



# MÉMOIRE D'ACTUARIAT

---

## Modélisation de la formule standard de calcul de Capital de Solvabilité Requis d'*International Capital Standards* et comparaison avec Solvabilité II

Présenté par **Arthur CORDA**

*Entreprise d'accueil :*

**Optimind**

46 rue la Boétie

75008 PARIS

*Établissement scolaire :*

**Institut de Statistique de l'Université de Paris**

6 place Jussieu

75005 PARIS

*Tuteur d'entreprise :*

**Omar BERRADA**

Actuaire Consultant

Optimind

*Tuteur académique :*

**Olivier Winterberger**

Professeur - Chercheur

Université Pierre et Marie Curie

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie Christophe Eberlé, président fondateur d'Optimind, pour m'avoir permis de réaliser mon alternance au sein de son entreprise, ainsi que les partners, Valérie Deppe, Gildas Robert et Julien Chartier, pour m'avoir accueilli au sein de la practice *Actuarial & Financial Services*.

De plus, je tiens à remercier très chaleureusement mon tuteur, Omar Berrada, pour ces précieux conseils et sa disponibilité au cours de ces deux dernières années.

De manière plus générale, je tiens à remercier l'ensemble des collaborateurs d'Optimind. La rédaction de ce mémoire fut loin d'être un long fleuve tranquille, et vos réflexions incessantes quant à sa finition m'ont permis de l'achever. J'adresse un remerciement particulier à Yann Diserbeau, avec qui j'ai eu la chance de partager cette expérience peu commune qu'est l'écriture d'un mémoire. Merci pour ces moments de rire, de galère et de labeur que nous avons partagé.

Enfin, j'ai une pensée particulière pour l'ensemble de mes proches, famille et amis, qui ont fortement contribué à la réussite de ce mémoire grâce à leurs encouragements et leur soutien sans faille.

Hugo, Maman, Papa, I DID IT.

# Résumé

Afin de garantir la solvabilité des organismes d'assurances, de nouvelles directives telles que Solvabilité II ont été créées pour fournir un cadre réglementaire plus précis et rigoureux. L'objectif de ces normes prudentielles est de mesurer les risques auxquels sont confrontés les organismes d'assurances de la meilleure manière possible. Comme l'a démontré la crise financière de septembre 2008 qui, bien qu'initialement américaine, a touché l'ensemble de l'économie mondiale, il existe une interdépendance entre les marchés financiers et assurantiels. Pour autant, jusqu'à présent, les grands organismes d'assurance étaient confrontés à une multitude de règles de solvabilité qui étaient seulement propres à leur juridiction. C'est pourquoi, en 2014, l'Association Internationale des Contrôleurs d'Assurance, l'IAIS, a proposé la mise en place de la première norme prudentielle mondiale, *International Capital Standards*, ou ICS. Celle-ci cherche à homogénéiser les réglementations à la fois quantitatives mais aussi qualitatives pour les Groupes d'Assurance Actifs Internationalement, ou IAIGs.

Ce mémoire vise à étudier cette nouvelle directive ICS, et plus précisément sa formule standard de calcul de Capital de Solvabilité Requis. Bien que très récente et encore en phase de "Monitoring Period", la directive semble ressembler par bien des aspects à Solvabilité II, mise en place depuis 2016. De ce fait, l'objectif de ce mémoire est de montrer l'impact et les enjeux engendrés par l'arrivée d'ICS sur le milieu actuariel, en comparant sa formule standard de calcul de SCR à celle de SII.

Dans cette optique, le mémoire est divisé en trois parties.

La première partie présente les deux directives, leurs contextes réglementaires et leurs formules de calcul de SCR.

La seconde partie développe la construction d'un modèle de calcul de SCR pour ICS. La formule standard fournie par la réglementation internationale sera suivie de la manière la plus précise possible. Chacun des sous-modules de risque sera étudié individuellement, de manière théorique puis de manière concrète. Pour ce faire, un portefeuille fictif majoritairement lié à l'Épargne sera appliqué, apportant clarté et comparabilité au modèle construit.

La dernière partie traite l'analyse du modèle créé par une comparaison avec Solvabilité II. Un deuxième modèle, suivant lui la directive européenne, sera construit de manière symétrique au premier, afin de pouvoir étudier et comparer chacun des risques de la formule standard de l'IAIS.

# Abstract

In order to guarantee the solvency of insurance groups, new regulations such as "Solvabilité II" have been created to provide a regulatory framework more precise and rigorous. The aim of these prudential standards is to measure the best way possible the risks to which are confronted the insurance groups. As shown by the 2008 economic crisis, which impacted the global economy, it exists a interdependence between the finance and the insurance market. However, so far, the biggest insurance groups were confronted to a multitude of rules of solvency which were divided by jurisdictions. That is why in 2014, to fix this issue, the IAIS, the *International Association of Insurance Supervisors*, proposed to set up the first global prudential standard, *International Capital Standard*, or ICS. This standard aims to homogenize all regulations across the world for *Internationally Active Insurance Groups*, or IAIGs.

This thesis' aim is to study this new regulation, et more precisely his Standard Formula used to calculate the *Solvency Capital Required*, or SCR. Although very new, and still in monitoring period, the regulation seems to look a lot like Solvabilité II, set up in 2016. Thereby, the aim will be to show the impacts and the stakes raised by the arrival of ICS in the insurance market, by comparing how the european and the american regulation compute the SCR.

In this context, the thesis will be divided in three parts.

The first part presents the two regulations, their regulatory contexts and their Standard Formula of SCR.

The second part develops the construction of model to compute the SCR following *International Capital Standards*. The Standard Formula given by ICS will be followed to the letter. Each sub-module of risk will be studied individually, theoretically and then concretely. To do so, a fictive portfolio, mostly composed of *Saving* and *Life Insurance* data, will be applied to the model, in order to bring clarity and comparability to the model created.

The last part drafts the analysis of the model created through a comparison with Solvabilité II. Un second model, following the european regulation, will be constructed symmetrically to the first, in order to compare each and every one of the risks studied in the IAIS' *Standard Formula*.

# Synthèse

## Introduction .....

L'IAIS, pour Association Internationale des Superviseurs d'Assurance, a présenté en 2014 sa nouvelle directive réglementaire, *International Capital Standards*, ou *ICS*. Cette directive a pour objectif de poser les jalons d'une supervision internationale. En effet, jusqu'à présent, les plus grands groupes d'assurances, nommés IAIGs (Groupes d'Assurance Internationalement Actifs) ou G-SIIs (Assureurs Importants au sens Systémique), se devaient de répondre aux exigences imposées par les superviseurs de chaque juridiction dans laquelle ils possèdent des primes. L'IAIS vise ainsi à simplifier la multiplicité des réglementations en créant une seule et unique directive internationale.

Au premier abord, *International Capital Standards* semble ressembler à Solvabilité II par bien des aspects. Les deux directives imposent notamment des exigences quantitatives qui paraissent très semblables. Une des premières similitudes, en observant la réglementation internationale, est l'exigence de capital demandée aux groupes d'assurance, nommée CR ou SCR dans les deux directives prudentielles (*Capital Requirement* pour Capital de Solvabilité Requis). *ICS* et SII proposent toutes deux une Formule Standard de calcul de SCR. Ce sont ces deux méthodes de capital qui sont étudiées et comparées dans ce mémoire, à travers le prisme d'un portefeuille appartenant à une entreprise fictive liée à l'Épargne.

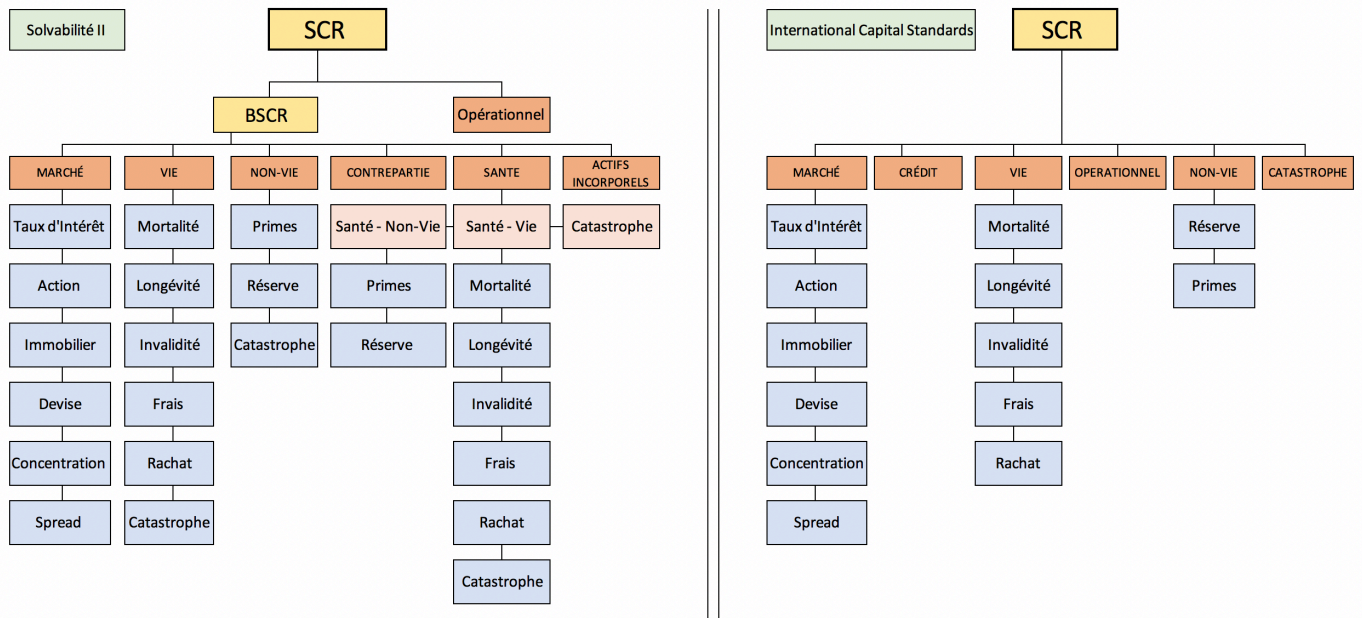


Figure I. Pieuvre des risques des directives

## Modélisation - ICS .....

Il est considéré que l'entreprise fictive utilisée, bien que possédant un portefeuille limité, est sous le joug d'*International Capital Standards*. Pour ce faire, il sera entendu que le portefeuille étudié est celui d'une entreprise solo présente en Europe, intégrée dans un groupe internationalement actif prenant partie active dans un grand nombre de juridictions, et ainsi répondant aux critères nécessaires posés par l'IAIS pour être considérée comme une G-SII.

L'un des objectifs de la modélisation du calcul de Capital de Solvabilité Requis pour *International Capital Standards* étant de le comparer à un second modèle, il est important d'établir de nombreuses hypothèses. Ces hypothèses seront ensuite appliquées à Solvabilité II afin d'obtenir une précision et une comparabilité optimale.

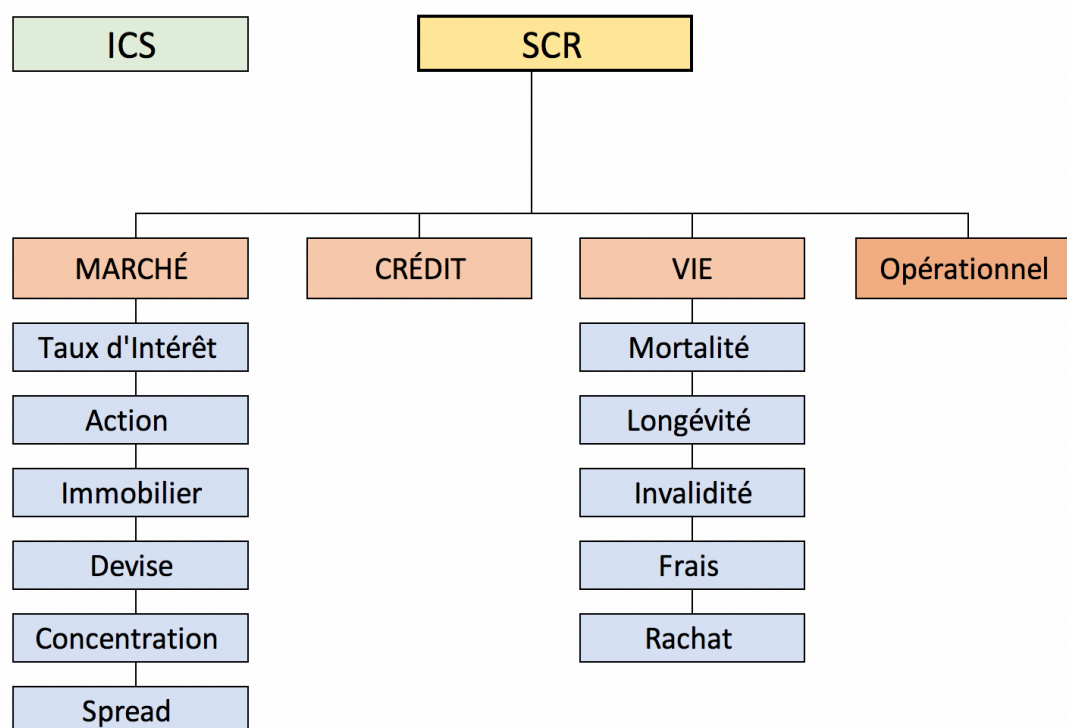


Figure II. Pieuvre des risques du modèle construit

Les risques choisis pour intégrer la formule standard ajustée à la modélisation ont été triés en fonction des passifs d'assurance dont le portefeuille est composé. Ainsi, le choix est fait de n'étudier ni le risque de Catastrophe ni les risques liés à l'assurance non-vie pour se concentrer sur les risques liés à la souscription Vie. Les garanties couvertes par l'entreprise sont les suivantes.

- Garantie Tempo-Décès
- Garantie Obsèque
- Garantie Invalidité

De plus, par simplification, il est supposé que l'ajustement est nul.

Une fois ces hypothèses mises en place, le SCR de chaque sous-module de risque est calculé en suivant les indications théoriques données par l'IAIS. Les sous-modules sont ensuite agrégés à l'aide des matrices proposées par la directive internationale. Les résultats trouvés sont indiqués ci-dessous.

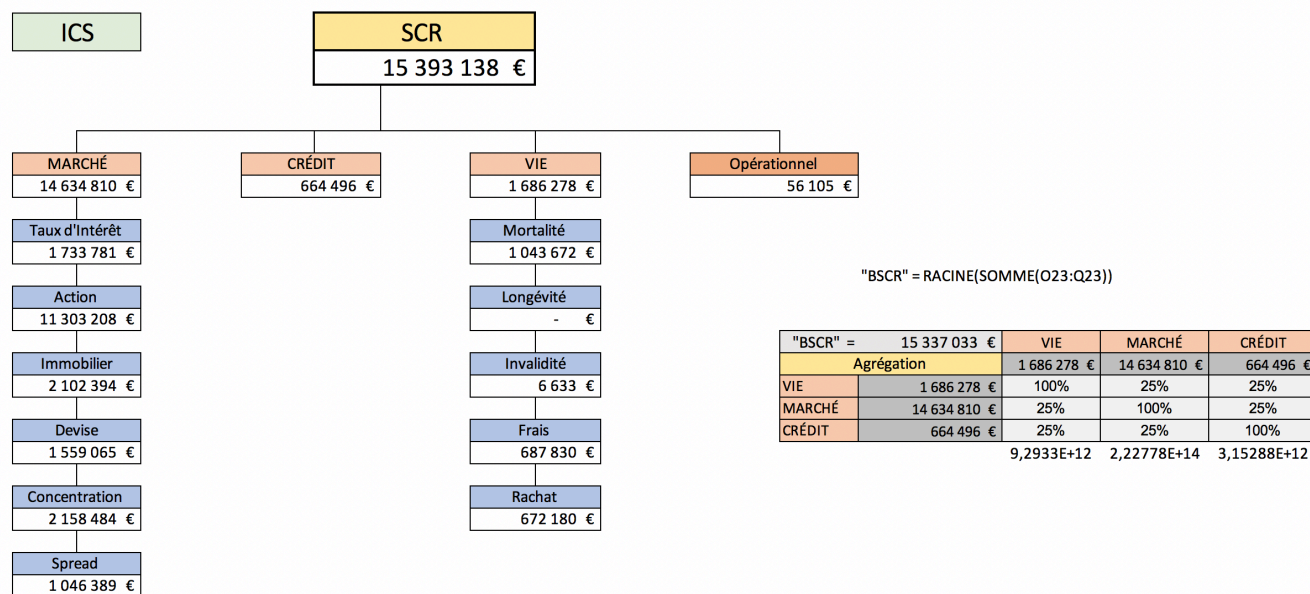


Figure III. Bilan - SCR - ICS

## Modélisation - Solvabilité II .....

L'objectif de cette partie est dual. Dans un premier temps, il s'agit de comparer les méthodes de calcul permettant d'obtenir les exigences de capital. Ainsi, pour chaque sous-module de risque, la méthode dictée par Solvabilité II sera expliquée, puis détaillée si elle diffère de celle utilisée par la directive internationale. Si deux sous-modules sont identiques d'une norme à l'autre, la priorité sera donnée à l'analyse des résultats. En effet, dans un second temps, l'objectif est de comparer la valeur de SCR trouvée pour SII à celle obtenue dans le premier chapitre, afin de mesurer les impacts et enjeux amenés par l'arrivée d'ICS sur le secteur assurantiel.

Les mêmes hypothèses que celles expliquées précédemment sont prises en compte dans la construction du modèle de calcul de SCR pour Solvabilité II :

- Non prise en compte des risques liés à la Non-Vie
- Non prise en compte du Risque "Catastrophe" dans les modules "Vie" et "Santé"
- Ajustement supposé nul

De plus, il est important d'énoncer que les mêmes tables de mortalité et de maintien seront utilisées pour les deux modèles. Néanmoins, les courbes de taux employées, par exemple pour le risque de taux, seront distinctes, chaque modèle suivant les consignes de sa directive.

Enfin, il est supposé que le portefeuille choisi ne possède aucun actif incorporel, rendant le SCR correspondant nul.

Ces hypothèses permettent la création du second modèle, comparé ci-dessous au premier.

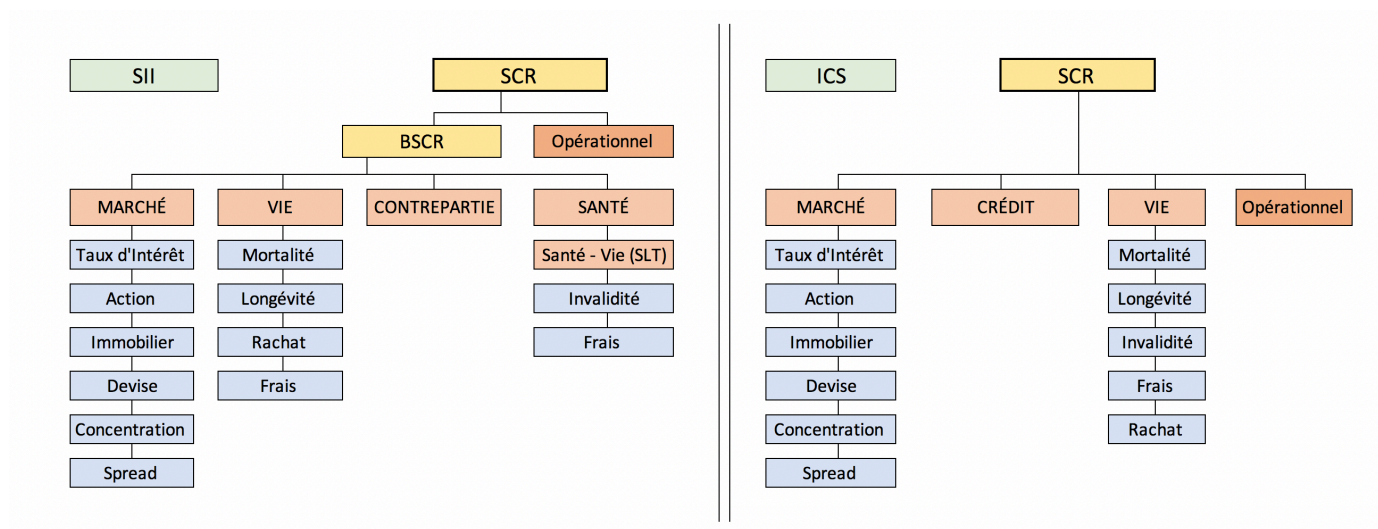


Figure IV. Concordance des modèles

Une des principales différences entre les pieuvres de risque des deux directives est la gestion des risques liés à la Vie. Sous Solvabilité II, il existe deux modules, le module "Vie" et le module "Santé-Vie", tandis qu'ICS n'en possède qu'un. Le choix a été fait dans ce mémoire de conserver les deux modules renseignés par Solvabilité II afin de se placer au plus proche de la réalité. Cependant, les sous-modules de risque sont les mêmes entre les deux modules et c'est le type de garantie qui détermine l'allure des modules.

Pour le portefeuille étudié, les sous-modules qui dépendent du module "Santé-Vie" sont ceux étudiés dans la garantie Invalidité, les deux autres garanties étant étudiées dans le module "Vie".



## Analyse des résultats .....

Une fois la pieuvre des risques établies, chaque sous-module de risque est construit et étudié individuellement, puis le portefeuille de l'entreprise d'assurance pris en exemple lui est appliqué.

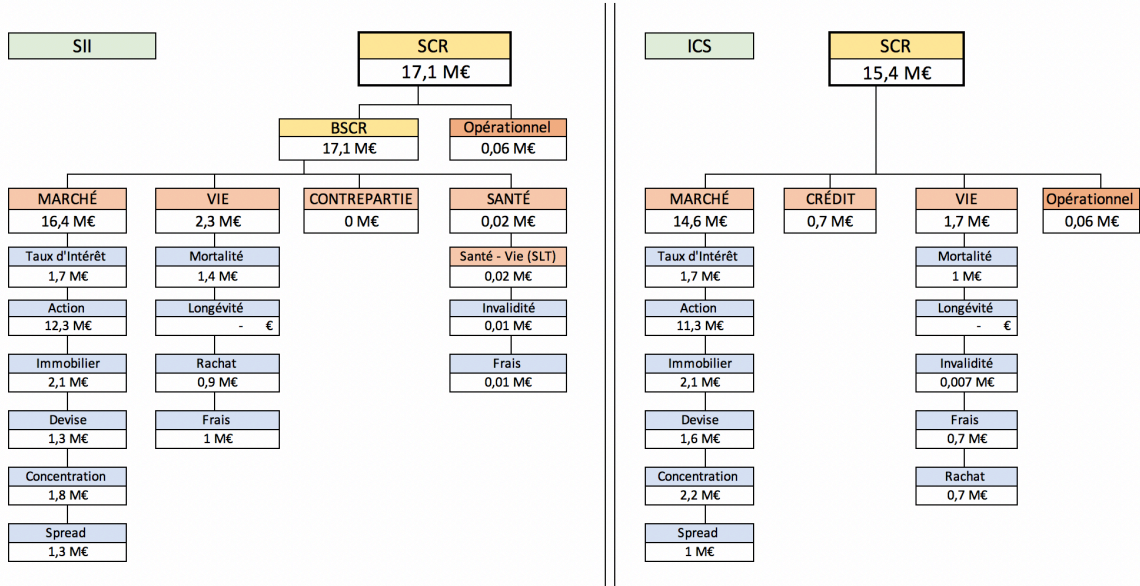


Figure V. Comparaison des SCR par sous-module

L'analyse des résultats s'effectue de l'échelon le plus fin au plus global, c'est-à-dire en partant de l'étude des sous-modules jusqu'à en obtenir l'analyse du SCR global.

## Les risques de Marché .....

Les sous-modules du risque de Marché sont, à l'exception du sous-module Spread, sensiblement identiques pour les deux directives. Les différences de SCR par sous-module sont dues à des disparités dans les courbes de taux, les montants de stress ou les catégories dans lesquelles les deux directives classent leurs actifs d'assurance.

Il est tout de même judicieux de noter la volonté d'ICS de se démarquer au niveau du risque de Devise. Le  $SCR_{Devise}$  est plus important pour la directive internationale car celle-ci utilise tour à tour chacune des monnaies comme unité de référence, tandis que la directive européenne se contente d'utiliser l'euro comme seule référence. ICS, qui s'adresse aux plus grands groupes d'assurance internationaux, renforce sa demande en exigence de capital afin de s'assurer que la multiplicité des juridictions dans laquelle exerce le groupe ne met pas en danger sa solvabilité globale.

Cependant, ce sous-module de risque est parmi les seuls où le SCR est plus élevé pour *International Capital Standards*. En effet, il est remarquable que la directive semble exiger des besoins en capitaux moins importants que Solvabilité II dans la gestion de ses risques de marché fondamentaux, comme en témoigne les capitaux requis des sous-modules de Taux et d'Action. Grâce à un plus grand nombre de catégories d'actifs et de scénari de choc, ICS estime d'une manière plus précise les capitaux nécessaires à la solvabilité de l'entreprise.

Cette précision implique ainsi un  $SCR_{Marché}$  plus faible pour la directive internationale.

## **Le risque de Crédit** .....

Le risque de Crédit est celui où les deux directives se distinguent le plus. Bien que définis de la même manière, le risque de Crédit sous ICS et le risque de Contrepartie sous Solvabilité II ne couvrent pas les mêmes risques. En étudiant le risque de Spread de Solvabilité II, il apparaît alors que le risque de Crédit sous *ICS* correspond à la somme du risque de Contrepartie et du risque de Spread pour la directive européenne. En sommant ces deux valeurs et en la comparant au  $SCR_{\text{Crédit}}$ , on trouve un rapport de plus de six pour un en faveur de SII. Cette majeure différence s'explique par la confiance supérieure accordée par *ICS*. Cette confiance s'explique par la taille des organismes d'assurance qui, plus larges, font face à un risque de défaut beaucoup moins important.

## **Les risques de Vie** .....

Les sous-modules du risque de Vie sont, sans exception, construits et calculés de manière identique pour les deux réglementation. Pour chaque sous-module, la directive européenne exige un SCR 30 % supérieur à celui d'*ICS*, expliqué par des montants de choc moins élevés pour cette dernière.

## **Conclusion** .....

L'analyse individuelle de chaque sous-module de risque permet de déduire plusieurs points. Premièrement, les deux modèles sont en grande partie identiques, *ICS* déployant seulement son modèle à un ensemble de juridictions, contre une seule pour Solvabilité II.

Dans un second temps, on remarque qu'*ICS* s'emploie à accorder une confiance plus importante aux groupes d'assurance qu'elle supervise, et ce pour la plupart des risques auxquels elles sont sujettes. Cette confiance se traduit par une exigence en capital 10 % plus faible.

Enfin, il est aussi judicieux de souligner la volonté de la directive internationale de se montrer le plus précise possible, en multipliant les scénari et les tables de stress. De cette intention résulte une meilleure connaissance des besoins en capital des groupes d'assurance, exigeant parfois plus, comme pour le risque de Devise, mais la plupart du temps moins, comme indique la valeur de son  $SCR_{\text{Global}}$ .

# Summary

## Introduction .....

The IAIS, the International Association of Insurance Supervisors, presented in 2014 his new regulation, *International Capital Standards*, or *ICS*. This standard aims to set up the premise of an international supervision. As a matter of fact, until now, the biggest insurance groups, named IAIGs (Internationally Active Insurance Groups) or G-SIIs ( Globally Systemically Important Insurers), had to answer to the requirements of the supervisors of every jurisdiction they owned premiums in. To solve that, the IAIS targets to simplify the multiplicity of standards by creating one and one only international standard, ICS.

At first, *International Capital Standards* seems to look a lot like *Solvabilité II*, the european prudential regulation currently operational. Both regulations enforce similar quantitative requirements. One of the first ressemblance, when observing the american standard, is the capital requirement dictated to insurance groups, named SCR in both standard (*Capital de Solvabilité Requis* for Solvency Capital Requirement). ICS and SII both put forward a Standard Formula to estimate the SCR. This is these formula which are studied and compared in this thesis through the prism of a portfolio belonging to a fictive insurance company specialized in Savings.

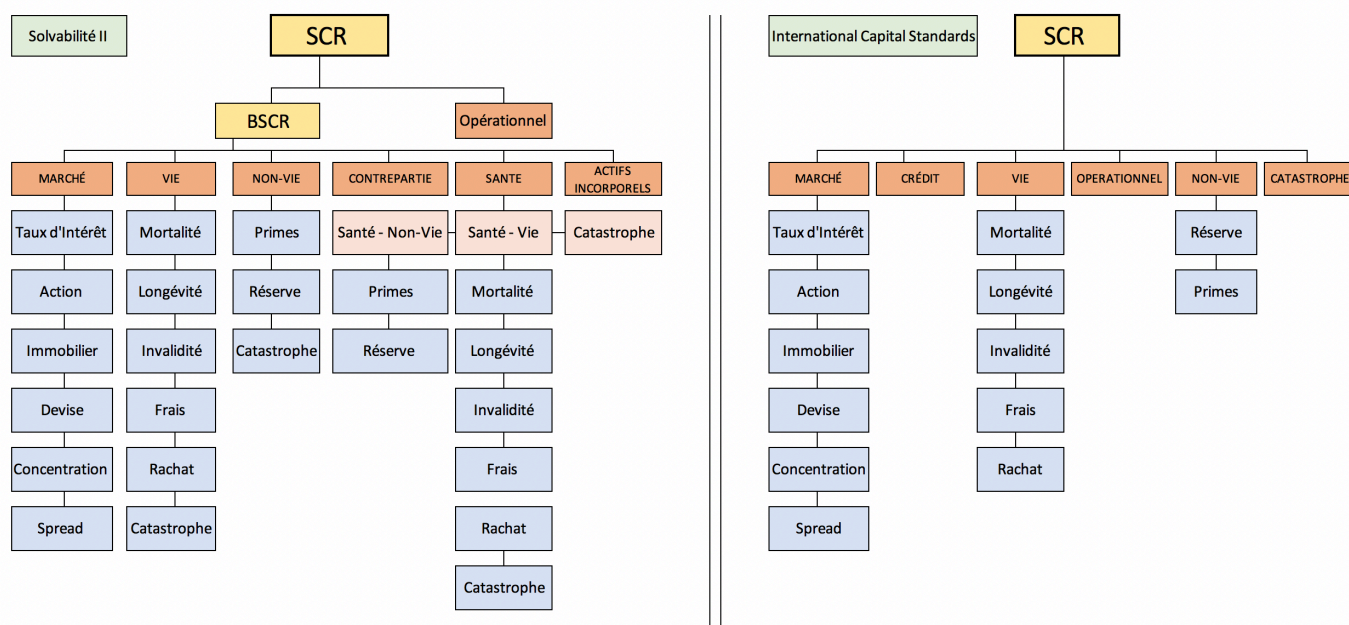


Figure I. Overview of the risks of both directives

## Modelisation - International Capital Standards .....

It is considered the the fictive company used, although possessing a limited portfolio, is under the ruling of *International Capital Standards*. To do so, it will be understood that the portfolio studied is the one of a solo company residing in Europe, part o an internationally active insurance groups which takes part in many jurisdictions, though answering to the criteria necessary to be qualified by the IAIS as a G-SII.

On of the goals of the modelisation of the calculation of the SCR for ICS is the comparison with a second model. Therefore, it is important de establish some hypothesis. These hypothesis will then be applied to the model of *Solvabilité II* to obtain an optimal comparison.

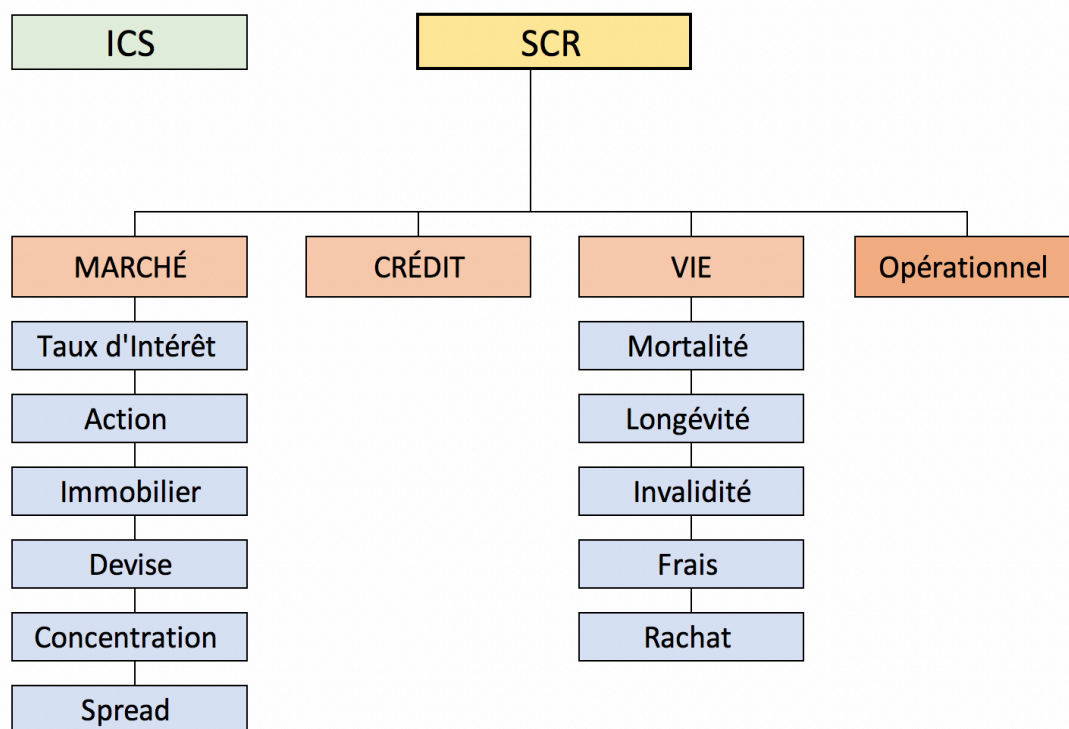


Figure II. Overview of the risks for the model constructed

The risks chosen to be part of the adjusted standard formula have been elected considering the insurance liabilities of the portfolio. Therefore, the choice has been made not to study neither the Catastrophe Risk, neither the "Non-Life" risks. This choice allows us to focus on the "Life" risks. The guarantees covered by the insurance company are the following.

- Death Coverage
- Funeral Coverage
- Disability Coverage

Moreover, it is supposed that the Adjustment is null. Once these hypothesis are set up, the SCR of each sub-module is computed following the theoretical indications of the IAIS. The sub-modules are then aggregated thanks to the matrix imposed by the american regulation. The results are indicated in the figure below.

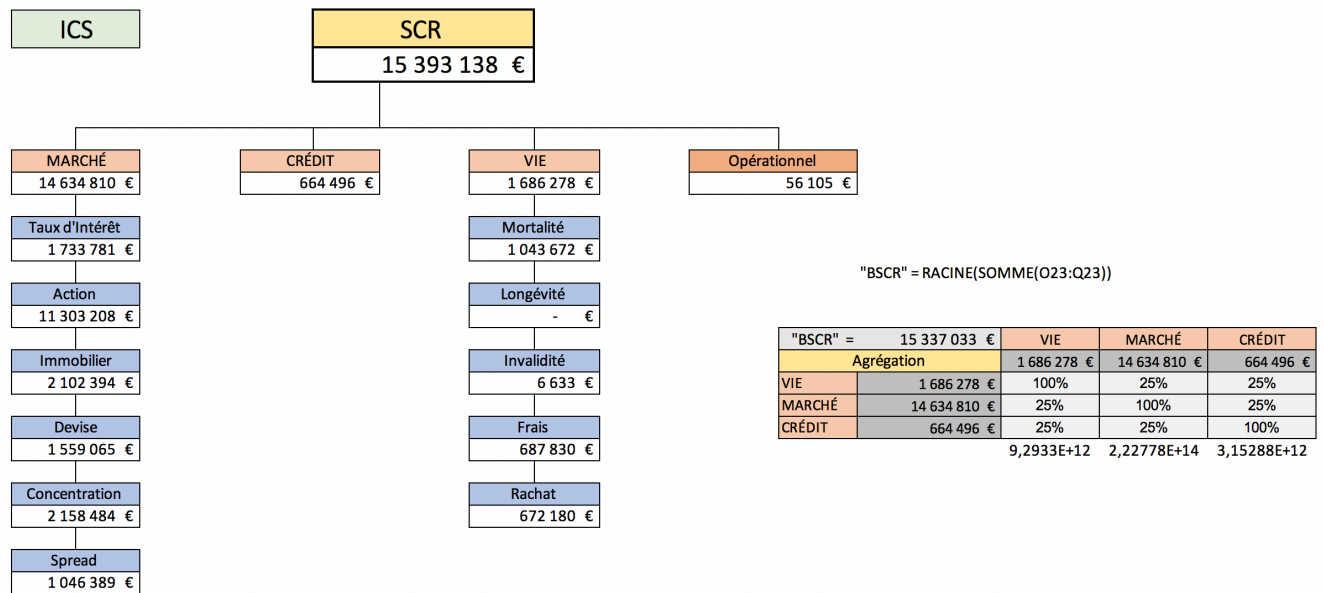


Figure III. Report - SCR - ICS

## Modelisation - *Solvabilité II* .....

There is two goals to this part. Firstly, it is about comparing the computing methods used to calculate the capital requirements. Therefore, for each sub-module, the method dictated by *Solvabilité II* is explained and detailed if it differs from the one use by the american standard. If the sub-module is identical from one regulation to the other, the explaining of the method will be overflowed to prioritize the analysis of the result. Indeed, secondly, the aim is to compare the SCR found for SII to the one obtained in the first chapter, in order to measure the impacts and challenges raised by the arrival of ICS in the insurance sector.

In order to obtain an optimal comparability, the same hypothesis made in the first chapter are followed for the construction of the second model.

- "Non-Life" risks non taken into account
- Catastrophe Risk non taken into account in the Health and Life modules.
- Adjustment supposed equal to zero.

Moreover, it is important to announce that the same mortality and disability tables are used for both model. Nonetheless, the rate curves employed, for instance for Rate Risk, are distincts, each model following the instructions of their directive. Finally, it is supposed that the portfolio does not possess any intangible asset, making the corresponding SCR equal to zero.

Theses hypothesis enable the creation of the second model, compared below to the first one.

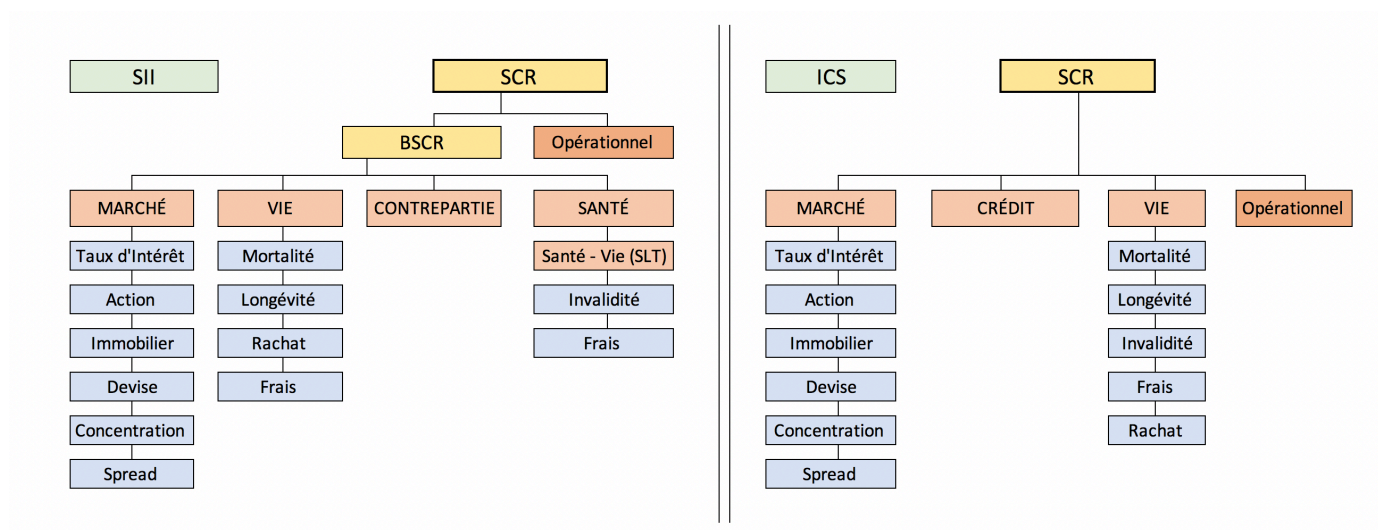


Figure IV. Concordance of the models

One of the main differences between the overviews of the risks of the two regulations is the management of the Life risks. *Solvabilité II* proposes two modules, "Health" and "Life", whereas ICS have just one named "Life". The choice has been made to keep both modules advised by SII, in order to be as closed as possible from the reality. However, the sub-modules studied are the same for the three modules in the two regulation. Then, in the SII model, type of coverage decides which sub-module is studied in which module. For the portfolio used here, the Disability Coverage will be studied in the "Health" module, the two others coverages being considered in the "Life" module.

**Analysis** .....

Once the overview of the risks established, each sub-module is considered individually, constructed theoretically then applied to the insurance company taken as instance.

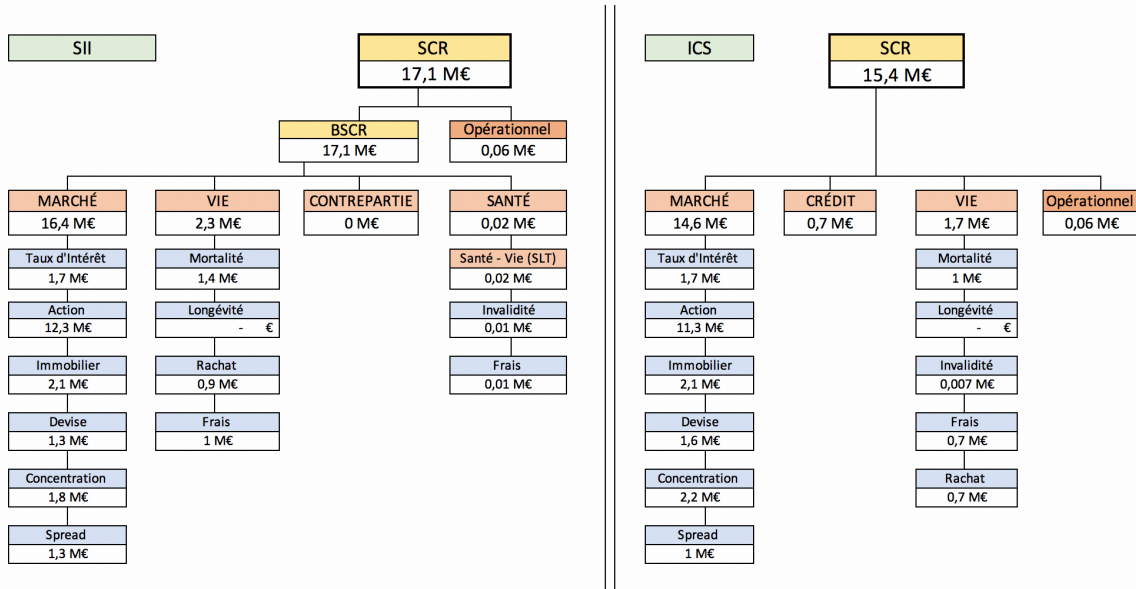


Figure V. Comparison of the SCRs by sub-module

The analysis of the results will organize itself from the smallest to the largest level, hence starting with the sub-modules until obtaining the analysis of the global SCR.

**The market risks** .....

The sub-modules of the Market Risk are, except for the Spread sub-module, practically identical for the two directives. The differences of SCR by sub-module are due to disparities in the rate curves, the stress amount or the categories in which the standards sort their insurance assets.

It is wise to underline the will of *ICS* to differ itself for the Currency sub-module. Le  $SCR_{\text{Currency}}$  est plus higher for the american standard because it uses turn by turn each currency as reference, whereas Solvabilité II only employ Euro as its reference currency. *ICS*, which supervises the biggest insurance groups, strengthens its demand in capital requirement to make sure the multiplicity of jurisdictions in which the insurance groups exercises does not endanger its global solvability.

However, this sub-module is one of the only where the SCR is higher for *International Capital Standards*. As a matter of fact, it is notable that the regulation seems to demand less capital requirements than *Solvabilité II* in the management of its fundamental market risks, as shown by the SCRs of the Rate and Action sub-modules. Thanks to a higher number of asset categories and choc scenari, *ICS* estimates more precisely the funds needed to ensure the solvabilité of the company.

This implies a  $SCR_{\text{Market}}$  lower for the american regulation.

**The Credit Risk** .....

The Credit Risk is the risk where the regulations differ the most. Although defined identically, the ICS Credit Risk and the "Risque de Contrepartie" (Default Risk) do not cover the same risks. By studying the SII Spread sub-module, it then appears that the ICS Credit Risk matches the sum of the two previous risk. By summing those two numbers et comparing to the  $SCR_{Crédit}$ , we find a ratio of more than six to one in favor of *Solvabilité II*. This major difference is explained by the higher trust afforded by *ICS*. This trust comes from the size of the insurance groups it supervises whiwh, larger, face un lower Credit Risk.

**Life risks** .....

The Life sub-modules are, without exception, constructed and calculated the same ay for the two standards. However, for every sub-module, the european regulation demands un 30 % higher SCR than *ICS*, explained by the amount of the stresses a lot smaller for the american standard.

**Conclusion** .....

The individual analysis of every sub-module allows us to deduce a few points. Firstly, the two models are mostly identical, *ICS* only spreading his models to numerous jurisdictions, whereas *Solvabilité II* just applies it to one.

Secondly, we notice *IC* intents to put more trust in the insurance companies it supervises, et that for most of the risks they face. This trust materializes by a 10 % lower capital requirement.

Finally, we can also underline the will of the american regulation to be as precise as possible, by multiplying the scenari and the stress tables. From this initiative results à better knowledge of the needs in capital of the insurance groups, sometimes needing a higher SCR, as for the Currency Risk, mais mostly needing à lower requirement, as shown by the amount of the  $SCR_{Global}$ .



# Table des matières

## Glossaire des abréviations

## Introduction

<b>I Contexte réglementaire</b>	<b>1</b>
<b>1 ICS, une nouvelle norme à grands enjeux</b>	<b>1</b>
1.1 Présentation à travers le secteur assurantiel .....	1
1.2 Méthodes d'évaluations .....	5
1.3 Bilan Actif-Passif .....	8
<b>2 Le calcul du Capital de Solvabilité Requis</b>	<b>11</b>
2.1 Solvabilité .....	11
2.2 Les différents risques .....	14
2.3 La formule standard de SCR .....	16
<b>3 Solvabilité II, une norme bien implémentée en Europe</b>	<b>19</b>
3.1 Présentation à travers le secteur assurantiel .....	19
3.2 Architecture de la norme .....	20
3.3 Le calcul du Capital de Solvabilité Requis .....	27
<b>II Construction du modèle <i>International Capital Standards</i></b>	<b>29</b>
<b>4 Hypothèses de modélisation</b>	<b>29</b>
4.1 Choix de modélisation .....	29
4.2 Choix du portefeuille .....	30
4.2 Choix des risques étudiés .....	31
<b>5 Modélisation avec <i>ICS</i></b>	<b>32</b>
5.1 Présentation du calcul du SCR .....	32
5.2 Les risques d'assurance .....	33
5.3 Les risques de Marché .....	46
5.4 Le risque de Crédit .....	60
5.4 Le risque Opérationnel .....	62
5.6 Synthèse .....	64

<b>III Comparaison avec Solvabilité II</b>	<b>65</b>
<b>6 Concordance des modèles</b>	<b>65</b>
6.1 Choix de modélisation .....	65
6.2 Présentation du calcul du SCR pour Solvabilité II .....	66
6.3 Concordance .....	68
<b>7 Comparaison des méthodes de calculs de Capitaux Requis</b>	<b>69</b>
7.1 Les risques d'assurance .....	69
7.2 Les risques de Marché .....	82
7.3 Le risque de Contrepartie .....	93
7.4 Le risque Opérationnel .....	96
7.5 Agrégation et Synthèse .....	98
<b>Conclusion</b>	<b>100</b>
<b>Table des figures</b>	<b>101</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>104</b>

# Glossaire des abréviations

**ACPR** : Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution

**BE** : Best Estimate

**BOF** : Basic Own Funds

**BSCR** : Capital de Solvabilité Requis de Base

**CC - MOCE** : Consistent and Comparable MOCE

**CE** : Current Estimate

**CR** : Capital Required

**CoC** : Cost of Capital

**C-MOCE** : Cost of MOCE

**EIOPA** : European Insurance and Occupational Pensions Authority

**FPE** : Fonds Propres Eligibles

**G-SIIs** : Globally Systemically Important Insurers - Assureurs Importants au sens Systémique

**HLA** : High Loss Absorbency

**ICS** : International Capital Standards

**IAIGs** : Internationally Active Insurance Groups - Groupes d'Assurances Internationalement Actifs

**IAIS** : International Association of Insurance Supervisors - Association Internationale des Superviseurs d'Assurance

**ICP** : Insurance Core Principles

**LTFR** : Long Term Forward Rate - Taux Long Term

**MAV** : Market Adjusted Value

**MCR** : Minimum de Capital Requis

**MOCE** : Margin Over Current Estimate

**NAV** : Net Asset Value

**ORSA** : Own Risk and Solvency Assesment

**P-MOCE** : Prudence - MOCE

**PCR** : Prescribed Capital Requirement

**PM** : Provision Mathématique

**PSAP** : Provision pour Sinistres A Payer

**QRT** : Quantitative Report Templates

**RFR** : Risk Free Rate - Taux Sans Risque

**RTS** : Regulatory Technical Standards

**SCR** : Solvency Capital Requirement - Capital de Solvabilité Requis

**SII** : Solvabilité II

**T-Var** : Tail - Value at Risk

**VAP** : Valeur Actuelle de Prestation

**VaR** : Value at Risk

**VM** : Valeur de Marché

# Introduction

L'Association Internationale des Superviseurs d'Assurance a présenté en 2014 sa nouvelle directive réglementaire, *International Capital Standards*, ou *ICS*. Cette directive a pour objectif de poser les jalons d'une supervision internationale. En effet, jusqu'à présent, les plus grands groupes d'assurances, nommés IAIGs (Groupes d'Assurance Internationalement Actifs) ou G-SIIs (Assureurs Importants au sens Systémique), se doivent de répondre aux exigences imposées par les superviseurs de chaque juridiction, alors qu'ils possèdent un large montant de primes dans plusieurs juridictions.

De ce fait, L'IAIS, qui regroupe les superviseurs de plus de 200 juridictions, cherche à introduire une norme prudentielle qui englobera à elle seule toutes les juridictions, et donc toutes les primes, des plus grands groupes d'assurance. Cette directive, encore en phase de *Field Testing*, doit être mise en place en 2025.

Au premier coup d'oeil, *International Capital Standards* semble être similaire à Solvabilité II par bien des aspects. Les deux directives imposent notamment des exigences quantitatives qui paraissent très ressemblantes. Une des similitudes qui apparaît en observant la réglementation internationale est le calcul des exigences en capital (*Capital Requirement* pour Capital de Solvabilité Requis). *ICS* et SII proposent toutes deux une Formule Standard de calcul de SCR. Ce sont ces deux manières de calcul de capital qui seront étudiées et comparées dans ce mémoire, à travers le prisme d'un portefeuille appartenant à une entreprise fictive liée à l'Épargne.

Pour plus de clarté, le *Capital Requirement* de la directive internationale sera appelé SCR, pour *Solvency Capital Requirement*. Il correspondra ainsi à son homologue présent dans la directive européenne, le Capital de Solvabilité Requis.

# I Contexte Réglementaire

## 1. ICS, une nouvelle norme a grands enjeux

### 1.1. Présentation à travers le secteur assurantiel

#### 1.1.1. L'IAIS

L'IAIS (*International Association of Insurance Supervisors*), fondée en 1994, est une association regroupant les superviseurs du secteur assurantiel du monde entier. Son objectif principal est de créer une coopération entre ces superviseurs, de même qu'une entente avec les superviseurs d'autres secteurs économiques. Il rassemble les superviseurs de plus de 200 juridictions dans 140 pays et regroupe 97 pour cent des primes assurantielles du monde entier, dont celles de tous les pays membres de l'Union Européenne et de l'EIOPA. L'IAIS ne possède pas de pouvoir législatif réel, mais il jouit néanmoins d'une grande influence. Il s'organise sur trois niveaux, illustrés ci-dessous.

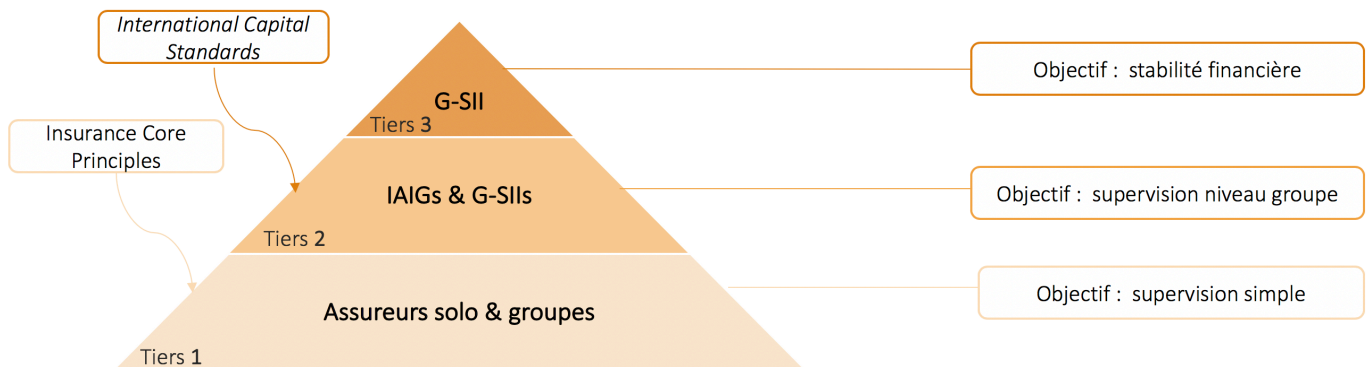


Figure 1.1 Niveaux Réglementaires de l'IAIS

Le 9 octobre 2013, l'association a annoncé le développement d'une norme mondiale ayant pour objectif la mesure du capital des organismes d'assurance, sous le nom d'ICS pour *International Capital Standards*. Cette nouvelle réglementation fait partie de *ComeFrame*, un cadre inter-secteur plus global qui a pour objectif d'aider les superviseurs à attester de la condition financière des plus grands organismes d'assurance internationaux. Cette norme est considérée comme étant un *Prescribed Capital Requirement* (PCR), c'est-à-dire une réglementation introduisant le calcul d'un même capital requis pour tous les organismes d'assurance.

Ainsi, par l'intermédiaire de cette directive, l'IAIS a pour intention d'établir des standards minimums pour les niveaux de capitaux des IAIGs *Internationally Active Insurance Groups* et des GSIIIs (*Globally Systemically Important Insurers*), qui sont définis de la manière suivante.

***Internationally Active Insurance Groups*** .....

Les IAIGs correspondent aux groupes d'assurance désignés comme actifs à l'échelle mondiale par les régulateurs locaux. Ils répondent aux critères suivants :

<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posséder au moins 50 milliards de dollars d'actifs en assurance</li> <li><b>ou</b></li> <li>• 10 milliards de dollars de primes.</li> </ul>
<b>2</b>	Être actif dans trois juridictions ou plus
<b>3</b>	Au moins 10 % des primes doivent être rédigées en dehors de la juridiction mère de la société

***Globally Systemically Important Insurers*** .....

Les G-SIIIs correspondent aux groupes d'assurance présentant un caractère systémique dans le monde (i.e. un caractère dont le défaut pourrait entraîner la défaillance du système). L'IAIS n'en comptabilise que neuf dans le monde à ce jour :

<b>Europe</b>	<b>Amérique</b>
Aviva PLC (Londres)	American International Group Inc (Etats-Unis)
Prudential PLC (Londres)	Met Life Inc (Etats-Unis)
AXA SA (France)	Prudential Financial Inc (Etats-Unis)
Aegon NV (Pays-Bas)	<b>Asie</b>
Allianz SE (Allemagne)	Ping An Insurance (Chine)

### 1.1.2 Les principes fondamentaux d'ICS

ICS repose sur dix principes fondamentaux.

<u>1</u>	Standard de capital calculé au niveau du groupe consolidé	-Repose sur des méthodes comparables de valorisation à la juste valeur des actifs et des passifs -Repose également sur une définition des fonds propres admis en couverture
<u>2</u>	Protection et stabilité financière	-Protection des assurés -Importante supervision des assureurs -Assurer des marchés assurantiels sécurisés
<u>3</u>	Implémentation d'un nouveau capital requis : HLA pour <i>High Loss Absorbency</i>	-Charge de capital supplémentaire à ICS oscillant entre 6% et 27% selon les secteurs assurantiels ou non.
<u>4</u>	Refléter tous les risques significatifs	-ICS souhaite refléter tous les risques matériels (risques liés à l'actif, ceux liés au passif, risques non assurantiels et ceux liés à l'activité hors bilan)
<u>5</u>	Permettre une comparabilité à travers les juridictions	-Plus grande confiance envers les IAIGs -Meilleure analyse pour les superviseurs -Réduire la possibilité d'arbitrage réglementaire
<u>6</u>	Promouvoir une gestion saine des risques pour les IAIGs et G-SIIs	-Reconnaissance explicite des méthodes d'atténuation au risque appropriées et efficaces
<u>7</u>	Réduire les risques de comportements pro-cycliques inappropriés	-Aussi bien d'un point de vue de l'assureur que du superviseur -Exemple de comportements pro-cycliques : réaliser des ventes élevées de produits qui peuvent induire des risques significatifs en période de ralentissement économique ou de situation économique défavorable
<u>8</u>	Vise à trouver l'équilibre entre sensibilité aux risques et transparence	-La granularité des risques et leur complexité permettent de définir la variété de risques à laquelle l'IAIG est soumise
<u>9</u>	Rendre transparents les résultats	-Transparence d'ICS notamment à l'égard de la publication des résultats
<u>10</u>	Fondé sur des critères justes et une calibration appropriée	-ICS doit permettre d'assurer un niveau de solvabilité considéré comme adéquat par l'IAIS

Ce sont ces dix principes qui dirigent chacune des prises de décision de l'IAIS concernant les capitaux requis demandés dans le cadre de la réglementation ICS.



### 1.1.3 Calendrier de la mise en place d'ICS

Ce nouveau cadre réglementaire semble s'approcher grandement de la norme Solvabilité 2, à la différence que le cadre instauré par ICS va engendrer des enjeux aux niveaux des fonds propres et capitaux répartis entre plusieurs juridictions, tandis que S2 est une norme largement européenne centrée sur la France et l'Union Européenne. L'un des principaux enjeux de ce mémoire sera donc de sélectionner un portefeuille qui pourra faire ressortir de manière adéquate les différences entre les deux normes.

L'initiative de la norme ICS a été lancée en 2014 par l'IAIS. Va s'ensuivre un nombre important de dates clés afin de la mettre complètement en place.

Mai 2018	Lancement des <i>Quantitative Field Testing</i>
Juillet 2018	Publication de ICS 2.0
Octobre 2018	<i>Feedback</i> de ICS 2.0
Avril 2019	Lancement du dernier <i>Field Testing</i>
2019	Assemblée Générale de l'IAIS pour adopter <i>ComeFrame</i> et ICS 2.0
Début 2020 - Fin 2024	<i>Monitoring Period</i> de cinq ans
Novembre 2024	Adoption de ICS 2.0 pour implémentation en tant que <i>group – wide consolidated PCR</i>

## 1.2 Méthodes d'évaluations

Un des composants clés de la réglementation *ICS* est l'évaluation des actifs et passifs d'assurance de l'organisme concerné. Le bilan formé sous cette directive a pour objectif de fournir la plupart des éléments nécessaires au calcul du Capital de Solvabilité Requis, dont notamment le calcul des fonds propres (*capital resources*). Une des principales considérations de l'IAIS est de créer une base de calcul comparable à travers les juridictions. L'approche de l'évaluation du bilan mène à des interactions entre l'actif et le passif qui seront utiles lors du calcul des différents capitaux requis par la directive.

L'IAIS met à la disposition des organismes d'assurance deux approches différentes ayant toutes deux pour objectif l'évaluation la plus précise possible de leurs actifs et passifs d'assurance : l'approche *Market Adjusted Value* et l'approche *GAAP with Adjustments*. La première se rapproche de la méthode d'évaluation des éléments du Bilan sous Solvabilité II tandis que la seconde s'appuie sur les normes GAAP appliquées notamment aux États-Unis.

### 1.2.1 L'approche *Market Adjusted Value*

L'approche *Market Adjusted Value*, se concentre sur la comparabilité de l'évaluation des actifs et passifs entre les IAIGs quelles que soient leurs juridictions respectives. L'un des objectifs principaux de l'IAIS est l'établissement de consignes d'évaluation précises et la construction d'un bilan actif-passif complet qui pourra mener au calcul d'un capital de solvabilité requis comparable entre les acteurs et à travers les juridictions.

De cette manière, les mesures d'expositions seront plus facilement comparable lors du calcul des capitaux requis et des fonds propres de chaque acteur et l'approche MAV est transparente et constamment vérifiable par les superviseurs.

De plus, cette approche autorise les IAIGs à ne pas avoir à réévaluer chaque item de leur bilan. En effet, seuls les actifs et passifs matériels doivent être calculés et ajustés suivant cette méthode, ainsi que les passifs d'assurance et les instruments financiers. L'évaluation du reste du bilan pourra généralement être basé sur IFRS ou *Gaap Valuation*.

Certains éléments font néanmoins l'objet d'une demande de réévaluation à travers la méthode MAV :

- Les engagements d'assurance auxquels il faut appliquer le principe de *Current Valuation* pour "évaluation actuelle";
- Les instruments financiers, actifs et passifs confondus, qui seront évalués en utilisant IFRS ou GAAP comme précisé précédemment.
- Les passifs qui ne sont pas liés à l'assurance, comme par exemple les instruments de dettes, devront être réévalués en les ajustant de façon à ce que les changements de qualité de crédit des organismes d'assurance ne soient pas pris en compte.

### 1.2.2 L'approche *GAAP with Adjustements*

La méthode d'évaluation GAAP Plus s'appuie sur les normes GAAP déjà appliqué dans la plupart des pays anglo-saxons. Elle se base sur la formation d'un bilan consolidé de l'organisme d'assurance. Ce bilan est réalisé sous la norme IFRS dans la plupart des cas.

L'application de cette évaluation ne demande pas d'ajustement de valorisation de l'actif aux Etats-Unis ou en Asie, car les évaluations GAAP et IFRS y sont déjà présentes. Néanmoins, son application en Europe nécessite que le bilan soit réévalué par la méthode MAV afin d'être validé par les superviseurs de l'IAIS.

Pour le passif, la valorisation diffère nettement entre les deux réglementations :

- Les organismes de l'Union Européenne doivent utiliser l'évaluation réglementaire sous Solvabilité II comme point de départ pour calculer leurs chiffres GAAP Plus. Puis, les marges du risque doivent être retirées de l'évaluation des passifs d'assurance, ceux-ci n'étant plus calculés dans leur ensemble. Les mesures transitoires doivent également être exclue

- Sous US GAAP, plusieurs modèles de comptabilité sont utilisés pour estimer le passif du contrat d'assurance, fondés sur les caractéristiques du produit et de la durée du contrat. Les hypothèses et calculs des engagements d'assurance GAAP Plus excluent toute marge implicite ou explicite et ne prennent pas en compte le qualité de crédit de l'organisme.

- Prendre en compte la fréquence des sinistres, le ratio de dépenses et l'évolution des taux d'intérêt ; les nouvelles affaires ne doivent pas être prises en compte pour assurer la couverture de tous les flux de trésorerie futurs

Ainsi, étant donné que les modèles qui seront créés dans ce mémoire seront adaptés à un organisme d'assurance européen actuellement soumis au régime Solvabilité II, la méthode d'évaluation qui sera choisie dans toute la suite du modèle sera la méthode *Market Adjusted Value*. De cette manière, le bilan actif-passif de l'entreprise fictive créé pour ce mémoire sera identique pour Solvabilité II et *International Capital Standards*, ce qui permettra de mieux comparer les calculs des Capitaux de Solvabilité Requis de chaque réglementation.

### 1.2.3 *Base Yield Curve* selon la méthode MAV

La *Base Yield Curve*, pour courbe de taux sans risque, a pour objectif l'actualisation des éléments du bilan des organismes d'assurance. Sous la méthode MAV, sa construction se fonde sur un design en trois segments :

- Un premier segment basé sur les informations du marché (jusqu'à entre 10 et 30 ans);
- Un second qui extrapole le premier segment et fait la liaison avec le troisième segment (jusqu'à 60 ans environ);
- Un dernier qui converge vers le *Long Term Forward Rate (LTFR)* pour Taux Long Terme. Ce taux est supposé représenter le taux nominal espéré lorsque l'économie atteindra à long-terme son point d'équilibre macro-économique.

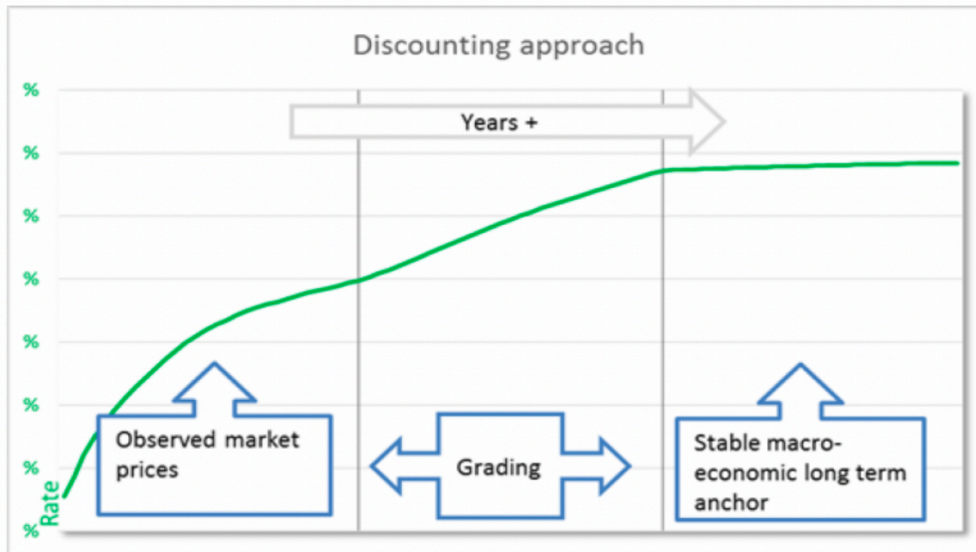


Figure 1.2 Construction de la courbe de taux sans risque

De cette manière, des courbes de rendement appelées RFR pour *Risk Free Rate* ont été élaborées par l'IAIS dans les 35 monnaies les plus échangées par les IAIGs et G-SIIs. L'association internationale les a publiés afin de permettre aux organismes d'assurance de les utiliser et d'établir une transparence et une comparabilité optimale.

Ce sont ces courbes qui seront utilisées dans le modèle ICS afin d'actualiser les éléments du bilan de l'organisme d'assurance fictif utilisé. La courbe RFR sera utilisée pour actualiser les éléments de l'actif d'assurance tandis qu'une courbe légèrement différente sera employée pour traiter les passifs d'assurance : la courbe de "scénario central", qui est la courbe RFR à laquelle l'IAIS ajoute le *Value Adjustment*. Voici la forme que prennent ces courbes pour la monnaie Euro.

EUR.FT19	[1]	[2]
LTFR	3,80%	3,95%
Maturities	0 (RFR)	Central scenario
Y1	-0,33%	0,00%
Y2	-0,28%	0,06%
Y3	-0,18%	0,15%
Y4	-0,05%	0,28%
Y5	0,10%	0,43%
Y6	0,24%	0,57%
Y7	0,37%	0,70%
Y8	0,50%	0,83%
Y9	0,62%	0,95%
Y10	0,73%	1,06%

Figure 1.3 Courbes *Risk Free Rate* et *Central Scenario* pour ICS

### 1.3 Bilan Actif-Passif

#### 1.3.1 Bilan

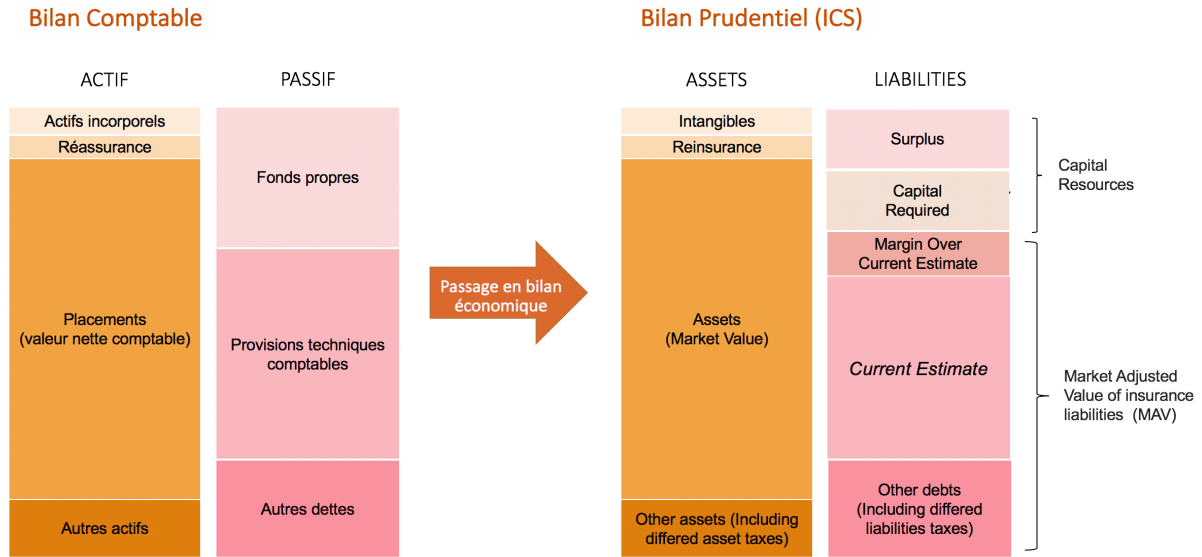


Figure 1.4 Bilan Actif-Passif sous ICS

#### 1.3.3 Décomposition du passif

##### 1.3.3.1 Le *Current Estimate*

Le *Current Estimate*, ou CE, est "la meilleure estimation possible actuelle" du passif d'un organisme d'assurance. Il correspond à la somme de tous les flux futurs probables actualisés. Ainsi, le CE sera composé des cotisations, des prestations, des frais, et ainsi de suite.

Le *Current Estimate* est une somme de flux qui sont actualisés dans le temps, et ce à l'aide d'une courbe de taux sans risque, fournie par l'IAIS. Pour ICS, celle qui sera utilisé est la courbe de taux sans risque nommé *Central Scenario Curve*, qui sera introduite plus tard dans la modélisation de la réglementation internationale. Mathématiquement, le CE est défini de la manière suivante:

$$CE_t = \mathbb{E}^{\mathbb{Q}} \left[ \sum_{k=0}^n DF_k (CF_{out}(k) - CF_{in}(k)) \mid F_t \right]$$

|  $n$  l'horizon de projection du portefeuille,

|  $DF_k$  le déflateur sans risque de l'année  $k$ ,

Avec |  $CF_{out}(k)$  les cash-flows sortants de l'année  $k$ ,

|  $CF_{in}(k)$  les cash-flows entrants de l'année  $k$ ,

|  $(F_t)_{t>0}$  la filtration représentant l'ensemble de l'information disponible en  $t$ .

### 1.3.3.2 les Fonds Propres

La structure globale des ressources en capital identifie deux tiers de capital.

- Le Tiers 1 des ressources en capital comprend les instruments financiers qualifiés et les éléments de capital autre que les instruments financiers qui absorbent les pertes *in winding – up* et *on a going – concern basis*.
- Le Tiers 2 des ressources en capital comprend les instruments financiers qualifiés et les éléments de capital autre que les instruments financiers qui absorbent seulement les pertes *in winding – up*.

ICS classe les instruments financiers en deux tiers afin de refléter leur qualité et leur convenance, basés sur les capacités qu'ils ont à absorber les pertes, la subordination, la permanence et l'absence de coûts encombrants. À l'intérieur de chaque tiers, l'IAIS compte séparer mes instruments financiers en deux catégories à chaque fois.

- Tiers 1
  - Regroupe les instruments financiers du Tiers 1 qui n'ont pas de limites (Tier 1 Unlimited)
  - Regroupe les instruments financiers du Tiers 1 qui ont une limite (Tier 1 Limited)
- Tiers 2
  - Regroupe les instruments financiers du Tiers 2 qui sont *Paid – up* (Tier 2 Paid-Up)
  - Regroupe les instruments financiers du Tiers 2 qui ne sont pas *Paid – up* (Tier 2 Non-Paid-Up)

Pour les IAIGs *Non – Mutual*, les limites suivantes ont été pensées :

- Ressources en capital du Tiers 1 Limited : max 10% du CR
- Ressources en capital du Tiers 2 : max 50% du CR
- Pas de pourcentage maximum pour les ressources en capital du Tiers 2 Non-Paid-Up

Pour les IAIGs *Mutual*, les limites suivantes ont été pensées :

- Ressources en capital du Tiers 1 Limited : max 30% du CR
- Ressources en capital du Tiers 1 Limited + Tiers 2 : max 60% du CR
- Ressources en capital du Tiers 2 Non-Paid-Up : max 10% du CR

### 1.3.3.3 *Margin Over Current Estimate - MOCE (Marge au-dessus du CE)*

#### ***Le CC-MOCE - Consistent and Comparable MOCE*** .....

Jusqu'à présent, il était possible de déceler des différences dans le calcul des marges entre différentes sociétés, et ce soucis de comparabilité est la principale raison qui cause un manque global de comparabilité dans l'estimation de ces passifs d'assurance. Dans le cadre d'ICS, une marge consistante et comparable appelée CC-MOCE (Consistent and Comparable MOCE) va être mise en place et testée. Cette marge sera ainsi intégrée à la fois sous MAV et GAAP Plus.

D'après ICP 14, l'évaluation des provisions techniques dépassera le *Current Estimate* d'une marge MOCE. Le MOCE reflètera ainsi l'incertitude inhérente relative aux futurs *cash-flows* venant des obligations d'assurance au niveau de l'horizon de temps choisi, à savoir un an pour notre norme réglementaire. Il permettra alors aux actionnaires de s'assurer que les promesses faites par l'assureur soient tenues, et de couvrir pour le risque d'attitude (ou *Bearing Risk*) qui n'est pas pris en compte dans le calcul précédent.

Le *Field Testing* 2018 offre deux approches pour calculer le CC-MOCE.

- Une marge pour prendre en considération la valeur de marché des passifs, spécifiée comme étant une approche par coût de capital, avec un taux fixe de coût de capital de 5%
- un taux variable de coût de capital à 3% auquel on ajoute un taux second taux, appelé le *year risk-free* (compris entre 3 et 10 %). Cette approche a pour objectif de refléter les différences dans le coût de capital dans les différents environnements économiques à un point donnée dans le temps.

#### ***Le C-MOCE - Cost of MOCE*** .....

Lorsque les passifs d'assurance sont calculés, des marges sont souvent rajoutées en plus du *Current Estimate*. La C-MOCE, pour *Cost of Margin Over Current Estimate*, est représentative du coût de l'immobilisation des fonds propres qui représentent le SCR, c'est-à-dire le capital requis nécessaire afin de répondre aux engagements d'assurance dans 99,5 % des cas sur un horizon d'un an. L'un des principaux intérêts du C-MOCE est d'établir une marge afin d'accomplir un ajustement du risque dans l'évaluation des passifs d'assurances. Ce ajustement du risque peut être une façon de s'assurer que l'on traite de façon consistante et symétrique les actifs et les passifs d'assurance. En effet, en l'absence de MOCE, les valeurs des actifs reflèteront le coût du risque associés aux actifs, alors que ce ne sera pas le cas pour les passifs d'assurances.

Le C-MOCE est exprimé comme étant la somme des capitaux requis actuels et futurs réduits, multiplié par le paramètre du coût de capital.

$$C - MOCE = Cost\ of\ capital \cdot \sum_{t \geq 0} \frac{Capital\ Requis(t)}{(1+Taux\ rduit)^t}$$

Avec *Cost of Capital* (coût de capital) le taux additionnel que les investisseurs exigent afin de couvrir le risque associé aux passifs d'assurances.

*Le P-MOCE - Prudence MOCE .....*

Le P-MOCE (for Prudence-MOCE) est créé comme étant un moyen simple et facilement comparable de calculer une marge consistante pour assurer la protection des preneurs d'assurance. Un de ses avantages principaux est sa simplicité, puisqu'il ne requiert aucune supposition concernant les capitaux requis au-delà de l'horizon de temps voulu. Il est alors calculé comme un pourcentage de la déviation standard pour le *Current Estimate*, ce qui donne une mesure de risque sensible qui reflète bien la particularité du portefeuille d'assurance de l'IAIG.

## 2 Le calcul du Capital de Solvabilité Requis

### 2.1 Solvabilité

Lorsqu'elle définit la marche à suivre afin de calculer le capital requis de solvabilité, *International Capital Standards* spécifie un certain nombre d'aspects clés qui permettent de le quantifier :

<u>Une mesure de risque</u>	<u>Value at Risk (Var)</u>
<u>Un horizon de temps</u>	<u>1 an</u>
<u>Un niveau de confiance</u>	<u>99,5%</u>



### 2.1.1 La formule standard

L'IAIS propose dans sa directive une procédure à suivre par les organismes d'assurance afin que le calcul soit le même pour tous, appelé Formule Standard. Cette formule regroupe tous les risques auxquels les organismes d'assurance font face, et les étudie de manière individuelle avant de les agréger dans une formule qui donne le Capital de Solvabilité Requis total.

Ainsi, pour chaque module de risque, ICS propose une méthode de calcul qui lui est propre, permettant d'obtenir un capital garantissant à l'organisme d'assurance de rester solvable en cas d'évènement imprévu, et ce dans 99,5% des cas sur un horizon d'un an.

Tous les modules de risques, lorsqu'ils sont assemblés, forment ce qu'on appelle une pieuvre des risques. Celle imposée par ICS est la suivante :

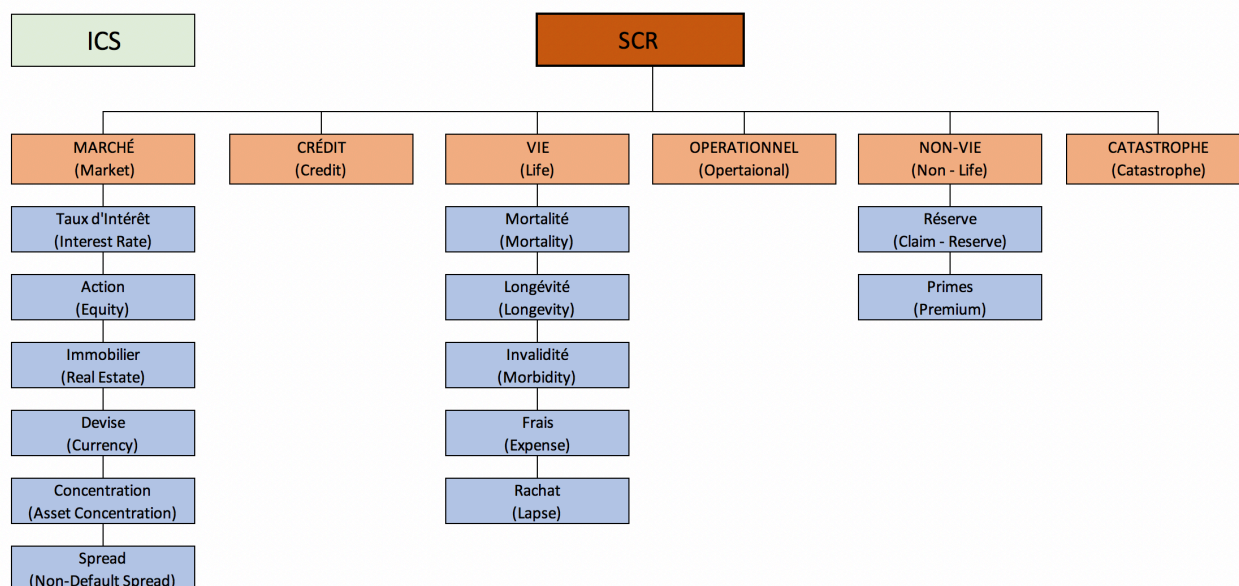


Figure 2.1 Formule Standard de calcul du Capital de Solvabilité Requis

Lors de ce mémoire, les modèles créés pour *International Capital Standards* et Solvabilité II suivront totalement les instructions dictées par les formules standards des deux directives. De cette manière, la comparabilité entre les deux réglementations sera optimale afin de pouvoir soulever tous les enjeux et impacts de l'entrée en vigueur d'ICS.

Chaque risque exposé ci-dessus que rencontre les organismes d'assurance sera expliqué de manière individuelle dans la suite de cette partie.

### 2.1.2 Création d'un modèle interne

Néanmoins, l'IAIS propose dans sa directive la possibilité pour chaque organisme d'assurance de créer son propre modèle interne de calcul de Capital de Solvabilité Requis.

Pour avoir la possibilité de construire un modèle interne, les organismes doivent répondre aux dix pré-requis suivants:

<u>1</u>	Description de la portée d'application du modèle interne Définition des bornes du modèle interne et des éléments récupérés de la formule standard
<u>2</u>	Rigueur de la validation du modèle Liste des outils utilisés pour valider la sécurité et la qualité actuarielle du modèle
<u>3</u>	Approbation du Conseil d'Administration du modèle
<u>4</u>	Test de la qualité statistique Liste et Test des outils mathématiques qui confirme la véracité statistique du modèle
<u>5</u>	Test de la calibration
<u>6</u>	Test d'utilisation et test de la gouvernance
<u>7</u>	Standards de documentation
<u>8</u>	Absence de <i>cherry-picking</i>
<u>9</u>	Le CR représente mieux les risques que la formule standard
<u>10</u>	Explication de comment le modèle interne partiel peut être intégré à la formule standard

L'IAIS a introduit le concept de modèle interne en 2014 afin de permettre aux sociétés de pouvoir mieux refléter leurs risques. Cette option, permettant de calculer le capital requis d'ICS, a été validée en 2017.

La portée des modèles internes se limite au calcul du capital requis et non pas à d'autres sujets d'ICS comme les ressources en capital ou les évaluations (MAV). L'évaluation des actifs et passifs reste donc sous le contrôle total de l'IAIS. Ainsi, un modèle interne sera utile seulement pour créer une alternative pour les IAIGs pour le calcul du Capital de Solvabilité Requis.

Pour les groupes de volontaires, les avantages de pouvoir créer son propre modèle sont :

1	Meilleure compréhension des risques à travers son activité
2	Meilleur management risque/solvabilité
3	Possibilité de capturer des risques qui ne pouvaient pas l'être dans la formule standard
4	Amélioration de la supervision et de la transparence

Néanmoins, pour avoir un modèle cohérent, il faut que les compagnies fassent attention à la consistance et à la comparabilité du modèle vis-à-vis de la formule standard, ainsi que de sa complexité et de sa stabilité au cours du temps.

## 2.2 Les différents risques

### Les risques de souscription d'assurance

Stress <u>Mortalité</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau, la tendance ou la volatilité des taux de mortalité
Stress <u>Longévité</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau, la tendance ou la volatilité des taux de mortalité
Stress <u>Morbidité</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau, la tendance ou la volatilité des taux de morbidité, d'incapacité et d'arrêt
Stress <u>Rachat</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau ou la tendance des taux de rachat des assurés
Stress <u>Frais</u>	Il couvre à la fois le <i>Unit Expense Risk</i> et le <i>Expense Inflation Risk</i> . Le <i>Unit Expense Risk</i> est le risque de changement défavorable dans la valeur des fonds propres causé par un changement inattendu dans le niveau des frais concernant les passifs d'assurance. Le <i>Expense Inflation Risk</i> est le risque d'augmentation des frais à un taux plus haut que prévu dans le calcul des passifs d'assurance, causé par des changements spécifiques au secteur de l'assurance
Factor-based <u>Provisions de sinistres</u>	Risque associé aux futurs paiements attendus pour des sinistres ou événements qui se sont déjà produits et n'ont pas encore complétés réglés par l'organisme d'assurance
Factor-based <u>Primes</u>	Risque associé au timing, à la fréquence et à la sévérité des événements futurs qui sont assurés. Ce risque inclut les contrats qui seront signés sur les douze mois à venir
Modèle <u>Catastrophe</u>	Couvre les sinistres qui vont arriver associés à un rapport basse fréquence/haute gravité. Il prend en compte toutes les pertes survenant dans les douze mois suivant, et s'applique aux branches Vie et Non-Vie (Catastrophes naturelles, Pandémie, Terrorisme, Crédit)

Les cinq premières lignes du tableau regroupent les sous-modules de risques qui figurent dans le risque *Insurance - Life*.

Les deux suivants sont les sous-modules qui figurent dans le risque *Insurance Non-Life*. Néanmoins, les informations données par l'IAIS à propos de ces deux sous-modules montrent que les calculs de capitaux de solvabilité ne sont pas encore inscrits dans la pierre et que de nombreuses modifications sont à venir. C'est pourquoi le risque de *Insurance Non-Life* ne sera pas inclut dans les deux modèles ICS et S2, afin de ne pas faire de comparaisons ou conclusions qui seront rendues fausses par les changements de l'IAIS sur le calcul des

capitaux requis concernant ce module

Enfin, le dernier, le risque Catastrophe, concerne lui à la fois les business *Life* et *Non – Life*. Pour le calculer, ICS propose de créer un modèle entier à part des deux modèles de risque précédant, modèle qui regroupera tous les risques de vie et non-vie.

#### Les risques de marché

Stress <u>Action</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des prix du marché des actions
Stress <u>Taux d'Intérêt</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des taux t'intérêt
Stress <u>Immobilier</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des prix du marché de l'immobilier ainsi que par les changements des montants de cash flows investis dans l'immobilier
Stress <u>Devise</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des taux de change monétaires
Factor-based <u>Concentration</u>	Changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par un manque de diversification du portefeuille d'actifs
Stress <u>Non Default Spread</u>	Changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des spreads over the risk free interest rate term structure, en excluant le <i>Default Component</i> (capturé dans le risque de Crédit)

#### Le risque de Crédit

Le risque de crédit est le risque de changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par un changement inattendu dans les *actual defaults*, as well as in the deterioration of an obligor's creditworthiness short of default, including migration risk and spread risk due to defaults

#### Le risque Opérationnel

Le risque Opérationnel est le risque de changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des événements opérationnels, y compris les processus internes inadéquates ou ratés, les erreurs de système ou de personnel, ainsi que les événements extérieurs affectant la compagnie en question. Le risque Opérationnel ne prend pas en compte le risque stratégique et le risque de réputation.

## 2.3 La formule standard de calcul de SCR

### 2.3.1 La pieuvre des risques

La formule standard suit le principe 4 d'ICS, qui annonce que tous les risques matériels auxquels une société est exposée doivent être reflétés par la norme. L'IAIS considère que les catégories clés de risques sont l'Assurance, le Marché, le Crédit et l'Opérationnel. Les autres risques tels que par exemple le risque de groupe ne sont pas pour l'instant quantifiés dans le calcul du SCR et sont représentés ailleurs dans ComFrame.

Le SCR d'ICS est basé sur les potentiels changements dans la valeur des ressources en capital causés par des changements, événements ou autres manifestations inattendus spécifiques au risque. Il contient tous les risques matériels auxquels une IAIG peut être exposée.

L'IAIS considère que les principaux risques clés inclus dans la formule standard sont : les risques d'assurance, les risques de marché, le risque de crédit et le risque opérationnel. D'autres risques, tels que le risque de groupe ou le risque de liquidité, ne sont pas représentés dans le calcul de capital requis d'ICS et seront adressés ailleurs dans les conditions qualitatives imposées par *ComeFrame*.

La capital requis d'ICS est donc basé sur les changements potentiels dans les fonds propres d'une compagnie, changement provenant d'un changement inattendu, d'un événement ou autre manifestation concernant le risque concerné.

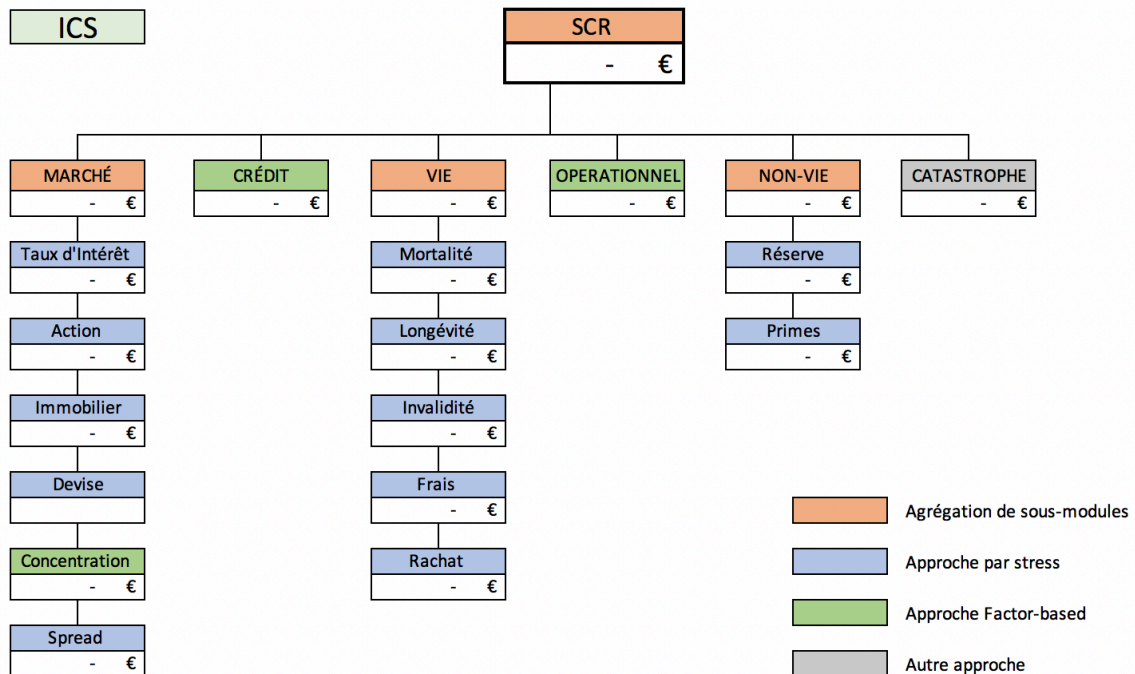


Figure 2.2 Pieuvre des risques par type d'approche

L'approche choisie pour la formule standard est de considérer chacun des risques et de déterminer ensuite la méthode la plus appropriée pour mesurer chaque risque de façon individuelle.

Certains risques sont le mieux mesuré sur la base d'une approche par stress, notamment lorsque le risque manifeste des changements à la fois dans la valeur des actifs et passifs, ou lorsque le risque ne peut pas être capturé de façon adéquate par un seul facteur sur le bilan (exemple : Mortalité, Longévité, Taux d'Intérêt).

Les autres sont évalués en utilisant une *Factor-Based*, c'est-à-dire une approche par facteur. C'est le cas lorsque le risque peut être calculé de manière appropriée par le bilan d'actifs et de passifs.

Néanmoins, pour le risque catastrophe, une approche par un modèle reflète de manière plus adéquate le profil de risque de l'IAIG.

Afin de calculer le *Capital Required* final, la compagnie doit s'intéresser à chacun des risques de manière individuelle. Pour chacun, elle suit les différents chocs sur les courbes de taux ou les baissent de capitaux imposés par l'IAIS dans les textes. Ainsi, pour chaque risque, la compagnie obtient un capital requis. Une fois tous les risques étudiés de manière individuelle, on regroupe les sous-modules en les agrégeant (risque de marché, risque d'assurance), puis on agrège une nouvelle fois les modules principaux pour obtenir le *Capital Required*.

MARCHÉ		Taux	Spread Up	Spread Down	Action	Immobilier	Devises	Concentration
		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Taux	- €	100%	25%	25%	25%	25%	25%	0%
Spread Up	- €	25%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
Spread Down	- €	25%	100%	100%	0%	0%	25%	0%
Action	- €	25%	75%	0%	100%	50%	25%	0%
Immobilier	- €	25%	50%	0%	50%	100%	25%	0%
Devises	- €	25%	25%	25%	25%	25%	100%	0%
Concentration	- €	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

VIE		Mortalité	Longévité	Invalité	Rachat	Frais
		- €	- €	- €	- €	- €
Mortalité	- €	100%	-25%	25%	0%	25%
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%	25%
Invalité	- €	25%	0%	100%	0%	50%
Rachat	- €	0%	25%	0%	100%	50%
Frais	- €	25%	25%	50%	50%	100%

Figure 2.3 Matrices d'agrégation pour les risques Marché et Vie

Ici, pour chacun des deux modules de risques, *International Capital Standards* considère que certains risques se chevauchent les uns par rapports aux autres, ce qui explique la matrice de corrélation. Par exemple, les sous-modules Mortalité et Longévité ont des coefficients négatifs car il est compréhensible que si le taux de mortalité augmente, alors le taux de longévité diminue, et inversement.

Capital Requis		Non-Vie	Catastrophe	Vie	Marché	Crédit
		- €	- €	- €	- €	- €
Non-Vie	- €	100%	25%	0%	25%	25%
Catastrophe	- €	25%	100%	25%	25%	25%
Vie	- €	0%	25%	100%	25%	25%
Marché	- €	25%	25%	25%	100%	25%
Crédit	- €	25%	25%	25%	25%	100%

Figure 2.4 Matrice d'agrégation pour le calcul du SCR total

L'objectif de ce mémoire est de calculer, pour un portefeuille donné, la *Capital Required* de la compagnie concernée, et de le comparer au SCR trouvé en utilisant la norme Solvabilité II. Plus encore, l'objectif est de s'intéresser à ceci de plus près en allant regarder les différences entre chaque module et sous-module afin de montrer les différences entre les deux normes et l'impact que pourra avoir *International Capital Standards*

sur les compagnies qui voient devoir, à partir de 2025, calculer leur solvabilité sous le point de vue d'ICS mais aussi sous celui de Solvabilité II

### 2.3.2 L'approche par Stress

Dans une approche par stress, le calcul du SCR pour un risque individuel ou plusieurs suit une approche dynamique qui observe le bilan en deux points dans le temps : la valeur du bilan de l'organisme avant un choc et sa valeur après le choc. La charge de risque est alors déterminée comme étant la baisse entre la valeur des ressources en capital pendant le bilan pré-choc et la valeur des ressources en capital pendant le bilan post-choc.

Pour illustrer cette approche, il est facile de prendre l'exemple d'un bien immobilier ayant une valeur de un million d'euros. Pour le risque Immobilier, appartenant au module du risque de marché, c'est bien l'approche par stress qui est choisie pour la directive internationale. Le choc de stress est alors donné par l'IAIS comme étant égale à 25 %. Alors, l'approche par stress se déroule de la manière suivante :

$$VM_{\text{Maison, Avant choc}} = 1 \text{ M€}$$

$$VM_{\text{Maison, Après choc}} = 1 \text{ M€} \times (1 - \text{choc})$$

$$VM_{\text{Maison, Après choc}} = 1 \text{ M€} \times (1 - 25\%)$$

$$VM_{\text{Maison, Après choc}} = 750.000 \text{ €}$$

Ainsi,

$$SCR_{\text{Maison}} = VM_{\text{Maison, Avant choc}} - VM_{\text{Maison, Après choc}}$$

$$SCR_{\text{Maison}} = 250.000 \text{ €}$$

### 2.3.3 L'approche Factor-Based

Lors d'une approche par *factor-based*, le calcul de la charge de risque pour un risque individuel ou pour plusieurs risques est déterminée en appliquant des facteurs sur des mesures d'exposition spécifiques. Cette approche est en général plus simple à mettre en place qu'une approche par stress, mais néanmoins elle exige d'inclure de nouvelles mesures afin de permettre d'identifier certains effets tels que l'absorption des pertes ou le risque de mitigation.

Sous *International Capital Standards*, seuls trois risques utilisent cette approche afin de calculer les exigences de capital requises :

- Le module "Crédit"
- Le module "Opérationnel"
- Le sous-module "Concentration" inclus dans le risque de Marché

Pour illustrer ces nouvelles mesures permettant d'identifier certains effets, il suffit de prendre par exemple le sous-module "Concentration". Lors du calcul des exigences de capital de ce risque, il est nécessaire d'identifier la qualité de crédit de l'élément évalué. Une fois ceci fait, un choc et une formule à suivre sont renseignés par l'IAIS.

## 3 Solvabilité II .....

### 3.1 Présentation à travers le secteur actuariel

En 2009, le Parlement Européen a ratifié une nouvelle directive, Solvabilité II, afin d'introduire des règles à l'ensemble des assurances possédant au moins une juridiction dans un Etat de l'Union Européenne. Après avoir été étudiée et écrite de 2009 à 2014, Solvabilité II est entrée en vigueur le 1er janvier 2016. Elle est le résultat d'une longue collaboration entre le Parlement européen, la Commission européenne, l'EIOPA (European Insurance and Occupational Pensions Authority), l'ACPR (Autorité du Contrôle Prudentiel et de Résolution) et de différentes organisations du marché de l'assurance. SII change fondamentalement le fonctionnement des entreprises d'assurance et de réassurance, sa mise en place est progressive et s'étale sur dix ans.

La directive Solvabilité II est un régime prudentiel, c'est-à-dire un ensemble de règles fixant le régime de solvabilité à appliquer pour les entreprises d'assurance et de réassurance de l'Union européenne. Ses objectifs premiers sont de protéger les assurés contre le dépôt de bilan de leur assureur, et de renforcer la compétitivité et la transparence dans le secteur de l'assurance.

La mise en place de cette réglementation repose sur le « processus de Lamafalussy » en quatre niveaux. Tout d'abord, les principes directeurs de la réglementation sont élaborés et amendés par Omnibus 2. Ensuite, les mesures d'exécution sont développées à travers des actes délégués et des RTS (*Regulatory Technical Standards*). Les textes européens sont alors déclinés en droit local avec l'aide des régulateurs nationaux. Enfin, la conformité aux réglementations nationales et le respect du droit dans chaque état sont vérifiés. Des sanctions sont mises en place en cas de manquement au règlement.

Le but d'un tel régime est de prendre en compte de manière plus explicite les différents risques auxquels font face les entreprises d'assurance et de réassurance. Cela permet à la fois à l'entreprise de mieux connaître les risques qu'elle porte et ainsi mieux se positionner sur le marché, mais également aux assurés, aux autres acteurs économiques et aux régulateurs de mieux apprécier la santé de l'entreprise.



## 3.2 Architecture de la norme

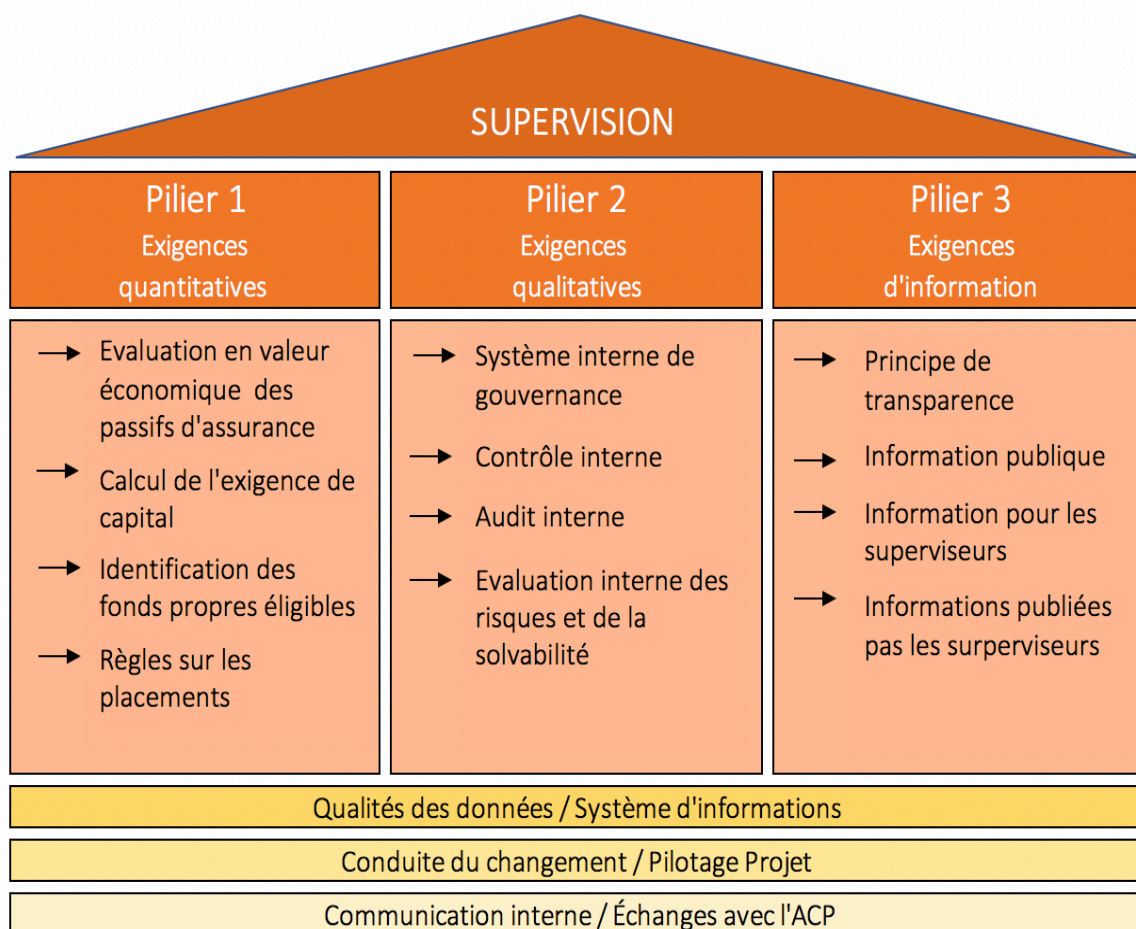


Figure 3.1 Les trois piliers de Solvabilité II

### 3.2.1 Le Pilier 1

Solvabilité II se compose de trois Piliers complémentaires qui régissent chacun un aspect de la prise en compte des risques.

Le Pilier 1 propose de déterminer les exigences quantitatives de solvabilité qu'une entreprise doit respecter. Il impose une mise en valeur économique des passifs d'assurance, un calcul de l'exigence de capital, l'évaluation des fonds propres éligibles et réglemente les placements de l'entreprise.

Les exigences quantitatives imposées par la norme Solvabilité sont regroupées dans son pilier 1. Celui-ci a pour objectif de permettre aux superviseurs de s'assurer que le niveau des fonds propres de l'assureur est suffisant afin d'éviter la ruine, sous un horizon d'une année, dans 99,5% des cas. Ainsi, ce pilier impose à l'assureur de conserver des fonds propres économiques dans de nombreuses situations fortement défavorables, afin d'assurer sa solvabilité y compris en cas d'évènements qui pourraient bouleverser le secteur assurantiel.

Les consignes imposées par le pilier 1 peuvent se décomposer en 4 étapes :

Étape 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorisation du bilan</li> <li>• Évaluation de la valeur de marché des actifs et des passifs</li> <li>• Prise en compte des impôts différés</li> </ul>
Étape 2	• Calcul des niveaux réglementaires de fonds propres : <i>SCR</i> et <i>MCR</i>
Étape 3	• Calcul de la marge pour risque
Étape 4	• Calcul du ratio de solvabilité

### 3.2.1.1 Etape 1

Comme explicité dans le tableau précédent, l'étape 1 du pilier 1 consiste à valoriser le bilan en évaluant la valeur de marché des actifs et des passifs, sans s'occuper de la marge pour risque. Néanmoins, la prise en compte des impôts différés est exigée car le bilan passe d'un référentiel comptable à un référentiel prudentiel. Le schéma ci-dessous présente le passage du bilan en normes sociales au bilan économique, requis par Solvabilité II.

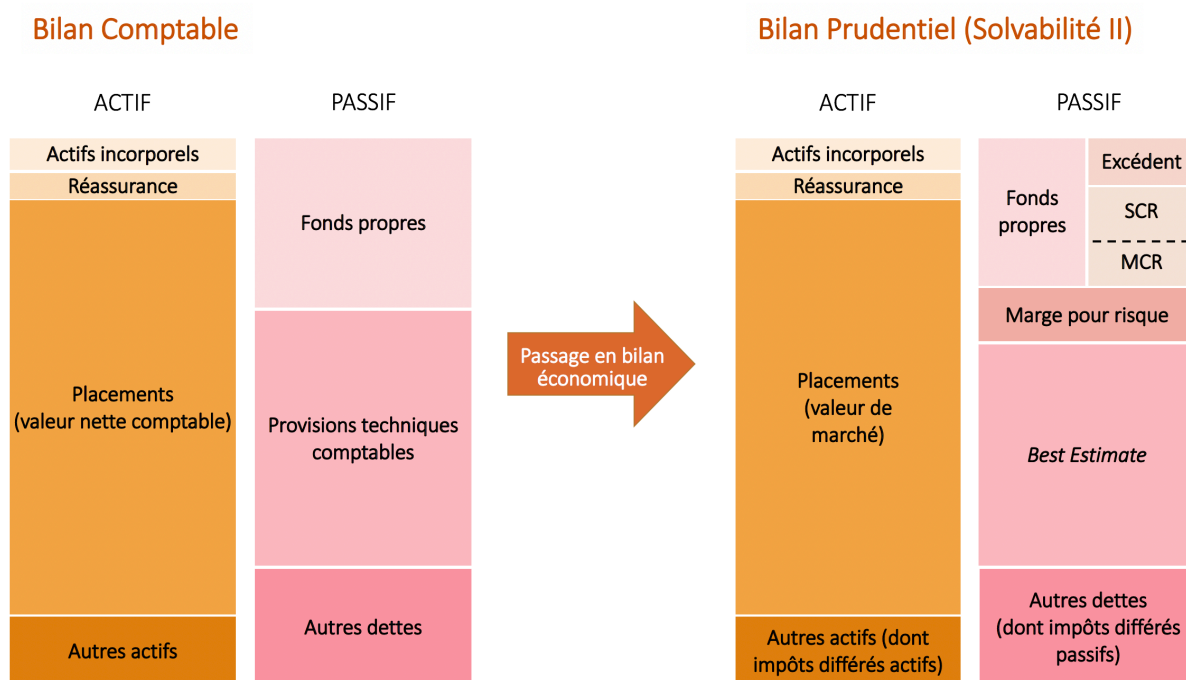


Figure 3.2 Bilan en normes sociales et Bilan Solvabilité II

Le *Best Estimate* (BE ou encore BEL) correspond à la valeur probable des flux futurs actualisés, qu'ils soient entrants ou sortants, estimés de la façon la plus précise possible. Ces flux sont actualisés grâce à la courbe de taux sans risque fournie chaque année par l'EIOPA.

Le BE est défini mathématiquement de la manière suivante:

$$BE_t = \mathbb{E}^{\mathbb{Q}} \left[ \sum_{k=0}^n DF_k (CF_{out}(k) - CF_{in}(k)) \mid F_t \right]$$

|  $n$  l'horizon de projection du portefeuille,

|  $DF_k$  le déflateur sans risque de l'année  $k$ ,

Avec |  $CF_{out}(k)$  les cash-flows sortants de l'année  $k$ ,

|  $CF_{in}(k)$  les cash-flows entrants de l'année  $k$ ,

|  $(F_t)_{t>0}$  la filtration représentant l'ensemble de l'information disponible en  $t$ .

### 3.2.1.2 Etape 2

Une fois le bilan économique établi, le Pilier 1 se charge d'établir des niveaux réglementaires pour les fonds propres des organismes d'assurances. Deux niveaux sont formulés dans la norme prudentielle :

- le SCR (Solvency Capital Requirement) : besoin en capital pour absorber le choc d'un risque majeur. Autrement dit, cela correspond au capital permettant à un assureur de tenir ses engagements dans 99,5% des situations sur un horizon d'un an.

- le MCR (Minimum Capital Requirement) : niveau de fonds propres minimum en dessous duquel l'autorité de contrôle intervient et retire l'agrément.

Le SCR, et dans de moindres mesures le MCR, sont des indicateurs importants permettant d'évaluer les résultats des deux modèles. En effet, ils fournissent une cible chiffrée aidant un assureur à identifier ses besoins en fonds propres.

Le SCR peut être calculé soit en utilisant sa formule standard soit par modèle interne. Cette dernière façon, permet une flexibilité de calcul. En effet, les assureurs peuvent adapter la formule standard afin d'appréhender précisément les risques spécifiques qu'ils encourent. Comme le modèle ALM étudié est basé sur la formule standard, c'est donc cette approche de calcul qui sera développée.

La formule standard du pilier 1 pour le calcul du SCR utilise comme mesure du risque, la Value-at-Risk (VaR) un an à 99,5%. Afin de déterminer la charge en capital nécessaire pour se couvrir d'une faillite dans 99,5% des cas à horizon un an, une segmentation par risque couplée à une analyse de l'impact des scénarios sur le bilan économique est utilisée. Pour cela, il s'agit dans un premier temps de regrouper les différents risques élémentaires en sous-modules. Dans un second temps, ces sous-modules sont rassemblés en modules qui correspondent à des classes de risques majeures.

Puis, pour chacun de ces sous-modules, un besoin en capital est déterminé grâce à une approche par variation de BOF. Schématiquement, il faut comparer les BOF obtenus à partir du scénario central avec ceux résultant d'un scénario choqué. Ensuite le SCR du sous-module considéré sera le maximum entre cette variation et zéro. La figure suivante illustre cette méthode :

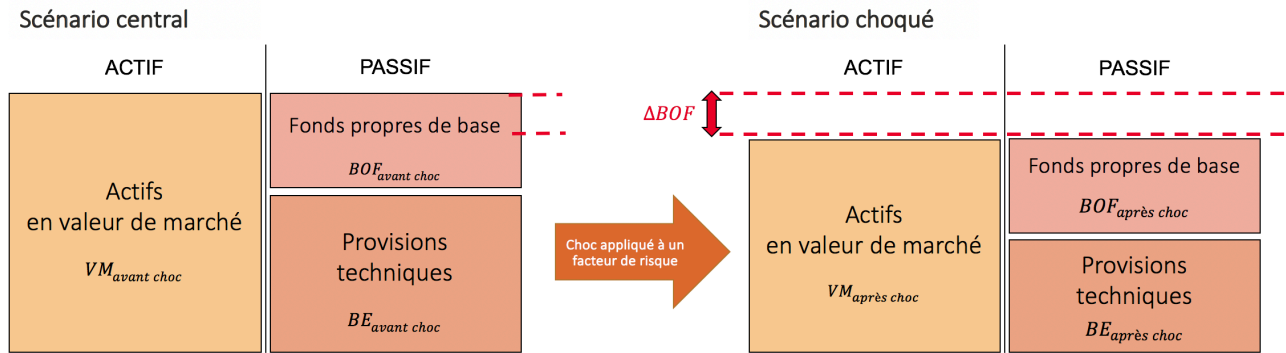


Figure 3.3 Calcul du SCR des modules de risque par variation des fonds propres

Lorsque la méthode de variation des *Basic Own Funds* est utilisée pour calculer le SCR d'un sous-module  $i$ , la formule suivante est employée.

$$\begin{aligned}
 SCR_i &= \max(\Delta BOF ; 0) \\
 &= \max(BOF_{avant\ choc} - BOF_{apres\ choc} ; 0) \\
 &= \max([MV_{avant\ choc} - BE_{avant\ choc}] - [MV_{aprs\ choc} - BE_{apres\ choc}] ; 0)
 \end{aligned}$$

Une fois, ceci établi, les sous-modules d'un même module sont agrégés grâce à des matrices de corrélation établies par l'EIOPA pour obtenir le capital nécessaire pour le module considéré. Enfin, pour obtenir le BSCR (Basic Solvency Capital Requirement), ces modules sont eux même agrégés par une matrice de corrélation globale. Le détail de la formule associée est développé ci-dessous :

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} \rho_{i,j} \cdot SCR_i \cdot SCR_j}$$

Avec  $|\rho_{i,j}|$  le coefficient de corrélation entre les risques  $i$  et  $j$ , donné par l'EIOPA.

Par la suite, on obtient le Capital de Solvabilité Requis grâce au BSCR de la manière suivante :

$$SCR = BSCR - Adj + SCR_{Op}$$

Avec  $|Adj|$  l'ajustement de l'effet d'absorption (de par les provisions techniques et les impôts différés),  
 $|SCR_{Op}|$  le Capital de Solvabilité Requis pour le risque Opérationnel

### 3.2.1.3 Etape 3

La troisième étape du premier pilier se concentre sur le calcul de la Marge pour Risque, ou RM pour *Risk Margin*. Cette marge est mise en place par les superviseurs afin de s'assurer que la valeur des provisions techniques de l'entreprise d'assurance soit équivalente au montant dont elle aurait besoin pour reprendre et honorer ses engagements. Son calcul utilise une approche "coût de capital", elle permet de déterminer le coût que représenterait l'immobilisation d'un certain nombre de fonds propres éligibles, qui correspond au SCR à utiliser pour reprendre et honorer ses engagements assurantiels. Il se calcule selon la formule suivante :

$$\text{Marge pour Risque} = CoC \times \sum_{t \geq 0} \frac{\mathbb{E}^Q[SCR_t]}{(1+r_t)^{t+1}}$$

|  $CoC$  le taux de coût de capital, égal à 6%,

Avec |  $SCR_t$  le Capital de Solvabilité Requis pour l'année  $t$ ,

|  $r_t$  le taux sans risque de maturité  $t$ .

Néanmoins, ce calcul reste compliqué à mettre en place car il nécessite à lui seul de connaître tous les Capitaux de Solvabilité Requis sur toutes les années de projections, ce qui est dans la plupart des temps trop coûteux à réaliser. Ainsi, plusieurs méthodes sont mises en place afin d'éviter de devoir calculer tous les SCR, tout en conservant une valeur de la RM suffisamment précise.

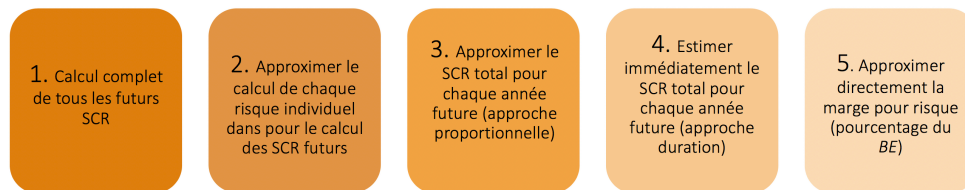


Figure 3.4 Méthodes de calcul de la marge pour risque

### 3.2.1.4 Etape 4

La dernière étape du premier pilier se concentre sur le calcul du ratio de solvabilité de l'organisme d'assurance. Le ratio de solvabilité est l'indicateur le plus important de l'organisme, car il renseigne à lui seul l'état de solvabilité de l'acteur. Afin de pouvoir honorer ses engagements dans 99,5% des cas sur un horizon d'un an, comme la directive l'exige, les fonds propres de l'organisme d'assurance doivent être supérieurs au Capital de Solvabilité Requis.

$$\text{Ratio de Couverture SCR} = \frac{BOF}{SCR}$$

Avec |  $BOF$ , les *Basic Own Funds* les Fonds Propres Éligibles au SCR

Le ratio de couverture SCR constituera un de nos principaux indicateur pour la comparaison des deux réglementations.

Cependant, ce ratio de couverture est souvent très volatil car les fonds propres de l'organisme et son SCR varient beaucoup en fonction du temps. Ainsi, Un deuxième ratio de couverture est mis en place par l'ACPR : le Minimum de Solvabilité Requis, ou SCR. Il constitue le niveau de solvabilité minimal en-dessous duquel l'intervention des autorité de contrôle sera automatique.

$$\text{Ratio de Couverture MCR} = \frac{BOF}{MCR}$$

Avec | *BOF*, les *Basic Own Funds* les Fonds Propres Éligibles au MCR, légèrement différents de ceux du SCR.

### 3.2.2 Le Pilier 2

Le Pilier 2 expose quant à lui les exigences qualitatives de solvabilité. Il contraint tout d'abord les entreprises à mettre en place un système de gouvernance afin de s'assurer que l'activité et les risques sont gérés de façon saine et prudente. Pour cela, il est alors nécessaire que l'entreprise propose une organisation transparente dont la répartition est claire et où les responsabilités sont séparées et réparties de façon appropriée. Quelle que soit la taille de l'entreprise, il est exigé que le système de gouvernance soit au minimum constitué de deux dirigeants effectifs, ce qui assure l'intégrité de l'entreprise, et de quatre responsables de fonctions clés qui doivent respecter des exigences d'honorabilité et de compétences.

Les 4 fonctions clés sont les suivantes :

- La fonction conformité qui établit un plan et une politique de conformité. Elle évalue également le risque de non-conformité;
- La fonction audit interne qui établit le plan d'audit, évalue l'efficacité du contrôle interne. En France, cette fonction est également habilitée à alerter l'ACPR si besoin;
- La fonction gestion des risques qui informe le conseil et assure le suivi quotidien des modèles internes et de la gestion des risques;
- La fonction actuarielle qui coordonne les calculs des provisions techniques. Elle donne également son avis sur la politique de souscription et de réassurance et apporte son soutien à la fonction gestion des risques.

D'autre part, ce pilier impose une évaluation interne des risques et de la solvabilité au travers d'un processus appelé l'ORSA (*Own Risk Solvency Assessment*). Ce dernier nécessite obligatoirement trois évaluations distinctes :

- L'évaluation du besoin global de solvabilité;
- L'évaluation du respect permanent des obligations réglementaires concernant la couverture du SCR, du MCR et des exigences concernant le calcul des provisions techniques;
- L'évaluation de l'écart entre le profil de risque de l'entreprise et les hypothèses qui sous-tendent le capital de solvabilité requis.

L'ORSA gère l'ensemble des risques, qu'ils soient à court, moyen ou long terme. L'évaluation de ces risques comporte des scénarios de stress sur les indicateurs. Ils permettent de traiter chaque cas de la façon la plus réaliste possible et de mettre en avant plus facilement les plans d'actions envisageables en fonction de la réalisation de différents événements. Techniquement parlant, le processus ORSA se décompose en 3 étapes. Tout d'abord les risques sont regroupés et une métrique est choisie. Ensuite, l'appétence aux risques de l'entreprise est établie dans la stratégie de gestion des risques et des limites de risque opérationnelles sont décrites. Enfin, il est nécessaire d'effectuer un suivi de ces limites et une identification des éventuelles déformations du profil de risque.

C'est à la suite de ces trois étapes que l'ORSA est mis à jour au minimum chaque année. En plus de permettre aux agences de contrôle de s'assurer de la solvabilité de l'entreprise, l'ORSA constitue également un élément

de stratégie pour l'entreprise puisque tous les risques importants y sont cartographiés et étudiés de façon approfondie. En effet, son analyse permet de valider, ou non certaines décisions stratégiques tout en assurant une cohérence globale dans la politique de l'organisme d'assurance.

### 3.2.3 Le Pilier 3

Enfin, le Pilier 3 est consacré à la discipline de marché et impose des exigences en terme de transmission des informations financières. Son objectif est d'harmoniser au niveau européen les informations communiquées par les organismes d'assurance aux autorités de contrôle et au grand public. Concernant les informations publiques, elles sont publiées une fois par an dans le rapport SFCR (*Solvency and Financial Condition Reports*). La situation financière et le niveau de solvabilité y sont obligatoirement présentés, il est également possible d'apporter d'autres informations telles que :

- les QRT (*Quantitative Reporting Templates*) qui est initialement destiné aux superviseurs
- Le profil de risque de l'entreprise ; les mesures transitoires éventuellement utilisées par l'entreprise pour mettre en place progressivement Solvabilité II
- la répartition des fonds propres ; les plus-values latentes (qui évaluent la solidité financière et la pertinence des placements de l'entreprise).

Les informations destinées aux superviseurs sont en partie contenues dans le rapport RSR (*Regular Supervisory Report*) qui, en France, doit être remis à l'ACPR tous les ans pour les plus grandes structures, et tous les trois ans pour les plus petites. Le rapport QRT doit également être fourni en totalité aux superviseurs, tout comme de rapports faisant suite à des événements prédéfinis ou encore des enquêtes sur la situation de l'entreprise.

Au travers de ces trois piliers, Solvabilité II permet une évaluation économique du bilan prudentiel : l'actif et le passif de l'entreprise sont évalués à leur juste valeur et non à partir d'une valorisation au coût historique comme c'était le cas dans l'approche forfaitaire de Solvabilité I. Finalement, cette réforme apporte, en plus d'une nouvelle approche économique, des bouleversements dans la façon de travailler au sein des entreprises d'assurance et de réassurance. En effet, les salariés sont bien plus sensibilisés aux risques internes, des gages de compétence et d'honorabilité sont maintenant exigés.

Les exigences de fonds propres, de capital et de provisions techniques imposées par la réforme Solvabilité II sont les points les plus importants de cette nouvelle norme. De part ceci, ce sont toutes les exigences quantitatives qui sont renouvelées et améliorées vis-à-vis de Solvabilité I et Bâle II. Les sociétés d'assurance et de réassurance ont dorénavant l'obligation de rendre des rapports témoignant qu'ils peuvent couvrir leurs risques, non seulement les risques de solvabilité propres à chaque société d'assurance, mais aussi les risques propres à leur seule entreprise. Cette nouvelle réforme permet ainsi aux autorités de contrôle une supervision plus précise et adaptée à chaque compagnie.

Le *Solvency Capital Requirement*, désigné dorénavant par l'abréviation SCR, est le principal outil de surveillance des autorités de contrôle. Il incorpore tous les risques inhérents à l'activité d'une société impliquée dans le milieu de l'assurance. Il constituera également le principal outil afin de comparer les normes Solvabilité II et *International Capital Standards*. Il est alors important d'expliquer avec attention de quelle manière ce calcul se déroule et quels sont les facteurs et formules qu'il prend en compte.

### 3.3 Le calcul du Capital de Solvabilité Requis

#### 3.3.1 La formule standard

La réforme Solvabilité II propose à toutes les sociétés d'assurance et de réassurance une formule standard afin de calculer le SCR et ainsi d'estimer les fonds propres nécessaires à la compagnie afin d'être solvable, c'est-à-dire d'avoir un Ratio de Capital Requis de Solvabilité d'au moins 100 pour 100. Pour cela, Solvabilité II propose des méthodes particulières pour calculer les SCR de chacun des modules et sous-modules de risques. Ces modules et sous-modules sont présentés dans une pyramide qui les relie entre eux, et mène par agrégation multiples au SCR final de l'organisme.

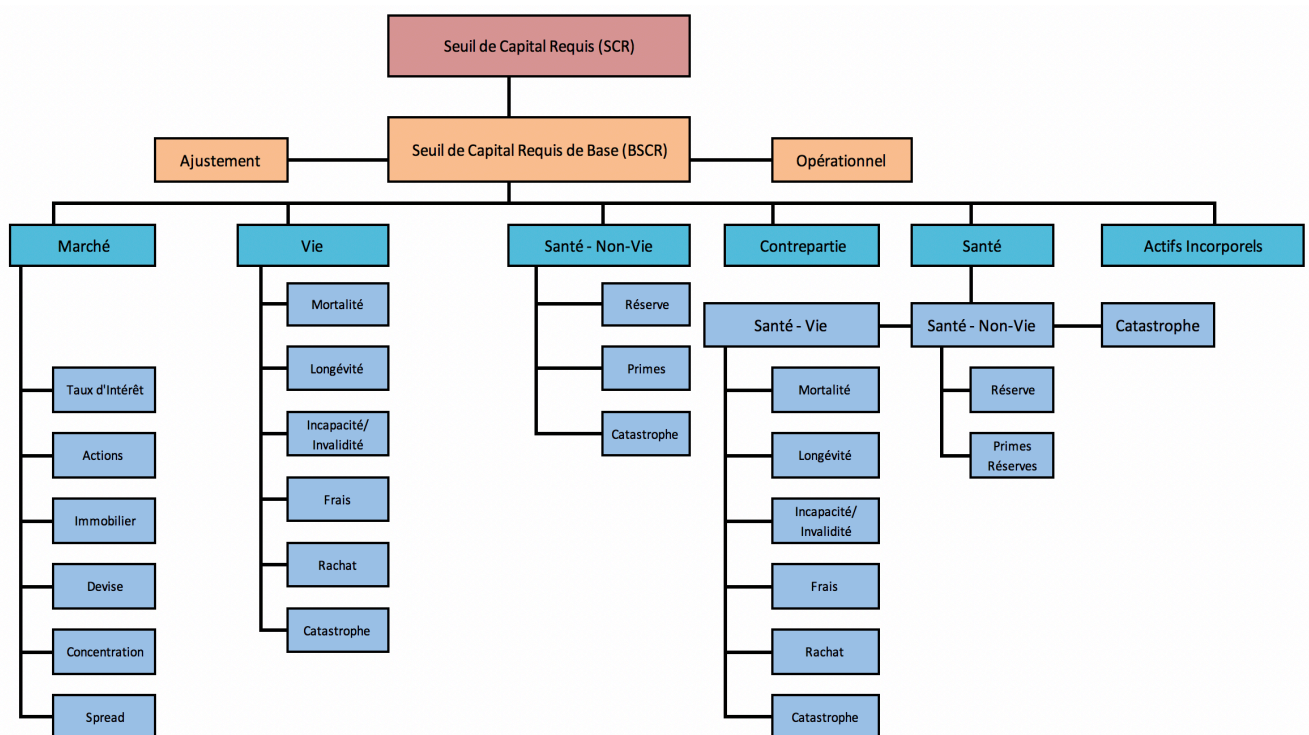


Figure 3.5 Pyramide des risques - Solvabilité II

La calibration de la formule standard propose un équilibre entre sensibilité aux risques et praticité de la mise en oeuvre. Lors de la mise en oeuvre de la réglementation, des questionnaires qualitatifs ont été mis en place pour les organismes d'assurance afin de juger de la pertinence et de la complexité de la formule standard, afin que celle-ci soit la plus juste et adaptée possible. Elle est donc calibrée pour s'adapter à la majorité des intervenants du marché, sans prendre en compte les spécificités propres à chaque assureur. Les risques de liquidité et de volatilité ne sont par exemple pas pris en compte dans le calcul du SCR.

La définition des risques n'est pas rappelée dans cette partie, car les risques sont définis exactement de la même manière que pour ICS. Ainsi, la base de travail sur laquelle les deux modèles créés pour ce mémoire sont construits est la même, afin de pouvoir analyser les résultats de la manière la plus judicieuse possible. En effet, même si les risques sont définis de la même manière, il n'en est rien pour les calculs des différents SCR, qui sont parfois très différents, comme cela va être expliqué dans la partie suivante du mémoire.



### 3.3.2 Le modèle interne

Le terme « modèle interne » est utilisé pour identifier le modèle construit par les assureurs pour calculer le capital réglementaire, évaluer le capital économique et participer au dispositif global de gestion des risques. En effet, en dépit de la présence d'une formule standard à disposition, les entreprises sont libres d'utiliser un modèle interne si elles estiment que leur propre modèle sera plus ajusté aux risques auxquels la société est exposée. Ainsi, en se rapprochant de la réalité, les exigences de solvabilité seront moindres.

La complexité d'un modèle interne va dépendre du profil de risque de l'assureur : en pratique les assureurs mettant en place un modèle interne sont conduits à développer des modèles mathématiques relativement complexes leur permettant de mieux refléter certains de leurs risques. Cette approche, entièrement supportée par l'assureur, nécessite une analyse profonde et souvent très couteuse de la structure de risque de l'entreprise. Elle est souvent basé sur des modélisations stochastiques qui joueront un rôle dans le processus de risk management, le système de gouvernance et de prise de décision, mais aussi dans la détermination et l'allocation du capital économique. La réalisation d'un tel modèle peut donc parfois s'avérer pertinent pour les plus grands organismes d'assurance. Il est possible de résumer le bien-fondé de la création d'un modèle interne grâce à ce tableau.

Avantages	Inconvénients
Modélisation stochastique mathématiquement plus précise	Modélisation Plus coûteuse en terme de développement que la formule standard
Le modèle correspond mieux au profil de risque de l'assureur	Le modèle doit être approuvé par l'ACPR
Réaliste, Robuste, Transparent	Estimation compliquée des paramètres du modèle
Meilleures corrélations liées aux facteurs de risque de l'assureur	Construction plus longue que la formule standard

Les avantages et inconvénients du modèle interne

## II Construction du modèle - ICS

### 4 Hypothèses de modélisation

#### 4.1 Choix de modélisation

L'objectif de ce mémoire est dual. D'une part, il est question de créer un modèle de calcul de Capital de Solvabilité Requis simplifié, en utilisant le logiciel Excel et sa plateforme de programmation VBA, afin de pouvoir comprendre chacun des risques qui forment la formule standard du SCR de la réglementation *International Capital Standards*. Dans un second temps, une fois ce modèle réalisé, l'objectif est de comparer cette formule standard avec celle proposée par Solvabilité II, déjà en place pour tous les organismes d'assurance membre de l'Union Européenne. L'intérêt sera alors de comparer les méthodes de calcul du SCR pour chaque risque de manière individuelle, afin de voir en quoi ICS se distingue de SII et quels enjeux ses modifications impliquent au niveau de la solvabilité des organismes assurantiels qui seront sous la juridiction des deux directives.

Afin de pouvoir comparer les valeurs des SCR entre Solvabilité II et *International Capital Standards*, les mêmes tables de mortalité et d'invalidité seront utilisées pour les deux modélisations. Ces tables sont celles proposées par l'INSEE. Voici une partie des taux de mortalité, qui seront utilisés pour calculer respectivement le Current Estimate et le Best Estimate d'ICS et de SII. Ce sont ensuite ces mêmes deux tables qui seront choquées afin de pouvoir obtenir le  $SCR_{Mortalité}$  et  $SCR_{Longévité}$

Age	Table de mortalité - TF 00-02				Age	Table de mortalité - TH 00-02			
	Lx	dx	Px	Qx		Lx	dx	Px	Qx
0	100000	384	99,62%	0,38%	0	100000	489	99,51%	0,49%
1	99616	33	99,97%	0,03%	1	99511	38	99,96%	0,04%
2	99583	21	99,98%	0,02%	2	99473	27	99,97%	0,03%
3	99562	17	99,98%	0,02%	3	99446	22	99,98%	0,02%
4	99545	14	99,99%	0,01%	4	99424	18	99,98%	0,02%
5	99531	12	99,99%	0,01%	5	99406	16	99,98%	0,02%
6	99519	11	99,99%	0,01%	6	99390	14	99,99%	0,01%
7	99508	10	99,99%	0,01%	7	99376	13	99,99%	0,01%
8	99498	10	99,99%	0,01%	8	99363	13	99,99%	0,01%
9	99488	10	99,99%	0,01%	9	99350	12	99,99%	0,01%
10	99478	11	99,99%	0,01%	10	99338	13	99,99%	0,01%

Figure 4.1 Aperçu des tables de mortalité (Source INSEE)

Avec  $| Q_x$  le taux de mortalité entre l'année  $x$  et  $x+1$ ;

$| P_x = 1 - Q_x$  le taux de survie entre l'année  $x$  et  $x+1$ .

De façon similaire, l'INSEE propose des tables de maintien de invalidité, qui seront utilisées dans les deux modèles pour le calcul des CE et BE, puis le  $SCR_{Invalidité}$  en stressant cette table grâce à un scénario de choc.

Afin de conserver les différences d'actualisation des flux entre les deux directives, le choix a été fait de conserver pour chacune des réglementations ses courbes de taux respectives. La courbe *Risk Free Rate* correspondra à la courbe de taux sans risque sans Valeur d'ajustement tandis que la courbe *Central Scenario* correspondra à la courbe de taux sans risque avec valeur d'ajustement. Les deux premières courbes seront utilisées lors de l'actualisation des actifs du portefeuille de l'organisme d'assurance tandis que les deux suivantes seront employées pour l'actualisation des *Current Estimate*, ou *Best Estimate* des passifs d'assurance.

## 4.2 Choix du portefeuille

Le modèle créé dans la suite du mémoire présente le calcul du SCR pour *International Capital Standards* d'un portefeuille fictif centré sur l'Épargne. De cette manière, pour chaque risque étudié, il sera obtenu un résultat concret et comparable par la suite avec Solvabilité II.

Pour des raisons de simplification et de cohérence avec Solvabilité II, l'entreprise fictive titulaire du portefeuille cité ci-dessus est considérée comme faisant partie de l'Union Européenne et sous le régime de Solvabilité II et de l'EIOPA. En revanche, il a été vu dans la présentation d'ICS que les entreprises assurantielles qui seront touchées par cette directive sont des compagnies possédant de nombreuses primes à travers au moins trois juridictions différentes. Ainsi, afin d'être en accord avec ce cadre de la réglementation, il est convenu que l'entreprise étudiée est l'entreprise solo présente en Europe et faisant partie d'un groupe qui lui est international. Étant donné que les calculs de solvabilité pour ICS se déroulent par juridiction et sont par la suite agrégés afin d'obtenir le SCR de l'entreprise groupe, calculer le SCR de l'entreprise fictive européenne est cohérent et permettra de comparer de manière pertinente les formules standards proposées par ICS et Solvabilité II.

Le portefeuille de passifs d'assurance étudié est composé de trois garanties :

- La garantie Tempo-Décès, qui regroupe des contrats à durée déterminée d'une année qui proposent à l'assuré de verser une cotisation unique en échange du règlement d'un montant garanti de la part de l'assureur au bénéficiaire du contrat en cas de décès de l'assuré durant l'année du contrat.

- La garantie Obsèques, qui regroupent des contrats à durée indéterminée où l'assuré paie chaque année une cotisation en échange du règlement d'un montant garanti par l'assureur au bénéficiaire du contrat en cas de décès de l'assuré

- La garantie Invalidité qui regroupent des contrats à durée indéterminée où l'assuré paie chaque année une cotisation en échange du règlement par l'assureur à l'assuré d'un montant garanti annuel si l'assuré est en incapacité de travailler du à son passage en état d'invalidité, et ce pendant toute la durée de son invalidité.

Ces trois garanties seront étudiées de manière individuelles, ainsi que leurs risques propres.

### 4.3 choix des risques étudiés

Les risques construits dans le modèle VBA de la formule standard de SCR pour ICS ont été choisis en fonction des passifs d'assurance dont le portefeuille concerné est composé. De cette manière, le choix a été fait de ne pas étudier les risques liés à l'assurance non-vie pour se concentrer sur ceux de la vie.

Ensuite, le risque de Catastrophe, défini par l'IAIS comme étant le risque associé à des évènements de sinistres qui ne sont pas encore arrivés, avec un rapport fréquence/sévérité très faible, ne sera pas étudié dans cette modélisation.

En effet, afin de calculer le SCR associé à ce risque, l'IAIS préconise la construction d'un modèle interne propre aux risques encourus par chaque entreprise et qui prend en compte les risques de catastrophes naturelles, de pandémie et de terrorisme. Ainsi, ce risque ne sera pas construit pour aucune des deux réglementations.

De cette manière, les risques qui seront étudiés et construits à travers les instructions données par l'IAIS dans sa formule standard de calcul de SCR sont les suivants :

- les risques de Marché :
  - Taux d'intérêt
  - Action
  - Immobilier
  - Change
  - Concentration
  - Spread
- Le risque de Crédit
- Les risques d'assurance :
  - Mortalité
  - Longévité
  - Incapacité/Morbidité
  - Frais
  - Rachat
- Le risque Opérationnel

Lors de la construction du modèle de Solvabilité II, seuls les risques mentionnés ci-dessus seront étudiés et les directives données par la formule standard seront suivies à la lettre afin d'avoir le modèle le plus comparable possible vis-à-vis de la formule standard d'*International Capital Standards*

## 5 Modélisation avec ICS

### 5.1 Présentation du calcul du SCR

Les différents choix énumérés précédemment permettent de créer une nouvelle pieuvre des risques simplifiée. Elle est adaptée de manière à convenir au portefeuille fictif utilisé dans ce mémoire. Ainsi, les risques dont ne souffre pas l'entreprise étudiée sont supprimés pour plus de simplicité et de clarté. Ceci permettra dans la suite du mémoire d'obtenir une comparabilité optimale lors de l'élaboration du second modèle suivant les directives de Solvabilité II.

Suivant les simplifications et adaptations citées, il est obtenu cette nouvelle pieuvre des risques.

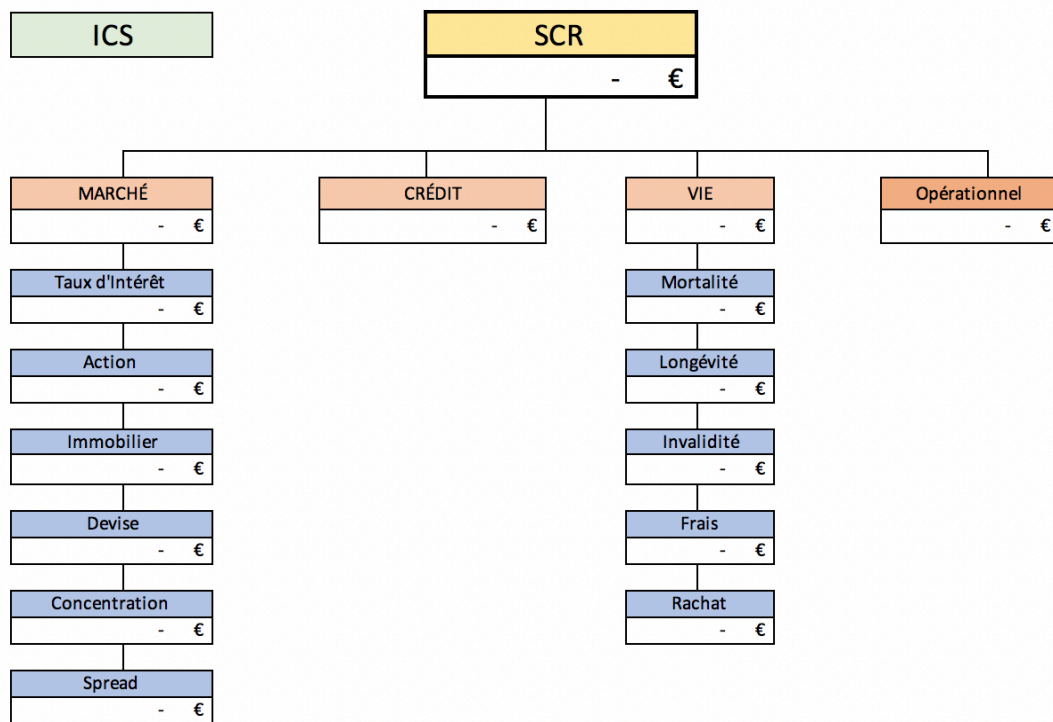


Figure 5.1 Pieuvre de la modélisation

L'étude de chacun des sous-modules de risque détaillée dans cette partie du mémoire, en partant du choix des données utilisées jusqu'au calcul numérique du SCR propre à chacun des sous-modules.

Il est à souligner que tous les sous-modules de risque des modules *Marché* et *Vie* imposés dans la formule standard sont repris dans ce modèle afin de se placer au plus proche de la réalité. De ce fait, les matrices d'agrégation des sous-modules seront les mêmes que celles dictées par l'IAIS.

MARCHÉ		Taux	Spread Up	Spread Down	Action	Immobilier	Devises	Concentration
		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Taux	- €	100%	25%	25%	25%	25%	25%	0%
Spread Up	- €	25%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
Spread Down	- €	25%	100%	100%	0%	0%	25%	0%
Action	- €	25%	75%	0%	100%	50%	25%	0%
Immobilier	- €	25%	50%	0%	50%	100%	25%	0%
Devises	- €	25%	25%	25%	25%	25%	100%	0%
Concentration	- €	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

VIE		Mortalité	Longévité	Invalité	Rachat	Frais
		- €	- €	- €	- €	- €
Mortalité	- €	100%	-25%	25%	0%	25%
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%	25%
Invalité	- €	25%	0%	100%	0%	50%
Rachat	- €	0%	25%	0%	100%	50%
Frais	- €	25%	25%	50%	50%	100%

Figure 5.2 Matrice d'agrégation des modules Marché et Vie

Ces matrices permettront, une fois les capitaux de solvabilité requis calculés pour les sous-modules, d'obtenir le  $SCR_{Vie}$  et le  $SCR_{Marché}$ .

Toutefois, la pieuvre ayant tout de même été modifiée, la matrice d'agrégation globale permettant de trouver le SCR de l'entreprise s'en voit elle aussi perturbée. Il sera donc utilisée la matrice réduite indiquée ci-dessous.

		VIE	MARCHÉ	CRÉDIT
		- €	- €	- €
VIE	- €	100%	25%	25%
MARCHÉ	- €	25%	100%	100%
CRÉDIT	- €	25%	25%	25%

Figure 5.3 Matrice d'agrégation du modèle

Bien qu'elle ne figure pas dans le texte de l'IAIS, il est ici introduit la notion de BSCR pour "SCR de base". En effet, seuls les modules "Vie", "Marché" et "Crédit" sont agrégés grâce à la matrice. Par la suite, le risque opérationnel est simplement additionné au résultat agrégé trouvé. Bien que n'apparaissant pas dans la pieuvre ni dans les résultats, il est intéressant d'introduire le BSCR car celui-ci existe et est répertorié dans le cadre de Solvabilité II. Cette valeur pourra donc être utile lors de la comparaison des deux modèles.

$$SCR = BSCR + SCR_{Op}$$

## 5.2 Les risques d'assurance

Lors de la création de ce modèle, le choix a été fait de ne se concentrer que sur les risques d'assurance concernant la Vie. Ainsi, le modèle présenté n'étudiera que les garanties Obsèques, Tempo-Décès et Invalidité, qui sont les garanties présentes dans le portefeuille de l'organisme fictif étudié dans ce mémoire. L'objectif est d'étudier tous les risques liés à l'assurance-vie dans chacune des trois garanties. Ainsi, un Capital de Solvabilité Requis propre à chaque risque sera calculé pour les trois garanties, et le SCR total lié à chaque risque sera égal à la somme des SCR des trois garanties.

Les Capitaux de Solvabilité Requis pour chacun des sous-modules des risques d'assurance se calculent par une approche de stress effectuée sur le *Current Estimate* du bilan. Ainsi, pour chacune des garanties, le modèle ICS effectue le calcul du *Current Estimate*, puis choque le CE par une approche de stress. Le SCR propre à chaque sous-module et garantie sera alors égal à la différence entre le CE choqué et le CE central.

$$SCR_{risque, garantie} = CE_{Choqué-risque, garantie} - CE_{Central, garantie}$$

## 5.2.1 La garantie Tempo-Décès

### 5.2.1.1 Méthode de calcul

La garantie Tempo-Décès regroupent des contrats d'assurance-vie à durée déterminée. L'assuré, en souscrivant à un contrat d'assurance-vie, paye une cotisation unique en échange du règlement d'un montant garanti au bénéficiaire de l'assuré en cas de décès durant la période de validité du contrat. Ce contrat est ensuite renouvelable annuellement si l'assuré le souhaite. Les contrats présents dans le portefeuille de passifs de l'organisme d'assurance étudié sont des contrats d'une durée d'une année. De cette manière, le risque de rachat n'impliquera pas de Capital Requis car aucun contrat n'a la possibilité d'être racheté. De même, le SCR du risque d'invalidité sera nul car l'état de validité de l'assuré n'est pas un critère qui influence ce type de contrat. Ainsi, seuls les risques de mortalité, de longévité et de frais auront un SCR non nul pour cette garantie.

Pour la garantie Tempo-Décès, le portefeuille de contrats regroupe pour notre organisme d'assurance un total de 4788 contrats, d'une durée fixe d'un an.

L'objectif de la modélisation de cet ensemble de contrats est de calculer le SCR lié au trois risques cités ci-dessus. Pour ceci, il faut calculer le *Current Estimate*, ou CE, lié à cette garantie. Le CE est défini comme étant égal à la somme des flux futurs liés à ce portefeuille de passifs.

Ainsi, dans ce modèle pour la garantie Tempo-Décès, les flux seront calculés sur l'année  $n+1$  seulement, étant donné que les contrats d'assurance concernés se déroulent sur une durée d'une année. Le CE sera calculé comme suit:

$$CE_i = (\text{Prestation}_i - \text{Cotisation}_i + \text{Frais}_i + \text{PSAP}_i + \text{Charges Techniques}_i) \times FA_1$$

|  $i$  représente le contrat de l'assuré  $i$ ;

Avec | *Frais* la somme des frais de gestion de sinistres, d'administration et d'acquisition;

| *PSAP* les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $FA_1$  le facteur d'actualisation donnée par la courbe de taux du scénario central vue précédemment, pour l'année 1 dans notre cas.

Ce calcul est réalisé pour chacun des 4788 contrats d'assurance, puis le *Total Current Estimate* est égal à la somme du CE de chaque contrat.

Le montant de la cotisation est défini pour chaque contrat à l'avance, il n'y a donc pas de calcul à effectuer pour cette partie du CE.

Pour calculer le montant des prestations, l'IAIS fournit des tables de mortalité. De cette manière, la prestation de chaque assuré sera égale au montant de sa garantie multiplié par la probabilité que l'assuré décède sur l'année à venir.

Le montant de chacun des trois types de frais est égal au montant de la prestation de l'assuré multiplié par le pourcentage, fixé, que ce frais incombe.

Enfin, les Provisions pour Sinistres À Payer, ou PSAP, sont elles aussi fixées et déterminées à l'avance par l'organisme d'assurance en fonction des données collectées les années précédentes pour ces types de contrats.

Le *Current Estimate central* est alors obtenu en sommant ces montants. Afin de calculer le SCR lié à chacun des risques, il faut ensuite choquer le CE pour chacun des sous-modules.

### 5.2.1.2 Le risque de mortalité

Pour le risque de mortalité, la table de mortalité est choquée de +17,5% afin de simuler un scénario dans lequel le taux de mortalité serait anormalement plus élevé que la normale. Ainsi, le montant de chaque prestation se trouve augmenté, ce qui augmente par conséquent le *-Current Estimate* puisque les cotisations restent elles les mêmes.

Finalement, il est facile de calculer le  $SCR_{T-D, \text{Choc Mort}}$  :

$$SCR_{T-D, \text{Mortalité}} = CE_{T-D, \text{Choc Mort}} - CE_{\text{Obs, Central}}$$

### 5.2.1.3 Le risque de longévité

Pour le risque de longévité, le scénario de choc est similaire, mais opposé. En effet, la table de mortalité est choquée de -12,5% afin de simuler un scénario dans lequel le taux de mortalité serait anormalement moins élevé que la normale. Ainsi, le montant de chaque prestation se trouve diminué, ce qui diminue par conséquent le *Current Estimate* puisque les cotisations restent les mêmes.

$$SCR_{\text{Longévité}} = CE_{\text{Choqué, Longévité}} - CE_{\text{Central}}$$

De cette manière, pour la garantie Tempo-Décès, le montant de  $SCR_{T-D, \text{Choc Long}}$  est donc nul, car le montant du  $CE_{T-D, \text{Central}}$  est plus élevé que celui du  $CE_{T-D, \text{Choc Long}}$

### 5.2.1.4 Le risque de Frais

Le risque de frais concerne simultanément les frais de gestion de sinistres, les frais d'administration et les frais d'acquisition. Le choc du risque de Frais se réalise en deux temps :

- Un premier choc où le taux de frais est augmenté de 6%;
- Un second choc où le taux de frais trouvé à la suite du premier choc est augmenté d'1% pour simuler l'inflation.

Ainsi, pour chacun des trois frais,

$$\text{Taux}_{\text{choqué}} = \text{Taux}_{\text{base}} \times (1 + 6\%) + 1\%$$

Enfin,

$$SCR_{T-D, \text{Choc Frais}} = CE_{T-D, \text{Choc Frais}} - CE_{T-D, \text{Central}}$$



### 5.2.1.5 Synthèse

ICS - Paramétrage des chocs - Garantie Tempo-Décès				
Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc	Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc
Mortality	Mortality Rate	12,5%	1	12,5%
Longevity	Longevity Rate	17,5%	0	0%
Expense	Expense Rate	6%	0	0%
	Inflation Rate	1%		0%

Figure 5.4 Chocs de stress pour la garantie Tempo-Décès

Afin de calculer chacun des risques de manière individuelle, une macro est réalisée, durant laquelle chacun des chocs est tour à tour activé pendant que les autres sont inexistantes. Ainsi, les trois  $CE_{T-D, Choc}$  sont calculés simultanément et par rapport au  $CE_{T-D, Central}$

ICS - SCR Tempo-Décès		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Mortalité	81 144	41 132
Longévité	-	-
Frais	8 834	4 686

Current Estimate central et choqués				
Current Estimate	Liste des chocs			
	Central	Mortalité	Longévité	Frais
Brut	569 653	650 797	456 050	578 486
Net	289 308	330 441	231 723	293 994

Figure 5.5 Synthèse des SCRs des risques liés à la garantie Tempo-Décès

## 5.2.2 La garantie Obsèques

La garantie Obsèques regroupe les contrats d'assurés ayant souscrits à un contrat d'assuré. La portefeuille de l'organisme d'assurance fictive qui est étudié dans ce mémoire compte 9064 contrats de ce type, qui sont divisés entre des contrats à cotisation unique et des contrats à cotisation viagère.

Les SCR des différents sous-modules du risque de Vie se calculent, de la même manière que les deux premières garanties, comme la différence entre le *Current Estimate* choqué par un risque précis et le *Current Estimate* central de la cette garantie.

Il faut ainsi dans le modèle calculer dans un premier temps le *Current Estimate* avant de pouvoir obtenir les différents SCR.

Ces contrats étant des contrats d'assurance-vie ayant la possibilité d'être rachetés à tout moment par l'assureur, les risques concernant ce type de contrats seront les risques de mortalité et de longévité, le risque de frais le risque de rachat. Le risque d'invalidité sera nul pour cette garantie car les tables de maintien ou de passage en invalidité ne seront pas utilisées pour calculer le *Current Estimate*.

### 5.2.2.1 Calcul du *Current Estimate*

Comme il a été vu précédemment, le *Current Estimate* est défini comme étant la somme de tous les flux probables, actualisés avec une courbe de taux sans risque, qui est la courbe de *Central Scenario* pour ICS.

Ainsi, il est de mise de calculer tous les flux probables afin de pouvoir obtenir les Capitaux de Solvabilité Requis propres à chaque module de risque.

#### Calcul de projection des cotisations

Pour les contrats à cotisation unitaire, la cotisation a déjà été réglée lors de la souscription au contrat d'assurance. De la même manière, afin de simplifier les calculs, il sera supposé que les cotisations des assurés ayant souscrit un contrat à cotisation temporaire ont été toutes réglées dans le passé.

Ainsi,

$$C_{U,i} = C_{T,i} = 0$$

Il ne reste alors plus qu'à projeter les cotisations des assurés ayant souscrits à des contrats viagers. Pour cela, on utilise les tables de mortalité fournies par l'IAIS. La formule suivre est la suivante.

$$C_{V,1} = C_{V,0} \times (1 - q_{x,\text{age}})$$

et

$$C_{V,i} = C_{V,i-1} \times (1 - q_{x,\text{age}+i-1})$$

|  $C_{V,0}$  la cotisation initiale de l'assuré,

Avec |  $C_{V,i}$  la cotisation de l'assurée projetée pour l'année  $n + i$

|  $q_{x,i}$  le coefficient de la table de mortalité qui informe le taux de décès pour les individus entre l'âge  $i$  à l'âge  $i + 1$ .

### Calcul de projection des prestations

La projection des prestations se calcule indépendamment du type de cotisation. En effet, le type de cotisation n'est en rien corrélé avec la façon dont les sinistres vont survenir pour les contrats de la garantie Obsèque.

Le choix a été fait de projeter les prestations sur une durée de 120 années, considérant que tous les assurés seront décédés après cette date, et donc que l'ensemble des flux sera nul à partir de cette date.

Les prestations se calculent en utilisant les tables de mortalité fournies par l'INSEE

$$\begin{aligned} P_1 &= \text{Montant}_{\text{garanti}} \times q_{x,\text{age}} \\ P_2 &= \text{Montant}_{\text{garanti}} \times q_{x,\text{age}+1} \times (1 - q_{x,\text{age}}) \\ &\vdots \\ P_i &= \text{Montant}_{\text{garanti}} \times q_{x,\text{age}+i-1} \times (1 - q_{x,\text{age}+i-2}) \times \cdots \times (1 - q_{x,\text{age}}) \end{aligned}$$

|  $P_i$  la projection de la prestation due à l'assurée l'année  $n + i$ ;

Avec |  $\text{Montant}_{\text{garanti}}$  le montant de prestations minimum promis par l'organisme d'assurance lors de la signature du contrat d'assurance-vie;

|  $q_{x,i}$  le coefficient de la table de mortalité qui donne le taux de décès pour les individus entre l'âge  $i$  à l'âge  $i + 1$ .

### Calcul du rachat à travers la Provision Mathématique

Afin de calculer le rachat des contrats de la garantie Obsèque, il faut calculer la Provision Mathématique, définie comme étant la différence entre la valeur actuelle des engagements pris par l'assureur et celle des engagements pris par l'assuré. Cette provision permet aux organismes d'assurance de constituer des fonds leur permettant de faire face à leur engagements à tout moment, notamment en cas de rachats massifs de leurs assurés.

Ainsi,

$$PM = VAP_{\text{assureur}} - VAP_{\text{assuré}}$$

Il est alors de mise de calculer les Valeurs Actuelles des Prestations pour les deux partis et pour chaque année où les flux doivent être calculés afin d'en déduire le CE.

$$VAP_{\text{assureur}, i} = \sum_{k=0}^{120-i} \text{Montant}_{\text{garanti}} \times \text{Reval}_{\text{cumulée}, i+k} \times \frac{l(\hat{\text{age}} + i + k - 1) - l(\hat{\text{age}} + i + k)}{l(\hat{\text{age}} + i)}$$

Pour les contrats de type Unitaire, la cotisation ayant déjà été payée par l'assuré, il est obtenu que :

$$VAP_{\text{assuré}, U} = 0$$

Pour les contrats de type viagers, le calcul de la  $VAP_{\text{assuré}}$  est similaire à celui de la  $VAP_{\text{assureur}}$

$$VAP_{\text{assuré}, \text{année } i} = \text{Cotisation}_{\text{initiale}} \times \alpha$$

Une fois la Provision Mathématique obtenue, le calcul du rachat s'obtient de manière assez simple. Chacun des contrats de la garantie Obsèque est regroupé par type de contrat (Individuel ou Collectif) et tranche d'âge. Pour l'année  $n$ , l'assureur collecte les taux de rachat qui vont servir à projeter les rachats des années à venir. De cette manière, pour chaque année de projection des flux, le rachat de l'année  $n + i$  est égal au total des provisions mathématiques projetées pour l'année  $n + i$ , multiplié par le taux de rachat de l'année  $n$ .

1 - Taux de rachats				
Contrats (I/C)	Tranche d'âges	PM au 31/12/N-1	Rachat de l'année N	Taux de rachat
I	12-17	0	0	0,00%
C	12-17	0	0	0,00%
I	18-26	494092	345	0,07%
C	18-26	0	0	0,00%
I	27-61	7626465	10607	0,14%
C	27-61	2267	0	0,00%
I	62-75	5161562	9634	0,19%
C	62-75	27682	0	0,00%
I	76-84	4013486	9634	0,23%
C	76-84	37575	0	0,00%
I	85+	1064017	0	0,00%
C	85+	66211	0	0,00%

Figure 5.6 Taux de rachat pour les contrats de la garantie Obsèque

Current Estimate pour la garantie Obsèque

$$\begin{aligned}
 CE_{\text{Obs}} = & \begin{pmatrix} P_{\text{reval},1} \\ \vdots \\ P_{\text{reval},120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_{120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_{120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{g,1} + F_{Ac,1} + F_{Ad,1} \\ \vdots \\ F_{g,120} + F_{Ac,120} + F_{Ad,120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{120} \end{pmatrix} \\
 & + (CT + PSAP) \times FA_1
 \end{aligned}$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de *Central Scenario* de l'année  $i$ ,

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $C_i$  les cotisations projetées pour l'année  $n + i$ ,

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $n + i$ ,

|  $F_{Ac}$  les frais d'acquisition sur l'année  $n+1$ ,

|  $F_{Ad}$  les frais d'administrations sur l'année  $n+1$ ,

| CT les charges techniques sur l'année  $n+1$ .

### 5.2.2.2 Les risques de Mortalité et Longévité

#### Le risque de mortalité

Le calcul du SCR du risque de mortalité pour la garantie Obsèque se déroule de la même manière que celui pour la garantie Tempo-Décès. Les taux de mortalité  $q_x$  des tables données par l'INSEE sont chacune augmentées de 17,5 % afin de simuler une perturbation significative et imprévue dans le nombre de décès.

Les éléments faisant parti du  $CE_{Obs}$  qui sont impliqués par cette perturbation sont :

- Les projections de prestations;
- Les projections de cotisations;
- La provision mathématique et donc par conséquent le rachat.

Les chocs sur ses trois éléments se font simultanément en appliquant le stress directement aux tables de mortalité. De ce fait, un nouveau *Current Estimate* est obtenu, nommé le  $CE_{Obs, Choc Mortalité}$ , et il est alors facile de calculer le  $SCR_{Mortalité, Obs}$  :

$$SCR_{Mort, Obs} = CE_{Obs, Choc Mort} - CE_{Obs, Central}$$

#### Le risque de longévité

Le calcul du SCR du risque de longévité pour la garantie Obsèque se déroule de la même manière que celui pour la garantie Tempo-Décès. La table de mortalité est choquée de -12,5%. Ainsi, le montant de chaque prestation se trouve diminué, ce qui diminue par conséquent le *Current Estimate* puisque les cotisations restent elles les mêmes.

$$SCR_{Long, Obs} = CE_{Obs, Choc Long} - CE_{Obs, Central}$$

De cette manière, pour la garantie Tempo-Décès, le montant de  $SCR_{Longévité}$  est donc nul, car le montant du  $CE_{Central}$  est plus élevé que celui du  $CE_{Choc Longévité}$

### 5.2.2.3 Le risque de Frais

Concernant le risque de Frais, le calcul du SCR pour la garantie Obsèque se déroule exactement de la même façon pour la garantie Tempo-Décès : le taux des frais de gestion de sinistres, des frais d'acquisition et des frais de d'administration se voit augmenté suivant la formule :

$$Taux_{choqué} = Taux_{base} \times (1 + 6\%) + \alpha$$

|  $\alpha = 1\%$  durant les 10 premières années de projection;

Avec |  $\alpha = 2\%$  durant les 10 années de projection suivantes;

|  $\alpha = 3\%$  à partir de la 21ème année de projection.

Par la suite,

$$SCR_{Frais, Obs} = CE_{Obs, Choc Frais} - CE_{Obs, Central}$$

### 5.2.2.4 Le risque de Rachat

Le calcul du Capital de Solvabilité Requis pour le risque de rachat se divise en trois scénarios. Les deux premiers sont des chocs relatifs qui simulent des scénarios de hausse et de baisse du taux de rachat sur toutes les années de projection des flux, tandis que le troisième s'emploie à simuler un évènement de rachat massif pour l'année  $n + 1$  seule.

- Scénario relatifs :

$$\text{Rachat}_{\text{Choc, rel}} = \sum_{i=0}^{120} \text{Rachat}_{\text{central}} \times (1 + \alpha)$$

Avec  $\alpha = +30\%$  pour le scenario de hausse de rachat

$\alpha = -30\%$  pour le scenario de baisse de rachat

- Scénario massif :

Pour le scénario de Rachat massif, on suppose que tous les contrats susceptibles d'être rachetés, le sont, et ce à une hauteur de 30 %. Ainsi, pour la première année de projection, c'est-à-dire l'année  $n=1$ , il est obtenu :

$$\text{Rachat}_{\text{Choc, Mass}} = \text{PM}_{n+1} \times 30\%$$

et pour les années suivantes, le rachat est considéré comme nul.

### 5.2.2.5 Synthèse

ICS - Paramétrage des chocs SCR - Garantie Obsèques						
Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc			Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc
Mortalité	Taux de mortalité	12,5%			1	12,5%
Longévité	Taux de mortalité	-17,5%			0	0%
Frais	Taux de frais	6%			0	0%
	Taux d'inflation	1%	2%	3%	0	0%
Rachat	Sc baisse	-40%			0	0%
	Sc hausse	40%			0	0%
	Sc masse	30%			0	0%

Figure 5.7 Chocs de stress pour la garantie Obsèque

SCR Vie Obsèques		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Mortalité	1 002 539	1 002 539
Longévité	-	-
Frais	676 026	676 026
Rachat	672 180	672 180

BE central et choqués							
Best Estimate	Liste des chocs						
	Central	Mortalité	Longévité	Frais	Rachat (sc baisse)	Rachat (sc hausse)	Rachat (sc masse)
Brut	6 304 453	7 306 992	4 645 753	6 980 478	6 194 734	6 414 171	6 976 633
Net	6 304 453	7 306 992	4 645 753	6 980 478	6 194 734	6 414 171	6 976 633

Figure 5.8 Synthèse des SCR des risques liés à la garantie Obsèque

## 5.2.3 La garantie Invalidité

### 5.2.3.1 Calcul du *Current Estimate*

Le portefeuille de garantie Invalidité est composé exclusivement de contrats où l'assuré se trouve déjà en état d'invalidité. L'objectif du calcul du *Current Estimate* pour cette garantie est donc d'actualiser les flux de ces contrats et d'estimer le temps pendant lequel les assurés vont rester en état d'invalidité.

De cette façon, la seule table de taux dont le modèle a besoin est celle de maintien en invalidité, car le modèle ne traitera pas la possibilité de passage en état d'invalidité ou de passage d'état d'invalidité à l'état d'incapacité.

La garantie Invalidité est composée de cinq contrats où l'assuré est déjà en état d'invalidité, auxquels sont ajoutés les contrats d'assurés souscrivant à cette même garantie pour un an, qui ne sont pas en état d'invalidité et qui paieront des cotisations à partir de l'an prochain. De cette manière, seul le risque d'Invalidité et de frais posséderont un SCR non nul pour cette garantie. En effet, les SCR des risques de mortalité et de longévité seront nuls car les tables de mortalité ne sont pas utilisées, et le SCR du risque de rachat est également nul car les contrats n'ont pas la possibilité d'être rachetés par l'assuré.

Le choix a été fait de projeter les flux sur une période de 50 années, car il est considéré que passé cette date, tous les flux pour un contrat d'invalidité seront nuls, car l'âge de départ à la retraite aura été atteint pour tous les assurés titulaire d'un contrat d'invalidité.

Afin de pouvoir calculer les SCR pour les risques d'Invalidité et de Frais, il est nécessaire de calculer le *Current Estimate*. Celui-ci se calcule en deux temps, car les contrats sont divisés en deux parties, les personnes valides souscrivant au contrat d'invalidité pour une période d'un an, et les personnes ayant déjà souscrit à ce contrat et qui se trouvent actuellement en état d'invalidité. Il existera alors un  $CE_{Inv, \text{ en cours}}$  et un  $CE_{Inv, \text{ fut}}$ .

Pour obtenir le  $CE_{Inv, \text{ en cours}}$ , il faut calculer les flux liés aux assurés en état d'invalidité. Il faut ainsi estimer les prestations que l'organisme d'assurance devra régler à l'assuré lors des cinquante prochaines années. Pour ce faire, l'IAIS fournit une table de maintien en Invalidité qui permet d'estimer ces prestations.

De cette manière, chaque année, les flux de prestation sont égales au montant annuel de la rente multiplié par la probabilité qu'il soit encore en invalidité l'année suivante, et ce jusqu'à ce que l'assuré atteigne l'âge de son départ en retraite.

Table de maintien en invalidité										
AGE/ANNEES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	10 000	9 887	9 759	9 627	9 465	9 330	9 195	9 099	9 009	8 957
17	10 000	9 887	9 759	9 627	9 465	9 330	9 195	9 099	9 009	8 957
18	10 000	9 887	9 759	9 627	9 465	9 330	9 195	9 099	9 009	8 957
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
34	10 000	9 862	9 735	9 618	9 441	9 267	9 126	9 016	8 932	8 849
35	10 000	9 854	9 730	9 607	9 425	9 231	9 099	8 987	8 878	8 764
36	10 000	9 844	9 713	9 596	9 406	9 230	9 082	8 979	8 858	8 765
37	10 000	9 841	9 712	9 601	9 415	9 241	9 089	9 006	8 881	8 756
38	10 000	9 830	9 696	9 570	9 402	9 240	9 091	9 009	8 872	8 733
39	10 000	9 801	9 653	9 531	9 371	9 214	9 089	9 010	8 869	8 718

Figure 5.9 Aperçu de la table de maintien en Invalidité de l'INSEE

Il est ensuite important de revaloriser les flux et de les actualiser en utilisant la courbe d'actualisation *Central Scenario*. Cette courbe est la courbe de taux sans risque auxquels a été ajouté une *Adjustment Value* pour

valeur d'ajustement, qui permet à l'organisme d'assurance d'actualiser de manière plus précise que la courbe RFR ses passifs d'assurance.

Ensuite, le calcul des frais de gestion de sinistres est un simple pourcentage de ces flux pour chaque année, fixé par l'organisme d'assurance de manière automatique. Ces frais de gestion sont eux aussi multipliés par la courbe d'actualisation *Central Scenario*.

On ajoute à ces deux projections les PSAP pour obtenir le  $CE_{Inv, \text{ en cours}}$

$$CE_{Inv, \text{ en cours}} = \left( \begin{pmatrix} \text{Flux reval}_{\text{en cours},1} \\ \vdots \\ \text{Flux reval}_{\text{en cours},50} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{g,\text{en cours},1} \\ \vdots \\ F_{g,\text{en cours},50} \end{pmatrix} \right) \times \begin{pmatrix} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{50} \end{pmatrix} + PSAP \times FA_1$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de *Central Scenario* de l'année  $i$ ;

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $i$ ;

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer.

Pour obtenir le  $CE_{Inv, \text{ fut}}$ , ce sont les contrats que les assurés en état de validité souscrivent pour une durée d'un an qui sont étudiés. Ce sont des contrats temporaires, les cotisations seront donc comptabilisées sur la seule année de durée de leur contrat, tandis que les flux de projections de sinistres seront eux calculés sur les cinquante prochaines années. Pour ce faire, les sinistres des contrats où les assurés sont en état d'invalidité seront utiliser afin d'estimer la probabilité que les assurés valides passent en état d'invalidité. Pour l'organisme d'assurance fictif qui est étudié dans ce modèle, le ratio S/P est fixé à 36 %. Ce ratio est calculé historiquement vis-à-vis des données collectées durant les années précédentes. Ensuite, les flux de prestations sont obtenus en utilisant la table de maintien en Invalidité. De la même manière que pour le calcul du  $CE_{Inv, \text{ en cours}}$ , il est raisonnable d'estimer ses flux sur seulement les 50 premières années.

$$CE_{Inv, \text{ fut}} = \left( \begin{pmatrix} \text{Flux}_{\text{fut},1} \\ \vdots \\ \text{Flux}_{\text{fut},50} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{g,\text{fut},1} \\ \vdots \\ F_{g,\text{fut},50} \end{pmatrix} \right) \times \begin{pmatrix} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{50} \end{pmatrix} + (-C + F_{Ac} + F_{Ad} + CT)_{n+1} \times FA_1$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de *Central Scenario* de l'année  $i$ ,

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $C_{n+1}$  les cotisations des nouveaux assurés,

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $n + i$ ,

|  $F_{Ac,n+1}$  les frais d'acquisition sur l'année  $n+1$ ,

|  $F_{Ad,n+1}$  les frais d'administrations sur l'année  $n+1$ ,

|  $CT_{n+1}$  les charges techniques sur l'année  $n+1$ .

Une fois les deux différents CE obtenus, le  $CE_{Invalidité}$  est la somme des deux premiers.

$$CE_{Inv, \text{ Total}} = CE_{Central} = CE_{Inv, \text{ en cours}} + CE_{Inv, \text{ fut}}$$



### 5.2.3.2 Le risque d'Invalidité

Afin de calculer le Capital de Solvabilité Requis lié au risque d'invalidité, l'IAIS propose deux scénarios de choc qui ont tous les deux pour objectif de stresser la table de maintien en invalidité. En effet, étant donné que la projection du nombre d'assurés qui vont passer en état d'invalidité est estimée en fonction d'un ratio Sinistre sur Prime calculées à partir des données collectées sur les années précédentes, seuls les contrats dont les assurés sont déjà en état d'invalidité sont choqués.

Les deux scénarios indiqués dans la formule standard de l'IAIS sont le scénario de *Recovery Rate*, pour choc de récupération et le scénario par choc de *Inception Rate* pour choc de Création :

- Le premier propose un scénario dans lequel un nombre certain de contrats vont être récupérés, c'est-à-dire que les taux de maintien en invalidité vont diminuer, dans notre cas de 20 %, par rapport à la normale. Ainsi, selon ce scénario, le Current Estimate pour nos contrats va diminuer car la projection des flux sera plus faible à celle projetée pour le scénario central.

- Le second scénario propose un schéma inverse, schéma surnommé "de création", où les taux de maintien en invalidité sont plus élevés que la normale. Pour ce scénario, l'IAIS impose une augmentation de 25 % des taux de maintien en invalidité. Pour nos contrats, cela signifie que plus d'assurés seront supposés rester plus longtemps en invalidité, ce qui va augmenter la projection des flux et ainsi le Current Estimate.

Par la suite, le SCR pour le risque d'invalidité est égale au maximum des deux scénarios de la différence de Current Estimate entre le scénario choqué et le scénario central. Ainsi, dans notre cas:

$$SCR_{Inv, Inv} = \text{Max}(CE_{Inv, Choc Création} - CE_{Central}; CE_{Inv, Choc Récupération} - CE_{Inv, Central} = CE_{Inv, Choc Création})$$

### 5.2.2.3 Le risque de Frais

Le procédé de calcul du SCR est la même que pour la garantie Obsèques. Les montants du taux de frais et du taux d'inflation restent les mêmes, c'est-à-dire 6% pour le taux de frais et  $\alpha$  % pour le taux d'inflation :

$$\text{Taux}_{\text{choqué}} = \text{Taux}_{\text{base}} \times (1 + 6\%) + \alpha$$

|  $\alpha = 1\%$  durant les 10 premières années de projection;

Avec |  $\alpha = 2\%$  durant les 10 années de projection suivantes;

|  $\alpha = 3\%$  à partir de la 21ème année de projection.

et

$$SCR_{Inv, Frais} = CE_{Inv, Choc Frais} - CE_{Inv, Central}$$

### 5.2.3.4 Synthèse

ICS - Paramétrage des chocs SCR - Garantie Invalidité				
Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc choc	Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc
Invalidité	Taux de Création	25%	0	0%
	Taux de Récupération	-20%	1	-20,0%
Invalidité	Taux de frais	6%	0	0%
	Taux d'inflation	1%	0	0%

Figure 5.10 Chocs de stress pour la garantie Invalidité

ICS - SCR Garantie Invalidité		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Frais	12 233	7 118
Invalidité	14 146	6 633

Current Estimate central et choqués				
Current Estimate	Central	Frais	Invalidité	
			Choc de Récupération (-20%)	Choc de Création (+25%)
Brut	294 830	307 063	285 581	308 976
Net	159 167	166 285	154 256	165 800

Figure 5.11 Synthèse des SCR des risques liés à la garantie Invalidité

### 5.2.4 Agrégation des risques liés à l'assurance-vie

Une fois le capital de solvabilité requis obtenu pour chaque risque et chaque garantie, il ne reste plus qu'à sommer puis agréger ces quantités afin d'obtenir le SCR global correspondant aux fonds propres nécessaires à conserver afin de pouvoir faire face à tout type d'évènement concernant la souscription-vie, et ce dans 99,5 % des cas.

ICS	SCR - VIE	1 686 278 €
-----	-----------	-------------

Bilan des garanties				
	Obsèques	Temporaire Décès	Invalidité	Total
Mortalité	1 002 539 €	41 132 €		1 043 672 €
Longévité	- €	- €		- €
Invalidité			6 633 €	6 633 €
Rachat	672 180 €			672 180 €
Frais	676 026 €	4 686 €	7 118 €	687 830 €

Agrégation des sous-modules					
	Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	Frais
Mortalité	1 043 672 €	- €	6 633 €	672 180 €	687 830 €
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%
Invalidité	6 633 €	25%	0%	100%	50%
Rachat	672 180 €	0%	25%	0%	100%
Frais	687 830 €	25%	25%	50%	100%

Figure 5.12 Calcul du SCR<sub>Taux</sub>

## 5.3 Le risque de marché

Le module "Risque de Marché" est mis en place par ICS pour imposer aux compagnies d'assurance de disposer de fonds suffisants pour palier à une crise affectant plusieurs secteurs : le marché des actions, l'immobilier, ou encore le système monétaire international. Le risque de marché est décomposé en six sous-modules de risque, comme présenté précédemment.

L'objectif de cette partie est d'expliquer comment ICS modélise chacun de ces sous-modules afin de calculer les fonds propres nécessaires à la compagnie afin d'être solvable selon les conditions imposées par l'IAIS.

### 5.3.1 Taux d'Intérêt

Le risque de taux d'intérêt est défini par les textes de la réglementation ICS comme étant le risque de changement dans la valeur des ressources en capital causé par des changements imprévus dans le niveau ou la volatilité des taux d'intérêt. Ces changements imprévus dans la valeur des taux peuvent perturber de nombreux éléments du bilan Actif-Passif. Ainsi, à la différence des autres risques de marché, le risque de taux ne se calcule pas seulement en appliquant un choc de stress sur des éléments de l'actif de l'organisme d'assurance, mais également en appliquant cette même approche de stress au *Current Estimate* du passif de l'organisme. par conséquent, le Capital de Solvabilité Requis s'obtient en faisant la différence de NAV, ou *Net Asset Value*, qui est définie comme étant la différence entre l'actif et le passif de l'organisme d'assurance.

$$\begin{aligned} SCR_{\text{Taux}} &= \Delta NAV = NAV_{\text{Central}} - NAV_{\text{Choqué}} \\ &= \Delta(\text{Actif} - \text{Passif}) = (\text{Actif}_{\text{Central}} - \text{Actif}_{\text{Choqué}} - (\text{CE}_{\text{Central}} - \text{CE}_{\text{Choqué}})) \\ &= (\text{Actif}_{\text{Central}} - \text{Actif}_{\text{Choqué}}) + (\text{CE}_{\text{Choqué}} - \text{CE}_{\text{Central}}) \end{aligned}$$

#### 5.3.1.1 Choc de l'Actif

Pour obtenir le  $\Delta(\text{Actif})$ , il faut simuler les cinq scénarios différents de stress proposés par l'IAIS et présentés précédemment. Le premier représente la moyenne inversée attendue sur l'année suivante, tandis que les quatre autres sont deux paires symétriques de stress indépendants :

- un duo de stress *Level Up* et *Level Down*
- un duo de stress *Twist Up to Down* et *Twist Down to Up*.

Ces cinq scénarios sont traités de manière individuelle et indépendante, afin d'obtenir leur propre  $\Delta(\text{Actif})$ . ils utilisent chacun une courbe de stress, renseignée par l'IAIS dans ses *Field Testing* sous la forme suivante.

EUR.FT19-(20190517)	[1]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
17/05/2019	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
LTFR	3,80%	3,95%	4,33%	3,57%	3,95%	3,95%
Maturities	0 (RFR)	IRR Mean	IRR Up	IRR Dn	IRR TW1	IRR TW2
Y1	-0,33%	0,04%	0,43%	-0,44%	-0,16%	0,15%
Y2	-0,28%	0,15%	0,74%	-0,63%	-0,27%	0,38%
Y3	-0,18%	0,29%	1,01%	-0,71%	-0,24%	0,54%
Y4	-0,05%	0,45%	1,27%	-0,70%	-0,10%	0,66%
Y5	0,10%	0,62%	1,51%	-0,66%	0,10%	0,76%
Y6	0,24%	0,78%	1,73%	-0,59%	0,30%	0,84%
Y7	0,37%	0,92%	1,91%	-0,51%	0,50%	0,90%
Y8	0,50%	1,06%	2,08%	-0,43%	0,70%	0,96%
Y9	0,62%	1,19%	2,24%	-0,34%	0,88%	1,01%
Y10	0,73%	1,30%	2,37%	-0,26%	1,05%	1,06%

Figure 5.13 Courbes de stress pour le risque de taux (Source IAIS)

La première courbe nommée RFR pour *Risk Free Rate*, est la courbe de taux sans risque utilisée dans le scénario central afin d'actualiser les flux pour l'actif de l'organisme d'assurance. Elle diffère légèrement de la courbe *Central Scenario*, également une courbe de taux sans risque, qui elle est utilisée pour actualiser les passifs d'assurance, car possédant une valeur d'ajustement permettant de mieux refléter le passif de l'acteur.

Les cinq autres courbes sont les courbes de stress de chacun des scénarios du risque de taux. Elles remplaceront tour à tour la courbe de taux sans risque RFR afin de choquer l'actif de l'organisme.

Les courbes données par l'IAIS fournissent les taux des 89 premières années. Dans ce modèle, il est considéré qu'à partir de la 90<sup>ème</sup> année, le taux sera égale au LTFR, le *Long Term Forward Rate*, c'est-à-dire le taux vers lequel la courbe va éventuellement finir par converger.

Pour chacun de ces scénarios, il faut obtenir à partir de ces taux d'actualisation la courbe des facteurs d'actualisation, calculée grâce à la formule suivante :

$$FA_i = (1 + TA_i)^{(-i + 0,5)}$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de l'année  $i$

Avec |  $TA_i$  le taux d'actualisation de l'année  $i$  donnée par les courbes de l'IAIS

|  $i$  l'année d'actualisation de l'obligation.

Une fois ces calculs réalisés pour chaque taux d'actualisation, la courbe de facteur d'actualisation est obtenue et prête à être employée dans les scénarios du risque de taux. Les courbes de taux suivantes présentent les courbes de facteur d'actualisation pour les scénarios *Level Up* et *Level Down* du risque de taux, pour les dix premières années d'actualisation.

Année	Taux (Level Up)	Facteur d'actualisation (Level Up)	Taux (Level Down)	Facteur d'actualisation (Level Down)
0	0,43%	100,21%	-0,44%	99,78%
1	0,74%	99,63%	-0,63%	100,32%
2	1,01%	98,50%	-0,71%	101,07%
3	1,27%	96,89%	-0,70%	101,77%
4	1,51%	94,89%	-0,66%	102,34%
5	1,73%	92,57%	-0,59%	102,70%
6	1,91%	90,12%	-0,51%	102,85%
7	2,08%	87,48%	-0,43%	102,84%
8	2,24%	84,69%	-0,34%	102,59%
9	2,37%	81,95%	-0,26%	102,24%
10	2,49%	79,16%	-0,18%	101,73%

Figure 5.14 Courbes de facteur d'actualisation pour les scenari *Level Up* et *Level Down*

Une fois ces courbes de facteurs d'actualisation obtenues, l'objectif est de calculer  $\Delta(\text{Actif})$  de chaque scénario en appliquant la courbe aux obligations que le portefeuille d'actif contient. Pour ce faire, il faut étudier chaque obligation de manière individuelle, puis sommer les écart de valeur de marché de chaque obligation afin d'obtenir  $\Delta(\text{Actif})$  du scénario concerné.

Afin d'expliquer la manière dont chaque obligation se trouve choquée, l'exemple sera pris d'une obligation d'une valeur de marché initiale de  $VM$  qui subira le scenario *Level up*.

- Prendre la valeur de marché actuelle de l'obligation  $VM$
- L'actualiser grâce au scénario central pour avoir  $VM_1$
- La choquer avec la courbe de taux du scenario voulu pour obtenir  $VM_2$
- Calculer  $VM_4 = \frac{VM_2}{VM_1} \times VM_i$
- Actualiser  $VM_4$  à nouveau grâce au scenario central pour avoir  $VM_5$
- $SCR_{i,Level up} = VM_5 - VM_i$

Pour les cinq scénarios et chaque obligation, la méthode de calcul de la différence d'actif est la même, il suffit simplement d'adapter la bonne courbe à la bonne obligation. Les tableaux suivants présentent l'exemple pratique du calcul de la différence d'actif pour une obligation renseignée et pour les cinq scénarios de stress.

Données obligation		CHOC - Interest Rate							
		Taux (up)	Taux (down)	Mean Reversion	Twist Up to Down	Twist Down to Up			
SCR		23 916	- 10 529	10 265	2 900	11 410			
		0	1	2	3	4	5	6	7
Année de projection		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Tombée du coupon (en année)			0,16	1,16	2,16	3,16	4,16	0,00	0,00
Date de tombée de coupon		31/12/2013	27/02/2017	27/02/2018	27/02/2019	27/02/2020	26/02/2021	00/01/1900	00/01/1900
Taux de coupon		10,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Nominal		1 000							
Sous-jacent									
Date de maturité		26/02/2021							
Date d'évaluation		31/12/2016							
Base annuelle		365							
Valeur de marché coupon couru		436 016							
Pied de coupon		35 556							
Valeur de marché pied de coupon		400 000,00							
Duration modifiée		2							
Hypothèse modélisation									
Valeur de marché coupon couru		436 016,440							
Ajustement valeur de marché		73,33%							
taux sans risque		-0,30%	-0,26%	-0,21%	-0,12%	-0,02%	0,09%	0,22%	0,34%
Facteur d'actualisation (sc central)		100,00%	100,04%	100,24%	100,27%	100,08%	99,62%	100,00%	100,00%
facteur d'actualisation (Level up)		100,00%	99,88%	98,84%	97,31%	95,38%	93,12%	100,00%	100,00%
Facteur d'actualisation (Level down)		100,00%	100,10%	100,83%	101,53%	102,11%	102,49%	100,00%	100,00%
Facteur d'actualisation (Mean Reversion)		100,00%	99,98%	99,66%	99,04%	98,07%	96,82%	100,00%	100,00%
facteur d'actualisation (TW1)		100,00%	100,04%	100,28%	100,22%	99,68%	98,76%	100,00%	100,00%
Facteur d'actualisation (TW2)		100,00%	99,94%	99,38%	98,59%	97,64%	96,58%	100,00%	100,00%
Valeur de marché (sc central)		608 575							
Valeur de marché (sc up)		575 962							
Valeur de marché (sc down)		622 933							
Valeur de marché (Mean Reversion)		594 578							
Valeur de marché (Up to Down)		604 621							
Valeur de marché (Down to Up)		593 016							

Figure 5.15 Exemple du calcul du SCR pour une obligation

Enfin, il ne reste plus qu'à répéter ce schéma pour chaque obligation et pour chaque scénario de choc, puis de sommer respectivement tous les capitaux requis de chaque action pour chacun des cinq scénarios. Les résultats trouvés sont les suivants.

$$\Delta(\text{Actif})_{\text{scénario } i} = \sum_{k=0}^n \Delta(\text{Actif})_{k, \text{scénario } i}$$

Avec  $|n|$  le nombre d'obligations.

$\Delta(\text{Actif})$ Mean Reversion	$\Delta(\text{Actif})$ Level Up	$\Delta(\text{Actif})$ Level Down	$\Delta(\text{Actif})$ Twist up to down	$\Delta(\text{Actif})$ Twist down to up
967 650 €	2 238 006 €	-1 079 341 €	408 091 €	927 411 €

Figure 5.16 Différence d'actif pour chaque scénario de taux

### 5.3.1.2 Choc du Passif

Lors de l'étude des risques d'assurance, les différents *Current Estimate* propre à chacune des trois garanties ont été obtenus. Ces résultats seront directement réutilisés dans cette partie afin de calculer le  $\Delta(\text{Passif})$  pour chaque scénario.

Lors du calcul de chaque CE, la courbe de taux sans risque fournie par l'IAIS sous le nom de *Central Scenario Curve* a été utilisée afin d'actualiser les différents flux qui composent le CE. Pour obtenir le  $\Delta(\text{Passif})$  pour chacun des cinq scénarios du risque de taux d'intérêt, il suffit de remplacer la courbe *Central Scenario* par la courbe de stress propre à ce scénario. De cette façon, un  $\Delta(\text{CE})$  sera obtenu pour chaque garantie et pour chaque scénario de la courbe des taux.

Current Estimate Tempo-Décès				Choc de taux pour SCR de marché							
Maille de projection		Current		CE net		CE net		CE net		CE net	
Contrats (C / I)	Tranches d'âge	Estimate brut	Estimate net	(Level Up)	(Level Down)	(Mean Reversion)	(Twist Up to Down)	(Twist Down to Up)			
I	12-17	- 543	- 272	- 271	- 273	- 272	- 272	- 272			
C	12-17	- 111	- 56	- 55	- 56	- 56	- 56	- 56			
I	18-26	- 442	- 221	- 220	- 222	- 221	- 221	- 221			
C	18-26	- 3 856	- 1 928	- 1 921	- 1 935	- 1 927	- 1 931	- 1 925			
I	27-61	- 301 594	- 150 797	- 150 287	- 151 320	- 150 729	- 151 046	- 150 556			
C	27-61	- 123 236	- 66 096	- 65 872	- 66 325	- 66 066	- 66 205	- 65 990			
I	62-75	- 142 485	- 71 242	- 71 002	- 71 489	- 71 210	- 71 360	- 71 129			
C	62-75	- 5 863	- 2 931	- 2 921	- 2 942	- 2 930	- 2 936	- 2 927			
I	76-84	-	-	-	-	-	-	-			
C	76-84	-	-	-	-	-	-	-			
I	85+	-	-	-	-	-	-	-			
C	85+	-	-	-	-	-	-	-			
<b>TOTAL</b>		<b>569 109</b>	<b>289 032</b>	<b>288 055</b>	<b>290 034</b>	<b>288 902</b>	<b>289 510</b>	<b>288 571</b>			

Delta(CE) (sc Level Up)	Delta(CE) (sc Level Up)	Delta(CE) (sc Level Up)	Delta(CE) (sc Level Up)	Delta(CE) (sc Level Up)
977	- 1 002	130	- 478	461

Figure 5.17 Différence de passif pour la garantie Tempo-Décès

### 5.3.1.3 Synthèse du risque de taux

Une fois les deux différences de bilan calculées pour chaque scénario de stress et pour chaque garantie, il ne reste plus qu'à rassembler les résultats et à appliquer la formule d'agrégation des scénarios de risque de taux afin d'obtenir le Capital de Solvabilité Requis.

$$\begin{aligned}
 \text{SCR}_{\text{Taux}} &= \text{Gain ou Perte}_{\text{Mean reversion}} \\
 &+ \\
 &\sqrt{\text{MaxPerte}(\text{Level}_{\text{up}}, \text{Level}_{\text{down}})^2 + \text{MaxPerte}(\text{Twist}_{\text{up to down}}, \text{Twist}_{\text{down to up}})^2}
 \end{aligned}$$

Risque de Taux	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>Total</b>					<b>1 733 781</b>
<i>Mean Reversion</i>	967 650	46 094	130	2 456	<b>1 011 158</b>
<i>Level up</i>	2 238 006	771 655	977	12 733	<b>1 452 641</b>
<i>Level down</i>	1 079 341	1 688 918	1 002	14 595	<b>625 174</b>
<i>Twist up to down</i>	408 091	46 744	478	586	<b>362 411</b>
<i>Twist down to up</i>	927 411	562 534	461	493	<b>1 488 991</b>

Figure 5.18 Synthèse du SCR<sub>Taux</sub>

### 5.3.2 Spread

Le risque *Non-Default Spreap*, c'est-à-dire le risque de Spread non lié au risque de crédit, est défini par l'IAIS comme étant le risque de changement de la valeur des ressources en capital causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité du spread au niveau de la courbe RFR *Risk Free Rate*. Ce risque exclut la composante "Contrepartie" qui sera entièrement capturé dans le module du risque de Crédit.

Le Capital de Solvabilité Requis de ce sous-module de risque se calcule, à quelques détails près, de la même manière que le risque de taux d'intérêt. le risque de Spread surveille les changements inattendus au niveau de la courbe de *Risk Free Rate*, c'est donc cette courbe-là qui servira de scenario central d'actualisation des valeurs de marché des obligations. Cependant, la partie du portefeuille d'actifs concernée par ce risque n'est pas exactement la même, car seules les obligations *Corporates* seront choquées par les courbes de Spread, les obligations d'État n'étant pas concernées par le risque de spread.

De plus, seuls deux scénarios de stress sont proposés par la directive internationale, une courbe de stress *Up* et une courbe de stress *Down*. Les courbes sont données, comme pour les courbes de scénario de taux, sous la forme de taux d'actualisation, qu'il faut transformer en facteur d'actualisation.

Les trois courbes utilisées par ce sous-module de risque sont donc les suivantes.

Année	Spread Up	Facteur d'actualisation (Up)	Spread Down	Facteur d'actualisation (Down)	0 (RFR)	Facteur d'actualisation (RFR)
0	0,27%	100,13%	-0,15%	99,92%	-0,33%	99,83%
1	0,33%	99,84%	-0,09%	100,05%	-0,28%	100,14%
2	0,42%	99,37%	0,01%	99,99%	-0,18%	100,27%
3	0,55%	98,64%	0,14%	99,65%	-0,05%	100,13%
4	0,70%	97,59%	0,29%	98,99%	0,10%	99,65%
5	0,84%	96,31%	0,43%	98,09%	0,24%	98,93%
6	0,97%	94,83%	0,56%	96,98%	0,37%	97,99%
7	1,10%	93,14%	0,69%	95,63%	0,50%	96,81%
8	1,22%	91,31%	0,81%	94,13%	0,62%	95,47%
9	1,33%	89,38%	0,91%	92,59%	0,73%	94,00%
10	1,43%	87,38%	1,01%	90,89%	0,83%	92,45%

Figure 5.19 Courbes *Risk Free Rate* et de scenario de choc Spread (Source IAIS)

Ensuite, la manière de calculer, pour chaque obligation *Corporate*, le Capital de Solvabilité Requis, est la même que pour la différence d'actif pour le risque de Taux d'Intérêt. En effet, le passif de l'organisme d'assurance n'est pas affecté par le risque de Spread, ce qui explique le fait que le *Current Estimate* ne soit choqué pour ce risque. Une fois chaque obligation traitée, on somme les SCR individuels pour obtenir les  $SCR_{Spread\ Up}$  et  $SCR_{Spread\ Down}$ .

SCR Spread Up	SCR Spread Down
1 046 389 €	464 739 €

Figure 5.20  $SCR_{Spread\ Up}$  et  $SCR_{Spread\ Down}$

Enfin, le  $SCR_{Spread}$  est le maximum entre les deux scénarios de stress, et zéro.

$$SCR_{Spread} = \text{Max}(SCR_{Spread\ Up}; SCR_{Spread\ Down}; 0)$$



Risque de Spread	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>Spread</b>	<b>1 046 389</b>				<b>1 046 389</b>
<i>Up</i>	1 046 389				<b>1 046 389</b>
<i>Down</i>	464 739				<b>464 739</b>

Figure 5.21 SCR<sub>Spread</sub>

### 5.3.3 Action

Le risque d'action est défini comme étant le risque de changement de la valeur des ressources en capital causé par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité des valeurs de marché des actions.

Afin de calculer le Capital de Solvabilité Requis propre au risque Action, la directive internationale classe les actions en quatre catégories, dont chacune possède son propre pourcentage de choc.

Choc par type d'action			Table 1 - Type 3	
<b>Type 1</b>	Actions listées (pays dvpés)	35%	ICS RC	%
<b>Type 2</b>	Actions listées (pays émergents)	48%	<b>1 &amp; 2</b>	4%
<b>Type 3</b>	dettes hybrides & parts privilégiées	Table 1	<b>3</b>	6%
<b>Type 4</b>	Autres actions	49%	<b>4</b>	11%
			<b>5</b>	21%
			<b>6 &amp; 7</b>	35%
<b>Si participation stratégique</b>		22%		

Figure 5.22 Liste des chocs pour le calcul du SCR<sub>Action</sub>

Néanmoins, comme indiqué dans le tableau ci-dessus, si l'action est considérée comme étant une participation stratégique, alors le choc de stress sera égal à 22%, et ce quelque soit le type de l'action.

Une fois le type de chaque action attribué, le calcul du SCR se réalise action par action, de la manière suivante.

Libellé	Type	Valeur de marché	Participation Stratégique	Choc ICS	Choc (avec ajustement symétrique)	Valeur de marché après choc	SCR action
A	1	1 000	non	35,00%	33,56%	664	336
B	1	1 000	oui	22,00%	22,00%	780	220
C	4	1 000	non	49,00%	47,56%	524	476

Figure 5.23 Exemple de calcul du SCR pour trois actions

Bilan des chocs sans diversification				
Choc Actif	Actions	Obligations convertibles	Actifs NT	Total Types 1,2, 3 et 4
Type 1	3 901 643	469 202	173 350	4 544 195
Type 2	0	0	0	0
Type 3	0	0	0	0
Type 4	5 519 931	12 957	1 955 216	7 488 104
<b>Total Actif</b>	<b>9 421 573</b>	<b>482 159</b>	<b>2 128 566</b>	<b>12 032 299</b>

Figure 5.24  $SCR_{Action, Type}$  pour chaque type d'action

Une fois les résultats obtenus pour chacune des catégories, le  $SCR_{Action}$  s'obtient en les agrégeant suivant la matrice de corrélation suivante

Equity - Correlation Matrix				
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Type 1	100%	75%	100%	75%
Type 2	75%	100%	75%	75%
Type 3	100%	75%	100%	75%
Type 4	75%	75%	75%	100%

Figure 5.25 Matrice d'agrégation entre les différents type d'action -  $SCR_{Action}$

Enfin, de la même manière que pour le risque de Spread, les éléments du passif de l'organisme d'assurance ne sont pas affectés par le risque d'Action, ce qui explique que le choc du passif soit nul pour les trois garanties étudiées dans les risques d'assurance. Ainsi, le Capital de Solvabilité Requis pour notre modèle est le suivant:

Risque d'Action	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>Total</b>	<b>11 303 208</b>				<b>11 303 208</b>
Type 1	4 544 195				4 544 195
Type 2	-				-
Type 3	-				-
Type 4	7 488 104				7 488 104

Figure 5.26  $SCR_{Action}$

### 5.3.4 Immobilier

Le risque immobilier est défini par la directive internationale comme étant le risque de changement dans la valeur des ressources en capital causées par des changements inattendus dans le niveau ou la volatilité du marché de l'immobilier ou du montant de *cash-flows* investis dans l'immobilier.

Le calcul du Capital de Solvabilité Requis propre au risque d'immobilier est très simple. Pour ce faire, il suffit de rassembler les actions et propriétés directes et indirectes en lien avec le marché de l'immobilier et de choquer leurs valeur de marché à hauteur de 25 %.

Ainsi, pour chaque élément, la formule suivante s'applique.

$$SCR_{\text{Immo}, i} = 25\% \times VM_i$$

Libellé	Valeur de marché	Choc Immobilier	Valeur de marché après choc	SCR Immobilier Ind
Nom	VM	25,00%	(1 - 0,25) x VM	0,25 x VM

Figure 5.27 Exemple de calcul du SCR pour un élément de l'actif lié au marché de l'immobilier

Enfin, simplement

$$SCR_{\text{Immobilier}} = \sum_{i=0}^n SCR_{\text{Immobilier}, i}$$

Avec  $i$  le nombre d'éléments contenu dans le portefeuille d'actifs en lien avec le marché de l'immobilier, ce qui donne le Capital de Solvabilité suivant pour le portefeuille étudié:

<b>SCR IMMOBILIER</b>
2 102 394 €

Figure 5.28  $SCR_{\text{Immobilier}}$

### 5.3.5 Devise

Le risque de change est défini par l'IAIS comme étant le risque d'un changement dans la valeur des ressources en capital causé par un changement inattendu dans le niveau ou la volatilité des taux de change monétaires.

Le calcul du Calcul de Solvabilité Requis pour le risque de devise se fait en fonction de la monnaie de référence de l'organisme d'assurance concerné. Or, étant donné que les IAIGs et G-SIIs sont étendues sur plusieurs juridictions, elles doivent découper leur société par monnaie de référence pour pouvoir étudier le risque de change. Néanmoins, le calcul dans chaque juridiction se déroule de la même manière, seule les matrices de corrélation entre les monnaies diffèrent.

Pour le modèle construit et afin de simplifier la mise en place d'un calcul concret, l'exemple d'une société fictive ne possédant que l'Euro pour monnaie de référence a été choisie afin de simplifier les calculs. Le risque de devise sera donc calculé comme une IAIG le ferait pour la partie de sa compagnie se trouvant dans l'Union Européenne, possédant l'euro pour monnaie de référence. Ainsi, pour le modèle présenté, la seule différence sera que le  $SCR_{Devise, Total}$  sera égal au  $SCR_{Devise, Euro}$ .

Pour calculer le  $SCR_{Devise, Euro}$ , il faut regrouper tous les éléments de l'actif de la compagnie d'assurance qui sont différents de sa monnaie de référence, ici l'euro. Ensuite, la réglementation proposée par l'IAIS décompose la démarche d'obtention du SCR en deux scénarios, qui chacun vont s'intéresser à une position financière différente des titres possédés par l'organisme d'assurance.

En effet, en finance la position est la quantité d'un titre financier qui est soit détenue (ce qui constitue une position longue), soit empruntée (ce qui constitue une position courte) par une personne ou un trader. La position d'un titre financier est donc primordiale afin de savoir comment les actifs possédés vont être choqués.

#### 5.3.5.1 Le scénario 1

Un trader se trouve dans une position longue lorsqu'il détient des titres. Dans une position longue, le trader est confiant dans le fait que le titre qu'il possède va lui rapporter un profit, grâce à une plus-value revente future, grâce au versement de dividendes, ou bien grâce au contrôle acquis sur une entreprise. Cette position non limitée dans le temps est donc logiquement qualifiée de « longue » et le trader peut être qualifié d'investisseur. Pour les positions longues (dont on s'attend à ce qu'elles montent), on les diminue en valeur, tandis que les positions courtes restent inchangées.

La montant de diminution est à trouver dans la matrice de stress. Notre monnaie de référence sera l'euro.

Scénario	Position longue	Monnaie	% de diminution	Position après choc	SCR Ind
1	1000	USD	30%	700	300

Figure 5.29 Exemple de calcul du SCR pour une action - Scenario 1

### 5.3.5.2 Le scénario 2

Un trader se trouve dans une position courte lorsqu'il a emprunté des titres par la vente à découvert qu'il devra rendre au prêteur à une échéance fixe. Cette position limitée dans le temps est donc logiquement qualifiée de « courte » et le trader peut être un spéculateur. Dans une position courte le trader est confiant que le cours du titre emprunté va baisser, ce qui va permettre de réaliser une plus-value lors du rachat du titre.

Pour les positions courtes (dont on s'attend à ce qu'elles diminuent), on les augmente en valeur, tandis que les positions longues restent inchangées

La montant d'augmentation est à trouver dans la matrice de stress. Notre monnaie de référence sera l'euro.

Scénario	Position courte	Monnaie	% d'augmentation	Position après choc	SCR ind
2	-1000	GBP	25%	-1250	250

Figure 5.30 Exemple de calcul du SCR pour une action - Scenario 2

### 5.3.5.3 Calcul du SCR du modèle

Le portefeuille de l'organisme d'assurance fictif qui est modélisé dans cette partie n'est composé d'aucun actif ayant une position courte. En effet, toutes les actions d'une monnaie différente de l'euro sont entièrement détenues par l'entreprise, c'est qui fait d'elles des éléments de position longue. De cette manière, le scénario 2 n'offre aucune valeur de capital à exploiter et le SCR dédié au risque de devise sera le capital obtenu par le scénario 1.

Le portefeuille est composé de 2774 actions d'une monnaie différente de l'euro. Afin de stresser chaque action par un choc qui est fonction de sa monnaie propre, la matrice de choc de devise imposée par l'IAIS est utilisée, dont les principales monnaies sont retranscrites ci-dessous.

AGAINST	Australie	Suisse	Chine	EU	GB	Japon	Singapour	US	Danemark
	AUD	CHF	CNY	EUR	GBP	JPY	SGD	USD	DKK
EUR (REF)	35%	20%	30%	0%	25%	40%	25%	30%	5%

Figure 5.31 Aperçu de la matrice d'agrégation - Devise - Monnaie EURO

Il est possible d'observer que la monnaie de référence, ici l'Euro, impose un choc de 0% pour elle-même, ce qui explique pourquoi il a été choisi dans ce modèle de ne prendre directement que les monnaies étrangères.

Le Capital de Solvabilité Requis pour le risque de Devise est la somme des SCR individuels de chaque actions d'une monnaie étrangère. De la même manière que pour les deux risques précédent, le passif n'est pas influencé par le risque de devise, ce qui explique la nullité du choc Passif ci-dessous.

Risque de Devise	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
Ref Euro	1 559 065				1 559 065

Figure 5.32 SCR<sub>Devise</sub>

### 5.3.6 Concentration

Le risque de Concentration est défini comme étant le risque d'un changement de la valeur des ressources en capital causé par un manque de diversification du portefeuille d'actifs de la société.

L'objectif de ce risque est en effet de capturer les déséquilibres qui pourraient être présents dans le portefeuille d'actifs de l'organisme d'assurance. En cas de forte baisse du marché des actions ou de banqueroute d'une compagnie spécifique, le fait d'avoir une importante part de ces actifs dans cette action ou entreprise pourrait affecter fortement l'organisme d'assurance qui possède ces titres et entraîner sa chute.

Afin d'éviter un tel évènement, le Capital de Solvabilité Requis s'intéresse au rapport entre la valeur de marché de chacun des titres possédés par l'assurance et la montant de valeur de marché de la totalité des actifs. Si ce pourcentage dépasse un certain seuil, fixé par l'IAIS en fonction de la notation du titre, alors une partie de la valeur de marché totale des actifs est choquée et exigée dans le SCR. Les deux tableaux, de seuil et de chocs, sont renseignés ci-dessous.

Qualité de Crédit	Seuil	Qualité du Crédit	Facteur de choc
0	3%	0	15%
1	3%	1	15%
2	3%	2	25%
3	3%	3	25%
4	1,5%	4	50%
5	1,5%	5	50%
6	1,5%	6	50%
Unrated	1,5%	Unrated	25%
Immobilier	3%	immobilier	25%

Figure 5.33 Table de choc - risque de concentration

' Les titres dont le pourcentage de valeur de marché ne dépassent pas le seuil ne sont pas pris en compte dans le SCR. Il est considéré que leur part dans le bilan total des actifs n'est pas assez important pour causer un risque de perte de solvabilité pour l'assureur en cas d'évènements soudain et particulier. Pour ceux dont le seuil est dépassé, un  $SCR_{i, Concentration}$  est alors calculé.

$$SCR_{i, Concentration} = \text{Max}[0; (\frac{\text{Valeur}_{\text{marché}, i}}{\text{Valeur}_{\text{marché}, totale}} - \text{Seuil})] \times \text{Valeur}_{\text{marché}, totale} \times \text{Stress}_{\text{choc}}$$

Ci-dessous est présenté un exemple d'un portefeuille d'actifs de valeur de marché totale égale à 1000, réparti entre un titre de valeur de marché 100 et 30 titres de valeur de marché 30. Tous les titres sont dans cet exemple supposés provenant de compagnies différentes.

Valeur de marché des actifs		<b>SCR Concentration</b>		<b>43</b>			
1 000							
Libellé	Type d'exposition	Qualité de crédit	Exposition	Seuil	Dépassement de seuil	choc de stress	SCR ind
A	01. Expositions avec le besoin en capitaux général	Unrated	100	1,5%	$\text{Max}(0 ; 100/1000 - 1,5\%) = 8,5\%$	25%	$1000 \times 8,5\% \times 50\% = 43$
B	01. Expositions avec le besoin en capitaux général	1	30	3,0%	$\text{Max}(0 ; 20/1000 - 3\%) = 0\%$	15%	$1000 \times 0\% \times 15\% = 0$

Figure 5.34 Exemple de calcul du SCR pour deux expositions

L'organisme d'assurance fictif présenté à travers ce modèle possède une valeur de marché totale de ces actifs de 108 684 393 €. Cette valeur de marché de ces titres et participations financières est répartie entre plus de 2500 acteurs différents, qui sont ainsi étudiés en fonction de leur qualité de crédit et de leur type d'exposition. Chacun de ces acteurs est alors étudié de la même manière que dans l'exemple précédent afin d'obtenir le  $\text{SCR}_{\text{Concentration}}$

Risque de Concentration	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
	2 158 484				2 158 484

Figure 5.35  $\text{SCR}_{\text{Concentration}}$

### 5.3.7 Synthèse et Agrégation

Une fois les SCR de tous les risques de marché obtenus, l'IAIS impose l'agrégation de ces montants à l'aide d'une matrice de corrélation. Cette matrice utilise directement les SCR calculés, mis à part pour le risque de Spread où les montants des deux scénarios sont pris en compte dans l'agrégation afin de mieux mesurer les capitaux nécessaires en cas de choc haussier ou baissier des montants de Spread.

L'agrégation de ces montants permet l'obtention du SCR<sub>Marché</sub> mentionné ci-dessous.

Bilan des chocs		SCR Marché			14 634 810 €
Sous-module de risque	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>Action</b>	<b>11 303 208</b>				<b>11 303 208</b>
Type 1	4 544 195				4 544 195
Type 2	-				-
Type 3	-				-
Type 4	7 488 104				7 488 104
<b>Immobilier</b>	<b>2 102 394</b>				<b>2 102 394</b>
<b>Spread</b>	<b>1 046 389</b>				<b>1 046 389</b>
Up	1 046 389				1 046 389
Down	464 739				464 739
<b>Taux</b>	<b>3 390 203</b>				<b>1 733 781</b>
Mean Reversion	967 650	46 094	130	2 456	1 011 158
Level up	2 238 006	771 655	977	12 733	1 452 641
Level down	1 079 341	1 688 918	1 002	14 595	625 174
Twist up to down	408 091	46 744	478	586	362 411
Twist down to up	927 411	562 534	461	493	1 488 991
<b>Concentration</b>	<b>2 158 484</b>				<b>2 158 484</b>
<b>Devise</b>	<b>1 559 065</b>				<b>1 559 065</b>

Figure 5.36 Synthèse des SCR des risques de Marché

MARCHÉ		Taux	Spread Up	Spread Down	Action	Immobilier	Devises	Concentration
		1 733 781 €	1 046 389 €	464 739 €	11 303 208 €	2 102 394 €	1 559 065 €	2 158 484 €
Taux	1 733 781 €	100%	25%	25%	25%	25%	25%	0%
Spread Up	1 046 389 €	25%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
Spread Down	464 739 €	25%	100%	100%	0%	0%	25%	0%
Action	11 303 208 €	25%	75%	0%	100%	50%	25%	0%
Immobilier	2 102 394 €	25%	50%	0%	50%	100%	25%	0%
Devises	1 559 065 €	25%	25%	25%	25%	25%	100%	0%
Concentration	2 158 484 €	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Figure 5.37 Matrice d'agrégation des risques de marché



## 5.4 Le risque de Crédit

Le risque de Crédit est défini par l'IAIS comme étant le risque d'un changement défavorable dans la valeurs des fonds propres, causé par un changement inattendu dans les niveaux d'engagements réels d'organismes liés à l'assureur, ou dans la qualité de crédit d'institutions liées à l'assureur.

Le risque de Crédit s'applique à toutes les obligations en lien direct ou indirect avec les classes d'expositions suivantes :

- Expositions de type 1
  - Entités du secteur public
  - Obligations d'Entreprise
  - Titrisation
  - Retitrisation
  - Éléments de Réassurance
  - Prêts et dettes diverses
- Expositions de type 2 : LGD pour *Loss Given Default*. Ce montant rassemble les pertes encourues en cas de défaut de la part d'une contrepartie. Ces quantités sont assimilées comme étant des obligations Corporate avec une maturité non défini. Ainsi, le montant totale sera découpé entre toutes les maturités étudiées pour ce risque.

Pour le portefeuille étudié, les éléments de l'actif d'assurance qui sont affectés par le risque de Crédit font seulement parti des deux premières classes: les Obligations Corporate et les éléments de réassurance.

Le SCR du risque de Crédit est calculé en appliquant l'approche de choc *factor-based* mentionnée plus haut dans ce mémoire. Des stress spécifiques sont ainsi appliqués en fonction de la classe d'exposition, de la notation et de la maturité des quantités nets d'exposition. les chocs de stress sont appliqués sur une durée de projection de quinze années. Le tableau ci-dessous renseigne les chocs suivant la méthode *factor-based* qui seront appliquées au données du portefeuille étudié.

Corporate and reinsurance Category	0-1 Years	1-2 Years	2-3 Years	3-4 Years	4-5 Years	5-6 Years	6-7 Years	7-8 Years	8-9 Years	9-10 Years	10-11 Years	11-12 Years	12-13 Years	13-14 Years	14+ Years
Category	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
1	0.2%	0.7%	0.9%	1.2%	1.4%	1.6%	1.7%	1.9%	2.0%	2.1%	2.2%	2.3%	2.4%	2.4%	2.5%
2	0.2%	0.7%	0.9%	1.2%	1.4%	1.6%	1.7%	1.9%	2.0%	2.1%	2.2%	2.3%	2.4%	2.4%	2.5%
3	0.6%	1.3%	1.6%	1.8%	2.1%	2.3%	2.6%	2.8%	3.0%	3.2%	3.3%	3.4%	3.5%	3.6%	3.7%
4	1.4%	3.0%	3.6%	4.1%	4.5%	4.9%	5.1%	5.3%	5.4%	5.6%	5.7%	5.8%	5.9%	6.0%	6.0%
5	3.6%	7.1%	8.3%	9.0%	9.4%	9.7%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%	9.8%
6	8.8%	14.4%	15.3%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%	15.6%
7	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%
Unrated	6.3%	10.7%	11.8%	12.3%	12.5%	12.6%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%	12.7%
In Default	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%

Figure 5.38 Table de Crédit pour la Réassurance et les Obligations d'entreprise (Source IAIS)

Les éléments du portefeuille étudié dans ce modèle qui sont touchés par le risque de Crédit sont regroupés dans les tableaux suivants :

Exposition de type 2	
Exposition type 2 (exclusion des créances dues pour plus de 3 mois)	LGD 20 306 192
Exposition type 2 (créances dues pour plus de 3 mois)	-

Exposition de type 1	
Réassurance	482 953
Obligations corporates	13 333 483

Figure 5.39 Données - Risque de Crédit ICS

Ces données sont ensuite placées dans un tableau en fonction de leur maturité, ce qui permettra de leur affecter le choc voulu par l'IAIS. Comme annoncé précédemment, les *Loss Given Default* seront réparties entre toutes les différentes maturité, et ce de façon égale, comme il est illustré dans le tableau ci-dessous.

Corporates		Balance Sheet Assets	OTC Derivatives	Other Off-Balance Sheet	Redistribution for Collateral and Guarantees	Exposure post redistribution	By Maturity: 0-1 Years	1-2 Years	2-3 Years	3-4 Years	4-5 Years	5-6 Years	6-7 Years	7-8 Years	8-9 Years	9-10 Years	10-11 Years	11-12 Years	12-13 Years	13-14 Years	14+ Years	
Rating Category	IRB1	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR
1	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	IR	33 639 676	0	0	0	33 639 676	13 333 483,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3	1 450 442,3
4	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unsettled In Default	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Reinsurance exposures other than collateralised non-life reinsurance exposures		Balance Sheet Assets	Reduction in ICS Risk charges	Redistribution for Collateral and Guarantees	Exposure post redistribution	By Maturity: 0-1 Years	1-2 Years	2-3 Years	3-4 Years	4-5 Years	5-6 Years	6-7 Years	7-8 Years	8-9 Years	9-10 Years	10-11 Years	11-12 Years	12-13 Years	13-14 Years	14+ Years		
Rating Category	IRB1	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR	IR
1	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	IR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unsettled In Default	IR	482 953	0	0	482 953	482 953,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 5.40 Calcul du SCR<sub>Crédit</sub>

Une fois les données rassemblées et organisée, il ne reste plus qu'à stresser chacun des éléments afin d'obtenir le SCR de risque de Crédit :

$$SCR_{Crédit} = \sum_{i=0}^n \alpha \times Exposition_i$$

Avec  $\alpha$  le coefficient de choc correspondant à l'élément choqué et à sa maturité,

Avec  $n$  le nombre d'éléments concernés par le risque de Crédit.

Ce qui donne,

<b>ICS - Risque de Crédit</b>	<b>SCR</b>	<b>664 496 €</b>
-------------------------------	------------	------------------

Expositions	Capital Requis
Entités du secteur public	-
Obligations d'entreprise	634 070
Titrisation	-
Retitrisation	-
Réassurance	30 426
Prêts	-
Divers	-

Figure 5.41 SCR<sub>Crédit</sub>

## 5.5 Le risque Opérationnel

Le risque opérationnel est défini par l'IAIS comme étant le risque d'un changement défavorable dans la valeur des fonds propres, causé par des événements opérationnels inattendus tels que des processus internes inadaptés, des erreurs de personnel ou de systèmes ainsi que des mises en échec dues à des événements externes.

Afin de calculer le capital de solvabilité requis propre au risque opérationnel, l'IAIS propose d'observer les expositions des primes, des provisions et leurs évolutions. Ces éléments sont liés au risque de souscription Vie et Non-Vie ainsi qu'aux expositions liés aux éléments en Unité de Compte

Ainsi, chacun de ses éléments est stressé par un taux de choc informé dans le tableau ci-dessous.

	Primes	Passifs	Croissance
	Non-Vie		
<b>Exposition</b>	Primes brutes	Current Estimate Brut	Croissance des primes brutes par rapport à l'année précédente
<b>Choc</b>	2,75%	2,75%	2,75%
	Vie		
<b>Exposition</b>	Primes brutes	Current Estimate Brut	Croissance des primes brutes par rapport à l'année précédente
<b>Choc</b>	4,00%	0,4%	4,00%
	Vie (UC)		
<b>Exposition</b>	Primes brutes	Current Estimate Brut	Croissance des primes brutes par rapport à l'année précédente
<b>Choc</b>	/	0,45%	/

Figure 5.42 Table de Choc - Risque Opérationnel (Source IAIS)

Concernant le calcul du SCR propre au portefeuille étudié dans ce modèle, nombre des éléments à choquer pour le risque opérationnel sont nuls. En effet, les risques liés à la non-vie ne sont pas étudiés, ainsi, le SCR opérationnel lié à la non-vie est nul, et le portefeuille n'est pas non plus composé de quelconque unité de compte, cette partie ne demande pas non plus de capital requis. Enfin, le portefeuille est supposé nouveau, donc ne possédant aucune croissance.

De cette manière, les deux seuls éléments à choquer sont les primes brutes et le Current Estimate liés à l'assurance-vie.

$$SCR_{Op} = \max(\text{Risque}_{Op,primes}; \text{Risque}_{Op,provisions}) + \text{Risque}_{Op,croissance}$$

- $\text{Risque}_{Op,primes} = 0,4\% \times (CE_{\text{Tempo-décès}} + CE_{\text{Obsèques}} + CE_{\text{Invalidité}})$
- $\text{Risque}_{Op,provisions} = 4\% \times (\text{Primes}_{\text{Tempo-décès}} + \text{Flux}_{\text{Obsèques}} + \text{Flux}_{\text{Invalidité}})$
- $\text{Risque}_{Op,croissance} = 0$

Avec  $|\text{Flux}_{\text{Obsèques}} \text{ et } \text{Flux}_{\text{Invalidité}}$  les sommes des cotisations projetées sur 50 années pour la garantie Invalidité et 120 années pour la garantie Obsèques.

<b>ICS - Risque Opérationnel</b>		<b>SCR</b>	<b>56 105 €</b>
<b>Différents sous-risques étudiés</b>	<b>Capital Requis</b>	<b>= 0 CAR</b>	
Non_Life_Op_Risk (Primes)	0	Pas de Non-Vie	
Non_Life_Op_Risk (Passif)	0		
Non_Life_Op_Risk (Croissance)	0		
Life_(Risk)_Op_Risk (Primes)	56 105 €		
Life_(Risk)_Op_Risk (Passif)	31 405 €		
Life_(Risk)_Op_Risk (Croissance)	0	Pas de croissance	
Life_(Non-Risk)_Op_Risk (Passif)	0	Pas d'UC	

Figure 5.43 Calcul du  $SCR_{Op}$

## 5.6 Synthèse

Chacun des sous-modules de risques sélectionnés dans la formule de capital standard pour faire partie de ce modèle simplifié a donc été calculé de manière individuelle. Les sous-modules ont ensuite été regroupé en quatre modules, "Vie", "Non-Vie", "Marché" et "Crédit". Après agrégation des sous-modules si nécessaire, un SCR a été trouvé pour chacun de ces modules.

Une fois obtenus, il ne reste plus qu'à agréger une nouvelle fois ces résultats grâce à la matrice de corrélation vu dans la partie choix de modélisation. On obtient ainsi le Capital de Solvabilité Requis de Base ou 'BSCR' de notre portefeuille correspondant aux volontés de l'IAIS. Il ne reste alors plus qu'à ajouter l'ajustement et le SCR du risque opérationnel pour trouver le SCR total.

fx | =P19\*SOMMEPROD(P20:P22;N20:N22)

M	N	O	P	Q
"BSCR" =	15 337 033 €	VIE	MARCHÉ	CRÉDIT
Agrégation		1 686 278 €	14 634 810 €	664 496 €
VIE	1 686 278 €	100%	25%	25%
MARCHÉ	14 634 810 €	25%	100%	25%
CRÉDIT	664 496 €	25%	25%	100%
		9,29325E+12	N22)	3,15288E+12

Figure 5.44 Agrégation des modules de risque

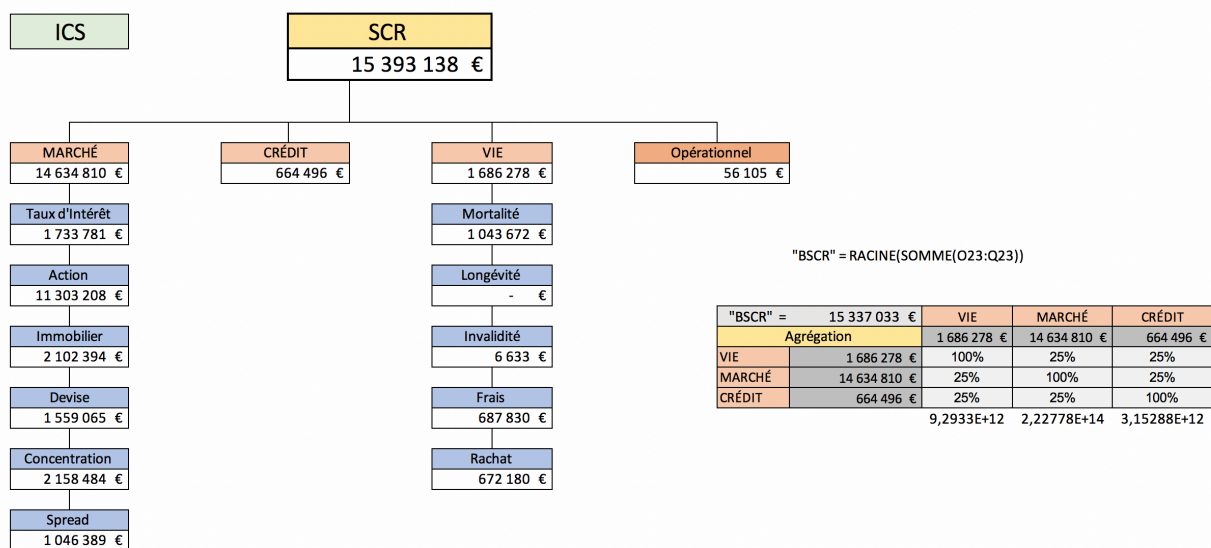


Figure 5.45 Bilan - SCR - ICS

La valeur trouvée est un résultat arbitraire qui dépend uniquement du portefeuille choisi. Cette valeur va servir de valeur comparative lorsque par la suite sera calculé le même capital de solvabilité requis, répondant lui aux exigences de la norme Solvabilité II.

# III Comparaison avec Solvabilité II

## 6 Concordance des modèles

Dans cette partie, la modélisation du calcul du Capital Requis de Solvabilité pour la réglementation Solvabilité 2 est calquée sur celle faite pour *International Capital Standards*. Suivant ainsi le même processus, l'explication de la construction de ce modèle sera largement moins détaillée, surtout lorsque les mêmes risques pour les deux directives se calculent de la même manière. En revanche, lorsque la méthode de calcul diffère, l'explication de la construction pour le module de risque concerné sera détaillé.

### 6.1 Choix de modélisation

Tout comme le premier suivait du mieux possible les consignes indiquées par l'IAIS dans sa formule standard de capital de Solvabilité Requis, le modèle S2 sera construit en suivant la formule standard délivrée par la directive européenne.

Afin de pouvoir comparer au mieux les deux directives, le même portefeuille fictif est utilisé pour ce second modèle. De ce fait, les risques auxquels il fera face seront les mêmes que dans la deuxième partie, adapté aux exigences posées par Solvabilité II.

- les risques de Marché :
  - Taux d'intérêt
  - Action
  - Immobilier
  - Change
  - Concentration
  - Spread
- Le risque de Crédit
- Le risque Opérationnel
- Les risques d'assurance (Module "Vie")
  - Mortalité
  - Longévité
  - Rachat
  - Frais
- Les risques d'assurance (Module "SLT")
  - Invalidité
  - Frais

Initialement, chacun des sous-modules liés aux risques de souscription-vie sont étudiés pour chacun des deux modules "Vie" et "Similaire à la Vie". Néanmoins, les sous-modules indiqués précédemment illustre les sous-modules qui posséderont un SCR non nul pour le module concerné. Pour des raisons de rigueur, la pieuvre des risques de la formule standard adapté au modèle construit montrera néanmoins chaque sous-module pour les deux modules de souscription-vie.

## 6.2 Présentation du calcul du SCR pour Solvabilité II

Les choix de modélisations expliqués dans la partie précédente conduisent donc à un calcul de Capital de Solvabilité Requis simplifié de manière à être le plus proche voulu du modèle d'ICS, lui aussi simplifié, construit à partir de la formule standard de la réglementation internationale. Ainsi, il est obtenu une formule standard adaptée basée sur la pieuvre des risques présentée ci-dessous.

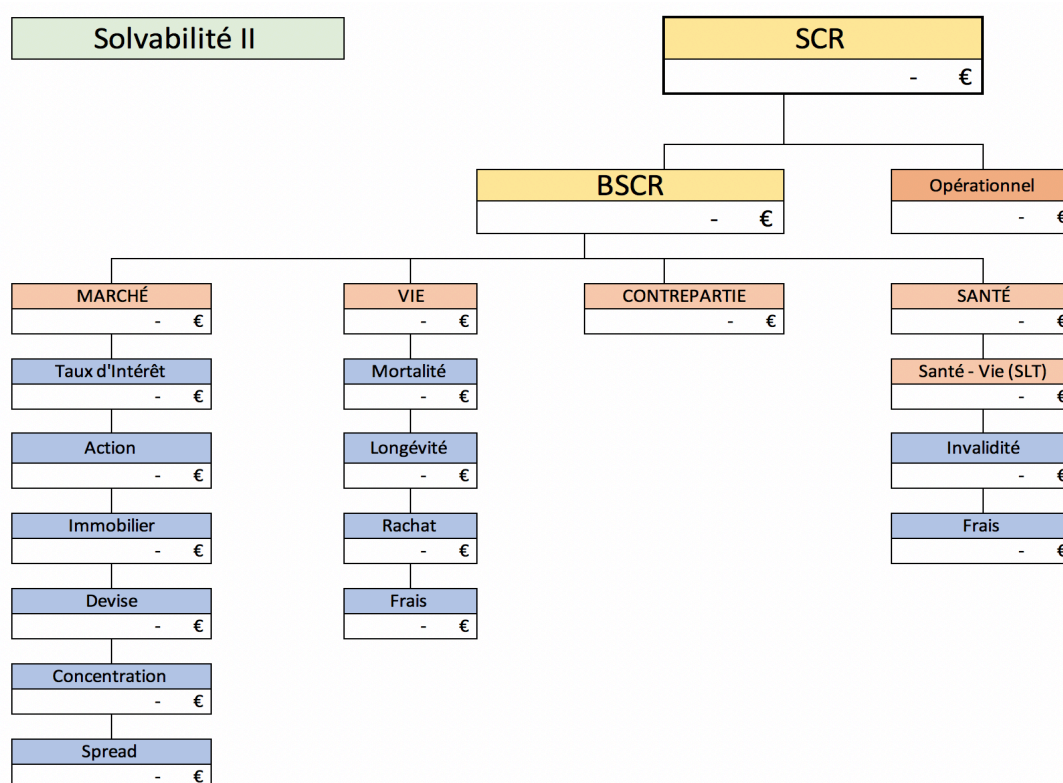


Figure 6.1 La pieuvre modifiée des risques de Solvabilité II

Dans cette partie du mémoire, l'étude de chacun des risques propres à la norme S2 sera partiellement détaillée. En effet, un bon nombre de sous-modules de risque emploient les mêmes méthodes de calcul pour la norme S2 que pour celle de l'IAIS. Ainsi, tous les calculs ne seront pas repris exhaustivement pour éviter des répétitions. Dans ces situations, l'accent sera mis sur les différences de SCR liées à des disparités minimales entre les deux textes normatifs. Il sera tiré de ces écarts les impacts et enjeux apportés par les nouveautés d'ICS. En revanche, pour les risques où le calcul du SCR est totalement différent pour SII par rapport à ICS, la méthode de calcul sera détaillée afin de montrer en quoi les deux méthodes divergent et ce que cela implique au niveau du Capital de Solvabilité Requis.

Concernant les modules *Marché* et *Vie*, tous les sous-modules imposés dans la formule standard sont repris dans ce modèle, les matrices d'agrégation restent ainsi les mêmes. Il est également à noter que ces matrices sont les mêmes que celles utilisées par l'IAIS, qui semble avoir repris les travaux de SII.

MARCHÉ		Action	Taux	Immobilier	Concentration	Devises	Spread
		- €	- €	- €	- €	- €	- €
Action	- €	100%	50% (down) / 0% (up)	75%	0%	25%	75%
Taux	- €	50% (down) / 0% (up)	100%	50% (down) / 0% (up)	0%	25%	50% (down) / 0% (up)
Immobilier	- €	75%	50% (down) / 0% (up)	100%	0%	25%	50%
Concentration	- €	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Devises	- €	25%	25%	25%	0%	100%	25%
Spread	- €	75%	50% (down) / 0% (up)	50%	0%	25%	100%

VIE		Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	Frais
		- €	- €	- €	- €	- €
Mortalité	- €	100%	-25%	25%	0%	25%
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%	25%
Invalidité	- €	25%	0%	100%	0%	50%
Rachat	- €	0%	25%	0%	100%	50%
Frais	- €	25%	25%	50%	50%	100%

Figure 6.2 Agrégation des modules Marché et Vie

La matrice de corrélation du module Santé n'est pas nécessaire car seul la partie Santé-Vie sera étudiée. Une fois les SCR individuels calculés, il ne restera plus qu'à agréger ces résultats. Étant donné que la pieuvre de la réglementation a été changée, la matrice de corrélation de calcul du BSCR se trouve elle aussi modifiée. Voici la matrice que nous utiliserons pour le calcul du BSCR .

BSCR		MARCHÉ	CRÉDIT	VIE	SANTÉ
		- €	- €	- €	- €
MARCHÉ	- €	100%	25%	25%	25%
CRÉDIT	- €	25%	100%	25%	25%
VIE	- €	25%	25%	100%	25%
SANTÉ	- €	25%	25%	25%	100%

Figure 6.3 Agrégation du modèle de Solvabilité II

Enfin, il ne restera plus qu'à ajouter le SCR du risque Opérationnel au BSCR pour avoir le SCR total de ce modèle. Le module "Ajustement", initialement présent dans la formule standard de Solvabilité II, ne sera pas étudié et ainsi supposé comme étant nul.

$$SCR = BSCR + SCR_{Op}$$



### 6.3 Concordance

Une fois la formule standard de calcul de SCR adaptée, il ne reste plus qu'à vérifier la concordance des modèles des deux réglementation avant de commencer à comparer les méthodes de calcul des SCR de chaque risque.

Ci-dessous sont présentées côte à côte les deux pieuvres des formules standards adaptées pour les deux normes.

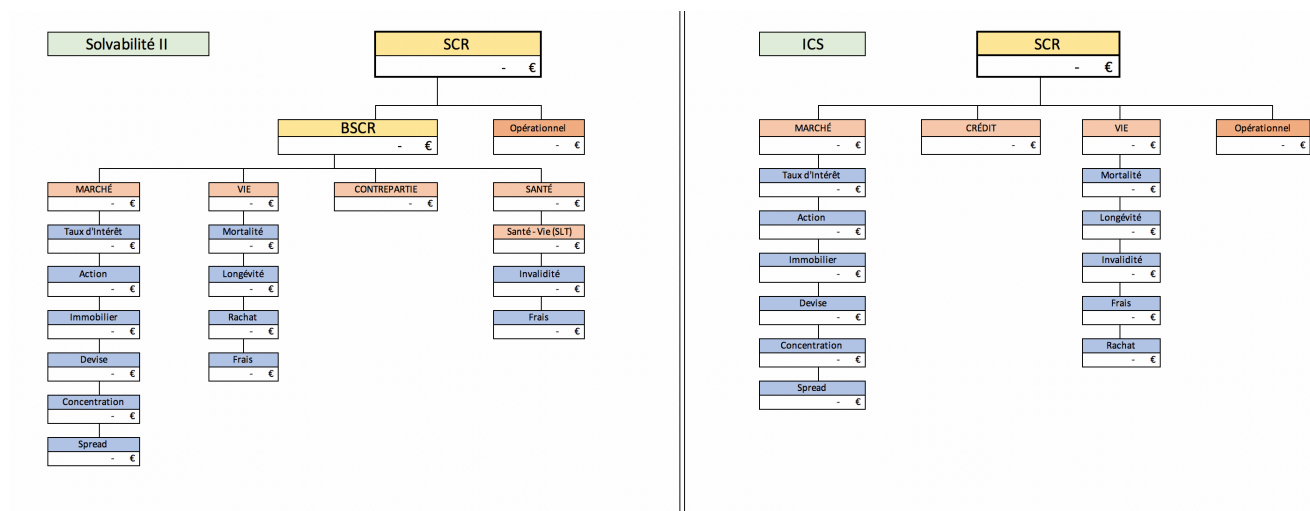


Figure 6.4 Concordance des modèles

Voici la synthèse des éléments qui permettent la concordance des deux modèles :

- Elimination des risques liés à la Non-Vie
- Non prise en compte de l'ajustement
- Non prise en compte du Risque "Catastrophe" dans le module "Vie"
- Répartition des sous-modules des risques liés à la Souscription Vie entre les modules "Vie" et "Santé"
- Introduction de la notion de BSCR dans le modèle *ICS* pour plus de comparabilité

## 7 Comparaison des méthodes de calculs de Capitaux de Solvabilité Requis

### 7.1 Les risques d'assurance

Afin de pouvoir comparer les valeurs des SCR entre Solvabilité II et *International Capital Standards*, les tables de taux données par l'IAIS seront utilisées pour le modèle de calcul de SCR de Solvabilité II

Il a été vu précédemment que le risque de taux d'intérêt sous Solvabilité II est défini exactement de la même manière que celui d'*International Capital Standards*, c'est-à-dire comme étant le risque de changement dans la valeurs des ressources en capital causé par des changements imprévus dans le niveau ou la volatilité des taux d'intérêt.

La modélisation de la réglementation d'International Capital Standards s'est construite autour du portefeuille de l'entreprise étudiée. Ainsi, pour les risques liées aux souscriptions assurantielles, seules les garanties Obsèques, Tempo-Décès et Invalidité ont été modélisées afin de calculer les différents SCR de chaque sous-module de risque.

Afin d'atteindre un niveau de comparabilité optimal entre les deux réglementations prudentielles, le choix a été fait de calquer la modélisation faite pour ICS sur Solvabilité II. De cette manière, les trois garanties citées précédemment seront étudiées et décrites dans cette partie de manière identique à celles utilisées pour ICS, en pointant directement que les endroits où les normes divergent.

Pour des raisons de comparabilité, les tables de mortalité et d'invalidité utilisées dans le premier modèle seront réutilisées dans celui-ci, afin de mieux percevoir les différences de Capital Requis dues à la construction des risques en elle-même.

## 7.1.1 La garantie Tempo-Décès

### 7.1.1.1 Calcul du Best Estimate

Le calcul des exigences de capital requis est défini sous Solvabilité II comme la différence entre le *Best Estimate* central, c'est-à-dire non choqué, et le *Best Estimate* stressé avec le choc correspondant au risque voulu. De cette façon, il est impératif de calculer les passifs d'assurance, et en particulier le BE, de manière précise pour chacune des garanties.

Néanmoins, le *Best Estimate* de Solvabilité II est défini et calculé de manière identique au *Current Estimate* d'*International Capital Standards*. De cette manière, le BE pour la garantie Tempo-Décès, projetée sur une année (c'est-à-dire la durée entière des contrats Tempo-Décès signés par les assurés), sera le suivant pour SII.

$$BE_i = (\text{Prestation}_i - \text{Cotisation}_i + \text{Frais}_i + \text{PSAP}_i + \text{Charges Techniques}_i) \times FA_1$$

|  $i$  représente le contrat de l'assuré  $i$ ;

Avec |  $\text{Frais}_i$  la somme des frais de gestion de sinistres, d'administration et d'acquisition;

|  $\text{PSAP}$  les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $FA_1$  le facteur d'actualisation de la courbe de de taux sans risque de Solvabilité II de l'année 1.

### 7.1.1.2 Le calcul des SCRs pour SII

#### Les sous-modules de Mortalité et Longévité

Les calculs des SCRs pour les risques de mortalité et de longévité sous SII se déroule comme pour ICS, en choquant la table de mortalité, mais avec un stress de choc différent:

- choc de mortalité : + 15 %
- choc de longévité : - 20 %

Pour des raisons de comparabilité entre les modèles d'ICS et de SII, les mêmes tables de mortalité sont utilisées pour les deux modélisations.

#### Le sous-module de frais

Le calcul du SCR pour le risque de frais pour ICS se calcule de manière légèrement différente par rapport à celui d'ICS. Tout comme pour ICS, le SCR se calcule en choquant les frais de gestion de sinistres, les frais d'acquisition et les frais d'administration grâce à deux stress sur chacun des taux des trois frais cités précédemment :

- Un taux de frais de 10 %, comparable à celui d'ICS qui est lui de 6 %
- Un taux d'inflation d' 1 %, identique à celui d'ICS, mais qui ne s'applique pas de la même manière que la réglementation internationale.

Ainsi, le scénario de stress pour les risque de frais donne le taux choqué suivant pour chacun des frais du *Best Estimate* :

$$\text{Taux}_{\text{choqué}} = \text{Taux}_{\text{base}} \times (1 + 10\% + 1\%)$$

### 7.1.1.3 Synthèse

SII - Paramétrage des chocs - Garantie Tempo-Décès					
Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc	Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc	ICS
Mortalité	Taux de mortalité	15%	1	15%	12,5%
Longévité	Taux de mortalité	20%	0	0%	17,5%
Frais	Taux de frais	10%	0	0%	6%
	Taux d'inflation	1%		0%	1%

Figure 7.1 Chocs de stress SII pour la garantie Tempo-Décès - Comparaison avec ICS

Ainsi, hormis le taux d'inflation du risque de frais, les méthodes de calcul de SCR sont les mêmes pour ICS et SII. Étant donné que le Current Estimate et le Best Estimate sont définis et calculés de la même manière, le fait que les stress de choc pour SII soient plus important que pour la réglementation internationale explique le fait que les Seuils de Capitaux Requis sont plus importants pour la réglementation européenne.

SII			ICS		
SCR Tempo-Décès			SCR Tempo-Décès		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance	Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Mortalité	97 318	49 304	Mortalité	81 144	41 132
Longévité	-	-	Longévité	-	-
Frais	14 686	7 773	Frais	8 834	4 686

Best Estimate central et choqués					Current Estimate central et choqués				
Best Estimate	Central	Mortalité	Longévité	Frais	Current Estimate	Central	Mortalité	Longévité	Frais
Brut	569 289	666 607	439 530	583 975	Brut	569 653	650 797	456 050	578 486
Net	288 941	338 245	223 203	296 714	Net	289 308	330 441	231 723	293 994

Figure 7.2 Comparaison des SCRs pour la garantie Tempo-Décès

## 7.1.2 La garantie Obsèques

### 7.1.2.1 Le Best Estimate

La modélisation des capitaux requis pour Solvabilité II pour la garantie Obsèques s'organise autour du même portefeuille utilisé pour la réglementation ICS. De plus, le Best Estimate de SII est défini et calculé de la même manière que le Current Estimate de ICS. Ainsi, le calcul de projections des prestations et primes est identique, ainsi que les différents taux de rachat et de frais. De même, pour obtenir une comparaison optimale avec Solvabilité II, il est choisi de projeter les flux pour cette garantie sur une durée de 120 années, comme pour ICS.

Ainsi, il est ainsi assez simplement trouvé que, comme pour le CE de la directive internationale :

$$BE_{Obs} = \begin{pmatrix} P_{reval,1} \\ \vdots \\ P_{reval,120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_{120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_{120} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{g,1} + F_{Ac,1} + F_{Ad,1} \\ \vdots \\ F_{g,120} + F_{Ac,120} + F_{Ad,120} \end{pmatrix} + \times \begin{pmatrix} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{120} \end{pmatrix} \\ + (CT + PSAP) \times FA_1$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de de taux sans risque de Solvabilité II de l'année  $i$ ,

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $C_i$  les cotisations projetées pour l'année  $n + i$ ,

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $n + i$ ,

|  $F_{Ac}$  les frais d'acquisition sur l'année  $n+1$ ,

|  $F_{Ad}$  les frais d'administrations sur l'année  $n+1$ ,

| CT les charges techniques sur l'année  $n+1$ .

### 7.1.2.2 Le calcul des SCRs pour SII

Comme pour la réglementation ICS, les risques qui posséderont un SCR non nul pour la garantie Obsèques sont les risques de Longévité et de Mortalité, de frais et de rachat. En effet, le SCR de risque d'invalidité sera nul car les contrats de la garantie Obsèques ne prennent pas en compte l'hypothèse de validité de l'assureur.

#### Les sous-modules de Mortalité et Longévité

De la même manière que pour la garantie Tempo-Décès, le calcul de ces deux sous-modules de risque est effectué de manière identique à ICS, à la seule différence du montant des stress de choc:

- choc de mortalité : + 15 %
- choc de longévité : - 20 %

### Le sous-module de frais

Pour la garantie Obsèques, le calcul du SCR du risque de frais s'organise de la même manière que pour celui de la garantie Tempo-Décès, à la seule différence que les frais s'échelonne sur toutes les années de projections. Ainsi, le choc de frais s'appliquera à toutes les années de projection pour les frais de gestion de sinistres, d'acquisition et d'administration, et ce par l'intermédiaire de deux taux différents :

- Un taux de frais de 10 %, comparable à celui d'ICS qui est lui de 6 %
- Un taux d'inflation d' 1 %, identique à celui d'ICS, mais qui ne s'applique pas de la même manière que la réglementation internationale.

Ainsi, le scénario de stress pour les risque de frais donne le taux choqué suivant pour chacun des frais du *Best Estimate* :

$$\text{Taux}_{\text{choqué}} = \text{Taux}_{\text{base}} \times (1 + 10\% + 1\%)$$

### Le sous-module de rachat

Le capital de solvabilité requis du sous-module de rachat possède une méthode de calcul similaire en tout point à la méthode utilisée dans la formule standard d'ICS. En effet, Solvabilité II propose un calcul du capital requis par l'intermédiaire de trois scénarios :

- Un scénario haussier relatif qui augmente le taux de rachat de 50 %, et ce pour toutes les années de projections, à savoir 120 années comme convenus dans les choix de modélisation pour Solvabilité II.
- Un scénario opposé, baissier relatif qui diminue le taux de rachat de 50 %, et ce également pour toutes les années de projection. Ainsi,

$$\text{Rachat}_{\text{Choc, rel}} = \sum_{i=0}^{120} \text{Rachat}_{\text{central}} \times (1 + \alpha)$$

Avec  $|\alpha = +50\%$  pour le scenario de hausse de rachat

$|\alpha = -50\%$  pour le scenario de baisse de rachat

- un scénario de rachat massif où tous les contrats possédant un taux de rachat non nul sont racheté à hauteur de 40 % la première année de projection. Ensuite, pour toutes les autres années de projection, le rachat est supposé nul.

$$\text{Rachat}_{\text{Choc, Mass}} = \text{PM}_{n+1} \times 40\%$$

Ainsi, étant donné que les provisions mathématiques sont calculées de la même manière pour ICS et pour SII, la seule différence pour le calcul de SCR de Rachats est le pourcentage de choc.

### 7.1.2.3 Synthèse

Ainsi, pour la garantie Obsèques, chacun des capitaux requis des sous-modules de risque se calcule de la même que sous la réglementation, hormis le taux d'inflation du risque de frais qui s'applique de manière différente. Cette différence mise à part, les seules distinctions entre ICS et SII sont au niveau des montants des chocs appliqués respectivement au Current Estimate et au Best Estimate.

SII - Paramétrage des chocs SCR - Garantie Obsèques					
Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc	Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc	ICS
Mortalité	Taux de mortalité	15,0%	1	15%	12,5%
	Longévité	-20,0%	0	0%	-17,5%
Frais	Taux de frais	10%	0	0%	6%
	Taux d'inflation	1%	0	0%	1% 2% 3%
Rachat	Sc baisse	-50%	0	0%	-40%
	Sc hausse	50%	0	0%	40%
	Sc masse	40%	0	0%	30%

Figure 7.3 Chocs de stress SII pour la garantie Obsèque - Comparaison avec ICS

Pour chacun des stress de choc sans exception, le montant du choc est plus important sous SII, ce qui explique que la valeur des fonds propres requise pour l'assureur pour faire face aux engagements est plus faible sous ICS pour chacun des sous-modules de risques de la garantie Obsèques.

SII			ICS		
SCR - Obsèques			SCR - Obsèques		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance	Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Mortalité	1 354 865	1 354 865	Mortalité	1 002 539	1 002 539
Longévité	-	-	Longévité	-	-
Frais	944 500	944 500	Frais	676 026	676 026
Rachat	896 367	896 367	Rachat	672 180	672 180

Best Estimate central et choqués							
SII							
Best Estimate	Central	Mortalité	Longévité	Frais	Rachat (sc baisse)	Rachat (sc hausse)	Rachat (sc masse)
Brut	6 299 354	7 654 219	4 362 813	7 243 854	6 144 734	6 408 245	7 195 721
Net	6 299 354	7 654 219	4 362 813	7 243 854	6 144 734	6 408 245	7 195 721

Current Estimate central et choqués							
ICS							
Best Estimate	Central	Mortalité	Longévité	Frais	Rachat (sc baisse)	Rachat (sc hausse)	Rachat (sc masse)
Brut	6 304 453	7 306 992	4 645 753	6 980 478	6 194 734	6 414 171	6 976 633
Net	6 304 453	7 306 992	4 645 753	6 980 478	6 194 734	6 414 171	6 976 633

Figure 7.4 Comparaison des SCR pour la garantie Obsèque

### 7.1.3 La garantie Invalidité

#### 7.1.3.2 Le Best Estimate

Le Best Estimate pour la garantie Invalidité sous Solvabilité II est, comme pour les deux garanties précédentes, calculés de manière identique au Current Estimate d'ICS. Ainsi, en projetant les flux, comme pour la réglementation internationale, sur une durée de 50 années, il est obtenu le BE suivant:

$$BE_{Inv,Total} = BE_{Central} = BE_{Inv, en cours} + BE_{Inv, fut}$$

Avec,

$$Best\ Estimate_{Inv, en\ cours} = \left( \begin{array}{c} Flux\ reval_{en\ cours,1} \\ \vdots \\ Flux\ reval_{en\ cours,50} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} F_{g, en\ cours,1} \\ \vdots \\ F_{g, en\ cours,50} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{50} \end{array} \right) + PSAP \times FA_1$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de taux sans risque de Solvabilité II de l'année  $i$ ;

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $i$ ;

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer.

$$Best\ Estimate_{Inv, fut} = \left( \begin{array}{c} Flux_{fut,1} \\ \vdots \\ Flux_{fut,50} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} F_{g, fut,1} \\ \vdots \\ F_{g, fut,50} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} FA_1 \\ \vdots \\ FA_{50} \end{array} \right) + (-C + F_{Ac} + F_{Ad} + CT)_{n+1} \times FA_1$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de la courbe de taux sans risque de Solvabilité II de l'année  $i$ ,

| PSAP les Provisions pour Sinistres À Payer,

|  $C_{n+1}$  les cotisations des nouveaux assurés,

Avec |  $F_{g,i}$  les frais de gestion des sinistres de l'année  $n + i$ ,

|  $F_{Ac,n+1}$  les frais d'acquisition sur l'année  $n+1$ ,

|  $F_{Ad,n+1}$  les frais d'administrations sur l'année  $n+1$ ,

|  $CT_{n+1}$  les charges techniques sur l'année  $n+1$ .

Une fois le Best Estimate central trouvé, il est possible de le choquer grâce aux scénarios de stress respectifs de chacun des sous-modules de risque liés à cette garantie.

#### 7.1.3.2 Les calculs de SCR pour SII

Pour la garantie invalidité, les capitaux requis qui seront non nuls sont, comme pour la réglementation ICS, le risque de frais et le risque d'invalidité.

Le sous-module de frais



Le SCR du risque de frais pour la garantie invalidité se calcule exactement de la même que celui de la garantie Obsèques, à la seule différence que les frais ne sont pas les mêmes.

Pour la garantie Invalidité, les frais qui sont choqués sont les frais de gestion de sinistres liés aux contrats en cours où les assurés sont déjà en état d'invalidité, les frais de gestions liés aux futurs sinistres des contrats que les nouveaux assurés viennent de souscrire, et les Frais d'acquisition et d'administration liés à ces nouveaux contrats. Pour chacun de ces frais, le taux de frais propre à chacun se retrouve choqué de la manière suivante :

- Par un taux de frais de 10 %, comparable à celui d'ICS qui est lui de 6 %
- Par un taux d'inflation d' 1 %, identique à celui d'ICS, mais qui ne s'applique pas de la même manière que la réglementation internationale.

$$\text{Taux}_{\text{choqué}} = \text{Taux}_{\text{base}} \times (1 + 10\% + 1\%)$$

Ainsi, à la différence de la directive internationale, le taux d'inflation ne varie pas en fonction des années de projections, et garde la valeur fixe de 1 %.

#### Le sous-module d'invalidité

Deux scénarios de choc : un scénario avec un taux d'incidence, décomposé en deux situations,  $p = 1$  et  $p > 1$ . Le scénario pour  $p > 1$  est similaire au scénario de Création pour ICS avec un taux de hausse de 25 % des taux de maintien en invalidité pour tous les âges et toutes les années de projection.

Le second scénario est un scénario de baisse des taux de maintien en invalidité, avec un choc nommé taux de maintien de - 20 %. Ce scénario est similaire en tout point au scénario baissier de Récupération d'ICS, qui lui aussi possède un taux baissier de - 20 %

$$\text{SCR}_{\text{Invalidité}} = \text{Max}[\text{Max}(\text{BE}_{\text{Incidence, } p=1} - \text{BE}_{\text{Central}}; \text{BE}_{\text{Incidence, } p>1} - \text{BE}_{\text{Central}}); \text{BE}_{\text{Maintien}} - \text{BE}_{\text{Central}}; 0]$$

Avec | p la maturité

La principale distinction entre ICS et SII est donc la décomposition du premier scénario de choc haussier en deux cas dépendant de la maturité. En effet, Solvabilité II prône ici plus de prudence en demandant plus de fonds propres permettant de faire face aux engagements sur la première année de projection.

À l'exception de cette décomposition du premier scénario, les deux réglementation utilisent la même méthode de calcul du capital de solvabilité pour le risque d'invalidité. La différence de SCR sera due au cas  $p=1$ , qui explique le fait que le SCR pour SII soit plus important que celui d'ICS, comme il est possible de la voir dans le tableau de la partie suivante.

#### **7.1.3.2 Synthèse**

SII - Paramétrage des chocs SCR - Garantie Invalidité

Risque	Paramètres choqués	Valeur du choc	Application du choc ( oui=1; non=0)	Choc	ICS		
Invalidité	Taux d'incidence (p=1)	35%	0	0%	25% (création)		
	Taux d'incidence (p>1)	25%	0	0%			
	Taux de maintien	-20%	1	-20%	-20% (récupération)		
Frais	Taux de frais	10%	0	0%	6%		
	Taux d'inflation	1%		0%	1%	2%	3%

Figure 7.5 Chocs de stress SII pour la garantie Invalidité - Comparaison avec ICS

SII			ICS		
SCR - Garantie Invalidité			SCR - Garantie Invalidité		
Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance	Liste des chocs	SCR brut de réassurance	SCR net de réassurance
Frais	20 901	13 670	Frais	12 233	7 118
Invalidité	29 693	13 746	Invalidité	14 146	6 633

Best Estimate central et choqués				Current Estimate central et choqués				
Best Estimate	Central	Invalidité	Frais	Current Estimate	Central	Invalidité		Frais
						Choc de Récupération (-20%)	Choc de Création (+25%)	
Brut	294 720	324 413	315 621	Brut	294 830	285 581	308 976	307 063
Net	159 042	172 788	172 712	Net	159 167	154 256	165 800	166 285

Figure 7.6 Comparaison des SCRs pour la garantie Invalidité

## 7.1.4 Calcul du $SCR_{Vie}$ et du $SCR_{Santé}$

### 7.1.4.1 Synthèse des sous-modules de risque liés à la Vie

Dans les précédentes sous-parties, il a été calculé un Capital de Solvabilité Requis propre à chaque sous-module de risque et à chaque garantie dès que nécessaire. Voici le bilan des résultats obtenus.

#### Bilan des garanties

	Obsèques	Temporaire Décès	Invalidité	Total - Vie	Total - Santé Vie
Mortalité	1 354 865 €	49 304 €		1 404 169 €	
Longévité	- €	- €		- €	
Invalidité			13 746 €		13 746 €
Rachat	896 367 €			896 367 €	
Frais	944 500 €	7 773 €	13 670 €	952 273 €	13 670 €

Figure 7.7 SCRs des sous-modules de risque liés à la Vie

Il est à remarquer que l'agrégation de ces sous-modules diffère entre Solvabilité II et International Capital Standards. En effet, quand l'IAIS proposait de regrouper tous les sous-modules de risques liés à la souscription Vie pour former un "SCR VIE", la directive Solvabilité II demande aux assureurs de séparer ce montant en deux SCR bien distincts, le  $SCR_{Vie}$  et le SCR Santé Vie aussi appelé SCR SLT (Santé lié à la vie).

Lors de la construction du Modèle SII propre au portefeuille étudié, il a été vu que les sous-modules de risques qui seront intégrés au SCR SLT sont les montants obtenus lors de l'étude de la garantie Invalidité. Ainsi, les autres SCRs obtenus lors des études des deux autres garanties vont eux être regroupé dans le SCR Vie.

Il est cependant à noter que les matrices d'agrégation pour les deux modules "Vie" et "Santé Vie" sont exactement les mêmes.

### 7.1.4.2 Calcul du $SCR_{Santé}$

Le calcul du  $SCR_{Santé}$  est en théorie plus compliqué à calculer que le  $SCR_{Vie}$ . En effet, le module "Santé" regroupe trois modules, qui eux se chargent de regrouper des sous-modules de risques. Ces trois modules sont :

- Santé lié à la Vie, ou SLT
- Santé lié à la non Vie, ou NSLT
- Santé lié aux catastrophes

Une fois les SCRs de ces trois modules obtenus, le  $SCR_{Santé}$  s'obtient en les agrégeant. Néanmoins, dans le cadre de ce mémoire et pour le portefeuille étudié, il a été vu que :

- $SCR_{NSLT} = 0$
- $SCR_{Santé-Cat} = 0$

Ainsi, pour notre portefeuille, l'égalité suivante est vérifiée :

- $SCR_{Santé} = SCR_{SLT}$

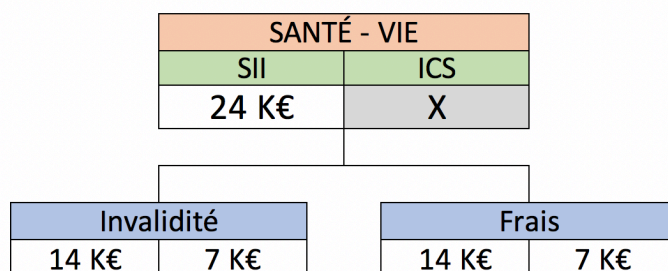
SANTE (SLT)		Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	Frais
		- €	- €	13 746 €	- €	13 670 €
Mortalité	- €	100%	-25%	25%	0%	25%
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%	25%
Invalidité	13 746 €	25%	0%	100%	0%	50%
Rachat	- €	0%	25%	0%	100%	50%
Frais	13 670 €	25%	25%	50%	50%	100%
		0	0	282906426	0	280822810

Figure 7.9 Agrégation des sous-modules de risque -  $SCR_{SLT}$



**Analyse**.....

L'analyse de cette exigence de capital est particulière. En effet, une comparaison avec ICS est difficile car le module Santé n'y existe pas. Néanmoins, même si aucun module n'existe à proprement parlé, il est possible de reprendre les résultats qui avaient été obtenus lors de l'étude de la garantie Invalidité. De ce fait, voici les résultats tels que nous pouvons les étudier.



Les deux directives utilisent les mêmes méthodes pour calculer les exigences en capital des deux sous-modules de risques. Ce sont la manière d'appliquer les chocs et leurs valeurs qui provoquent des différences de SCR.

Solvabilité II calcule son  $SCR_{Invalidité}$  en prenant le maximum entre deux scénari de choc de 25 % et 35%, tandis que ICS n'utilise que celui de 25 %. Pour le portefeuille étudié, le maximum des deux scénari de SII est celui utilisant le choc de 35 %, ce qui explique la différence de SCR entre les deux directives.

D'une manière similaire, ICS utilise un taux de choc de 6 % pour le risque de frais de la garantie Invalidité, contre 10 % pour SII, ce qui est explique la aussi le fait que le  $SCR_{Frais,(Invalidité)}$  soit plus élevé sous Solvabilité II.

### 7.1.4.3 Calcul du SCR<sub>Vie</sub>

VIE		Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	Frais
		1 404 169 €	- €	- €	896 367 €	952 273 €
Mortalité	1 404 169 €	100%	-25%	25%	0%	25%
Longévité	- €	-25%	100%	0%	25%	25%
Invalidité	- €	25%	0%	100%	0%	50%
Rachat	896 367 €	0%	25%	0%	100%	50%
Frais	952 273 €	25%	25%	50%	50%	100%
		2,30598E+12	0	0	1,23027E+12	1,6679E+12

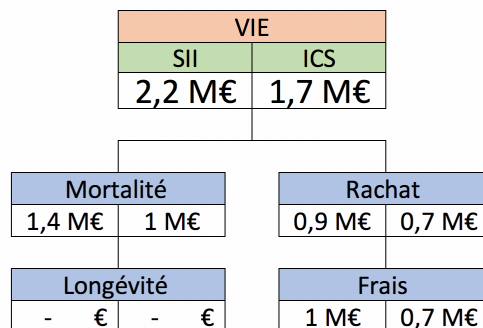
Figure 7.8 Agrégation des sous-modules de risque - SCR<sub>Vie</sub>



Il a été vu précédemment que le module Vie d'*International Capital Standards* englobe les deux modules Vie et Santé-Vie de Solvabilité II. Etant donné que le SCR<sub>Vie</sub>, SII est cent fois supérieur au SCR<sub>SLT</sub>, il sera considéré que ce dernier est négligeable et qu'il est possible de comparer directement les modules Vie des deux directives.

#### Analyse.....

Le module Invalidité ayant déjà été étudié, voici les résultats tels que nous pouvons les comparer, avec les hypothèses établies précédemment.



En regardant les résultants dans leur globalité, une tendance s'impose rapidement. Les SCRs des sous-modules de risque d'*ICS* sont environ 30 % inférieurs à ceux de *SII*, tendance qui se confirme au regard du  $SCR_{Vie}$  des deux directives. Cette tendance s'explique par la différence de choc employé pour chaque sous-module de risque :

	SII	ICS	%age d'écart
	<b>Taux de Mortalité</b>		
	15%	12,5%	+17%
	<b>Taux de Mortalité</b>		
	20%	17,5%	+13%
	<b>Taux de Frais</b>		
	10%	6%	+40%
	<b>Rachat</b>		
Sc. Hausse/baisse	50%	40%	+20%
Sc. Masse	40%	30%	+25%

En effet, il n'existe aucune différence de méthode générale dans le calcul des sous-modules du risque de Vie. Les seuls ajustements faits par *International Capital Standards* sont au niveau des valeurs des chocs et du nombre de chocs employés. La norme internationale semble vouloir se distinguer en accordant une confiance plus importante aux assureurs.

La raison de cette confiance est due au fait qu'*ICS* n'est destinée qu'aux groupes d'assurances les plus importants. De ce fait, les capitaux requis seront beaucoup plus élevés que ceux d'une mutuelle de taille moyenne, ce qui explique une demande moins importantes en pourcentage de la part de l'IAIS.

## 7.2 Les risques de Marché

Les définitions théoriques des six sous-modules du risque de marché sont, mot pour mot, les mêmes pour les deux réglementations. De cette manière, la comparaison des méthodes de calcul du Capital de Solvabilité Requis ne dépendra pas de l'aspect théorique de la construction de la formule standard. De la même manière, le fait que l'entreprise fictive étudiée est considérée comme une branche solo d'un groupe internationale permet une comparabilité optimale des méthodes de capitaux requis.

Cette partie du mémoire compare donc les calculs de SCR pour les risques de marché en présentant le modèle construit pour Solvabilité II, qui utilise le même portefeuille d'actifs que celui utilisée pour la modélisation d'ICS.

### 7.2.1 Taux d'Intérêt

#### Méthode de calcul du SCR<sub>Taux</sub>

Le risque de taux est défini par Solvabilité II de la même manière qu'ICS, et utilise également l'approche par stress afin de calculer le Capital de Solvabilité Requis. La différence de Net Asset Value créée par le stress de choc est obtenue de la même manière que pour ICS, en choquant à les actifs et les passifs d'assurance.

$$\Delta(\text{NAV}) = (\text{Actif}_{\text{Central}} - \text{Actif}_{\text{Choqué}}) + (\text{CE}_{\text{Choqué}} - \text{CE}_{\text{Central}})$$

Solvabilité II se démarque par les scénarios de chocs appliqués au bilan. En effet, la formule standard propose simplement deux scénarios de choc, un haussier et un baissier, contre cinq pour ICS. Le capital de Solvabilité Requis est ensuite le maximum entre les différences de NAV des deux scénarios, et zéro.

$$\text{SCR}_{\text{Taux, SII}} = \text{Max}[\Delta(\text{NAV})_{\text{haussier}}; \Delta(\text{NAV})_{\text{baissier}}; 0]$$

#### Construction des courbes de taux des scénarios de choc

Pour les deux courbes de taux sans risque, les facteurs d'actualisation sont calculés de la même façon que pour toutes les courbes de taux sous ICS, c'est-à-dire grâce à la formule suivante.

$$FA_i = (1 + TA_i)^{-(i + 0,5)}$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de l'année  $i$ ;

Avec |  $TA_i$  le taux d'actualisation de l'année  $i$ ;

|  $i$  l'année de maturité à l'actif, et l'année de projection au passif.

Néanmoins, les informations données par l'EIOPA pour construire les courbes d'actualisation des scénarios de choc de taux sont différentes de celles données par l'IAIS. En effet, les deux courbes de taux sans risque sont utilisées pour obtenir les facteurs d'actualisation des scénarios de choc. Ainsi, pour les scénarios de hausse et de baisse pour le risque de taux, les facteurs d'actualisation sont calculés de la manière suivante:

$$FA_i = (1 + TA_i \times (1 + \text{Choc}_i) + (TA_{i,VA} - TA_i))^{-(i + 0,5)}$$

|  $FA_i$  le facteur d'actualisation de l'année  $i$  pour le scénario de choc haussier ou baissier;

|  $\text{Choc}_i$  le choc pour l'année  $i$  correspond au scénario haussier ou baissier;

Avec |  $TA_i$  le taux d'actualisation de la courbe de taux sans risque et sans valeur d'ajustement de l'année  $i$ ;

|  $TA_{i,VA}$  le taux d'actualisation de la courbe de taux sans risque et avec valeur d'ajustement de l'année

$i$ ;

|  $i$  l'année de maturité à l'actif, et l'année de projection au passif.

Courbes de taux sans risque					Courbes de choc - Risque de taux - SII			
Année	Taux d'actualisation (avec VA)	Facteur d'actualisation (sc central)	Taux d'actualisation (sans VA)	Facteur d'actualisation (sc central)	Choc hausse	Facteur d'actualisation (sc hausse)	Choc baisse	Facteur d'actualisation (sc baisse)
	0	-0,17%	99,91%	-0,30%		99,85%		100,00%
1	-0,13%	100,07%	-0,26%	100,13%	70,00%	99,57%	-65,00%	99,97%
2	-0,08%	100,12%	-0,21%	100,31%	70,00%	98,63%	-56,00%	99,91%
3	0,01%	99,98%	-0,12%	100,31%	64,00%	97,53%	-50,00%	99,81%
4	0,11%	99,63%	-0,02%	100,08%	59,00%	96,22%	-46,00%	99,59%
5	0,22%	99,01%	0,09%	99,59%	55,00%	94,68%	-42,00%	99,20%
6	0,35%	98,12%	0,22%	98,83%	52,00%	92,92%	-39,00%	98,61%
7	0,47%	96,99%	0,34%	97,81%	49,00%	90,94%	-36,00%	97,83%
8	0,59%	95,68%	0,46%	96,61%	47,00%	88,84%	-33,00%	96,87%
9	0,70%	94,24%	0,57%	95,28%	44,00%	86,64%	-31,00%	95,75%
10	0,80%	92,70%	0,67%	93,84%	42,00%	84,40%	-30,00%	94,54%

Figure 7.10 Aperçu des courbes de choc - Risque de Taux

### Calcul du $SCR_{Taux}$

Risque de taux	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>ICS</b>					<b>1 733 781</b>
Mean Reversion	967 650	46 094	- 130	- 2 456	<b>1 011 158</b>
Level up	2 238 006	- 771 655	- 977	- 12 733	<b>1 452 641</b>
Level down	1 079 341	1 688 918	1 002	14 595	<b>625 174</b>
Twist up to down	408 091	- 46 744	478	586	<b>362 411</b>
Twist down to up	927 411	562 534	- 461	- 493	<b>1 488 991</b>
<b>SII</b>					<b>1 744 039</b>
Hausse	1 626 286	- 2 350 963	617	- 9 264	- <b>733 324</b>
Baisse	88 693	1 683 837	122	1 387	<b>1 774 039</b>

Figure 7.11  $SCR_{Taux}$  pour SII et ICS



## 7.2.2 Spread

Le risque de Spread, bien que défini de la même manière pour SII et ICS, est étudié de manière complètement différente pour les deux réglementations. Tandis que le calcul du SCR risque de Spread sous ICS est calqué sur celui du risque de taux, l'approche est totalement différente sous Solvabilité II.

En effet, dans la formule standard de la directive européenne, le risque de crédit est calculé dans deux modules, le sous-module de Spread, étudié dans cette partie, et le module "Contrepartie", qui sera abordé par la suite. Tandis que le second traite les risques de défaut concernant les dérivés de crédit et les traités de réassurance, le risque de Spread d'intéresse lui au risque émetteur.

Ce sous-module permet de juger de "la sensibilité de la valeur des actifs et passifs face aux changements affectant le niveau ou la volatilité des marges de crédit par rapport à la courbe des taux d'intérêts sans risque".

De ce fait, les éléments du portefeuille ciblés par ce sous-module sont les obligations, les prêts, les positions de titrisation et les dérivés de crédit.

Le Capital de Solvabilité Requis lié à ce risque est alors la somme des capitaux propres à la couverture de chacun de ces éléments :

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

Avec |  $SCR_{\text{bonds}}$  le capital requis propre aux obligations et aux prêts

|  $SCR_{\text{secu}}$  le capital requis propre aux positions de titrisation.

|  $SCR_{\text{cd}}$  le capital requis propre aux dérivées de crédit.

Le portefeuille étudié ne possédant ni positions de titrisation ni dérivées de crédit, la formule suivante s'applique alors pour notre modèle :

$$SCR_{\text{spread}} = SCR_{\text{bonds}}$$

Toutefois, tout comme pour le risque de Spread sous ICS, le passif du portefeuille n'est pas choqué, ce qui implique l'égalité  $\Delta(BE) = 0$ .

$$\begin{aligned} SCR_{\text{spread}} &= \Delta(NAV) \\ &= \Delta(MV) - \Delta(BE) \\ &= \Delta(MV) = VM_{\text{initiale}} - VM_{\text{choquée}} \\ &= \sum_{i=0}^n VM_i - \sum_{i=0}^n VM_i \times (1 - \text{Stress}_i) \\ &= \sum_{i=0}^n VM_i \times \text{Stress}_i \end{aligned}$$

Avec |  $VM_i$  la valeur de marché de l'obligation  $i$  du portefeuille

|  $\text{Stress}_i$  le choc appliqué à l'obligation  $i$

La valeur du stress qui est attribué à l'obligation dépend de sa qualité de crédit et de sa durée. Solvabilité II énonce dans sa directive la valeur du choc en fonction de ses deux facteurs grâce au tableau et à la formule qui suivent :

Echelon de qualité de crédit		0		1		2		3	
Duration modifiée (dur <sub>i</sub> )	Stress <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	a <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>
0-5 ans	b <sub>i</sub> * dur <sub>i</sub>		0,90%		1,10%		1,40%		2,50%
6-10 ans	a <sub>i</sub> + b <sub>i</sub> * (dur <sub>i</sub> - 5)	4,50%	0,50%	5,50%	0,58%	7,00%	0,70%	12,50%	1,50%
11-15 ans	a <sub>i</sub> + b <sub>i</sub> * (dur <sub>i</sub> - 10)	7,00%	0,50%	8,40%	0,50%	10,50%	0,50%	20,00%	1,00%
16-20 ans	a <sub>i</sub> + b <sub>i</sub> * (dur <sub>i</sub> - 15)	9,50%	0,50%	10,90%	0,50%	13,00%	0,50%	25,00%	1,00%
> 20 ans	a <sub>i</sub> + b <sub>i</sub> * (dur <sub>i</sub> - 20)	12,00%	0,50%	13,40%	0,50%	15,50%	0,50%	30,00%	0,50%

Figure 7.12 Facteurs de choc des obligations (Source EIOPA)

$$\text{Stress}_i = a_i + b_i \times (\text{duration}_i - \text{borne}_i)$$

Il est considéré dans cette sous-partie, afin d'être en accord avec les hypothèses établies lors de la modélisation du premier modèle, que les obligations que possède ce portefeuille sont toute de signature AA, ce qui correspond à l'échelon de crédit 1.

Afin de calculer le  $\text{SCR}_{\text{spread}}$ , il ne reste alors qu'à reprendre les données utilisées dans la deuxième partie lors du calcul du  $\text{SCR}_{\text{Crédit}}$  pour ICS. Les obligations sont ainsi reprises avec la même durée et la même valeur de marché.

Il suffit ensuite de remplacer ces montants selon la durée demandée par Solvabilité II, puis d'appliquer les taux de stress correspondants.

Tranche de durée	duration	VM(i)	Qualité de crédit	a(i)	b(i)	dur(i) - borne(i)	stress(i)	VM(i) x stress(i)
0 - 5 ans	0 an	13 333 483,30 €	1	0,00%	1,10%	0	0,00%	- €
	1 an	1 450 442,26 €	1	0,00%	1,10%	1	1,10%	15 955 €
	2 ans	1 450 442,26 €	1	0,00%	1,10%	2	2,20%	31 910 €
	3 ans	1 450 442,26 €	1	0,00%	1,10%	3	3,30%	47 865 €
	4 ans	1 450 442,26 €	1	0,00%	1,10%	4	4,40%	63 819 €
	5 ans	1 450 442,26 €	1	0,00%	1,10%	5	5,50%	79 774 €
6 - 10 ans	6 ans	1 450 442,26 €	1	5,50%	0,58%	0	5,50%	79 774 €
	7 ans	1 450 442,26 €	1	5,50%	0,58%	1	6,08%	88 187 €
	8 ans	1 450 442,26 €	1	5,50%	0,58%	2	6,66%	96 599 €
	9 ans	1 450 442,26 €	1	5,50%	0,58%	3	7,24%	105 012 €
	10 ans	1 450 442,26 €	1	5,50%	0,58%	4	7,82%	113 425 €
11 - 15 ans	11 ans	1 450 442,26 €	1	8,40%	0,50%	0	8,40%	121 837 €
	12 ans	1 450 442,26 €	1	8,40%	0,50%	1	8,90%	129 089 €
	13 ans	1 450 442,26 €	1	8,40%	0,50%	2	9,40%	136 342 €
	14 ans	1 450 442,26 €	1	8,40%	0,50%	3	9,90%	143 594 €

Figure 7.13 Calcul de la valeur de marché choquée par durée

	SII	SCR - Spread	1 253 182 €	
Et	ICS	SCR - Crédit	664 496 €	cf 5.4

Figure 7.14  $\text{SCR}_{\text{Spread}}$  pour SII et ICS

Il a été énoncé précédemment que les risques de des deux directives sont très différents, ce qui explique que ce soit le risque de Crédit d'ICS qui soit comparé au résultat de  $SCR_{Spread}$  sous SII. En effet, le risque de Crédit sous ICS correspond aux mêmes exigences de capital que les risques de contrepartie et de Spread combinés pour Solvabilité II.

Le risque de Contrepartie sera étudié dans la suite du mémoire. De ce fait, l'analyse des résultats de cette sous-partie sera effectué à ce moment, afin d'avoir une meilleure comparabilité.

### 7.2.3 Action

Le risque d'action est défini sous Solvabilité II de la même manière que pour *International Capital Standards*. Néanmoins, contrairement à ICS qui calcul son SCR d'action en deux étapes, la première en choquant la valeur des actions, et la deuxième en estimant les risques causés par la volatilité du marché des actions, Solvabilité II ne réalise que la première des deux étapes.

Ainsi, afin de calculer le Capital de Solvabilité Requis, la directive européenne propose à l'organisme d'assureur de classer ses actions en deux catégories (contre quatre pour ICS), dont chacune est stressée avec un choc différent.

Choc par type d'actions			
		Choc SII	Choc SII (avec ajustement symétrique)
Type 1	Actions cotées	39,0%	37,56%
Type 2	Actions non cotées	49,0%	47,56%
Participation Stratégique		22,0%	22,00%

Figure 7.15 Chocs de stress par type d'action

Afin de pouvoir comparer de la meilleure des manières l'impact de la différence des montants de choc entre les deux réglementations, le choix a été fait de choisir une valeur d'ajustement symétrique identique pour les deux modèles, d'une valeur de -1,44 %.

Ensuite, le SCR se calcule de manière similaire à ICS, en choquant directement la valeur de marché de l'action en fonction de son type.

SII - Actions - Matrice de corrélation		
	Type 1	Type 2
Type 1	100%	75%
Type 2	75%	100%

Figure 7.16 Matrice d'agrégation - Risque Action

Il ne reste alors plus qu'à sommer les différences de d'actif entre la valeur de marché initiale et la valeur de marché choquée pour chaque type d'action, puis d'appliquer la matrice de corrélation afin d'obtenir le  $SCR_{Action}$ .

Risque d'Action	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>ICS</b>	<b>11 303 208</b>				<b>11 303 208</b>
Type 1	4 544 195				4 544 195
Type 2	-				-
Type 3	-				-
Type 4	7 488 104				7 488 104
<b>SII</b>	<b>12 272 213</b>				<b>12 272 213</b>
Type 1	5 612 272				5 612 272
Type 2	7 488 104				7 488 104

Figure 7.17  $SCR_{Action}$  pour SII et ICS

#### 7.2.4 Immobilier

Tout comme pour la réglementation internationale, Solvabilité II impose aux organismes d'assurance de prendre en compte dans le risque d'immobilier tous les éléments de l'actif d'assurance qui sont liés de manière directe ou indirecte au marché de l'immobilier. De cette manière, la comparaison entre les deux directives est très simple car, pour un portefeuille quelconque, les données de base prises en compte sont les mêmes. De plus, la méthode de calcul du SCR ainsi que le montant du stress de choc sur la valeur de marché des éléments étudiés sont également identiques.

En effet, la méthode de calcul pour Solvabilité est l'application d'un stress de choc de 25 % sur les éléments de l'actif liés à l'immobilier, puis le SCR est la différence entre l'actif central et l'actif choqué

Ainsi, pour le risque d'immobilier, l'égalité suivante s'impose :

$$SCR_{Immobilier, ICS} = SCR_{Immobilier, SII} = \sum_{i=0}^n 25\% VM_i$$

Avec  $|i|$  le nombre d'éléments de l'actif d'assurance liés au marché de l'immobilier.

Enfin, pour l'organisme d'assurance fictif étudié, le résultat des deux Capitaux de Solvabilité Requis est :

Immobilier	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
<b>ICS</b>	<b>2 102 394</b>				<b>2 102 394</b>
<b>S2</b>	<b>2 102 394</b>				<b>2 102 394</b>

Figure 7.18  $SCR_{Immobilier}$  pour SII et ICS

## 7.2.5 Devise

Le risque de devise, également nommé "Risque de Change" sous la réglementation Solvabilité II, est défini, comme précisé précédemment, de la même manière que sous ICS.

De la même manière que pour ICS, le calcul du SCR de change dépend de la devise de référence de l'organisme d'assurance. Néanmoins, contrairement à la réglementation internationale, SII impose la monnaie de référence comme étant l'euro car la directive ne touche que des organismes qui font partis de l'Union Européenne. Pour le portefeuille utilisé dans les deux modélisations, ceci ne pose donc pas de problème, car la monnaie de référence est la même.

Par la suite, afin de calculer le SCR, tous les actifs d'assurance dont le titre est d'une monnaie différente à celles de l'euro sont choqués suivant une matrice de choc fournie par l'EIOPA. Les titres ayant pour monnaie de référence l'euro ne sont pas pris en compte, tout comme pour ICS.

Néanmoins, contrairement à *International Capital Standards* qui propose un choc différent pour chaque monnaie, la directive solvabilité II ne distingue que les monnaies proches de l'euro et impose un stress commun pour toutes les autres monnaies, comme il est possible de la voir dans le tableau ci-dessous.

Devise	Danemark	Bulgarie	Franc Ouest Africain	Franc d'Afrique Centrale	Franc Comorien	Autre
	DKK	BGN	XOF	XAF	KMF	
Choc	0,39%	1,81%	2,18%	1,96%	2,00%	25%

Figure 7.19 Aperçu de la matrice d'agrégation - Devise - Monnaie EURO

Mis à part le tableau de stress de chaque monnaie par rapport à l'euro, le capital requis se calcule pour Solvabilité II de la même manière que pour ICS, c'est-à-dire par l'intermédiaire de deux scénarios qui choquent respectivement les positions courtes et longues tandis que les titres de la position opposée restent inchangés.

De cette manière, pour le portefeuille étudié, seules des positions longues sont détenues, et ainsi le capital requis du scénario 2 sera nul.

Il suffit alors de choquer les positions longues selon le choc respectif de chacune des monnaies, de la même manière que pour ICS, afin d'obtenir le SCR du risque de change.

Risque de Change	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
ICS	1 559 065				1 559 065
SII	1 330 324				1 330 324

Figure 7.20 SCR<sub>Devise</sub> pour SII et ICS

Le capital de Solvabilité Requis pour le risque de devise est plus élevé pour ICS, ce qui est un des seuls risques où cela est le cas. Cela s'explique par la volonté de l'IAIS d'obtenir une transparence et une comparabilité maximale à travers les différentes juridictions de chaque IAIG et G-SII. En demandant plus de fonds propres qu'il n'y pourrait penser en comparaison avec les autres résultats comparés avec Solvabilité II, l'IAIS veut s'assurer que l'internationalisation des plus grands organismes d'assurance ne pose pas de problème de solvabilité que des organismes nationaux n'aurait pas, compte tenu de leur taille. Ainsi, logiquement, la demande en capitaux requis pour ce risque est plus élevée.

## 7.2.6 Concentration

Tout comme pour ICS, le risque de concentration est le seul sous-module du risque de marché dont le SCR est calculé avec une approche *factor-based*. A la différence de l'approche par stress, le Capital de Solvabilité Requis n'est pas obtenu en opérant un choc sur les éléments de l'actif concernés puis en prenant la différence de valeur des actifs pré-choc et post-choc. En effet, pour ce risque, le capital de solvabilité est déterminée en appliquant des facteurs sur des mesures d'exposition, ici la qualité de crédit.

Une des différences avec la matrice de facteurs de choc d'*International Capital Standards* est le fait que Solvabilité II prend également en compte le type d'exposition de chaque actif. Ainsi, les expositions sont divisées en cinq catégories différentes alors qu'ICS ne discerne que les expositions immobilières du reste.

De plus, la qualité de crédit est décalée entre les deux réglementations. Pour ICS, une qualité de Crédit de 1 équivaut à une qualité de crédit de 0 sous S2.

Seuil	Expositions avec le besoin en capitaux général	Expositions sur les gouvernements ou les banques centrales libellées	Obligations sécurisées	Immobiliers	Etablissements de crédit non cotés
0	3%	3,0%	15%	10%	1,5%
1	3%	3,0%	15%	10%	1,5%
2	3%	3,0%	15%	10%	1,5%
3	1,5%	1,5%	15%	10%	1,5%
4	1,5%	1,5%	15%	10%	1,5%
5	1,5%	1,5%	15%	10%	1,5%
6	1,5%	1,5%	15%	10%	1,5%
Unrated	1,5%	1,5%	15%	10%	1,5%

Facteur de choc	Expositions avec le besoin en capitaux général	Expositions sur les gouvernements ou les banques centrales libellées	Obligations sécurisées	Immobiliers	Etablissements de crédit non cotés
0	12%	0%	12%	12%	64,5%
1	12%	0%	12%	12%	64,5%
2	21%	12%	21%	12%	64,5%
3	27%	21%	27%	12%	64,5%
4	73%	27%	73%	12%	64,5%
5	73%	73%	73%	12%	64,5%
6	73%	73%	73%	12%	64,5%
Unrated	73%	73%	73%	12%	64,5%

Figure 7.21 Tables de chocs - Risque de Concentration

Néanmoins, la manière de calculer le Capital Requis pour ce sous-module du risque de marché reste la même, et la seule différence est donc la forme et les valeurs de la matrice de facteurs de choc. Pour le portefeuille étudié dans le modèle d'ICS, les mêmes calculs sont réalisés pour trouver le SCR, qui varie de celui d'ICS seulement à cause des valeurs de choc différentes.

Sous-module de risque	Choc Actif	Choc Passif			SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalidité	
ICS	2 158 484				2 158 484
S2	1 813 126				1 813 126

Figure 7.22 SCR<sub>Concentration</sub> pour SII et ICS

## 7.2.7 Agrégation des risques de Marché

Bilan des chocs		SII			
Sous-module de risque	Choc Actif				SCR
		Obsèques	Tempo Décès	Invalité	
<b>Action</b>	<b>12 272 213</b>				<b>12 272 213</b>
Type 1	5 612 272				5 612 272
Type 2	7 488 104				7 488 104
<b>Immobilier</b>	<b>2 102 394</b>				<b>2 102 394</b>
<b>Spread</b>	<b>1 253 182</b>				<b>1 253 182</b>
<b>Taux</b>	<b>1 626 286</b>				<b>1 744 039</b>
Hausse	1 626 286	- 2 350 963	617	- 9 264	- 733 324
Baisse	88 693	1 683 837	122	1 387	1 774 039
<b>Concentration</b>	<b>1 813 126</b>				<b>1 813 126</b>
<b>Devise</b>	<b>1 330 324</b>				<b>1 330 324</b>

Figure 7.23 Bilan des sous-modules du risque de Marché

Il est important de noter que c'est l'approche "Down" qui est choisie dans ce modèle précis pour le calcul du  $SCR_{Taux}$ . De ce fait, la matrice d'agrégation des résultats sera ajusté en conséquence, comme vu précédemment dans l'élaboration du modèle.

MARCHÉ		Action	Taux	Immobilier	Concentration	Devise	Spread
		12 272 213 €	1 744 039 €	2 102 394 €	1 813 126 €	1 330 324 €	1 253 182 €
Action	12 272 213 €	100%	50%	75%	0%	25%	75%
Taux	1 744 039 €	50%	100%	50%	0%	25%	50%
Immobilier	2 102 394 €	75%	50%	100%	0%	25%	50%
Concentration	1 813 126 €	0%	0%	0%	100%	0%	0%
Devises	1 330 324 €	25%	25%	25%	0%	100%	25%
Spread	1 253 182 €	75%	50%	50%	0%	25%	100%
		1,96276E+14	1,72494E+13	2,76207E+13	3,28743E+12	7,5473E+12	1,59319E+13

SII	SCR Marché :	16 368 018 €
Et ICS	SCR Marché :	14 634 810 €

Figure 7.24  $SCR_{Marché}$  pour SII et ICS

## Analyse .....

Les exigences de capital pour les sous-modules du risques de Marché sont rassemblées dans le graphe ci-dessous, pour les deux réglementations prudentielles.

<b>MARCHÉ</b>			
<b>SII</b>		<b>ICS</b>	
<b>16,4 M€</b>		<b>14,6 M€</b>	
<b>Taux d'Intérêt</b>		<b>Devise</b>	
1,7 M€	1,7 M€	1,3 M€	1,6 M€
<b>Action</b>		<b>Concentration</b>	
12,3 M€	11,3 M€	1,8 M€	2,1 M€
<b>Immobilier</b>		<b>Spread</b>	
2,1 M€	2,1 M€	1,3 M€	1 M€

Les sous-modules de risque peuvent s'étudier en les regroupant en trois catégories.

### Les sous-modules similaires .....

Le sous-module **Immobilier** est celui qui est le plus similaire entre les deux directives. Une approche par stress avec un choc unique de 25 % est choisi par les deux normes, résultant sur des valeurs de SCR égales.

Le sous-module **Devise** est très semblable entre les deux directives. La méthode de calcul de SCR est la même, seules varient les matrices de stress. Tandis que Solvabilité II propose seulement l'Euro comme monnaie de référence, *International Capital Standards*, de part son autorité dans un plus grand nombre de juridiction, impose tour à tour chaque monnaie comme monnaie de référence.

Même si le portefeuille étudié a une dimension internationale très négligeable, c'est cet aspect qui explique que le  $SCR_{Devise}$  d'ICS soit plus important. Cette différence sera encore plus large pour les grands groupes d'assurance qui sont largement plus diversifiés en terme de monnaie que le portefeuille étudié.

Le sous-module **Concentration** d'ICS est également une copie conforme de celui de SII. Les deux sous-modules utilisent une approche Factor-Based basée sur la qualité de crédit. Encore une fois, seules les tables de taux divergent. Cette fois, c'est Solvabilité II qui se distingue en discernant de manière plus précise les types d'exposition. Cette décomposition explique un  $SCR_{Concentration}$  plus faible pour Solvabilité II, capable d'analyser plus précisément les exigences en capital nécessaires à la solvabilité de l'entreprise d'assurance.

### Les sous-modules différents .....

Au premier abord, le sous-module **Taux** d'ICS est une copie conforme de celui de SII. Pour les deux directives, la méthode utilisée afin de calculer les exigences de capital requises est une différence de NAV.



Pour ce faire, des courbes de taux sont utilisées, et c'est ici que la directive internationale se distingue. Quand Solvabilité propose deux scénari de choc dont on prendra le maximum, ICS impose le calcul d'une exigence de capital pour cinq scenari, puis de les agréger. Cette méthode apporte plus de stabilité au calcul du SCR, ainsi qu'une plus grande précision.

La différence de méthode entre les deux directives apporte plus de précision à *International Capital Standards*, ce qui engendrera un  $SCR_{Taux}$  plus faible que pour SII.

En revanche, pour le portefeuille étudié, cette différence n'apparaît pas et les deux SCR sont égaux. Cette égalité s'explique par le fait que le portefeuille n'est pas celui d'un des plus grands groupes d'assurance. Sa petite ampleur efface la différence d'exigences de capital requises supposée entre les deux directives.

Pour le sous-module **Action**, la différence entre les deux normes est plus légère. Les deux directives ont recours à un approche par stress où le choc dépend du type d'action étudié. Ici encore, *International Capital Standards* se distingue par plus de précision en proposant quatre catégories, contre deux pour la directive européenne. Cette décomposition plus précise lui permet d'imposer des chocs moins élevés, et donc d'exiger un capital requis moins important.

De plus, dans l'une de ses catégories supplémentaire, *ICS* propose des chocs échelonnés en fonction de la *Rating Category*, ce qui une fois de plus apporte plus de précision et un besoin moindre en exigences de capital. Le portefeuille ne possédant pas ce type d'action (de type 3), le  $SCR_{Action}$  apparaît tout de même plus faible pour ICS que pour SII, mais cet écart sera encore plus flagrant pour les grands groupes d'assurance qui elle détiennent ce type d'action

### **Les sous-modules non comparables .....**

Comme déjà énoncé précédemment, le sous-module **Spread** est particulier. En effet, bien que les deux directives définissent le risque de la même façon, les exigences de capital ne sont pas calculées identiquement.

Pour *ICS*, l'approche à suivre est la même que pour le sous-module Taux, c'est-à-dire une différence de NAV provoqué par des chocs provenant de courbes de taux renseignées par l'IAIS.

Pour SII, l'approche à suivre est également par stress. Néanmoins, la directive européenne introduit une autre variable comme facteur indispensable du calcul des exigences de capital : la qualité de crédit.

De ce fait, les deux sous-modules ne sont pas comparables, ou tout du moins pas ensemble. Ils seront donc étudiés dans la suite du mémoire, en association avec d'autres modules.

### **Synthèse .....**

La directive internationale calque largement ses exigences de capital liés aux risque de Marché sur Solvabilité II. Néanmoins, il apparaît qu'elle permet aux groupes d'assurance les plus importants plus de flexibilité et de liberté quand à leurs mouvements financiers. Ainsi, le  $SCR_{Marché}$  d'*ICS* est plus faible que celui de SII.

### 7.3. Le risque de Contrepartie

Le risque de Contrepartie est défini par Solvabilité II comme étant le risque de pertes qui pourraient entraîner le défaut inattendu ou la détérioration de la qualité de crédit des contreparties et débiteurs de l'entreprise d'assurance. Il est donc ici question d'étudier le risque de défaillance, voire de faillite, de l'émetteur d'un élément de l'actif du portefeuille de l'entreprise d'assurance.

Solvabilité II impose deux types de catégorie, qui seront traités indépendamment lors du calcul des exigences de capital :

- Exposition de Type 1 : couvre les expositions qui ne peuvent pas être diversifiées et pour lesquelles la contrepartie est souvent notée, telles que :

- les accords de réassurance
- les titrisations
- les instruments dérivés

- Exposition de Type 2 : couvre les expositions habituellement diversifiées et pour lesquelles la contrepartie est souvent non notée, telles que :

- les créances auprès d'intermédiaires
- les assurés débiteurs

Le risque de Contrepartie sous SII est ensuite agrégé de la manière suivante :

$$SCR_{def} = \sqrt{SCR_{def,1}^2 + 1,5 \times SCR_{def,1} SCR_{def,2} + SCR_{def,2}^2}$$

#### Expositions de Type 1 .....

Les exigences de capital pour le risque de contrepartie des expositions de type 1 utilise une approche Factor-Based.

$$SCR_{def,1} = \begin{cases} 3 \times \sqrt{V} \text{ if } \sqrt{V} \leq 7,05\% \times \sum_i LGD_i, \\ \min \left\{ \sum_i LGD_i; 7,05\% \times \sqrt{V} \right\} \text{ else} \end{cases}$$

Avec  $|V$  la variance de la distribution des pertes liées au groupe d'exposition de type 1.

$|LGD_i$  la perte moyenne en cas de défaut de la contrepartie  $i$

Néanmoins, bien que possédant une part de réassurance dans son portefeuille, l'entreprise étudiée ne comporte pas d'expositions de type 1, les expositions concernées étant déjà couvertes dans l'étude du risque de Spread précédemment réalisée. De ce fait,

$$SCR_{Def, 1} = 0 \text{ €}$$

**Expositions de Type 2** .....

L'exigence de capital sur les expositions de type 2 est égale à la perte de fonds propres de base du montant suivant :

$$SCR_{def,2} = \sum_i 15\% \cdot LGD_i + 90\% \cdot LGD_{créances > 3\text{mois}}$$

Cependant, l'entreprise fictive choisie et étudiée ne comporte pas d'expositions de type 2. De ce fait,

$$SCR_{Def, 2} = 0 \text{ €}$$

Ainsi,

$$SCR_{Contrepartie} = 0 \text{ €}$$

**Analyse** .....

Comme mentionné lors du calcul des exigences de capital du risque de Spread pour SII, il est ici judicieux de rassembler les valeurs issues des risques de Contrepartie et de Spread pour les comparer au risque de Crédit d'*International Capital Standards*.

SII	SCR - Spread	1 253 182 €	cf 7.2.2
	SCR - Contrepartie	0 €	
ICS	SCR - Crédit	664 496 €	cf 5.4

Lorsque la somme des deux SCRs pour SII est effectuée, on trouve un rapport de 2 pour 1 en faveur de la directive européenne. Cette important écart s'explique par plusieurs raisons :

- Des taux plus faibles pour *International Capital Standards*
- Solvabilité II reprend les mêmes éléments et les choquent deux fois, pour chaque module de risque
- Une plus grande confiance est accordée aux IAIGs et aux G-SIIs par ICS. En effet, la directive internationale ne s'adresse qu'aux plus grands groupes d'assurances, qui possèdent un grand nombre de primes dans plusieurs juridictions. De ce fait, ces groupes font face à un risque de défaut très largement inférieur à celui d'une mutuelle de taille moyenne soumise à Solvabilité II. Cette remarque a été prise en compte par l'IAIS lors de la mise en place de ses exigences de capital, ce qui explique la large différence entre les deux directives.

## 7.4. Le risque Opérationnel

Le risque opérationnel est défini de la même manière par les deux directives. En effet, Solvabilité II estime dans ce calcul de capital requis "le risque de changement défavorable dans la valeur des capitaux en raison d'évènements opérationnels". Ces évènements sont les mêmes que ceux listés par l'IAIS dans sa documentation. De même, le calcul du  $SCR_{Op}$  sous Solvabilité II se déroule selon la même méthode de calcul, à trois détails près :

- La mise en place d'un seuil maximal correspondant à 30 % du BSCR
- Les taux concernant la non-vie sont égaux à 3% au lieu de 2,75% sous ICS
- Le calcul  $Risque_{Op,croissance}$  est inclus dans  $Risque_{Op,primes}$

La formule de calcul du  $SCR_{Op}$  se concrétise alors de cette manière.

$$SCR_{Op} = \min[30\% \times BSCR; \max(Risque_{Op,primes}; Risque_{Op,provisions})]$$

- $Risque_{Op,primes} = 0,4\% \times (CE_{Tempo-décès} + CE_{Obsèques} + CE_{Invalidité}) + Risque_{Op,croissance}$
- $Risque_{Op,provisions} = 4\% \times (Primes_{Tempo-décès} + Flux_{Obsèques} + Flux_{Invalidité})$

Avec  $| Flux_{Obsèques}$  et  $Flux_{Invalidité}$  les sommes des cotisations projetées sur 50 années pour la garantie Invalidité et 120 années pour la garantie Obsèques.

$$| Risque_{Op,croissance} = 0$$

| BSCR l'agrégation des SCRs des modules "Marché", "Vie", "Santé" et "Contrepartie" pour notre modèle.

SII	Sous-risque étudié		Sous-capital	Capital Requis
VIE	Risque Op,primes	Primes	56 105 €	56 105 €
		Croissance	- €	
	Risque Op,provisions		31 405 €	31 405 €

Figure 7.27 Calcul du  $SCR_{Opérationnel}$

Une fois pris en compte ces trois éléments, et étant donné que le portefeuille étudié ne comporte pas d'éléments liés à la souscription non-vie et que sa croissance est nulle, il ne reste qu'à contrôler la valeur du BSCR. Cette information n'est pas encore obtenue à ce stade de la création du modèle. Néanmoins, par exemple, le  $SCR_{Vie}$  a déjà été calculé et dépasse les deux millions d'euros.

De part la formule même du BSCR, il est compréhensible que celui-ci sera supérieur au  $SCR_{Vie}$ . Or,

$$30\% \times 2 \text{ M€} = 200.000 \text{ €}$$

Ce montant est bien supérieur au résultat trouvé pour satisfaire l'exigence de capital du risque opérationnel.

Ainsi,

Donc	SII	SCR - OP	56 105 €	
Et	ICS	SCR - OP	56 105 €	(cf 5.5)

Figure 7.28  $SCR_{Opérationnel}$  pour SII et ICS

Comme évoqué dans le début de cette sous-partie, à l'exception de quelques différences minimales, les SCRs se calculent de la même manière pour les deux directives. Cet énoncé est encore plus juste pour notre modèle qui, dépourvu de primes et de provisions liés à la souscription Non-Vie, nous offre deux  $SCR_{Opérationnel}$  égaux.

De ce fait, cela signifie que, pour le portefeuille étudié, l'égalité du BSCR entre les deux directives sera synonyme d'égalité entre les SCR global. Néanmoins, cet énoncé est absolument erroné dans la plupart des cas.

## 7.5. Agrégation et Synthèse

Les SCRs des modules "Marché", "Vie", "Contrepartie" et "Santé" sont maintenant connus grâce à l'agrégation de leurs sous-modules de risque. Comme pour le premier modèle, il suffit ainsi d'agréger ces valeurs pour obtenir le *BSCR*.

Il est à noter que les matrices d'agrégation des deux directives, bien que légèrement différentes à cause la présence de deux modules de risques liés à l'assurance-vie pour Solvabilité II, utilisent les mêmes coefficients pour agréger les modules "Marché", "Vie" et "Crédit" entre eux.

BSCR = 17,09 M€		Marché	Contrepartie	Vie	Santé
Agrégation		16,37 M€	- €	2,28 M€	0,02 M€
Marché	16,37 M€	100%	25%	25%	25%
Contrepartie	- €	25%	100%	25%	25%
Vie	2,28 M€	25%	25%	100%	25%
Santé	0,02 M€	25%	25%	25%	100%

Figure 7.29 Agrégation des modules de risque

Une fois obtenu le *BSCR*, il ne reste alors qu'à ajouter les exigences en capital du risque Opérationnel :

$$SCR_{Global} = BSCR + SCR_{Opérationnel}$$

On obtient ainsi le résultat complet pour la pieuvre des risques adaptée de Solvabilité II.

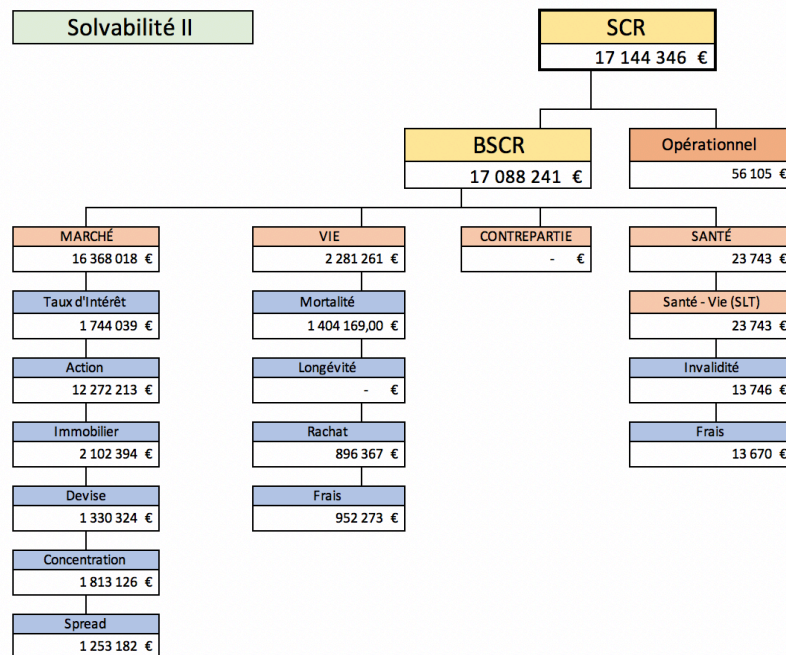


Figure 7.30 Bilan - SCR - Solvabilité II

Analyse .....

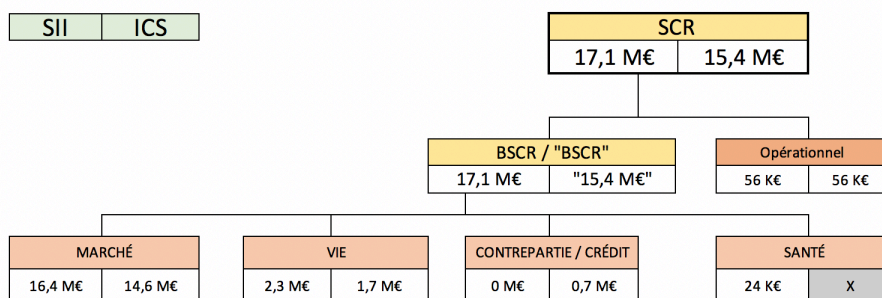


Figure 7.31 Bilan - SCR - SII & ICS

Il est important de rappeler que le BSCR est une notion qui existe seulement pour la directive européenne. Cependant, elle a été introduite précédemment pour *ICS* de manière à obtenir une meilleure comparabilité.

Le portefeuille appliqué au deux modèles créés apporte des réponses quantitatives. Le SCR global est 10% inférieur pour *ICS* que pour *SII*. Ce résultat entre dans la logique de cette partie puisque la plupart des sous-modules offraient un résultat similaire. Il en découle ainsi que l'IAIS semble accorder une confiance plus importante aux groupes d'assurance auxquels elle va appliquer cette norme. Cette confiance s'explique par la grandeur des groupes des sont sous la supervision de l'IAIS, ainsi que leur diversité à travers les juridictions dans lesquelles elles prennent place.

## Conclusion

Maintenant que l'ensemble des études ont été réalisées, des conclusions peuvent être mises en évidence.

Tout d'abord, les modélisations théoriques des formules standards de calcul des exigences de capital permettent d'observer la proximité des deux directives. Chaque norme organise ses exigences en capital autour des mêmes risques, et construit sa Formule Standard de calcul de SCR de la même manière.

Plus encore, l'étude individuelle de chacun des risques montre d'importantes similitudes quant aux méthodes de calcul de chacun des SCRs. En effet, la majorité des SCRs des sous-modules se calculent exactement de la même manière. Seuls diffèrent alors les tables de chocs renseignées par les deux réglementations.

Néanmoins, il existe tout de même de nombreuses différences entre les deux directives. Certains risques, comme celui de Spread, ont été complètement remaniés par l'IAIS. De manière globale, les ajustements réalisés ont été effectués afin de répondre de manière plus précise aux exigences en capital des plus grands groupes d'assurance, différents de ceux de petite ou moyenne taille. Pour un portefeuille équivalent, les ajustements provoquent un besoin en capital moins important pour *International Capital Standards* que pour Solvabilité, inférieur de 10% pour le portefeuille spécifique étudié dans ce mémoire. Cette baisse en exigence est offrira alors plus de libertés aux groupes d'assurance concernés par la directive internationale.

La phase préparatoire s'étendant sur les cinq prochaines années, les futures documentations nous permettront d'en apprendre encore plus sur cette réglementation et sur l'impact qu'elle aura sur la solvabilité des groupes d'assurances.

Cependant, lors de ces derniers mois, les huit assureurs et réassureurs français concernés par la directive internationale ont refusé de prendre part à la phase préparatoire de cinq ans qui précède sa mise en place. Ces groupes, répondant déjà aux exigences imposées par Solvabilité II, dénoncent la directive internationale qui provoquerait selon eux une concurrence inéquitable avec les groupes d'assurance américains. En effet, les assureurs européens devraient, en cas de mise en place d'*ICS*, répondre à chacune aux exigences des deux directives. De ce fait, les groupes français ont décidé de se concentrer sur la révision de Solvabilité II et de ne prendre part à aucune activité liée à *International Capital Standards* au 1er janvier 2020.



# Table des figures

I	Pieuvre des risques des directives .....	V
II	Pieuvre des risques du modèle construit .....	VI
III	Bilan - SCR - <i>ICS</i> .....	VII
IV	Concordance des modèles .....	VIII
IV	Comparaison des SCRs par sous-module .....	IX
1.1	Niveaux réglementaires de l'IAIS .....	1
1.2	Construction de la courbe de taux sans risque .....	7
1.3	Courbes <i>Risk Free Rate</i> et <i>Central Scenario</i> pour ICS .....	7
1.4	Bilan Actif-Passif sous ICS .....	8
2.1	Formule Standard de calcul du Capital de Solvabilité Requis .....	12
2.2	Pieuvre des risques par type d'approche .....	16
2.3	Matrices d'agrégation pour les risques Marché et Vie .....	17
2.4	Matrice d'agrégation pour le calcul du SCR total .....	17
3.1	Les trois piliers de Solvabilité II .....	20
3.2	Bilan en normes sociales et Bilan Solvabilité II .....	21
3.3	Calcul des SCRs des modules de risque par variation des fonds propres .....	23
3.4	Méthodes de calcul de la marge pour risque .....	24
3.5	Pieuvre des risques - Solvabilité II .....	27
4.1	Aperçu des tables de mortalité (Source INSEE) .....	29
4.2	Aperçu de la table de maintien en Invalidité (Source INSEE) .....	29
5.1	Pieuvre de la modélisation .....	32
5.2	Matrices d'agrégation des modules Marché et Vie .....	33
5.3	Matrice d'agrégation du modèle .....	33
5.4	Chocs de stress pour la garantie Tempo-Décès .....	37
5.5	Synthèse des SCRs des risques liés à la garantie Tempo-Décès .....	37
5.6	Taux de rachat pour les contrats de la garantie Obsèque .....	40
5.7	Chocs de stress pour la garantie Obsèque .....	42
5.8	Synthèse des SCRs des risques liés à la garantie Obsèque .....	42
5.9	Aperçu de la table de maintien en Invalidité de l'INSEE .....	43
5.10	Chocs de stress pour la garantie Invalidité .....	45
5.11	Synthèse des SCRs des risques liés à la garantie Invalidité .....	46
5.12	Calcul du $SCR_{Vie}$ .....	46
5.13	Courbes de stress pour le risque de taux (Source IAIS) .....	48

5.14	Courbes de facteurs d'actualisation pour les scenari <i>Level Up</i> et <i>Level Down</i> .....	49
5.15	Exemple du calcul du SCR pour une obligation .....	50
5.16	Différence d'actif pour chaque scénario de taux .....	50
5.17	Différence de passif pour la garantie Tempo-Décès .....	51
5.18	Synthèse du $SCR_{Taux}$ .....	51
5.19	Courbes <i>Risk Free Rate</i> et de scénario de choc Spread (Source IAIS) .....	52
5.20	$SCR_{Spread Up}$ et $SCR_{Spread down}$ .....	52
5.21	$SCR_{Spread}$ .....	53
5.22	Liste des chocs pour le calcul du $SCR_{Action}$ .....	53
5.23	Exemple de calcul du SCR pour trois actions .....	53
5.24	$SCR_{Action, type}$ pour chaque type d'action .....	54
5.25	Matrice d'agrégation entre les différents types d'actions - $SCR_{Action}$ .....	54
5.26	$SCR_{Action}$ .....	54
5.27	Exemple de calcul du SCR pour un élément de l'actif lié au marché de l'immobilier	55
5.28	$SCR_{Immobilier}$ .....	55
5.29	Exemple de calcul du SCR pour une action - Scenario 1 .....	56
5.30	Exemple de calcul du SCR pour une action - Scenario 2 .....	57
5.31	Aperçu de la matrice d'agrégation - Devise - Monnaie EURO .....	57
5.32	$SCR_{Devise}$ .....	58
5.33	Table de choc - risque de concentration .....	58
5.34	Exemple de calcul du SCR pour deux expositions .....	59
5.35	$SCR_{Concentration}$ .....	59
5.36	Synthèse des SCRs des risques de Marché .....	60
5.37	Matrice d'agrégation des risques de Marché .....	60
5.38	Table de Crédit pour la Réassurance et les Obligations d'entreprise (Source IAIS) ..	61
5.39	Données - Risque de Crédit .....	61
5.40	Calcul du $SCR_{Crédit}$ .....	62
5.41	$SCR_{Crédit}$ .....	62
5.42	Table de Choc - Risque Opérationnel (Source IAIS) .....	63
5.43	Calcul du $SCR_{Opérationnel}$ .....	64
5.44	Agrégation des modules de risque .....	65
5.45	Bilan - SCR - <i>ICS</i> .....	65
6.1	Pieuvre de la modélisation - Solvabilité II .....	67
6.2	Matrices d'agrégation des modules Marché et Vie .....	68
6.3	Matrice d'agrégation du modèle .....	68
6.4	Concordance des modèles .....	69
7.1	Chocs de stress SII pour la garantie Tempo-Décès - Comparaison avec <i>ICS</i> .....	72
7.2	Comparaison des SCRs pour la garantie Tempo-Décès .....	72

7.3	Chocs de stress SII pour la garantie Obsèque - Comparaison avec <i>ICS</i> .....	75
7.4	Comparaison des SCRs pour la garantie Obsèque .....	75
7.5	Chocs de stress SII pour la garantie Invalidité - Comparaison avec <i>ICS</i> .....	78
7.6	Comparaison des SCRs pour la garantie Invalidité .....	78
7.7	SCRs des sous-modules de risque liés à la Vie .....	79
7.8	Agrégation des sous-modules de risque - $SCR_{SLT}$ .....	80
7.9	Agrégation des sous-modules de risque - $SCR_{SLT}$ .....	81
7.10	Aperçu des courbes de choc - Risque de Taux .....	84
7.11	$SCR_{Taux}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	84
7.12	Facteurs de choc des obligation (Source EIOPA) .....	86
7.13	Calcul de la valeur de marché choquée par duration .....	86
7.14	$SCR_{Spread}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	86
7.15	Chocs de stress par type d'action .....	87
7.16	Matrice d'agrégation - Risque Action .....	87
7.17	$SCR_{Action}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	88
7.18	$SCR_{Immobilier}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	88
7.19	Aperçu de la matrice d'agrégation - Devise - Monnaie EURO .....	89
7.20	$SCR_{Devise}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	89
7.21	Tables de chocs - Risque de Concentration .....	90
7.22	$SCR_{Concentration}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	90
7.23	Bilan des sous-modules du risque de Marché .....	91
7.24	$SCR_{Marché}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	91
7.25	Données - Risque de Contrepartie .....	94
7.26	Probabilité de Défaut - Exposition de type 1 .....	95
7.27	Calcul du $SCR_{Opérationnel}$ .....	97
7.28	$SCR_{Opérationnel}$ pour SII et <i>ICS</i> .....	98
7.29	Agrégation des modules de risque .....	99
7.30	Bilan - SCR - Solvabilité II .....	99
7.31	Bilan - SCR - SII & <i>ICS</i> .....	99

# Bibliographie

- [1] *International Association of Insurance Supervisors : 2016 ICS Consultation Document*  
<https://www.iaisweb.org/page/supervisory-material/insurance-capital-standard>, 2016.
- [2] *International Association of Insurance Supervisors : 2017 & 2018 Quantitative Field Testing Package*  
<https://www.iaisweb.org/page/supervisory-material/insurance-capital-standard>, 2017 & 2018.
- [3] *International Association of Insurance Supervisors : ICS Version 1.0 for Extended Field Testing*  
<https://www.iaisweb.org/page/supervisory-material/insurance-capital-standard>, 2018.
- [4] *International Association of Insurance Supervisors : ICS Version 2.0 Public Consultation Document*  
<https://www.iaisweb.org/page/supervisory-material/insurance-capital-standard>, 2019.
- [5] *International Association of Insurance Supervisors : Implementation of ICS Version 2.0*  
<https://www.iaisweb.org/page/supervisory-material/insurance-capital-standard>, 2019.
- [6] Philippe Artzner et Freddy Delbaen : *Default risk insurance and incomplete markets. Mathematical Finance*, pages 187–195, 1995.
- [7] François Villeroy de Galhau : Fédération Française de l'Assurance, oct 2017  
<https://www.ffa-assurance.fr>, 2017.
- [8] Schneider Robin : *Modélisation du risque de crédit via une extension du modèle de Jarrow, Lando et Turnbull* <http://www.ressources-actuarielles.net/memoires>, 2018
- [9] Mazzolini Lucie : *ICS : Analyse du texte préparatoire 1.0 et mise en œuvre sur un organisme d'assurance Non Vie*, <http://www.ressources-actuarielles.net/memoires> ,2018.