des coefficients fluctuent d'une exécution à l'autre, l'indice de silhouette indique systématiquement que la meilleure classification consiste à regrouper les individus en deux groupes. Pour l'indice de Dunn que l'on doit maximiser et de Davies-Bouldin que l'on doit minimiser, le regroupement en 2 groupes n'est pas nécessairement le meilleur mais cela reste une classification satisfaisante. Pour chacun des trois indices, la moyenne sur 1000 initialisations aléatoires a été calculée et est représentée ci-dessus.

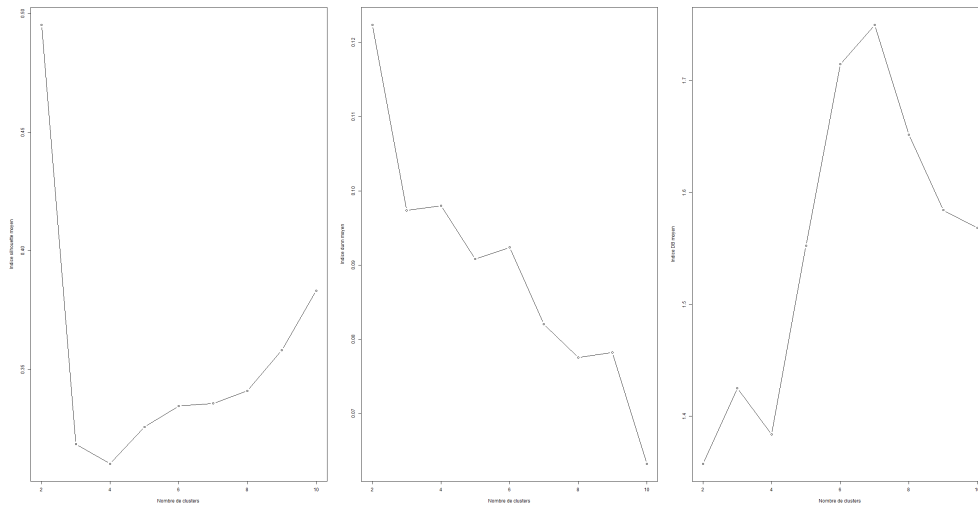
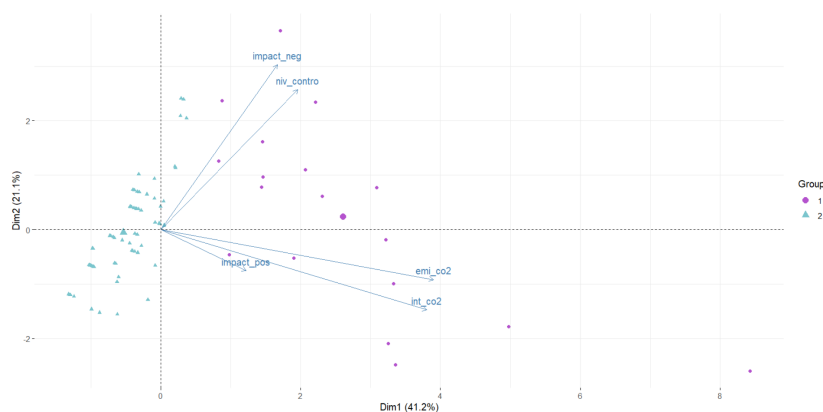


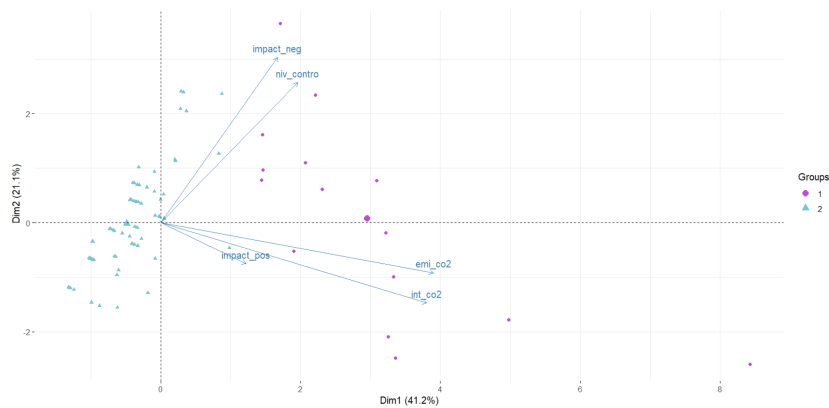
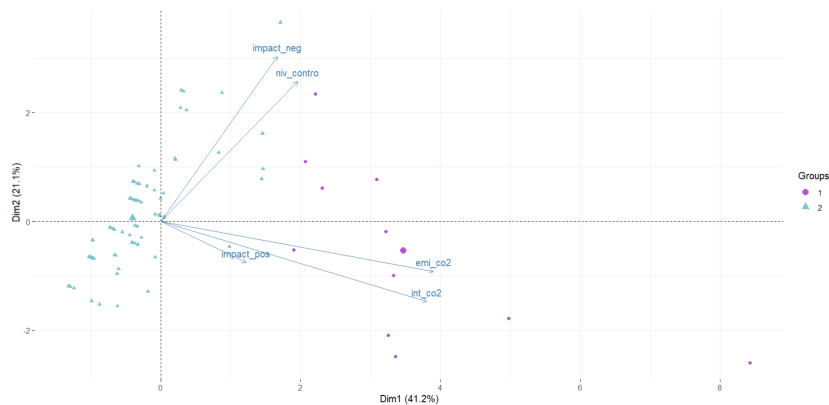
FIGURE 2.25 – Indice Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin moyen

Au vu de ces résultats, la classification en deux groupes est à privilégier. Une première analyse a donc été menée et elle met en évidence une stabilité relativement élevée des regroupements, avec seulement 7 entreprises qui changent de groupes selon les itérations. Toutefois, il convient de noter que ces regroupements diffèrent de ceux obtenus par la CAH. Par conséquent, une analyse plus approfondie des diverses classifications résultant des *k-means* sera effectuée.

Au final, en séparant les données en deux groupes avec les *k-means*, trois résultats sont possibles :

- une première classification avec 18 entreprises non ESG ;
- une deuxième classification avec 15 entreprises non ESG ;
- une dernière classification avec 11 entreprises non ESG.

FIGURE 2.26 – Analyse en composante principale avec les *k-means* : classification 1

FIGURE 2.27 – Analyse en composante principale avec les *k-means* : classification 2FIGURE 2.28 – Analyse en composante principale avec les *k-means* : classification 3

Les entreprises qui varient sont Bayer, Iberdrola, Edf, Basf, Philips, Saint Gobain et Sanofi.

Plusieurs possibilités existent pour traiter ces entreprises :

- une première possibilité consiste à considérer une troisième classe avec les titres qui ne seraient ni ESG ni non ESG ;
- une deuxième possibilité consiste à exclure ces titres de l'allocation d'actifs, en considérant que nous possédons déjà un grand nombre de titres et qu'il est donc inutile d'investir dans des titres difficiles à classer correctement ;
- enfin une dernière possibilité est d'attribuer l'une des deux classes, ESG ou non ESG, aux entreprises qui varient.

La première possibilité pose des problèmes opérationnels au niveau de l'allocation stratégique d'actifs. En effet, le modèle ALM qui sera utilisé ne permet pas de modéliser 3 indices actions différents.

Ensuite, la suppression des titres qui varient génère de nouveaux problèmes de stabilité. En effet la méthode des *k-means* consiste à faire évoluer des barycentres au milieu de points, ainsi en supprimant certains de ces points le parcours des barycentres peut complètement changer et donc impacter la classification. C'est ce qui se passe avec nos individus, les résultats sont radicalement modifiés.

La dernière possibilité sera donc retenue.

Deux approches sont possibles pour décider de l'attribution des titres. La première consiste à sélectionner la classification ayant le meilleur coefficient de silhouette. L'indice de silhouette sera retenu plutôt que celui de Dunn ou de Davies-Bouldin car il indique systématiquement que la meilleure classification est celle consistant à regrouper les individus en deux groupes. Une deuxième option consiste à utiliser les résultats de la CAH comme initialisation. En effet, il est désormais possible de choisir une initialisation pertinente car les résultats ne varient pas de manière considérable.

Les résultats des coefficients de silhouette conduisent à sélectionner la classification avec 11 entreprises non ESG.

Numéro de la classification	1	2	3
Nombre d'entreprise non ESG	18 entreprises	15 entreprises	11 entreprises
Valeurs des coefficients de Silhouette	0,49	0,51	0,53

FIGURE 2.29 – Valeurs des coefficients de Silhouette pour les trois classifications

De son côté, la combinaison de la CAH et des *k-means* conduit à sélectionner la classification avec 18 entreprises.

Les résultats étant différents, une analyse plus fine des coefficients de silhouette a été effectuée.

Numéro de la classification	1	2	3
Nombre d'entreprise non ESG	18 entreprises	15 entreprises	11 entreprises
Coefficient de Silhouette du groupe non ESG	0,03	0,07	0,09
Coefficients de Silhouette du groupe ESG	0,58	0,58	0,58

FIGURE 2.30 – Coefficients de Silhouette pour les trois classifications en fonction des groupes

Ces valeurs mettent en évidence le fait que la classe non ESG est très hétérogène. Il s'agit des entreprises qui ne s'inscrivent pas dans le cadre général. Ce constat est renforcé par le calcul des silhouettes individuelles. En effet, celles des 7 entreprises sont

assez faibles lorsqu'elles sont dans le groupe ESG. Ainsi ces individus sont non seulement différents du groupe ESG mais aussi différents entre eux.

L'origine de la différence entre les résultats avec la CAH et avec les coefficients de silhouette est donc maintenant connue. En réalité, la logique de la CAH consiste à séparer les groupes en fonction de leurs dissimilarités. Ainsi, cette méthode a davantage tendance à exclure les individus différents. En revanche, la méthode de la silhouette et des *k-means* se base davantage sur une logique de cohérence et de similarité. Les individus similaires sont donc agrégés.

Les deux options sont acceptables, la question est de savoir si l'on souhaite être prudent dans la construction de l'indice non ESG. Dans ce cas, il convient de conserver les individus pour lesquels l'incertitude demeure, caractérisés par un profil atypique, et donc garder la classification avec 18 entreprises. En revanche, si on veut être strict sur l'indice non ESG, les individus atypiques doivent être mis dans le groupe ESG, ce qui conduirait à conserver la classification avec les 11 entreprises.

L'approche prudente a été sélectionnée. En effet, en examinant les titres, il est possible de remarquer que ces sept entreprises évoluent principalement dans des secteurs ayant des impacts environnementaux important. Par ailleurs, l'indice construit avec 18 entreprises sera plus robuste que celui que l'on aurait pu construire avec 11 entreprises.

La classification finale est donc :

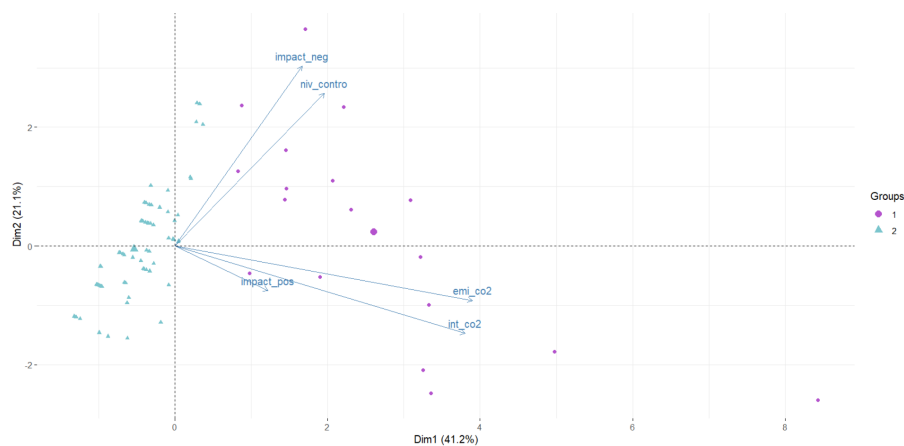


FIGURE 2.31 – Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 2

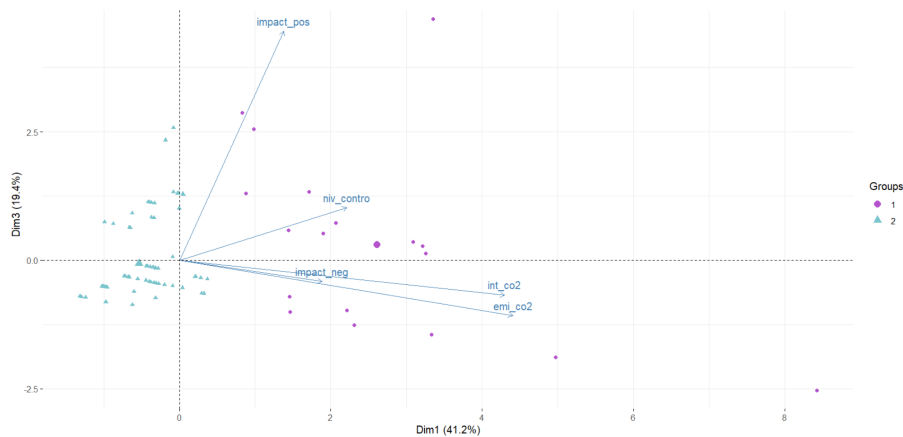


FIGURE 2.32 – Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 3

La composition de chacun des groupes figure en Annexe A.

Les deux ensembles obtenus avec cette classification sont bien distincts lorsqu'on les représente avec l'ACP.

L'analyse a également été effectuée en enlevant l'entreprise Veolia afin de tenir compte des points d'attention identifiés dans la partie 2.3.1. Trois classifications sont de nouveau obtenues :

- une première classification avec 17 entreprises non ESG ;
- une deuxième classification avec 14 entreprises non ESG ;
- une dernière classification avec 7 entreprises non ESG.

Les entreprises comprises au sein de ces groupes sont les mêmes que lors des analyses précédentes. Concernant la dernière classification, les entreprises Edp-energies, Total-Energies et Solvay passent dans le groupe ESG.

Ainsi, la suppression de Veolia n'entraîne pas de modifications importantes de notre classification malgré sa forte contribution au troisième axe principal. Le regroupement effectué avec Véolia peut donc être conservé.

Cette étude met toutefois en évidence une limite concernant les données. En effet, les ambitions des différentes compagnies ne sont pas prises en compte. Les variables impact positif et impact négatif pourraient être considérées comme des variables allant dans ce sens. Néanmoins, à la suite de notre classification, Veolia reste classée dans le groupe non ESG malgré les nombreux impacts positifs qu'elle met en place. Ne pas tenir compte des objectifs futurs lors de l'évaluation des impacts ESG offre une évaluation objective basée sur des données vérifiables, mais néglige les efforts d'amélioration à long terme de certaines entreprises.

A l'issue de ces analyses il a été décidé de conserver les résultats des *k-means* plutôt que ceux de la CAH. En effet, les résultats obtenus avec cette deuxième méthode sont satisfaisants et conduisent clairement à effectuer un regroupement en deux classes. Cette méthode a pour avantage d'être relativement simple à mettre en œuvre et de convenir aux jeux de données volumineux. Toutefois, ces résultats dépendent du positionnement initial des points et nécessitent la spécification du nombre de classes. La mise en œuvre de méthodes pour évaluer la qualité du *clustering* et déterminer le nombre de classe optimal ont permis de limiter ces inconvénients et d'obtenir une classification stable et de bonne qualité.

Nous obtenons finalement une classification en deux groupes avec 18 entreprises non ESG d'un côté et 88 entreprises de l'autre.

2.4 Construction de l'indice

L'enjeu de cette partie est de construire deux indices : l'un ESG et l'autre non ESG.

Les deux indices seront construits en utilisant les entreprises présentes dans l'indice Eurostoxx 50 ou dans l'indice Euronext 100. Une brève présentation de ces deux indices ainsi que des hypothèses sous-jacentes à leur construction sera effectuée. Par la suite, l'indice Eurostoxx 50 sera recalculé afin de tester la méthodologie et de vérifier la faisabilité de la construction d'un indice. Enfin, les deux indices ESG et non ESG seront créés.

2.4.1 Présentation des indices Eurostoxx 50 et Euronext 100

Comme mentionné précédemment, le calcul des deux indices porte sur le périmètre de l'Eurostoxx 50 et de l'Euronext 100.

L'indice Eurostoxx 50 est composé de 50 sociétés de la zone euro. Sa composition peut être modifiée chaque année en fonction du classement des plus grandes capitalisations boursières de cette zone. Le poids de chaque entreprise au sein de l'indice dépend de sa capitalisation boursière flottante. En effet, les actions qui ne sont pas négociables ne sont pas incluses dans le calcul de cette capitalisation boursière. Par ailleurs, le poids d'une entreprise ne peut excéder 10%.

L'indice Euronext 100 est constitué d'entreprises cotées sur les principaux marchés d'Euronext. Sa composition peut être modifiée deux fois par an en mars et en septembre. Cet indice regroupe les 100 sociétés les plus importantes en termes de capitalisation boursière et leur pondération est basée sur la capitalisation boursière totale des entreprises. Par ailleurs, tout comme l'Eurostoxx 50, une pondération maximale de 10% par entreprise est appliquée.

2.4.2 Recalcul de l'indice Eurostoxx 50

Dans cette partie, l'indice Eurostoxx 50 va être recalculé afin de backtester la méthode. Cette méthode sera ensuite appliquée pour calculer les indices ESG et non ESG.

Hypothèses

Pour calculer les indices, le nombre d'actions négociables a été supposé constant au cours du temps. Cette hypothèse a été faite car l'historique du nombre d'actions flottantes de chaque entreprise n'est généralement pas disponible.

Par ailleurs, l'entreprise Flutter Entertainment n'a pas été utilisée pour recalculer le cours car elle possédait trop de valeurs manquantes et des écarts importants étaient constatés avec le cours issu de investing.com (cf partie 2.2.3).

Méthodologie

Le poids de chaque entreprise dans l'indice au 30 décembre 2022 a été récupéré. A partir de cette donnée, une clé pour chaque entreprise i a été calculée.

$$Cl_i = \frac{\text{Cours eurostoxx}_t \times \text{Poids entreprise } i_t}{\text{Cours entreprise } i_t}$$

Cette clé permet ensuite à l'aide du cours des entreprises en t de calculer le cours de l'Eurostoxx pour n'importe quel instant t . Soit I l'ensemble des entreprises appartenant à l'indice.

$$\text{Cours eurostoxx calculé}_t = \sum_{i \in I} Cl_i \times \text{Cours entreprise } i_t$$

Résultats

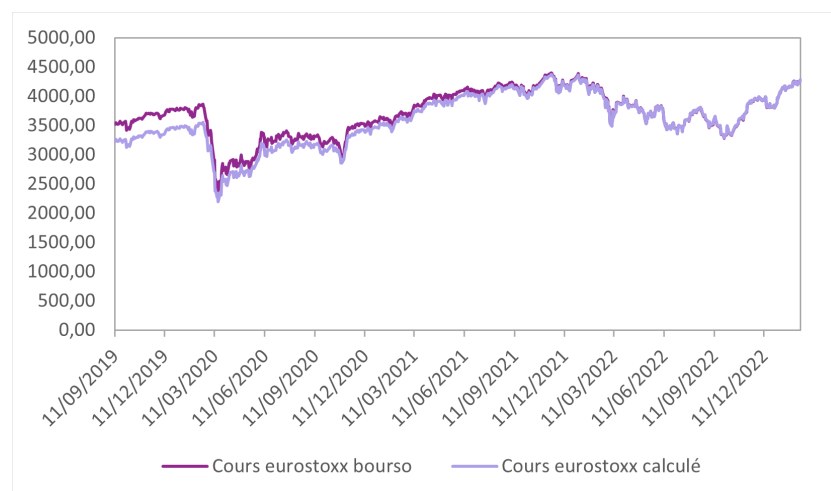


FIGURE 2.33 – Comparaison indice Eurostoxx historique et calculé

L'indice l'historique et l'indice calculé ont été tracés sur le graphique ci-dessus. Des écarts sont observés mais ils diminuent au fil des années. L'écart moyen pendant les 6 premiers mois est de 9,05% et il passe à -0,15% les 6 derniers mois. Ces écarts étaient attendus, ils sont dus à la composition de l'indice qui change au cours du temps alors qu'elle a été considérée comme constante dans notre modèle. La valorisation semble donc cohérente.

2.4.3 Construction des deux indices

Certaines entreprises sont présentes dans l'Eurostoxx 50 et dans l'Euronext 100 tandis que d'autres ne figurent que dans l'un des deux indices. Afin d'établir la pondération de chaque entreprise, les poids du Stoxx Europe 600 ont été utilisés car toutes les entreprises prises en compte sont présentes dans cet indice. Ces poids sont calculés en se basant sur la capitalisation free float. Il s'agit de la capitalisation boursière utilisée en tenant compte uniquement des actions susceptibles d'être échangées. En effet, certains investisseurs gardent des titres pour des raisons autres que financières comme, par exemple, pour en avoir le contrôle. Ces titres ne sont donc pas pris en compte lors du calcul de la capitalisation.

Les résultats de la partie 2.3.2 ont été repris. Les entreprises sont donc séparées en deux groupes : un groupe ESG de 88 entreprises et un groupe non ESG de 18 entreprises.

Le poids de chaque entreprise au sein de son groupe (I_1 ou I_2) a été calculé.

$$\text{Nouveau poids}_i = \frac{\text{poids}_i \times 100}{\sum_{i \in I} \text{poids}_i}, \text{ avec } g \in 1, 2.$$

Les clés individuelles sont calculées avec les nouveaux poids et les deux indices sont ensuite déterminés.

Afin de pouvoir les comparer plus facilement, les deux indices ont été représentés sur une base 100.

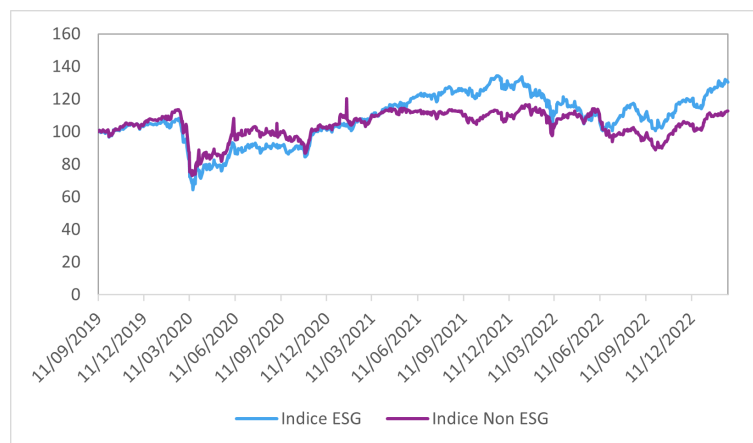


FIGURE 2.34 – Comparaison indice ESG et indice non ESG

Tout d'abord, les deux indices suivent les mêmes grandes tendances. Ils connaissent tous les deux une baisse en mars 2020 en raison de la crise du Covid, cependant, la chute de l'indice ESG est légèrement plus prononcée. Par la suite, une surperformance de l'indice ESG par rapport à l'indice non ESG est observée. Enfin, des fluctuations plus marquées sont constatées pour l'indice ESG, la volatilité est donc plus importante pour ce dernier.

Calcul des indicateurs

La volatilité et la performance sont calculés à partir de pas de temps mensuels.

On note X_t le cours boursier en t et r_t le log-rendement. On a : $r_t = \ln(\frac{X_{t+1}}{X_t})$. Le pas de temps considéré étant mensuel, le nombre de variation dans l'année est de 12. Ainsi en notant n le nombre de variations passées, on a :

$$\text{Volatilité annualisée} = \sqrt{12} \times \sigma(r_t) = \sqrt{12} \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (r_t - E[r_t])^2}, \text{ avec} \\ E[r_t] = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n r_t .$$

La performance annuelle moyenne a également été calculée. Soit T_0 la première date de l'historique et T la dernière,

$$\text{Performance annuelle moyenne} = (1 + \ln(\frac{X_T}{X_{T_0}}))^{\frac{365}{T-T_0}} - 1.$$

	Volatilité annualisée	Performance annuelle moyenne
Indice ESG	24,90%	7,09%
Indice non ESG	23,32%	3,34%

FIGURE 2.35 – Indicateurs de risque et de performance

On remarque que la volatilité des deux indices est importante et que celle de l'indice ESG est plus élevée.

Par ailleurs, comme observé graphiquement, la performance de l'indice ESG est nettement plus importante que celle de l'indice non ESG.

Enfin, dans cette partie, l'indice Eurostoxx 50 a été recalculé afin de backtester la méthode puis les deux indices, ESG et non ESG, ont pu être calculés et étudiés. L'indice ESG présente une plus forte volatilité que l'indice non ESG mais il se distingue également par une meilleure performance.

Une limite de notre étude peut toutefois être évoquée. En effet, en séparant les entreprises en deux groupes sur la base de critères ESG et non ESG, la diversification au sein de l'indice a potentiellement été réduite. Cela pourrait avoir un impact sur les risques et des rendements, et constitue donc une limite de notre étude. Cette évaluation n'a pas été effectuée en raison de contraintes de temps.

Pour conclure, afin de mieux appréhender la base de données, une analyse de cette dernière a dans un premier temps été réalisée. Il convient de noter que les données présentent deux limites potentielles, liées à l'utilisation d'un seul fournisseur de données et à l'emploi d'un historique des cours boursiers restreint qui comprend les récentes période de crises (Covid et Ukraine). Par la suite, des méthodes de *clustering* ont été mises en place et ont conduit à privilégier les résultats issus des *k-means*. Ils ont mené au regroupement des individus en 2 groupes : un groupe non ESG comprenant 18 entreprises et un groupe ESG comptant 88 entreprises. Ces résultats ont été utilisés pour construire et étudier les deux indices. Les analyses ont révélé une volatilité plus élevée pour l'indice ESG, associée à une performance supérieure. Cependant, il est important de noter qu'un examen de la diversification au sein de l'indice n'a pas été effectuée lors de cette étude, et que la réduction de la diversification peut avoir un impact sur les risques et des rendements.

Le chapitre suivant sera consacré à la mise en place de l'allocation stratégique d'actifs.

Chapitre 3

Théorie moderne du portefeuille

3.1 Aspect théorique

3.1.1 Frontière efficiente

Contexte

La notion de frontière efficiente a été développée par Harry Markowitz en 1952. Un portefeuille efficient est un portefeuille qui a la rentabilité attendue la plus importante pour un niveau de risque donné ou qui a le niveau de risque le plus faible pour un niveau de rendement donné. Sur le graphique ci-dessous, la partie efficiente correspond donc à la section au dessus du point bleu.

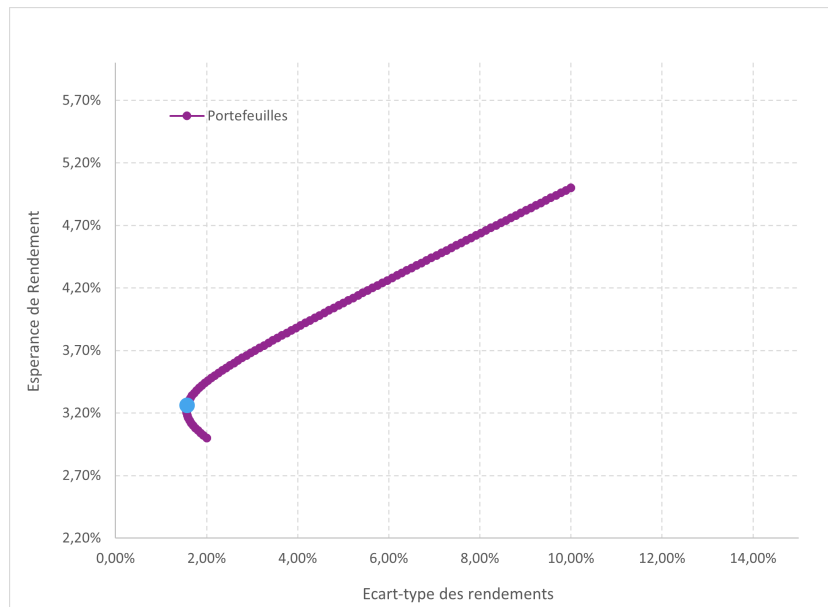


FIGURE 3.1 – Frontière efficiente

Dans la théorie développée par Markowitz, les investisseurs sont supposés utiliser uniquement deux paramètres pour prendre leurs décisions : l'espérance du rendement et la volatilité des rendements.

Markowitz suppose que le rendement d'un actif est une variable aléatoire qui suit une loi normale et que le risque d'un portefeuille peut être mesuré par la variance de sa rentabilité. Les rendements des différents actifs sont corrélés et les marchés sont parfaits (atomicité, transparence de l'information, fluidité, homogénéité des produits et libre circulation des facteurs de production).

Des hypothèses sont également faites concernant le comportement des investisseurs. Ils sont caractérisés par un degré plus ou moins important d'aversion au risque et ils sont rationnels c'est à dire qu'ils accepteront un risque plus élevé seulement si le rendement est plus élevé.

Théorie

Soit $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$ un espace probabilisé.

Soit P un portefeuille composé de N actifs risqués.

Soit V_t^i la valeur de l'actif i à l'instant t.

La valeur du portefeuille t s'écrit : $V_t^{PTF} = \sum_{i=1}^N V_t^i$.

On définit les poids des différents actifs : ${}^t w = (w_1, \dots, w_N) = \frac{V_t^i}{V_t^{PTF}}$ tel que $\sum_{i=1}^N w_i = 1$ avec $w_i \geq 0$.

Soit R^{PTF} le rendement du portefeuille : $R^{PTF} = \sum_{i=1}^N w_i \times R^i$, avec R^i le rendement de l'actif i.

Rendement attendu : $\mathbb{E}_{\mathbb{P}}[R^{PTF}] = \sum_{i=1}^N w_i \times \mathbb{E}_{\mathbb{P}}[R^i]$.

Variance du portefeuille : $\sigma^2[R^{PTF}] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_i w_j \sigma_{ij}$ avec σ_{ij} la covariance entre les rendements des actifs i et j.

Construire la frontière efficiente revient à résoudre le problème d'optimisation sous contrainte :

$$\begin{cases} \min_w {}^t \omega \Sigma \omega \\ {}^t \omega \mu = \mu_p \\ {}^t \omega U = 1 \end{cases}$$

avec U le vecteur ne contenant que des 1, la matrice de variance-covariance $\Sigma = (\sigma_{ij})_{i,j \in [1,N]}$ et μ_p le niveau de rendement attendu.

Limites

Pour déterminer la frontière efficiente, Markowitz suppose que les investisseurs utilisent uniquement deux paramètres : la volatilité et le rendement. De plus, la pertinence de ces paramètres est remise en question et l'insuffisance de la volatilité pour mesurer le risque a par exemple été mis en évidence. Plusieurs études comme [Artzner *et al.*, 1999]

suggèrent d'utiliser des métriques faisant intervenir les queues des distributions pour tenir compte des risques extrêmes. Par ailleurs, le cadre gaussien utilisé dans le modèle de Markowitz ne correspond pas aux prix observés sur les marchés. Pour finir, les compagnies d'assurances possèdent plusieurs spécificités (problématiques comptables et réglementaires, interaction actif-passif...). L'utilisation de ce modèle n'est donc pas forcément adaptée.

Extension du modèle de Markowitz

- modèle de Roy qui utilise la probabilité de déficit comme mesure du risque ;
- modèles qui étudient le surplus $S = \text{Actif} - \text{Passif}$;
- les modèles optimisant une fonction d'utilité peuvent généraliser ces approches.

La méthode qui sera utilisée dans ce mémoire pour construire la frontière efficiente est une extension du modèle de Markowitz, où le niveau de risque est évalué à travers le quantile d'un indicateur de rendement.

3.1.2 Allocation stratégique d'actifs

La gestion actif-passif est une problématique importante de l'activité assurantielle vie. Il est nécessaire d'anticiper les flux de passif pour pouvoir gérer les placements et faire face aux engagements de l'assureur. Les investissements devront également répondre aux contraintes réglementaires et contractuelles ainsi qu'aux objectifs de rendement de la compagnie.

Il existe deux approches différentes :

- l'approche déterministe dans laquelle un seul scénario est projeté, elle est facile à comprendre et les temps de calculs sont courts mais cette méthode ne permet pas d'obtenir des informations concernant la sensibilité aux scénarios économiques et donc de capter le coût des clauses réglementaires / contractuelles de participation aux bénéfices (PB) qui provoque une asymétrie entre l'assureur et l'assuré ;
- l'approche stochastique permet quant à elle de mesurer la volatilité. Plusieurs scénarios sont projetés à partir de lois de probabilité : modèle sur les actions, modèle de taux... Néanmoins les temps de calculs sont plus longs et les modèles sont difficiles à auditer.

Les projections peuvent être effectuées dans l'univers risque neutre ou monde réel. L'univers risque neutre est un univers fictif dans lequel les primes de risque sont nulles, tous les actifs rapportent en moyenne le taux sans risque et seules leurs volatilités les différencient, il s'agit également de l'univers utilisé pour effectuer les calculs Solvabilité 2. L'univers monde réel tient compte quant à lui des comportements observés sur les marchés, les primes de risque sont donc prises en compte et des opportunités d'arbitrage

peuvent apparaître.

L'objectif est de déterminer la frontière efficiente à l'horizon de la projection, autrement dit les portefeuilles ayant la rentabilité attendue la plus importante pour un niveau de risque donné. La définition des mesures de rentabilité et de risque est donc un point essentiel.

De nombreuses possibilités sont envisageables :

- mesure de rentabilité : quantile d'un indicateur de rendement (Valeur actuelle des bénéfices futurs (PVFP), produits financiers, etc.)
- mesure de risque : quantile d'un indicateur de risque (approximation du SCR, du ratio de solvabilité, etc.)

Pour calculer ces mesures de rentabilité et de risque à l'horizon de la projection, il est nécessaire d'évaluer les différentes composantes du bilan sur plusieurs années. Cette projection des différents flux de la compagnie d'assurance est faite à l'aide d'un modèle ALM. Il va permettre d'observer l'évolution du portefeuille sur une durée définie et d'effectuer une réallocation de l'actif à chaque pas.

Le modèle utilise en entrée :

- le bilan initial (actif et passif) ;
- des hypothèses non économiques : rachat, frais, mortalité. . . ;
- des scénarios économiques : courbe des taux, inflation. . .

Par ailleurs, la modélisation des flux doit tenir compte des nombreuses interactions entre l'actif et le passif comme la revalorisation de l'épargne via le taux minimum annuel garanti ou la participation aux bénéfices, les rachats conjoncturels, les reprises/dotations de la réserve de capitalisation. . .

Ensuite la réallocation de l'actif à chaque pas de temps va dépendre de l'allocation initiale, de la granularité des classes d'actifs et des contraintes imposées. Le choix de la granularité des classes d'actifs résulte d'un compromis et doit tenir compte du temps de calcul, des hypothèses requises et de la complexité souhaitée du modèle. Il doit également prendre en compte des effets de diversification sous Solvabilité II. Concernant les contraintes, celles-ci sont spécifiées pour respecter les exigences réglementaires et les volontés internes. Il est par exemple possible de définir des bornes de détention minimales et maximales cibles pour les différentes classes d'actifs ainsi que l'amplitude maximale de variation des poids des actifs. Le pas de variation qui correspond aux instants de réallocation des actifs doit également être défini.

En général, les assureurs complètent leur étude de la frontière efficiente en monde réel par une analyse supplémentaire type ORSA. En effet, la première étude permet d'effectuer une pré-sélection d'allocations mais, étant donné que les assureurs sont soumis à Solvabilité 2, il est essentiel que l'allocation optimale soit choisit également dans cet

univers risque neutre. Une étude des impacts Solvabilité 2 est donc réalisée par la suite. Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés : ratio de solvabilité, SCR, PVFP, correspondance de duration, stock de provision pour participation aux bénéfices, taux servi ect. en scénario central et stressé.

En synthèse, la notion de frontière efficiente développée par Harry Markowitz, visant à déterminer les portefeuilles optimaux en termes de rendement et de risque, a été abordée dans cette partie. Des limites ont été identifiées, telles que la pertinence des paramètres utilisés et l'adaptabilité du modèle aux spécificités des compagnies d'assurance. L'allocation stratégique d'actifs a ensuite été présentée en mettant en évidence les différentes approches et méthodes qui peuvent être mises en place.

3.2 Modélisation

3.2.1 Présentation de l'entité

L'allocation stratégique d'actifs est réalisée sur un portefeuille réel issu d'une mutuelle et dont les données ont été anonymisées.

L'entité distribue des produits d'épargne et de retraite, et propose des supports en euros et en unité de compte (UC). Pour les supports en euros, le capital est garanti par l'assureur. C'est donc lui qui porte le risque, tandis que pour les supports en unités de compte, le risque est porté par l'assuré. Dans le cadre de cette étude, seule la partie euro sera étudiée car il n'y a pas d'enjeu d'allocation d'actifs pour les fonds UC. L'un des biais liés à cette suppression est l'absence de modélisation des arbitrages (modification des parts d'euro et d'UC).

Le portefeuille de l'entité est construit en distinguant deux cantons, ils seront nommés dans la suite "Produit" et "FP". Le premier correspond aux actifs en représentation des différents produits et le deuxième correspond aux actifs en représentation des fonds propres. L'allocation stratégique d'actifs sera réalisées uniquement sur le canton "Produit".

Le partage des valeurs de marché entre les deux cantons est le suivant :

Canton	Valeur de marché au 31/12/2022 en k€	Poids
Produit	37 750 103	97,52%
FP	960 513	2,48%
Total	38 710 616	100%

FIGURE 3.2 – Répartition des valeurs de marché entre les cantons

Cette valeur de marché est répartie entre les différentes classes d'actifs au 31/12/2022 selon la configuration présentée ci-dessous¹ :

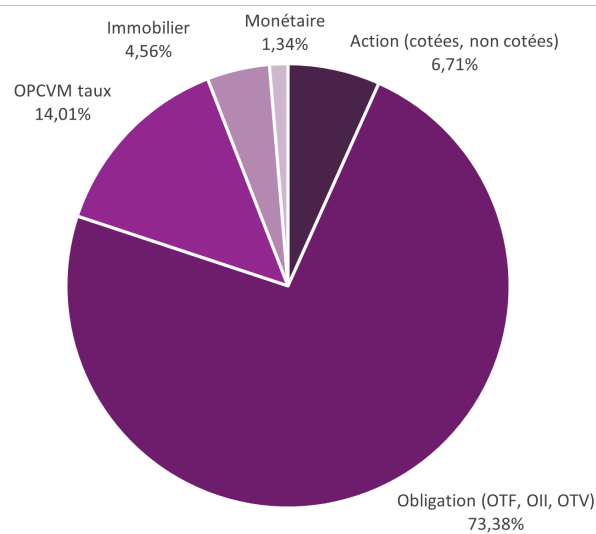


FIGURE 3.3 – Allocation au 31/12/2022

Par ailleurs, le stock de plus ou moins values latentes est initialement de -5 192 565k€, avec la répartition par classe d'actifs suivante :

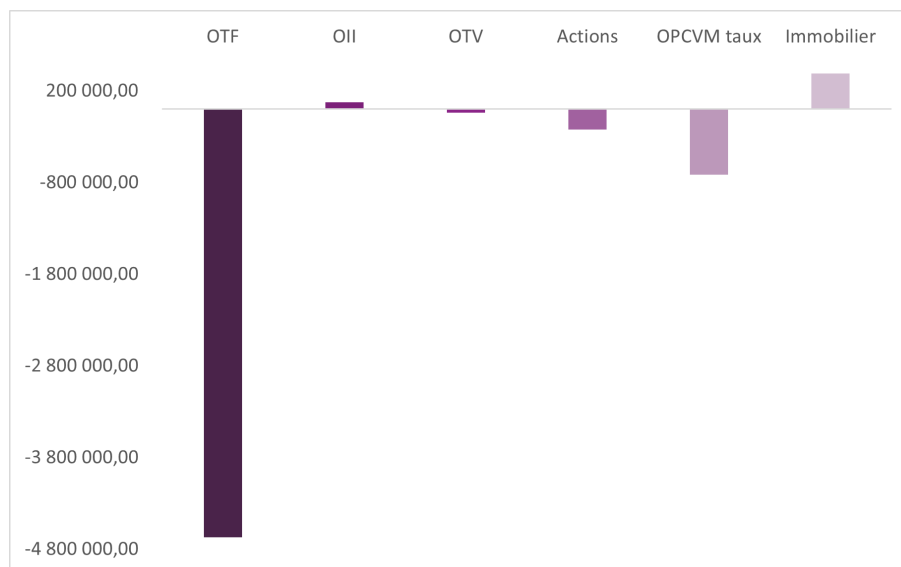


FIGURE 3.4 – Stock des plus ou moins values latentes (en k€)

1. OTF : Obligation à taux fixes, OII : Obligations indexées à l'inflation, OTV : Obligations à taux variables

3.2.2 Hypothèses générales de modélisation

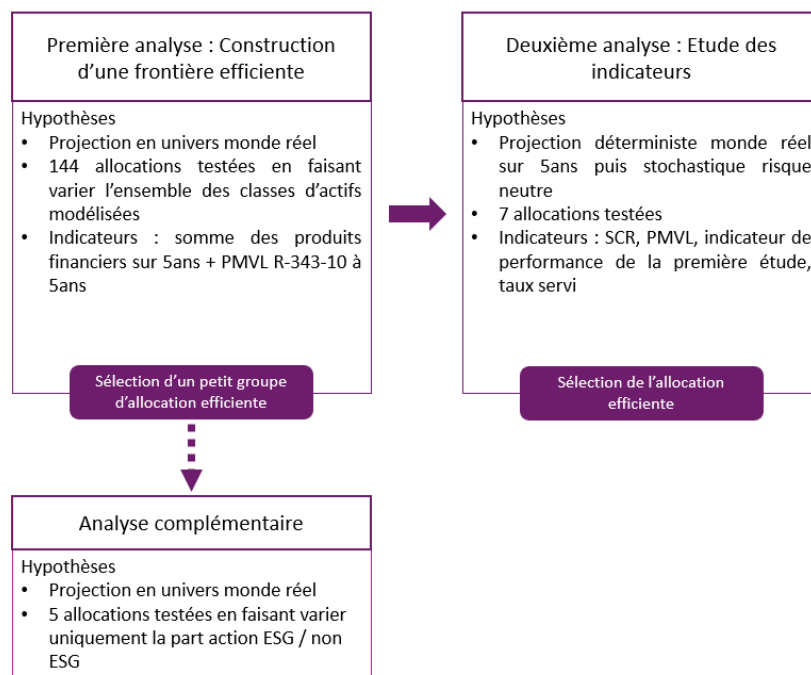
L'allocation stratégique d'actifs sera réalisée via le logiciel Solveo. Il s'agit d'un modèle ALM en assurance vie développé par Fractales et utilisé par de nombreuses entreprises sur le marché.

Pour commencer, une frontière efficiente sera réalisée en utilisant un modèle stochastique monde réel. 1000 scénarios seront générés sur une durée de 5 ans qui correspond à l'année du business plan. Cette analyse sera complétée par une étude type ORSA avec une projection déterministe puis stochastique risque neutre afin d'analyser les impacts Solvabilité II. Cette dernière sera effectuée sur une sélection plus restreinte d'allocations choisies lors de la 1ère étude.

La réallocation se fera sur une période de 3 ans afin d'éviter les forts changements au sein du portefeuille lors de la première année et ainsi limiter les fortes Plus ou Moins Values Réalisées (PMVR).

La projection sera effectuée sur un portefeuille en run-off, c'est à dire sans affaires nouvelles, pour l'étude en monde réel et avec les hypothèses du business plan de l'entreprise pour l'étude d'impacts Solvabilité 2 type ORSA.

La méthodologie employée est présentée sur le graphique suivant :



3.2.3 Modélisation de l'actif

Les classes d'actifs modélisées pour notre étude sont les suivantes :

- Obligations à taux fixes ;
- Obligations à taux variables ;
- Obligations indexées à l'inflation ;
- Actions cotées ESG ;
- Actions cotées non ESG ;
- Actions non cotées ;
- OPCVM taux ;
- Immobilier ;
- Monétaire.

La projection sur Solveo se fait en ligne à ligne. Ainsi, afin de réduire le temps de calcul, des regroupements ont été réalisés. Il est toutefois important d'être conscient que ces regroupements génèrent des biais, notamment en ce qui concerne les leviers de pilotage. Pour chaque classe d'actifs, une segmentation a été effectuée en fonction des deux cantons puis des traitements spécifiques à chaque classe d'actifs ont été effectués. L'ensemble des actifs suivants seront soumis aux chocs de la formule standard. Les actions non cotées seront choquées selon le type 2 à 49% plus ajustement symétrique et les actions cotées selon le type 1 à 39% plus ajustement symétrique.

Concernant les obligations à taux fixe, les obligations à taux variable et les OPCVM taux, un regroupement a été effectué par tranche de maturité en distinguant le type de signature et la catégorie S2². Les quantités, prix d'achat et surcote / décote³ ont été sommées et une moyenne pondérée par la VM a été calculée afin de déterminer la date d'échéance et le taux de coupon. Par ailleurs, la périodicité des coupons a été considérée comme annuelle.

Les obligations indexées sur l'inflation n'ont pas été regroupées par soucis de facilité et étant donné leur nombre limité.

Concernant l'immobilier, il a été décidé de conserver un nombre de lignes d'actifs plus important. En effet, il s'agit d'investissement en direct ainsi, lors d'une vente, il n'est pas possible de vendre une seule partie de l'actif contrairement aux investissements dans des fonds immobiliers par exemple.

Pour les actions non cotées, aucun traitement supplémentaire n'a été effectué. Elles ont donc été regroupées en deux lignes d'actifs pour distinguer les deux cantons.

2. Cette catégorie permet de calculer le choc de spread. En effet, dans le cadre de la formule standard, les facteurs de choc à appliquer dépendent de la qualité de crédit de chaque titre (article 176 du règlement délégué 2015/35).

3. La surcote / decote correspond à la différence entre la valeur d'achat et la valeur de remboursement du titre obligataire.

Enfin, après avoir regroupées les actions cotées selon les deux cantons, une distinction supplémentaire a été effectuée. Une partie de ces dernières a été attribuée à la classe "Actions cotées ESG" et l'autre à la classe "Actions cotées non ESG". Cette répartition a été réalisée de façon à parvenir à environ 50% d'actions cotées dans chaque catégorie. Cette approche vise à éviter les importantes réallocations et à obtenir une situation de départ centrée par rapport aux allocations testées.

Les répartitions au sein des classes actions et obligations sont les suivantes :

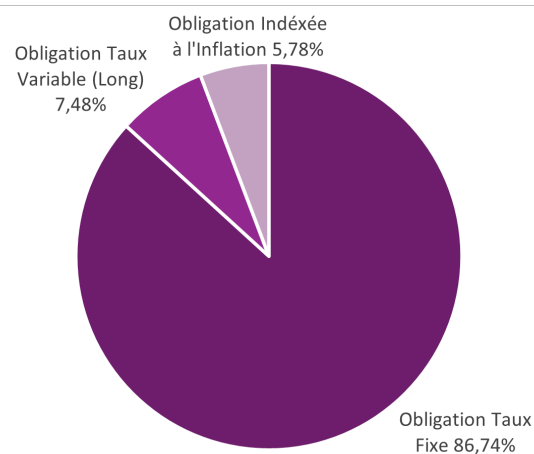


FIGURE 3.5 – Répartition au sein de la classe obligation

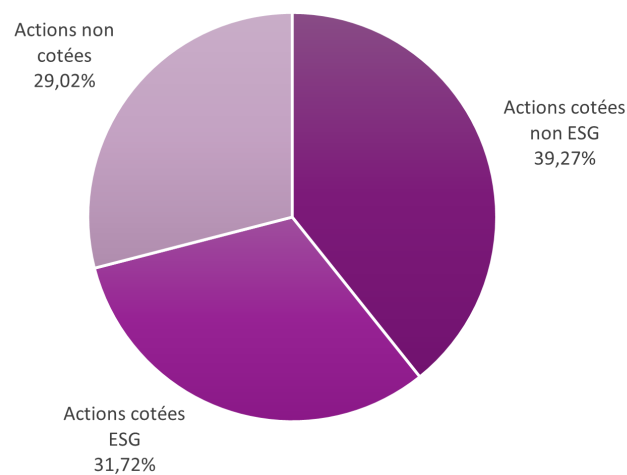


FIGURE 3.6 – Répartition au sein de la classe action

Les VM des obligations en fonction de leur signature sont représentées ci-dessous :

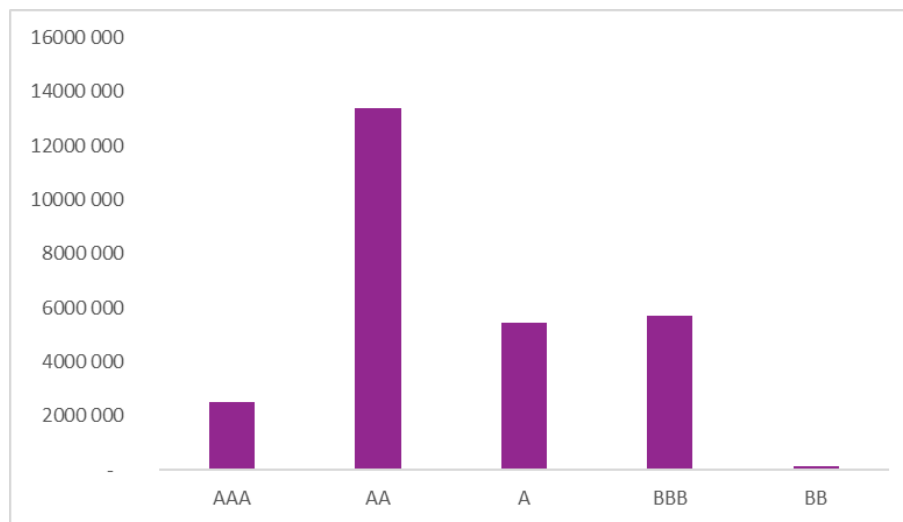


FIGURE 3.7 – VM des obligations par signature (en k€)

3.2.4 Modélisation passif

Au niveau du passif, 19 produits sont modélisés. Il s'agit de produits épargnes, retraites classique et rentes. Comme pour l'actif, des regroupements ont été réalisés afin de réduire le temps de calcul.

Concernant le produit rente, une distinction par sexe, âge et ancienneté est effectuée.

Pour les autres produits, il n'est pas nécessaire de réaliser une distinction par sexe car une table d'expérience qui est commune pour les femmes et les hommes est utilisée. Une distinction uniquement selon l'âge et l'ancienneté a donc été effectuée.

De nouveau, pour ne pas modifier les caractéristiques du portefeuille, une moyenne pondérée par les PM est calculée pour l'âge et l'ancienneté.

Les provisions mathématiques sont réparties au sein des produits de la façon suivante :

Type de produit	Provision (en k€)
Epargne	40 941 584
Retraite	538 854
Rente	303 343

FIGURE 3.8 – Répartition des provisions au sein des produits

3.2.5 Choix des indicateurs

Première analyse

Comme évoqué précédemment, l'objectif de la première étude est de réaliser une frontière efficiente sur un grand nombre d'allocations.

L'indicateur utilisé sera : $\text{Indicateur} = \sum_{t=1}^T PF_t + \text{PMVL R343-10}_T$, avec $PF_t = \text{revenu courant}_t + \text{PMVR}_t - \text{frais financiers}_t + \text{variation surcote/décote}_t + \text{variation RC}_t + \text{variation coupon courus}_t$, les produits financiers de l'année t ; T l'horizon de projection et PMVL R343-10_T les plus ou moins values latentes R-343-10⁴.

La performance sera évaluée en utilisant la moyenne de cet indicateur tandis que le risque sera analysé à travers un quantile à 5% de celui-ci. Il s'agit des indicateurs choisis et utilisés par la compagnie. Comme mentionné dans la partie 3.2.2, l'horizon temporel dans le cadre de cette étude est de 5 ans car il s'agit de l'horizon du business plan de la compagnie.

Cet indicateur permet de prendre en compte la richesse latente à la fin de la projection et les revenus générés par le portefeuille. Seules les PMVL des actifs R343-10 seront évaluées car la remontée des taux entraîne des moins values latentes pour les actifs R343-9⁵. Ils ne permettent donc pas d'évaluer la marge de manoeuvre du portefeuille.

Il s'agit d'un indicateur simple à calculer et à suivre qui permet de tenir compte des intérêts de l'assureur et de l'assuré.

Deuxième analyse

L'objectif de la deuxième analyse est d'étudier les impacts Solvabilité II. Le SCR au 31/12/2027 (fin du business plan) sera donc calculé afin d'évaluer le niveau de capital requis et d'obtenir une vue d'ensemble des risques.

D'autres indicateurs seront également analysés et notamment :

- les plus ou moins values latentes afin d'évaluer la performance actuelle des investissements ainsi que la marge de manoeuvre sur le portefeuille ;
- le taux servi afin de tenir compte des intérêts des assurés et de mesurer les engagements de la compagnie envers ces derniers.

L'indicateur de performance de la première étude sera également analysé.

4. Il s'agit des plus ou moins values latentes des titres relevant de l'article R343-10 du code des assurances dits « actifs non amortissables », ils comprennent principalement les actions, les OPCVM et les actifs immobiliers.

5. Les titres relevant de l'article R343-9 du code des assurances sont des titres amortissables, ils comprennent principalement les obligations.

3.2.6 Allocation à tester

Pour la première étude, 144 allocations seront testées.

L'objectif étant d'analyser l'impact du transfert d'actions ESG vers des actions non ESG, les bornes seront égales à la cible pour toutes les sous classes d'actifs modélisées.

Les allocations étudiées sont définies autour de l'allocation courante. Les bornes minimum, maximum et le pas de variation sont présentés ci-dessous.

Classe d'actif	Allocation courante	min	max	pas	nombre de cas
Actions cotées non ESG	2,6	1,6	3,6	1,0	3
OPCVM Taux	14,0	10,0	16,0	2,0	4
Immobilier	4,6	4,6	6,6	2,0	2
Actions cotées ESG	2,1	1,1	3,1	1,0	3
Actions non cotées	1,9	1,9	3,0	1,1	2
Obligation Taux Fixe	63,6	Variable d'ajustement pour arriver à 100%			
Obligation Taux Variable	5,5	5,5	5,5	0,0	1
Obligation Indéxée à l'Inflation	4,2	4,2	4,2	0,0	1
Monétaire	1,3	1,3	1,3	0,0	1

FIGURE 3.9 – Allocation à tester

3.2.7 Scénarios économiques

Principe d'un générateur de scénarios économiques

Un générateur de scénarios économiques (GSE) est un ensemble de modèles permettant de simuler de façon stochastique des scénarios d'évolution possibles de l'environnement économique. Plusieurs grandeurs financières ou économiques tels que les taux, les actions, l'inflation ou les spreads de crédit sont modélisés sur un horizon donné.

Dans le cadre de ce mémoire, deux GSE seront utilisés : l'un en univers monde réel et l'autre en univers risque neutre. Ces deux univers ont été explicités dans la partie 3.1.2.

Les deux GSE utilisés ont été développés par Fractales. L'objectif de ce mémoire n'est pas de détailler les aspects techniques des GSE. Néanmoins, il est nécessaire, afin de saisir les résultats du modèle ALM, de clarifier les hypothèses de paramétrage du GSE.

Ce paramétrage a été effectué afin que le scénario moyen du monde réel et du risque neutre correspondent aux hypothèses économiques retenues.

- L'évolution de la courbe des taux nominaux est basée sur la courbe swap de l'EIOPA au 31/12/2022 ;

- la performance à moyen terme des OATi a été utilisée pour l'inflation avec une extrapolation vers les objectifs de la BCE à long terme à 2% ;
- le modèle de risque de crédit se base sur un rating de référence, la notation A. Les autres notations ont un spread proportionnel à cette notation de référence (par exemple spread BBB = 125% spread A) ;
- une volatilité de 12,5% à un an a été utilisée pour l'immobilier avec une performance annuelle moyenne de 3,27% ;
- enfin, concernant l'évolution des deux indices actions, le paramétrage est basé sur les résultats de la partie 2.4.

Par ailleurs, en l'absence d'information spécifique, les actions non cotées seront projetées selon l'indice "actions non ESG".

La courbe des taux au 31/12/2022 est représentée ci-dessous.

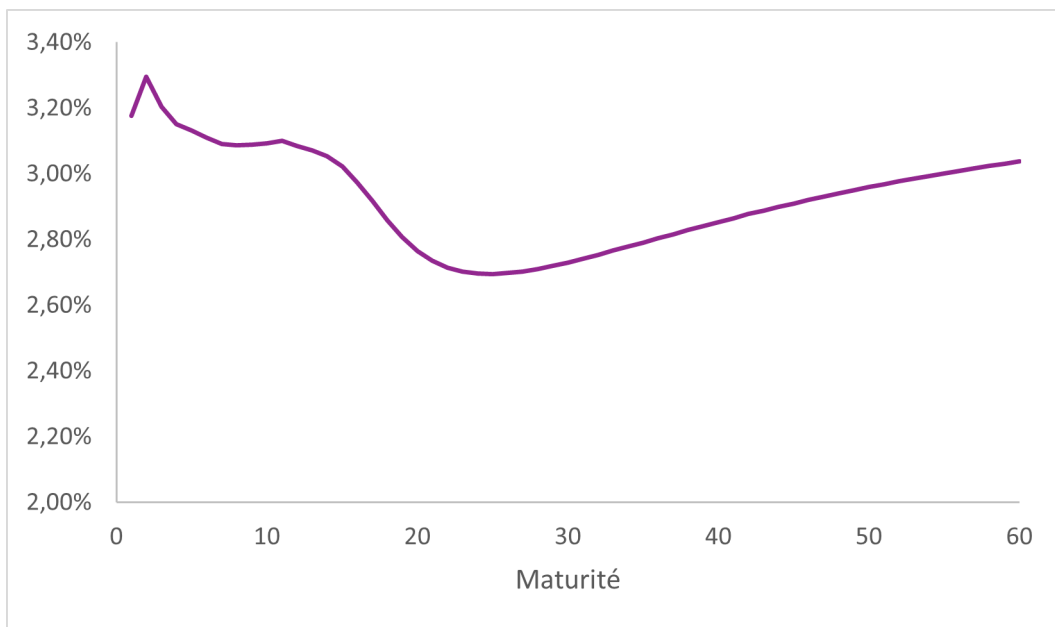


FIGURE 3.10 – Courbe des taux au 31/12/2022

Par ailleurs, les scénarios moyens du GSE monde réel sont les suivants :

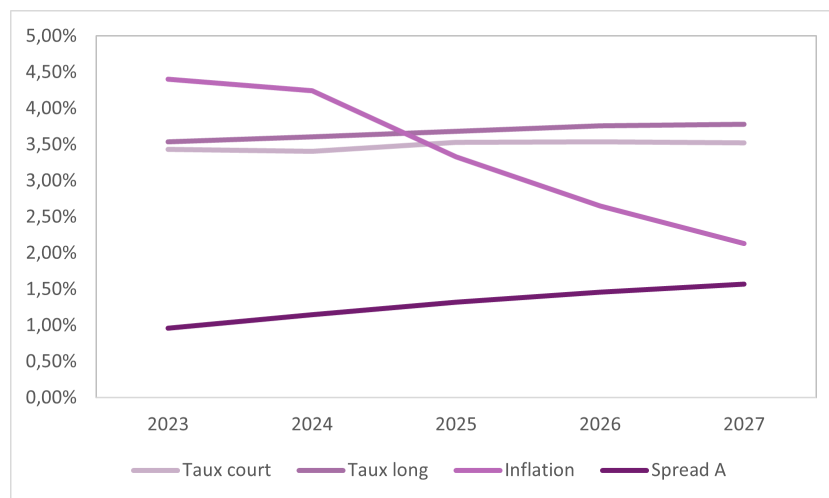


FIGURE 3.11 – Taux moyens

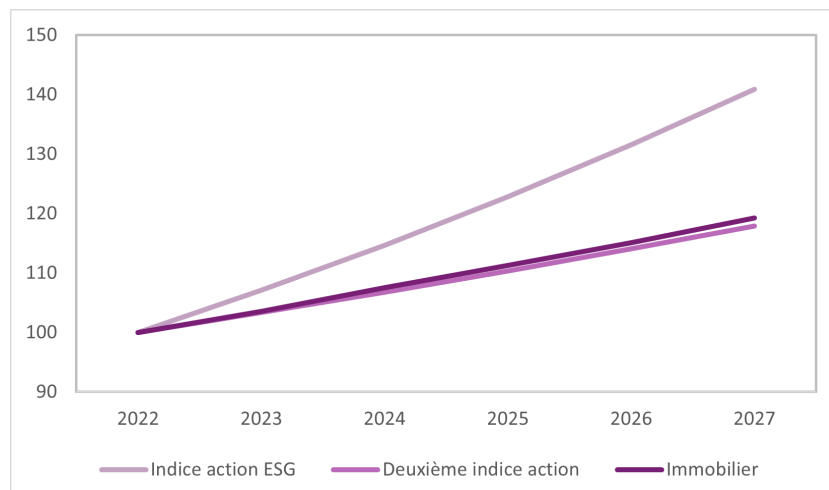


FIGURE 3.12 – Indices moyens

Pour la deuxième analyse, une projection déterministe monde réel sur 5ans puis une projection stochastique risque neutre est réalisée.

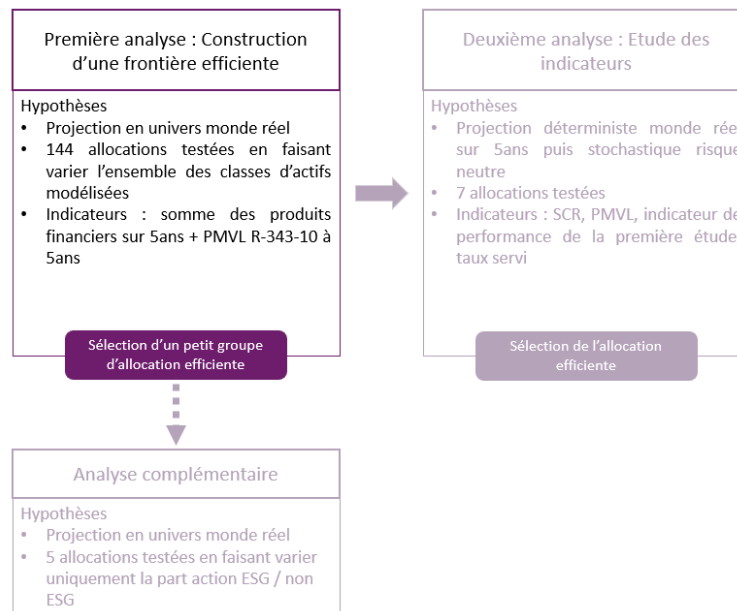
Le scénario déterministe monde réel a été défini comme la moyenne des scénarios du GSE monde réel.

Le GSE risque neutre, quant à lui, a été paramétré sur la base des mêmes scénarios économiques. Contrairement au GSE monde réel, les actifs rapportent cette fois-ci le taux sans risque.

Pour conclure, l'allocation stratégique d'actifs est réalisée sur un portefeuille réel dont les données ont été anonymisées. Une première analyse sera réalisée en univers monde réel sur un grand nombre d'allocations. Cette étude permettra de sélectionner des allocations efficaces, pour lesquelles, une analyse déterministe monde réel puis stochastique risque neutre sera effectuée. La réallocation se fera sur une période de 3 ans et les 144 allocations testées ont été définies.

3.3 Résultats

3.3.1 Analyse de la frontière efficiente



La frontière efficiente est représentée sur le graphique ci-dessous :

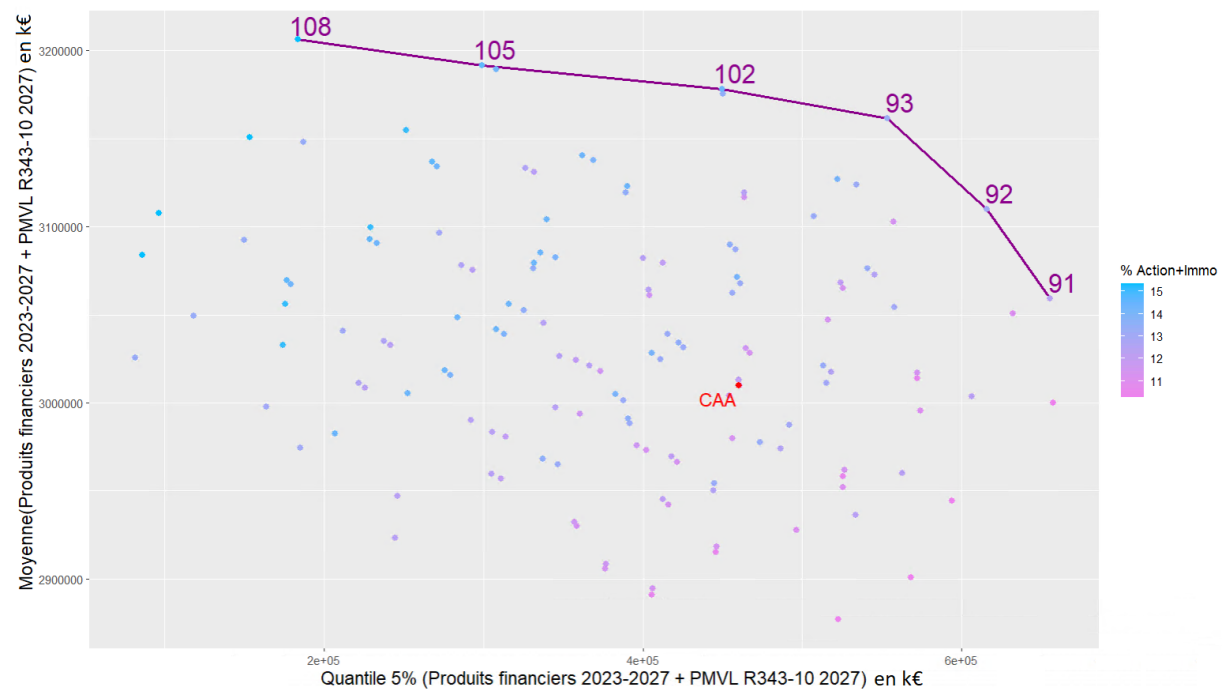


FIGURE 3.13 – Frontière efficiente

La frontière est inversée par rapport à une frontière de markovitz classique parce qu'un quantile d'un indicateur de performance a été utilisé comme indicateur de risque. Par ailleurs, le point CAA (*Current Asset Allocation*) correspond à l'allocation initiale.

Six allocations efficientes, car se trouvant sur la frontière, sont identifiées. L'allocation 102 permet d'optimiser le rendement tout en maintenant un niveau de risque équivalent à l'allocation initiale. Les allocations 91, 92 et 93 sont prudentes, elles permettent de réduire le risque. De leur côté, les allocations 105 et 108 maximisent le rendement.

La répartition des actifs au sein de ces allocations, classées en dehors de la CAA des moins risquées aux plus risquées, est la suivante :

Allocations	CAA	91	92	93	102	105	108
Actions	6,7	4,7	5,7	6,7	7,8	8,8	9,8
COTEES N ESG	2,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6	3,6
COTEES ESG	2,1	1,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1
NON_COTEES	1,9	1,9	1,9	1,9	3,0	3,0	3,0
Obligations	73,4	71,4	70,4	69,4	68,3	67,3	66,3
OTF	63,6	61,7	60,7	59,7	58,6	57,6	56,6
OTV	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
OII	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Immeubles	4,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Monétaire	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
OPCVM taux	14,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FIGURE 3.14 – Allocations efficaces

Les chiffres sont en rouge lorsqu'il s'agit du seuil minimal testé et en vert lorsqu'il s'agit du seuil maximal.

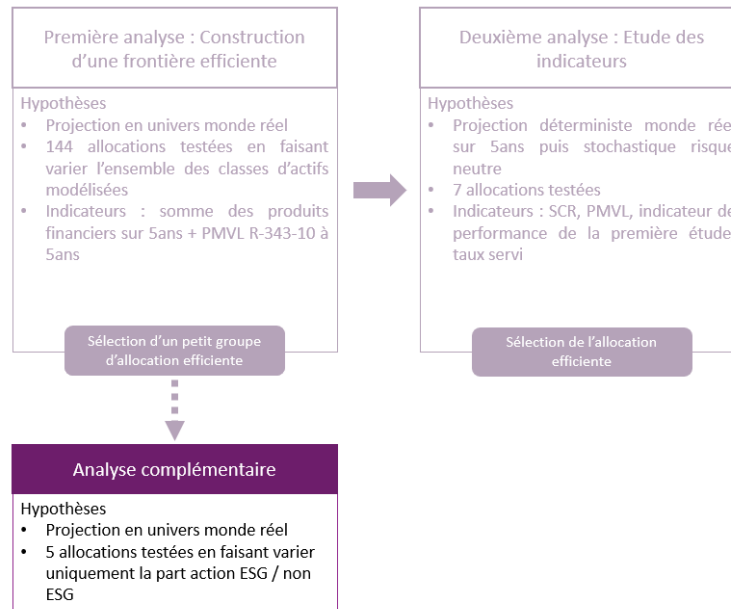
Toutes les allocations efficaces possèdent 16% d'OPCVM taux et 6,56% d'immobilier. Il s'agit des parts maximales testées. Les différences de risque et de rendement, au sein des allocations testées, sont donc liées à des variations du pourcentage total d'action ainsi qu'à des variations au sein de cette classe. Conformément aux attentes, plus la part d'action est importante plus le rendement et le risque augmentent.

L'investissement dans de l'OPCVM taux, par rapport à de l'obligataire, est plus efficient parce qu'il capitalise ses produits financiers, atténuant ainsi les moins-values latentes. Les bénéfices réinvestis vont eux-mêmes générer de nouveaux gains à la différence des obligations pour lesquelles ces bénéfices sont distribués. Cet effet cumulatif l'emporte donc sur la diminution des revenus financiers.

En ce qui concerne l'immobilier, l'investissement dans cette classe d'actifs plutôt que dans de l'obligataire permet d'augmenter le stock de plus-values latentes. Cette augmentation compense la diminution des produits financiers liée à un revenu obligataire plus important que le revenu immobilier. Par ailleurs, par rapport à de l'action, investir dans de l'immobilier est efficient parce que ce dernier est moins volatile.

Enfin, toutes les allocations efficaces, à l'exception de la 91 et de la 108, possèdent une part d'action ESG plus importante que d'action non ESG. Il a été observé dans la partie 2.4 que leur performance était beaucoup plus importante que celles des actions non ESG mais que leur volatilité était également plus élevée. Les résultats ci-dessus montrent donc que le gain en performance des actions ESG compense l'augmentation de la volatilité. Ainsi pour avoir une allocation peu risquée, il est nécessaire de réduire la part d'action en commençant par les actions qui ne sont pas ESG. En ce qui concerne l'allocation 91, afin de diminuer le risque, l'ensemble des seuils minimaux pour les classes actions

sont atteints. Étant donné que le seuil minimal de la classe ESG est inférieur à celui de la classe non ESG, la proportion d'actions ESG est moindre par rapport aux actions qui ne le sont pas. Pour l'allocation 108, l'effet est le même avec les bornes maximales.



Une deuxième analyse a été effectuée en faisant varier uniquement les proportions d'action ESG et non ESG. La répartition au sein des autres classes d'actifs est fixe et correspond à celle de l'allocation initiale. Les allocations testées et leur couple rendement/risque sont représentés ci-dessous :

Allocations	1	2	3	4	5
Part d'actions non ESG	0,38	1,38	2,38	3,38	4,38
Part d'actions ESG	4,38	3,38	2,38	1,38	0,38

FIGURE 3.15 – Pourcentages d'actions ESG et non ESG testés

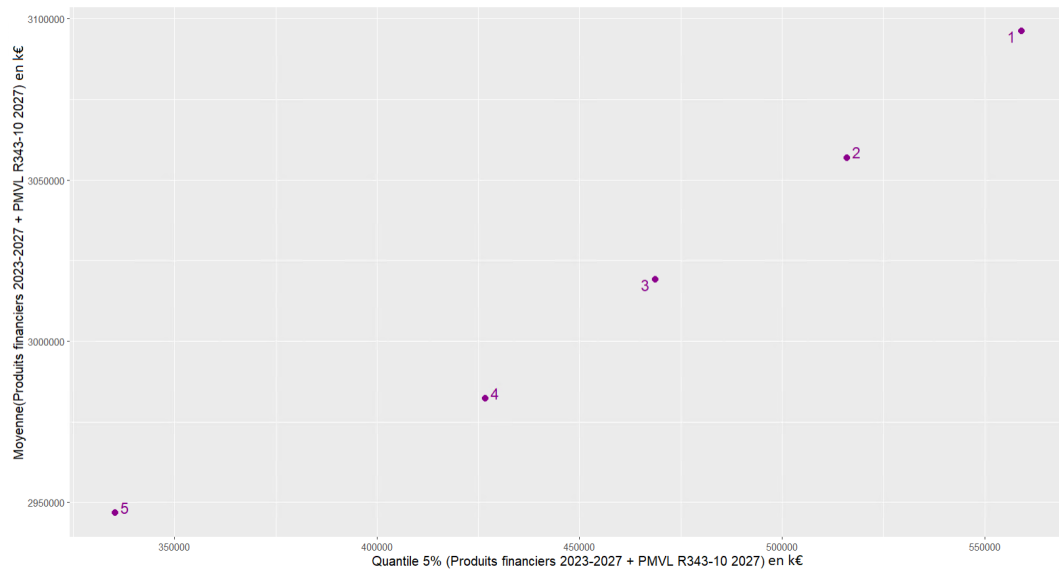
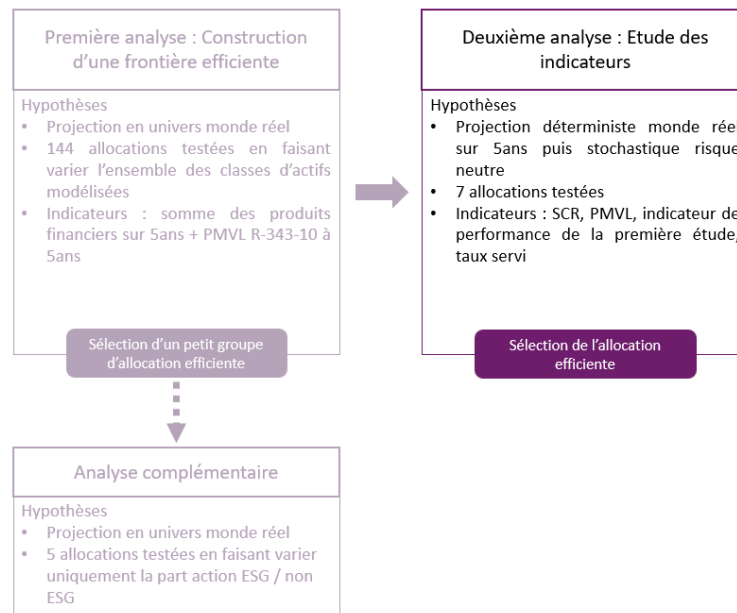


FIGURE 3.16 – Frontière efficiente pour les parts d’actions ESG et non ESG

L’évolution du couple rendement / risque est relativement linéaire, il n’apparaît pas de seuil à partir duquel le risque lié aux actions ESG augmente.

Une analyse des impacts Solvabilité II sera effectuée dans la suite afin de déterminer l’allocation efficiente.

3.3.2 Analyse des impacts Solvabilité 2



Comme évoqué dans la partie 3.2, cette analyse est une étude type ORSA. Une projection déterministe monde réel sur 5ans puis stochastique risque neutre est réalisée.

Les six allocations sélectionnées lors de l'étude en monde réel et rappelées ci-dessous sont testées.

Allocations	CAA	91	92	93	102	105	108
Actions	6,7	4,7	5,7	6,7	7,8	8,8	9,8
COTEES N ESG	2,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6	3,6
COTEES ESG	2,1	1,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,1
NON_COTEES	1,9	1,9	1,9	1,9	3,0	3,0	3,0
Obligations	73,4	71,4	70,4	69,4	68,3	67,3	66,3
OTF	63,6	61,7	60,7	59,7	58,6	57,6	56,6
OTV	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
OII	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Immeubles	4,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Monétaire	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
OPCVM taux	14,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FIGURE 3.17 – Allocations efficientes

Les impacts des allocations sur les différents indicateurs vont maintenant être présentés.

SCR

Dans l'ensemble de l'étude, l'utilisation du terme SCR fait référence au SCR net.

La différence entre le SCR de la CAA (2 634 356 k€) et le SCR des allocations testées est représentée ci-dessous.

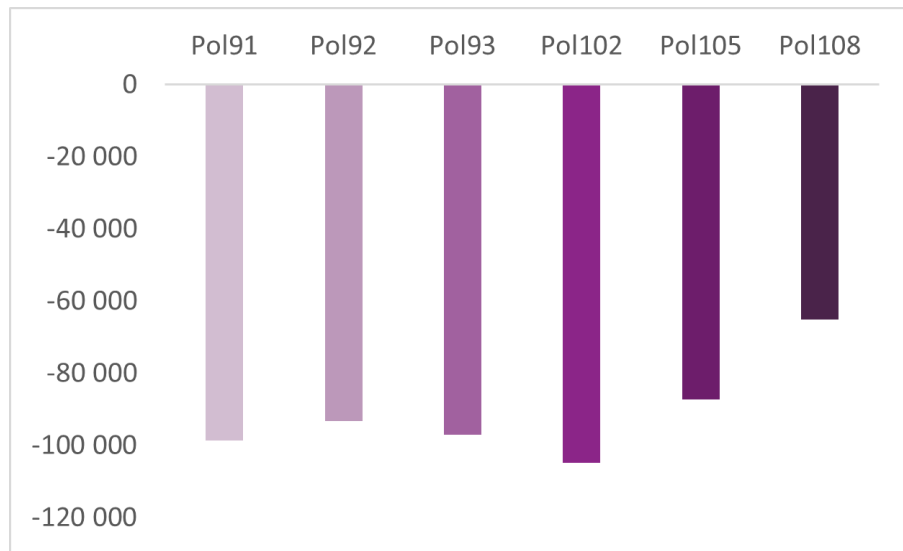


FIGURE 3.18 – Delta de SCR par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

L'ensemble des allocations testées permet de réduire le SCR. Cette réduction est due à une diminution du SCR vie et plus particulièrement à la diminution du SCR cessation. Sur la base de cet indicateur, la politique 102 est privilégiée en raison de sa baisse plus significative du SCR.

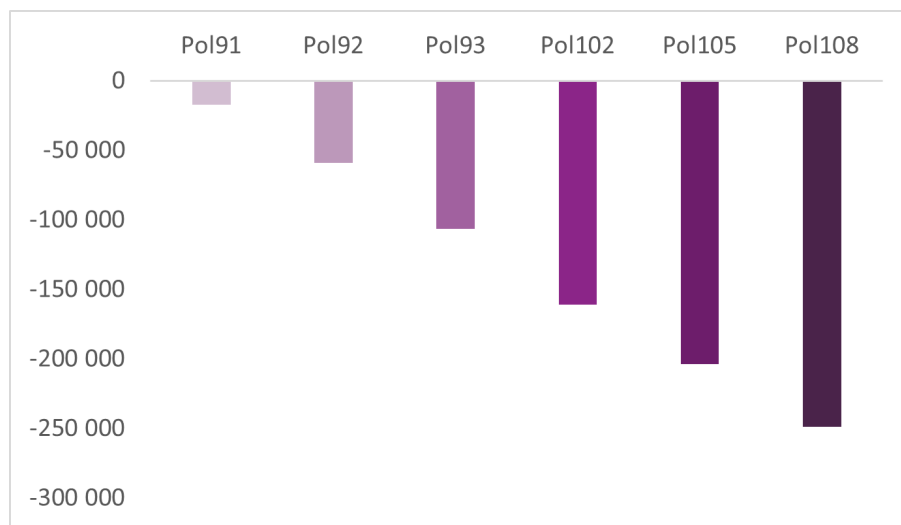


FIGURE 3.19 – Delta de SCR rachat massif par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

Pour rappel, le SCR cessation est calculé en prenant le maximum entre les exigences de capital issues de trois chocs :

- le choc baisse qui correspond à une baisse permanente de 50% du taux d'exercice des options ;
- le choc hausse qui correspond à une hausse permanente de 50% du taux d'exercice des options ;
- le choc masse qui correspond la cessation instantanée de 40% des contrats et la diminution de 40% du nombre de contrats pour lesquels une réassurance était prévue.

Dans le cas de cette étude, le maximum correspond au choc de masse.

Le graphique ci-dessous représente la variation des provisions mathématiques entre la CAA et la politique 108 et permet d'appuyer l'explication qui va suivre. Une seule politique est illustrée afin de faciliter la visualisation. Le repère bleu marque la date de mise en œuvre du choc (31/12/2027).

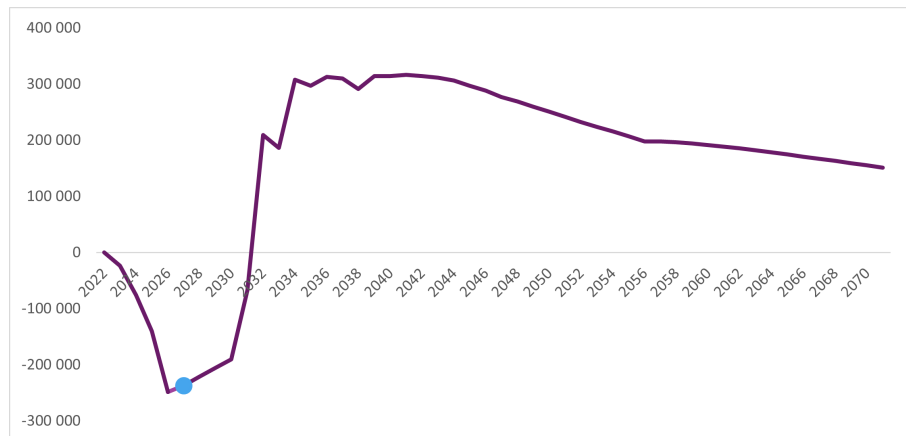


FIGURE 3.20 – Delta de PM par rapport à la CAA pour l'allocation 108 (en k€)

La réduction du SCR cessation peut être expliquée par deux facteurs complémentaires. Pour commencer, en 2027, année d'application du choc, les provisions mathématiques de la CAA dépassent celles des autres allocations en raison de produits financiers plus élevés, conduisant ainsi à une revalorisation des PM plus importante. En conséquence, le choc appliqué est plus fort pour la CAA. D'autre part, le *Best Estimate* (BE) initial pour cette allocation est plus faible suite à une hausse du taux servis des autres allocations à partir de 2031. Cette surperformance se traduit par une augmentation des engagements dans le temps, ce qui engendre une variation plus significative du BE avant et après le choc. Par ailleurs, le stock de Plus ou Moins Values Latentes est plus conséquent pour les allocations testées que pour la CAA, les coûts associés à la cession des actifs sont donc moins importants.

Les variations au sein des allocations testées sont également issues de ces deux effets complémentaires.

Au niveau du SCR marché, des différences notables apparaissent en fonction des allocations.

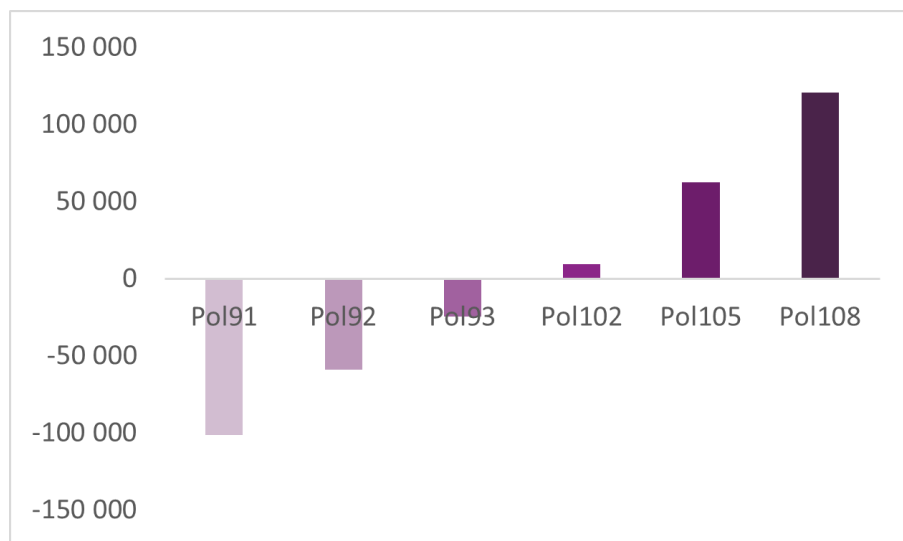


FIGURE 3.21 – Delta de SCR marché par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

Dans le détail, le SCR action augmente pour les allocations 102, 105 et 108 en raison de l'augmentation de la part d'action tandis qu'il diminue pour les allocations 91, 92 et 93. Par ailleurs, une diminution du SCR spread est constatée sur l'ensemble des allocations par rapport à la CAA. Sur les allocations 91 à 93, cette diminution est due à l'absorption (FDB ou *Future Discretionary Benefits* en hausse). En effet, le SCR brut est plus important en raison du transfert d'obligations vers des OPCVM taux plus risquées (signature moyenne BBB au lieu de AA pour les obligations). Sur les allocations 102 à 108, le SCR brut est plus faible que celui de la CAA du à une diminution de l'assiette soumise au choc de spread. Concernant le SCR immobilier, les variations au sein des allocations sont dues à l'absorption. En effet, plus l'allocation est risquée, plus la part de FDB dans le BE est élevée et donc plus le SCR net est faible.

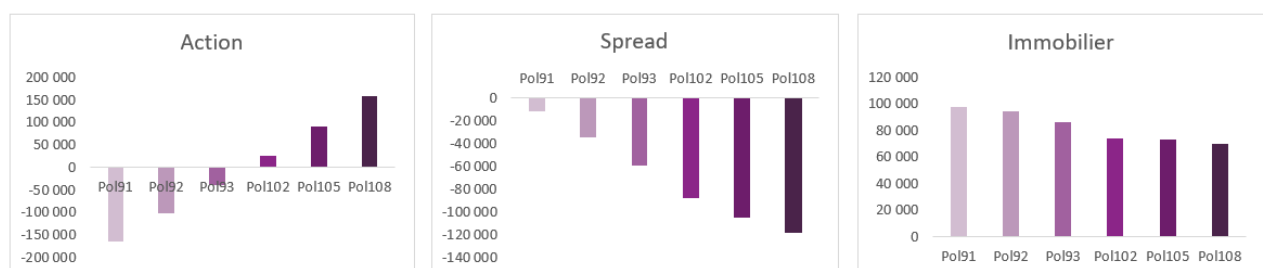


FIGURE 3.22 – Delta de SCR spread, immobilier et action par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

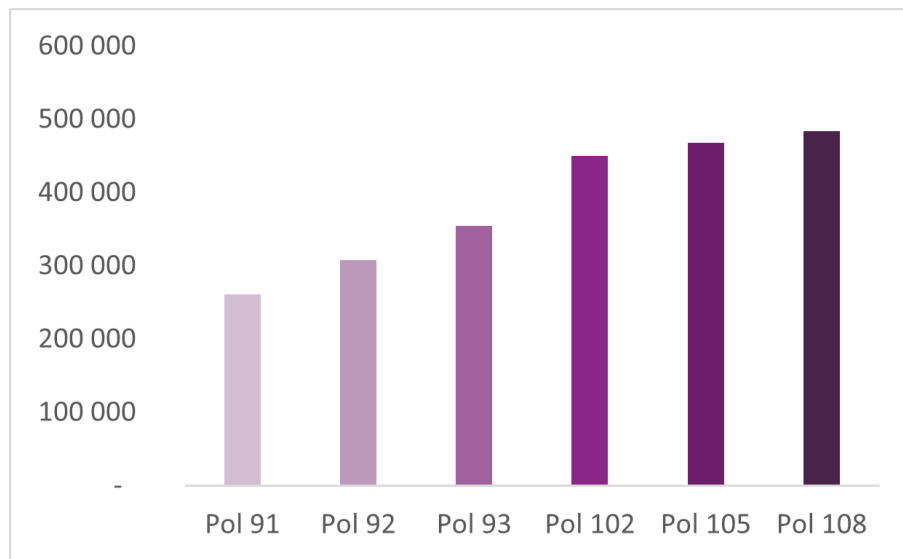
Plus ou moins values latentes (PMVL)

FIGURE 3.23 – Delta de PMVL par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

Pour l'ensemble des allocations testées, le niveau de PMVL est supérieur à celui de la CAA. Cela est dû à l'augmentation de la part d'immobilier et d'action qui génèrent des plus values latentes ainsi qu'à l'augmentation de la part d'OPCVM taux qui capitalisent leurs produits financiers et réduisent donc les moins values latentes.

Au sein des six allocations testées, les variations sont également liées aux poids des actions et des obligations qui sont respectivement en plus values latentes et moins values latentes.

Il convient de noter que le stock d'actifs reste toutefois en moins value latente pour l'ensemble des allocations au vu du poids important de l'obligataire.

Indicateur de performance

A titre de rappel, l'indicateur de performance correspond à la somme des produits financiers sur 5 ans et du stock de plus ou moins values latentes R343-10 à 5 ans.

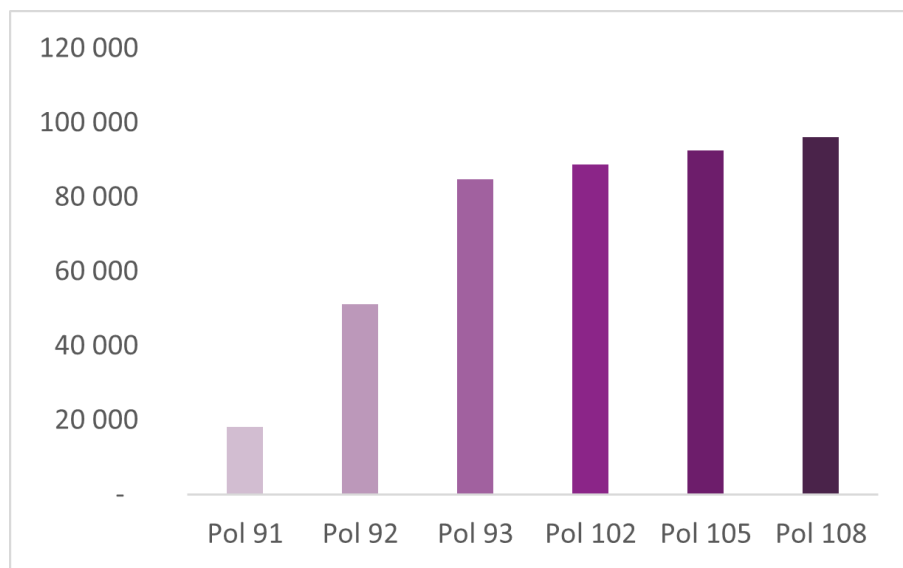


FIGURE 3.24 – Delta de l'indicateur de performance par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)

L'évolution de l'indicateur de performance est principalement due aux variations de PMVL R-343-10. Ces variations ont été expliquées lors de l'analyse globale des PMVL.

Les produits financiers sont quant à eux similaires au sein des allocations testées et ils sous-performent la CAA notamment la quatrième année. Deux groupes se dégagent tout de même : les politiques 91,92 et 93 d'un côté et les politiques 102, 105 et 108 de l'autre.

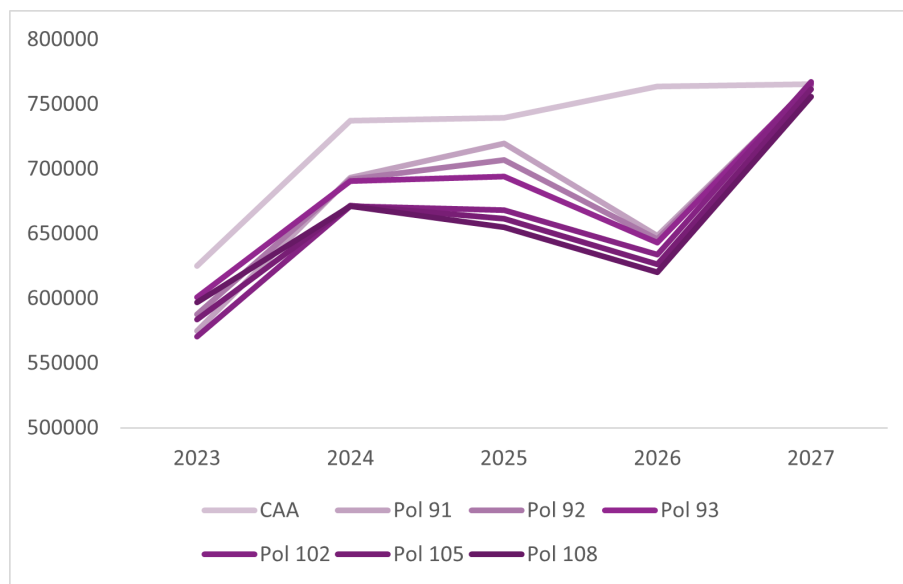


FIGURE 3.25 – Évolution des produits financiers (en k€)

Pour les trois premières années, la légère sous-performance des allocations testées par rapport à la CAA est liée à des ventes d'immobiliers plus importantes pour la CAA et donc de plus grandes plus values réalisées. Ces ventes sont dues à une légère diminution de la part d'immobilier dans l'allocation en raison de la réallocation.

Concernant l'année 2026, la diminution des produits financiers par rapport à la CAA est causée par une importante moins value réalisée sur les OPCVM taux liée à la réallocation.

Par ailleurs, en ce qui concerne les variations entre les allocations testées, les allocations peu risquées (91, 92 et 93) se caractérisent par des proportions plus faibles d'actions nécessitant des ventes plus importantes de ces dernières. Les actions étant en plus values latentes, cela conduit à une augmentation des produits financiers.

L'analyse de cet indicateur qui mixe le stock de PMVL et la somme des produits financiers conduit à favoriser les allocations 93, 102, 105 et 108 avec une préférence pour l'allocation 108.

Taux servis

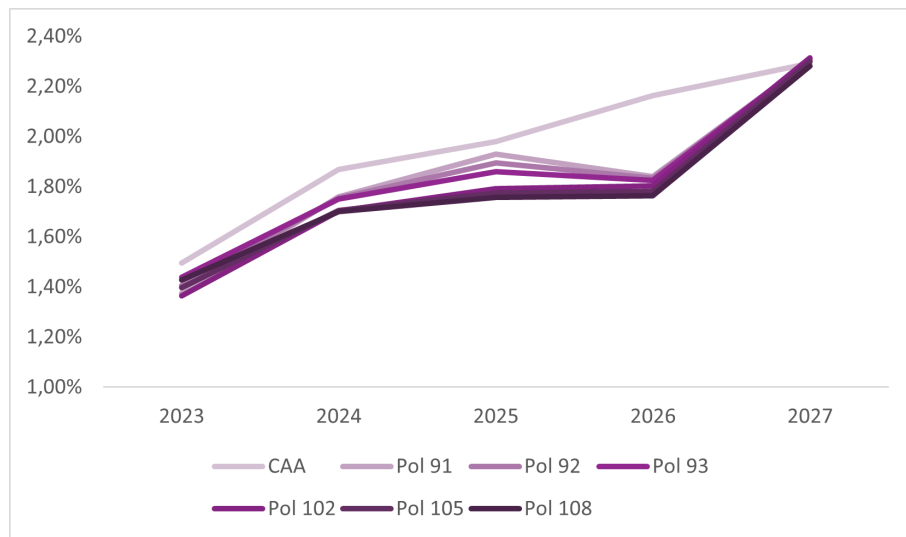


FIGURE 3.26 – Évolution des produits financiers rapportés aux PMs

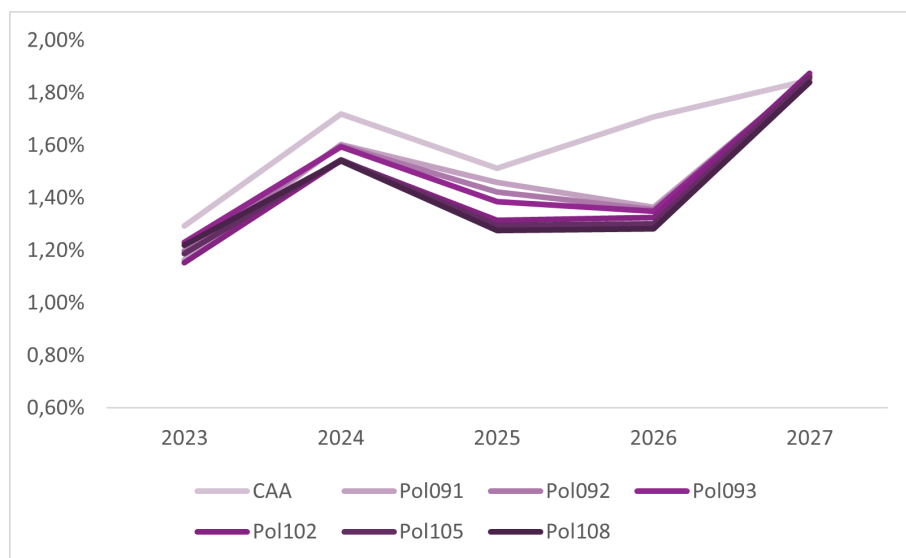


FIGURE 3.27 – Évolution du taux servi net de chargement sur encours

Le taux servi correspond à 100% des produits financiers et les variations observées sont similaires à ces derniers. Toutefois, une baisse du taux servi est constatée en 2025 pour toutes les allocations malgré des produits financiers majoritairement en hausse. Cela

est dû à une reprise de provision pour participation aux bénéfices (PPB)⁶ effectuée les années 2023 et 2024 qui permet de servir un taux plus important ces années là.

Selon cet indicateur, hormis la CAA, l'allocation 91 est à privilégier suivie des allocations 92 et 93.

L'ensemble des études menées conduisent à sélectionner plutôt les allocations 93 ou 102. En effet, l'allocation 102 est celle qui engendre le meilleur gain de SCR avec une diminution de 104 754 k€ par rapport à la CAA. Elle permet également d'améliorer la performance tout en maintenant un niveau de risque équivalent à la CAA. De son côté, l'allocation 93 permet de réduire le risque par rapport à la CAA en diminuant que légèrement la performance par rapport à l'allocation 102. Par ailleurs, le gain en SCR reste très important (96 983 k€ par rapport à la CAA) et le taux servi est légèrement plus important notamment sur les trois premières années (+0,07% en moyenne par rapport à l'allocation 102).

L'assureur a donc une marge de manoeuvre en fonction de son appétence au risque entre ces deux allocations qui restent optimales.

Pour conclure, une première analyse a été réalisée en univers monde réel sur un grand nombre d'allocations. Une frontière efficiente a été tracée et a permis de sélectionner 6 allocations efficientes. Pour chacune d'entre elles, la part d'action ESG est plus importante que celle d'action non ESG. Cela est dû à une performance plus importante du premier indice action pour une volatilité marginalement plus élevée. Une deuxième analyse a ensuite été effectuée sur ces allocations avec une projection déterministe monde réel sur 5 ans, puis stochastique risque neutre afin de déterminer l'allocation optimale. L'objectif de cette analyse portait sur l'étude de la solvabilité de l'entreprise et non sur l'impact des actions ESG et non ESG. Aujourd'hui, la réglementation Solvabilité 2 en formule standard n'applique pas de chocs particuliers aux actifs ESG. De ce fait, les effets sont identiques pour ces deux classes d'actifs. En complément du SCR, de nombreux indicateurs ont également été analysés comme les taux servis ou encore les PMVL. Ils ont permis de préconiser deux allocations qui améliorent le rendement tout en maintenant un niveau de risque proche de la CAA.

6. La provision pour participation aux bénéfices est définie à l'article R.343-3 du code des assurances. Elle correspond au "montant des participations aux bénéfices attribuées aux bénéficiaires de contrats lorsque ces bénéfices ne sont pas payables immédiatement après la liquidation de l'exercice qui les a produits". Elle doit être distribuée dans les 8 ans qui suivent sa constitution.

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était d'évaluer l'intérêt, en termes de performance et de risque, d'intégrer des critères ESG dans l'allocation stratégique d'actifs pour la part action. Pour ce faire, la démarche mise en oeuvre consistait à segmenter les actions et à les projeter selon deux indices différents.

La mise en oeuvre de méthodes de classification a permis de regrouper les entreprises selon deux groupes distincts : l'un présentant des caractéristiques ESG positives et l'autre pour lequel ces caractéristiques étaient moins favorables. Cette segmentation a servi de base pour la création de deux indices boursiers qui ont ensuite pu être utilisés lors de l'allocation stratégique d'actifs.

L'indice orienté vers l'ESG a affiché une performance nettement supérieure à celle de l'autre indice pour une augmentation simplement marginale du niveau de risque. Cette différence s'est reflétée lors de l'allocation stratégique d'actifs, où une préférence a été accordée à cette classe d'actifs par rapport à la classe non ESG. La part d'action ESG a été réduite uniquement pour les allocations à faible risque pour lesquelles l'ensemble de la part action diminue.

Une analyse des impacts Solvabilité 2 (SCR, PMVL, taux servi etc.) a ensuite permis de sélectionner deux allocations efficaces : l'une qui maximise le rendement avec un niveau de risque équivalent à la CAA et l'autre qui permet de réduire le risque tout en conservant un niveau de rendement important.

Cette étude montre qu'il est possible de construire de manière objective des indices très différents en se basant sur des variables ESG. Cette distinction élargit les perspectives en matière d'allocation stratégique d'actifs, en créant un levier d'action additionnel et en permettant d'effectuer des combinaisons d'actifs supplémentaires, pour obtenir de nouvelles opportunités de performance. Par ailleurs, les compagnies d'assurance pourraient mettre en oeuvre cette approche en l'adaptant à leurs propres portefeuilles.

Certaines limites ont néanmoins été mises en évidence et pourraient faire l'objet d'une étude supplémentaire.

Tout d'abord, l'horizon temporel pour les données boursières est restreint et comprend les récentes périodes de crises (Covid et guerre en Ukraine). Ensuite, les données extra-financières proviennent d'un unique fournisseur et une analyse des éventuelles différences de regroupement selon les fournisseurs aurait pu être intéressante. De plus, l'étude pourrait être enrichie en incluant un plus grand nombre de variables ESG. Cependant, il est à souligner que l'utilisation de données publiques dans le cadre de ce mémoire est intéressant pour la reproductibilité de l'analyse. Enfin, il convient de mentionner que les résultats obtenus dans cette étude dépendent des données utilisées. Ainsi l'utilisation de données différentes pourraient potentiellement conduire à des conclusions alternatives.

Ensuite, il est important de noter que la diversification au sein des deux indices constitue une limite à prendre en considération. En entreprenant une évaluation plus approfondie de cette diversification, il serait possible de réduire l'impact de ces biais potentiels. Cette démarche renforcerait la faisabilité de l'approche pour les compagnies, en leur permettant d'avoir une vision plus claire des risques et des rendements.

Malgré ces limites, l'étude semble tout de même indiquer qu'il est pertinent d'intégrer les critères ESG en segmentant les actions selon deux groupes différents. Les résultats laissent donc entrevoir la possibilité d'une adoption de cette approche par les compagnies d'assurance. Les méthodes simples que nous utilisons, applicables à divers types de portefeuilles et ayant déjà fait leurs preuves sur un portefeuille réel, renforcent davantage la faisabilité de cette intégration.

Par ailleurs, cette approche pourrait également être mise en place dans le cadre d'un ORSA pour identifier et mesurer les risques spécifiques liés aux actions ESG et non ESG.

Glossaire

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACPR : Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution

ALM : *Asset and Liability Management*, gestion actif-passif

BE : *Best Estimate*, meilleure estimation

CAA : *Current Asset Allocation*, Allocation actuelle des actifs

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CSRD : *Corporate Sustainability Reporting Directive*, Directive européenne sur la publication d'informations extra-financières pour les grandes entreprises

EIOPA : *European Insurance and Occupational Pensions Authority*, Autorité européenne des assurances et des pensions professionnelles

ESG : Environnement, Social et Gouvernance

DDA : Directive sur la Distribution d'Assurances

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

LEC : Loi Énergie Climat

LTECV : Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte

NFRD : *Non-Financial Reporting Directive*, Directive de reporting extra-financier

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques

PM : Provisions mathématiques

PMVL : Plus ou Moins Value Latente

PMVR : Plus ou Moins Value Réalisée

PPB : Provision pour Participation aux Bénéfices

PVFP : *Present Value of Future Profit*, Valeur actuelle des bénéfices futurs

SCR : *Solvency Capital Requirement*, capital de solvabilité requis

SFDR : *Sustainable Finance Disclosure Regulation*, Règlement sur la divulgation des informations relatives à la finance durable

SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone

Table des figures

1	Indice Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin moyen	iv
2	Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 2	v
3	Comparaison indice ESG et indice non ESG	v
4	Indicateurs de risque et de performance	vi
5	Frontière efficiente	vii
6	Evolution des indicateurs	viii
7	Silhouette, Dunn and Davies-Bouldin average index	xi
8	Representation of the final classification according to axes 1 and 2	xii
9	Comparison of ESG and non-ESG indices	xii
10	Risk and performance indicators	xiii
11	Efficient frontier	xiv
12	Evolution of indicators	xv
1.1	Caractéristiques des principaux gaz à effet de serre	5
1.2	Exemple de crières ESG	11
1.3	Schéma des réglementations	13
2.1	Matrice de corrélation	30
2.2	Répartition de la variable impact positif	31
2.3	Répartition de la variable impact négatif	32
2.4	Répartition de la variable niveau de controverse	32
2.5	Représentation de la variable intensité carbone	33
2.6	Représentation de la variable émission carbone	33
2.7	Valeurs propres	34
2.8	Pourcentage de variance expliquée	35
2.9	Analyse en composante principale selon les dimensions 1 et 2	36
2.10	Analyse en composante principale selon les dimensions 1 et 3	37
2.11	Analyse en composante principale selon les dimensions 2 et 3	37
2.12	Analyse des \cos^2	38
2.13	Contribution au premier axe principal	38
2.14	Analyse en composante principale sans ArcelorMittal	39
2.15	Analyse en composante principale sans Veolia	40
2.16	Hauteur du saut en fonction du nombre de classe	41
2.17	Classification ascendante hiérarchique avec le saut de Ward	41

2.18	Analyse en composante principale avec le saut de Ward (2 classes)	42
2.19	Analyse en composante principale avec le saut de Ward (5 classes)	42
2.20	Analyse en composante principale avec le saut de Ward (5 classes)	43
2.21	Classification ascendante hiérarchique avec le saut minimum, maximum et moyen	44
2.22	Indice de Silhouette	45
2.23	Indice de Dunn	46
2.24	Indice de Davies-Bouldin	46
2.25	Indice Silhouette, Dunn et Davies-Bouldin moyen	47
2.26	Analyse en composante principale avec les <i>k-means</i> : classification 1	47
2.27	Analyse en composante principale avec les <i>k-means</i> : classification 1	48
2.28	Analyse en composante principale avec les <i>k-means</i> : classification 3	48
2.29	Valeurs des coefficients de Silhouette pour les trois classifications	49
2.30	Coefficients de Silhouette pour les trois classifications en fonction des groupes	49
2.31	Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 2	50
2.32	Représentation de la classification finale selon les axes 1 et 3	51
2.33	Comparaison indice Eurostoxx historique et calculé	53
2.34	Comparaison indice ESG et indice non ESG	54
2.35	Indicateurs de risque et de performance	55
3.1	Frontière efficiente	57
3.2	Répartition des valeurs de marché entre les cantons	61
3.3	Allocation au 31/12/2022	62
3.4	Stock des plus ou moins values latentes (en k€)	62
3.5	Répartition au sein de la classe obligation	65
3.6	Répartition au sein de la classe action	65
3.7	VM des obligations par signature (en k€)	66
3.8	Répartition des provisions au sein des produits	66
3.9	Allocation à tester	68
3.10	Courbe des taux au 31/12/2022	69
3.11	Taux moyens	70
3.12	Indices moyens	70
3.13	Frontière efficiente	72
3.14	Allocations efficientes	73
3.15	Pourcentages d'actions ESG et non ESG testés	74
3.16	Frontière efficiente pour les parts d'actions ESG et non ESG	75
3.17	Allocations efficientes	76
3.18	Delta de SCR par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	77
3.19	Delta de SCR rachat massif par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	78
3.20	Delta de PM par rapport à la CAA pour l'allocation 108 (en k€)	79
3.21	Delta de SCR marché par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	80
3.22	Delta de SCR spread, immobilier et action par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	80

3.23	Delta de PMVL par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	81
3.24	Delta de l'indicateur de performance par rapport à la CAA à horizon 5ans (en k€)	82
3.25	Évolution des produits financiers (en k€)	83
3.26	Évolution des produits financiers rapportés aux PMs	84
3.27	Évolution du taux servi net de chargement sur encours	84
A.1	Résultats de la classification avec la CAH (regroupement en 2 groupes) . .	96
A.2	Résultats de la classification avec la CAH (regroupement en 5 groupes) . .	97
A.3	Résultats de la classification finale avec les k-means	98

Bibliographie

- [Ahado *et al.*, 2019] AHADO, F., BONTEMPS-CHANEL, A.-L., CHANTRELLE, L., GANDOLPHE, S. *et al.* (2019). Les assureurs français face au risque de changement climatique. Rapport technique, Banque de France.
- [Ailliot, 2021] AILLIOT, P. (2020-2021). Analyse de données.
- [AMF, 2022] AMF (2022).
- [Artzner *et al.*, 1999] ARTZNER, P., DELBAEN, F., EBER, J.-M. et HEATH, D. (1999). Coherent measures of risk. *Mathematical Finance*, 9(3):203–228.
- [Bellman, 1961] BELLMAN, R. (1961). *Adaptive Control Processes : A Guided Tour*. Princeton University Press, New Jersey.
- [Berg *et al.*, 2022a] BERG, F., KOELBEL, J. F. et RIGOBON, R. (2022a). Aggregate confusion : The divergence of esg ratings. *Review of Finance*, 26(6):1315–1344.
- [Berg *et al.*, 2022b] BERG, F., KÖLBEL, J. F. et RIGOBON, R. (2022b). Aggregate Confusion : The Divergence of ESG Ratings*. *Review of Finance*, 26(6):1315–1344.
- [Bevere *et al.*, 2019] BEVERE, L., EHRLER, A., KUMAR, V., LECHNER, R. et SCHELBERT, A. (2019). Catastrophes naturelles et techniques en 2018 : les périls « secondaires » en première ligne.
- [Bismuth et Pierre, 2018] BISMUTH, M. et PIERRE, N. (2018). Optimisation quantitative du programme d’investissement par une approche alm dans un contexte solvabilité ii.
- [Charbonnel, 2022] CHARBONNEL, C. (2022). Evolution des fonds propres suite à l’introduction de critères esg dans le portefeuille d’actifs d’un assureur vie.
- [Chauveau, 2013] CHAUVEAU, G. (2013). Optimisation de l’allocation d’actifs sous contraintes solvabilité ii.
- [Cheng *et al.*, 2022] CHENG, G., JONDEAU, E. et MOJON, B. (2022). Building portfolios of sovereign securities with decreasing carbon footprints. *Swiss Finance Institute Research Paper*, (22-66).
- [Clark *et al.*, 2015] CLARK, G. L., FEINER, A. et VIEHS, M. (2015). From the stockholder to the stakeholder : How sustainability can drive financial outperformance. *Available at SSRN 2508281*.
- [Clerc *et al.*, 2021] CLERC, L., BONTEMPS-CHANEL, A.-L., SÉBASTIEN, D., OVERTON, G., DE ALBERGARIA, S. S., VERNET, L., LOUARDI, M. *et al.*

- (2021). Les principaux résultats de l'exercice pilote climatique 2020. Rapport technique, Banque de France.
- [CLERC *et al.*, 2023] CLERC, L., DIOT, S., VERNET, L., DEVULDER, A., LISACK, N., GONZALEZ, O. et PY, L. (2023). Scénarios et hypothèses principales de l'exercice pilote climatique. Rapport technique.
- [Core Writing Team et (eds.), 2023] CORE WRITING TEAM, H. L. et (EDS.), J. R. (2023). Climate change 2023 : Synthesis report.
- [De Spiegeleer *et al.*, 2021] DE SPIEGELEER, J., HÖCHT, S., JAKUBOWSKI, D., REYNERS, S. et SCHOUTENS, W. (2021). Esg : A new dimension in portfolio allocation. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, pages 1–41.
- [England, 2021] ENGLAND, B. (2021). Key elements of the 2021 biennial exploratory scenario : Financial risks from climate change.
- [Friede *et al.*, 2015] FRIEDE, G., BUSCH, T. et BASSEN, A. (2015). Esg and financial performance : aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of sustainable finance & investment*, 5(4):210–233.
- [Gibson Brandon *et al.*, 2021] GIBSON BRANDON, R., KRUEGER, P. et SCHMIDT, P. S. (2021). Esg rating disagreement and stock returns. *Financial Analysts Journal*, 77(4): 104–127.
- [Janicka et Sajnóg, 2022] JANICKA, M. et SAJNÓG, A. (2022). The esg reporting of eu public companies. does the company's capitalisation matter? *Sustainability*, 14(7): 4279.
- [JOURNET, 2021] JOURNET, T. (2021). Analyse du marché de l'épargne retraite supplémentaire en france : opportunités de mobilisation de l'actif vers des investissements socialement responsables.
- [Kaminskyi et Nehrey, 2023] KAMINSKYI, A. et NEHREY, M. (2023). Clustering stocks by esg score values, risks and returns : Case of expanded german index dax. *In Advances in Artificial Systems for Medicine and Education VI*, pages 264–276. Springer.
- [KINMAGBAHOHOUE, 2021] KINMAGBAHOHOUE, S. F. (2021). Segmentation des agents généraux pour une optimisation des mesures d'accompagnement.
- [Lebart *et al.*, 1995] LEBART, L., MORINEAU, A. et PIRON, M. (1995). *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, volume 3. Dunod Paris.
- [Masson-Delmotte *et al.*, 2021] MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PIRANI, A., CONNORS, S. L., PÉAN, C., BERGER, S., CAUD, N., CHEN, Y., GOLDFARB, L., GOMIS, M. *et al.* (2021). Climate change 2021 : the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*.
- [Nanda *et al.*, 2010] NANDA, S., MAHANTY, B. et TIWARI, M. (2010). Clustering indian stock market data for portfolio management. *Expert Systems with Applications*, 37(12): 8793–8798.

- [OCDE, 2022] OCDE (2022). *Gérer les risques climatiques et faire face aux pertes et aux dommages*.
- [OIT,] OIT. Foire aux questions sur la transition juste.
- [Pedersen *et al.*, 2021] PEDERSEN, L. H., FITZGIBBONS, S. et POMORSKI, L. (2021). Responsible investing : The esg-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*, 142(2):572–597.
- [Pierrat, 2017] PIERRAT, M. (2017). Allocation stratégique optimale d’actifs : une approche multi-objectifs et interactive.
- [Pörtner *et al.*, 2022] PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D. C., ADAMS, H., ADLER, C., ALDUNCE, P., ALI, E., BEGUM, R. A., BETTS, R., KERR, R. B., BIESBROEK, R. *et al.* (2022). *Climate change 2022 : Impacts, adaptation and vulnerability*. IPCC Geneva, Switzerland :
- [Roncalli, 2022] RONCALLI, T. (2022). Handbook of sustainable finance. *Available at SSRN*.
- [Shukla *et al.*, 2022] SHUKLA, S., SLADE, A. K., van DIEMEN, M., PATHAK, S., VYAS, F. *et al.* (2022). Climate change 2022 : Mitigation of climate change.
- [SOULARD, 2022] SOULARD, C. (2022). Guide réglementaire durabilité.
- [YOON, 2017] YOON, S.-h. (2017). Etude des comportements des assureurs et prédiction du taux de reversement des recours dans le cadre de la convention irsa.
- [ZOGO, 2020] ZOGO, R. Y. (2020). Etude de seuils en provisionnement non vie confidentialité.

Annexe A

Résultats de la classification

Groupe 1	Groupe 2	
AB INBEV	ADYEN	ADIDAS
AIR LIQUIDE	AEGON	ADP
AIRBUS	AKZO NOBEL	AGEAS
ARCELORMITTAL	ALLIANZ	AMUNDI
BASF	ALSTOM	ASML HLDG
BAYER	ARGENX	AXA
CRH PLC	ASM INT	BANCO SANTANDER
DANONE	BMW	BBVA
DSM	CREDIT AGRICOLE SA	BIOMERIEUX
EDF	DASSAULT SYSTEMES	BNP PARIBAS
EDP-ENERGIAS	DEUTSCHE POST	BOUYGUES
ENEL	DEUTSCHE TELEKOM	BUREAU VERITAS
ENGIE	D'IETEREN GRP	CAPGEMINI
ENI	EDENRED	CARREFOUR
ESSILORLUXOTTICA	ELIA GROUP	DEUTSCHE BOERSE
EUROFINS SCIENTIFIC	GBL	EIFFAGE
GALP ENERGIA -B-	GECINA	EURONEXT
HEINEKEN	GETLINK (ex: EUROTUNNEL)	HERMES INTL
IBERDROLA	IMCD	INDITEX
KON AH DEL	INFINEON TECHNOLO	KBC GR
KONINKLIJKE PHILIPS N,V,	ING GROUP	KERING
LINDE	INTESA SANPAOLO	MERCEDES-BENZGR
L'OREAL	IPSEN	MUENCHENER RUECKV
LVMH	JERONIMO MARTINS	NN GROUP
PERNOD RICARD	KONINKL KPN	ORANGE
SAFRAN	LEGRAND	PROSUS RG-N
SANOFI	MICHELIN	PUBLICIS GROUPE
SOLVAY	NOKIA	SAP AG O,N,
THALES	REMY COINTREAU	SCHNEIDER ELECTRIC
TOTALENERGIES	RENAULT	SIEMENS ENERGY
VEOLIA	SAINT-GOBAIN	TELEPERFORMANCE
VOLKSWAGEN VZ	SOCIETE GENERALE	UMICORE
	SODEXO	VINCI
	STELLANTIS	VIVENDI
	STMICROELECTRONICS	VONOVIA
	UCB	WOLTERS KLUW
	UNIBAIL-RODAMCO-WESTFIELD	WORLDLINE

FIGURE A.1 – Résultats de la classification avec la CAH (regroupement en 2 groupes)

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
AB INBEV	AEGON	PROSUS RG-N	ARCELORMITTAL	UCB
AIRBUS	AGEAS	VONOVIA	AIR LIQUIDE	KONINKLIJKE PHILIPS N.V.
BASF	ALLIANZ	D'IETEREN GRP	CRH PLC	SCHNEIDER ELECTRIC
BAYER	CARREFOUR	BUREAU VERITAS	VEOLIA	STELLANTIS
EDF	CREDIT AGRICOLE SA	ASM INT	LINDE	IPSEN
EDP-ENERGIAS	ADIDAS	ARGENX		GECINA
EUROFINS SCIENTIFIC	NOKIA	ADP		EIFFAGE
DSM	ORANGE	AMUNDI		BIOMERIEUX
ESSILORLUXOTTICA	SAP AG O.N.	ASML HLDG		ALSTOM
ENEL	VINCI	ADYEN		AKZO NOBEL
ENGIE	MERCEDES-BENZGR	PUBLICIS GROUPE		SAINT-GOBAIN
ENI	SOCIETE GENERALE	WOLTERS KLUW		INFINEON TECHNOLO
L'OREAL	BNP PARIBAS	TELEPERFORMANCE		BMW
DANONE	DEUTSCHE BOERSE	REMY COINTREAU		UMICORE
PERNOD RICARD	HERMES INTL	ELIA GROUP		LEGRAND
SANOFI	KERING	DASSAULT SYSTEMES		SIEMENS ENERGY
TOTALENERGIES	RENAULT	WORLDLINE		STMICROELECTRONICS
THALES	VIVENDI	MUENCHENER RUECKV		JERONIMO MARTINS
SAFRAN	MICHELIN	NN GROUP		GETLINK (ex: EUROTUNNEL)
VOLKSWAGEN VZ	SODEXO	KBC GR		CAPGEMINI
SOLVAY	BOUYGUES	IMCD		UNIBAIL-RODAMCO-WESTFIELD
LVMH	DEUTSCHE POST	GBL		
HEINEKEN	DEUTSCHE TELEKOM	EURONEXT		
IBERDROLA	BANCO SANTANDER			
KON AH DEL	AXA			
GALP ENERGIA -B-	BBVA			
	ING GROUP			
	INTESA SANPAOLO			
	INDITEX			
	EDENRED			
	KONINKL KPN			

FIGURE A.2 – Résultats de la classification avec la CAH (regroupement en 5 groupes)

Groupe 1	Groupe 2		
AIRLIQUIDE	ABINBEV	DIETERENGRP	MICHELIN
ARCELORMITTAL	ADIDAS	DSM	MUENCHENERRUECKV
BASF	ADP	EDENRED	NNGROUP
BAYER	ADYEN	EIFFAGE	NOKIA
CRHPLC	AEGON	ELIAGROUP	ORANGE
EDF	AGEAS	ESSILORLUXOTTICA	PERNODRICARD
EDPENERGIAS	AIRBUS	EUROFINSSCIENTIFIC	PROSUSRGN
ENEL	AKZONOBEL	EURONEXT	PUBLICISGROUPE
ENGIE	ALLIANZ	GALPENERGIAB	REMYCOINTREAU
ENI	ALSTOM	GBL	RENAULT
IBERDROLA	AMUNDI	GECINA	SAFRAN
KONINKLIJKEPHILIPSN.V.	ARGENX	GETLINKEXEUROTUNNEL	SAPAGO.N.
LINDE	ASMINT	HEINEKEN	SCHNEIDERELECTRIC
SAINTGOBAIN	ASMLHLDG	HERMESINTL	SIEMENSENERGY
SANOFI	AXA	IMCD	SOCIETEGENERALE
SOLVAY	BANCOSANTANDER	INDITEX	SODEXO
TOTALENERGIES	BBVA	INFINEONTECHNOLO	STELLANTIS
VEOLIA	BIOMERIEUX	INGGROUP	STMICROELECTRONICS
	BMW	INTESASANPAOLO	TELEPERFORMANCE
	BNPPARIBAS	IPSEN	THALES
	BOUYGUES	JERONIMOMARTINS	UCB
	BUREAUVERITAS	KBCGR	UMICORE
	CAPGEMINI	KERING	UNIBAILRODAMCOWESTFIELD
	CARREFOUR	KONAHDEL	VINCI
	CREDITAGRICOLESA	KONINKLKPN	VIVENDI
	DANONE	LEGRAND	VOLKSWAGENVZ
	DASSAULTSYSTEMES	LOREAL	VONOVIA
	DEUTSCHEBOERSE	LVMH	WOLTERSKLUW
	DEUTSCHEPOST	MERCEDESSENZGR	WORLDLINE
	DEUTSCHELEKOM		

FIGURE A.3 – Résultats de la classification finale avec les k-means