

Vincent MEISTER

Solvabilité II : contexte, valorisation et impacts sur l'exigence en capital

➤ ETABLISSEMENT D'ACCUEIL

optimind ∴

75, boulevard Haussmann
75008 PARIS

➤ MAITRE DE STAGE

Christophe EBERLE, Actuaire, Président d'Optimind
christophe.eberle@optimind.fr

➤ PERIODE DE STAGE

Du 16 avril 2007 au 14 septembre 2007

Sommaire

Sommaire.....	1
Remerciements	4
Résumé	5
Summary.....	7
Introduction.....	9
Chapitre 1. Solvabilité I, Solvabilité II : le contexte.....	11
I. Solvabilité I.....	11
I.1. La marge de solvabilité.....	11
I.1.1. Exigence de marge de solvabilité non vie	12
I.1.2. Exigence de marge de solvabilité vie	12
I.2. Fonds minimum de garantie	13
I.3. Surveillance des autorités de contrôle	13
I.4. Les critiques de Solvabilité I	14
I.4.1. Critiques quantitatives	14
I.4.2. Critiques qualitatives	14
II. Solvabilité II.....	15
II.1. Les acteurs du projet.....	15
II.2. Modèles dont s’inspire le projet Solvabilité II.....	15
II.3. Les piliers de Solvabilité II selon l’approche de Lamfalussy	16
II.3.1. Pilier I : les règles quantitatives	17
II.3.2. Pilier II : le processus de contrôle prudentiel	17
II.3.3. Pilier III : information et discipline de marché	18
II.4. La marge de solvabilité	18
II.5. Les Etudes Quantitative d’Impact (QIS)	19
II.5.1. Automne 2005, QIS 1: objectifs, participation et enseignements	20
II.5.1.1. Objectifs.....	20
II.5.1.2. Participation.....	20
II.5.1.3. Enseignements	20
II.5.2. Printemps 2006, QIS 2 : objectifs, participation, enseignements	21
II.5.2.1. Objectifs.....	21
II.5.2.2. Participation.....	21
II.5.2.3. Enseignements	22
II.5.3. Avril 2007, QIS 3 : objectifs, calendrier	23
II.5.3.1. Objectifs.....	23
II.5.3.2. Calendrier du QIS3.....	23
II.5.4. Calendrier global du projet Solvabilité II	23
Chapitre 2. Modalités de valorisation sous Solvabilité II	25
I. Rappel sur la méthode de provisionnement réglementaire.....	27
II. La provision Best Estimate	29

II.1.	Méthode de calcul pour obtenir une provision Best Estimate.....	29
II.2.	Les hypothèses de travail.....	30
II.3.	Les provisions vie.....	31
II.4.	Les provisions non vie.....	32
III.	La marge de risque.....	33
IV.	Méthode de calcul du Solvency Capital requirement (SCR).....	35
IV.1.	Les facteurs de risques.....	35
IV.1.1.	Le risque opérationnel.....	36
IV.1.2.	Le risque de marché.....	36
IV.1.3.	Le risque de défaut de contrepartie.....	37
IV.1.4.	Le risque de souscription vie.....	37
IV.1.5.	Le risque de souscription santé.....	38
IV.1.6.	Le risque de souscription non vie.....	38
IV.2.	La méthode de calcul.....	38
IV.2.1.	le SCR de base.....	39
IV.2.2.	le SCRnl.....	40
IV.2.3.	le SCRlife.....	40
IV.2.4.	le SCRmkt.....	41
IV.2.5.	le SCRop.....	41
V.	Calcul du Minimum de Capital Requis (MCR).....	42
V.1.	Risques à prendre en compte.....	42
V.2.	Méthode de calcul.....	42
VI.	Le modèle interne.....	44
VI.1.	Objectif d'un modèle interne.....	44
VI.2.	Elaboration d'un modèle interne.....	45
VI.2.1.	La probabilité de ruine.....	47
VI.2.2.	Les mesures de risques.....	48
VI.2.2.1.	La Value at Risk.....	49
VI.2.2.2.	La Tail Value at Risk et la Conditional Tail Expectation.....	49
VI.3.	Modélisation de la mortalité.....	50
VI.3.1.	Premier niveau stochastique : la survie aléatoire des individus.....	50
VI.3.2.	Deuxième niveau stochastique : modèle de mortalité stochastique de Lee.....	50
VI.3.3.	Générateur de nombres aléatoires uniformes.....	51
VI.4.	Modélisation de la courbe des taux d'intérêt.....	51
VI.4.1.	Choix d'un modèle.....	51
VI.4.2.	Le modèle de Cox Ingersoll Ross.....	52
Chapitre 3. Application à un portefeuille de prévoyance.....		54
I.	Présentation du portefeuille de l'étude.....	54
I.1.	Particularités du portefeuille.....	54
I.1.1.	La garantie « rente invalidité ».....	55
I.1.2.	La garantie « rente éducation ».....	55
II.	Marge de solvabilité sous Solvabilité I.....	56
II.1.	Le calcul des provisions techniques.....	56
II.2.	L'état C6 et la marge de solvabilité.....	59
III.	Marge de solvabilité sous Solvabilité II.....	60
III.1.	Calcul du SCR par la formule standard.....	60

III.2.	Calcul du SCR par le modèle interne.....	64
III.2.1.	Résultats de la modélisation des paramètres.....	64
III.2.2.	Modélisation du résultat.....	69
III.2.2.1.	La provision mathématique d'ouverture	69
III.2.2.2.	La provision mathématique de clôture	70
III.2.2.3.	Les prestations.....	72
III.2.2.4.	Le produit financier	73
III.2.2.5.	Le SCR de base.....	73
III.2.2.6.	Le risque opérationnel.....	76
III.2.3.	Conclusion	78
IV.	Ouverture sur des horizons différents de l'approche du QIS3.....	79
IV.1.	La durée d'investissement	79
IV.2.	Impact sur les produits financiers de la durée des engagements.....	80
IV.3.	Modélisation du résultat.....	81
IV.4.	SCR évalué à partir de la formule standard.....	82
V.	Comparaison des SCR selon les différentes méthodes.....	84
	Conclusion	89
	Annexe.....	91
	Bibliographie	103
	Liste des abréviations.....	104

Remerciements

Je tiens à remercier Christophe Eberlé, président d'Optimind, pour m'avoir accueilli au sein de sa société d'actuariat conseil ainsi que pour son suivi régulier malgré son emploi de temps chargé. Il a su, néanmoins, me guider et m'orienter durant ces cinq mois grâce à ses conseils pointilleux et à sa grande expérience dans le métier.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Frédérique Henge, actuaire Recherche et Développement, pour ses conseils et son suivi journalier tout au long de mon stage en faisant preuve d'une grande disponibilité.

Merci à toute l'équipe d'Optimind pour leur accueil chaleureux et convivial, leur disponibilité, leur aide et soutien ; tout particulièrement un grand merci à Gildas Robert et Charon Halioua.

Enfin, je voudrais remercier ma famille pour son soutien durant toutes ces années d'études, et particulièrement ces trois dernières années durant lesquelles j'ai puisé tout mon savoir à l'université Louis Pasteur de Strasbourg.

Vincent MEISTER

Solvabilité II : contexte, valorisation et impacts sur l'exigence en capital

Résumé

Mots clés : Exigence en capital, Formule standard, Modèle interne, Provision Best Estimate, QIS3, Solvabilité II, SCR, Valorisation des passifs.

La solvabilité d'une entreprise d'assurance peut être définie comme étant son aptitude à faire face à ses engagements vis-à-vis des tiers et principalement de ses assurés. Cette aptitude se traduit par la détermination d'un capital suffisant pour faire face à des situations défavorables.

En contrepartie de la confiance des assurés de l'aval des régulateurs, toute société proposant des produits d'assurance est tenue d'évaluer correctement ses engagements et de conserver des actifs sûrs, suffisants et liquides. La réglementation actuelle définissant la solvabilité des compagnies d'assurance, dite « Solvabilité I », porte son attention sur l'établissement de provisions prudentes pour le passif, et sur des règles de détention et d'investissement pour l'actif. Dans cette approche, on constate une représentation des risques supportés par l'entreprise relativement figée, voire imprécise, dans l'allocation de fonds propres, étant donné que la directive se positionne uniquement sur les risques de souscription, et ceci de manière simplifiée et rétrospective. Bien que ce cadre réglementaire a fait ses preuves, à l'égard du faible nombre de faillites recensées, les régulateurs européens ont décidé d'améliorer ces normes prudentielles pour atteindre au moins deux objectifs : une harmonisation de la réglementation sur la solvabilité au sein des pays européens et une meilleure prise en compte des risques souscrits, autant par une approche qualitative que quantitative, à l'instar de ce qui a été réalisé dans le domaine bancaire avec la réforme « Bâle II ».

La réforme Solvabilité II doit permettre une meilleure définition du niveau des fonds propres de l'entreprise en fonction de son véritable profil de risques par le biais d'une valorisation des différents postes du bilan, avec une vision économique, cohérente et dynamique, notamment en valeurs de marché.

Contrairement aux actifs, où la valorisation en valeur de marché va de soit étant donné l'existence de marchés où s'échangent les actifs, la valorisation des passifs dans une optique de marché est une innovation technique majeure. En l'absence de marché liquide correspondant, il est nécessaire de déterminer les provisions Best Estimate en utilisant des méthodes alternatives cohérentes.

La marge de solvabilité est constituée de manière à ce que la compagnie ait une probabilité de faillite très faible sur un horizon fixé. La Commission Européenne a choisi de distinguer deux niveaux d'exigences de fonds propres, un niveau de capital minimum (MCR) et un niveau de capital souhaitable (SCR).

Le calcul du SCR peut se faire selon deux approches principales laissées au choix de l'assureur. Une formule standard, fournie par le CEIOPS, permettra un calcul simple applicable à toutes les sociétés quel que soit le pays. Cependant, afin d'avoir une approche plus en phase avec la réalité des risques souscrits par les compagnies, elles pourront développer des modèles internes qui doivent être validés par les autorités de contrôle. Enfin, elles pourront également faire une combinaison des deux en associant certains risques à la formule standard et les autres risques à un modèle interne.

Le calibrage de la formule standard est affiné à partir des études quantitatives d'impacts (QIS), adressées aux sociétés européennes. A ce stade de l'avancement de la réforme axée sur le QIS3, le calibrage du SCR est fixé de manière à couvrir une probabilité de ruine à 0.5% sur un horizon d'un an. Une application sur un portefeuille de prévoyance a été effectuée mettant en relation le calcul de la marge de solvabilité utilisé actuellement sous Solvabilité I avec les exigences en capital selon la réforme Solvabilité II par le biais de la formule standard et d'un modèle interne.

Malgré la nécessité de faire évoluer la réglementation, nous constatons une complexité croissante dans la mise en œuvre de la formule standard, notamment pour les petites structures. Elles devront être capables d'identifier l'ensemble des risques auxquels elles sont sujettes dans un premier temps puis de calculer les charges en capital correspondantes. Cela nécessite par conséquent un engagement important de la part des sociétés pour réussir à s'imprégner de la nouvelle réglementation européenne et de se préparer au mieux à la mise en place de la directive en 2010.

Néanmoins le calibrage de la formule standard devra être ajusté minutieusement d'après les résultats du QIS3, attendus en octobre 2007, ainsi que par le QIS4 prévu en décembre 2007 afin de favoriser le développement des modèles internes par les sociétés. En effet, un modèle interne, qui a pour but de traduire le plus fidèlement possible la réalité des risques encourus par l'entreprise, se doit d'être moins « gourmand » en capital à détenir que la formule standard.

Vincent MEISTER

Solvency II : Context, valuation and impact on capital requirement

Summary

Key words : Capital requirements, Internal model, Liabilities valuation, Provision Best Estimate, QIS3, SCR, Solvency II, Standard formula.

The solvency of an insurance company can be defined as being its ability to face its liabilities towards third parties and mainly towards his policyholders. That's why is important to determine the amount of capital necessary in order to cover unfavourable situations.

In return of the policyholders confidence and of the agreement of regulators, any company selling insurance products needs to correctly value its liabilities and to keep safe, sufficient and liquid assets. The current rule defining the solvency of insurance companies, said "Solvency I", is only interested on the establishment of prudent reserves and on the rules of detention and investment for assets. In this approach, we notice a representation of the risks supported by the company relatively static in the allocation of capital requirement, given that the directive focuses on the underwriting risk, which is simplified and reviewed. Although this regulatory framework proved reliable, the European regulators decided to improve those prudential evaluations in order to accomplish at least two objectives: an harmonization of the rule on the solvency within the European countries and a better consideration of the underwriting risks, as much by a qualitative approach as quantitative approach, following the example of what was realised with the reform "Basel II".

The Solvency II reform has to allow a better definition of the level of the capital requirement of the company according to it real risk profile by means of a valuation of the various balance sheet items with an economic, coherent and dynamic vision notably in market values.

Contrary to the assets, where the valuation in market value is evident given the existence of markets where these assets are exchanged, the valuation of the liabilities in a market vision is a major technical innovation. In the absence of corresponding liquid market, it is necessary to determine Best Estimate reserves by using coherent alternative methods.

The solvency margin is established in a way that the company has a weak probability of ruin over a fixed time horizon. The European Commission chose to distinguish two levels of capital requirements, a level of minimum capital (MCR) and a level of target capital (SCR).

The calculation of the SCR can be made according to two main approaches chosen by the insurer. A standard formula, supplied by the CEIOPS, will allow a simple calculation applicable to all the companies whatever is the country. However, to adopt an approach closed to the real risk profile by the companies, an internal model can be developed but it must be validated by the control authorities. Finally, companies can also make a combination of both, associating some risks with the standard formula and the other with an internal model.

The calibration of the standard formula is refined from the quantitative impacts studies (QIS), mean to the European companies. At this point of development (centred on the QIS3), the calibration of the SCR is fixed to cover a probability of ruin in 0.5% over a one year time horizon.

An application on a contingency portfolio presents the relation between the calculations of the solvency margin used under Solvency I and the different capital requirement according to the reform Solvency II, by means of the standard formula and of the internal model.

In spite of the necessity of developing the Solvency rules, we notice an increasing complexity in the valuation using the standard formula, notably for the small structures. They will, at first, have to be able of describing all the risks to which they are subject, then to calculate the corresponding capital charge. It requires consequently an important investment to manage the comprehension of the new European regulation and to get ready for the implementation of the directive in 2010.

Nevertheless the calibration of the standard formula must be minutely adjusted according to the results of the QIS3, waited in October 2007, as well as by the QIS4 planned in December 2007 in order to support the development of the internal models by companies. In fact, an internal model, which aim is to take into account of the reality of the risks assumed by the companies, has to be "less expensive" in the detention of capital than the standard formula.

Introduction

L'assurance est une activité qui consiste, en échange du versement d'une prime, à fournir une prestation, prédéfinie au moment de la conclusion du contrat, à un individu, une association, ou une entreprise lors de la survenance du risque. Le contrat d'assurance peut se définir comme un transfert de risque entre l'assuré et son assureur. L'assuré va céder un risque, qui par définition est aléatoire, à la compagnie d'assurance, qui va accepter ou non ce risque en échange d'une prime. Le cycle d'une compagnie d'assurance est donc inversé étant donné que l'assureur reçoit le paiement du service avant d'avoir à le rendre, voire sans avoir à le rendre. L'objectif de toute société d'assurance est par conséquent de pouvoir honorer ses engagements envers ses assurés. Ce montant étant par définition inconnu (seul l'engagement probable l'est), la société d'assurance est obligée de constituer une provision technique destinée à couvrir les engagements pluriannuels souscrits. Cependant pour être financièrement rentable, l'entreprise va se baser sur un principe de mutualisation des risques entre les assurés afin de pouvoir honorer ses engagements dans une situation de sinistralité normale. La mutualisation des risques consiste à détenir un grand nombre de contrats pour des risques similaires, cette pratique permet notamment à l'assureur de diminuer la volatilité totale de ses risques.

Nous pouvons à présent définir la solvabilité d'une entreprise comme étant son aptitude à faire face à ses engagements envers les tiers et notamment les assurés, qui se traduit par la détermination d'un capital suffisant pour faire face à des situations défavorables.

Les premières mesures de contrôle sont apparues en réponse à ce cycle de production inversé afin de veiller à ce que les assureurs évaluent correctement leurs engagements et conservent, en contrepartie de la confiance que les assurés leur accordent, des actifs sûrs, suffisants et liquides. Nous sommes ici confrontés au problème essentiel de la réglementation actuelle sur la solvabilité, la directive Solvabilité I, qui porte d'abord son attention sur l'établissement de provisions prudentes puis sur une réglementation de la détention des actifs. Dans cette approche, les exigences en capital imposées ne sont qu'une précaution visant à absorber les pertes éventuelles en cas de situation défavorable. Bien que cette réglementation fonctionne relativement bien jusqu'à présent, étant donné que très peu de faillites d'entreprises ont été recensées en Europe, il est à présent nécessaire d'améliorer ces normes prudentielles pour atteindre au moins deux objectifs : une harmonisation, au sein des pays européens, de la réglementation sur la solvabilité et une meilleure prise en compte des risques souscrits, autant par une approche qualitative, piliers II et III de l'architecture de Solvabilité II que quantitative, pilier I.

Après la réforme bancaire Bâle II, permettant de créer un dispositif prudentiel destiné à mieux appréhender les risques bancaires et principalement le risque de crédit, c'est au secteur de l'assurance de voir sa réglementation s'adapter avec la réforme Solvabilité II afin de déterminer des exigences en capital de solvabilité susceptibles de mieux intégrer l'ensemble des risques auxquels les sociétés d'assurance sont soumises. Cette réforme permettrait donc une meilleure allocation des fonds propres de l'entreprise en fonction de son véritable profil de risques contrairement à Solvabilité I qui ne prend que le risque de souscription en compte, de manière simplifiée.

Jusqu'à présent, les exigences en capital étaient calculées suivant une approche rétrospective et déterministe, qui ne permettait pas de traduire la réalité de l'activité. Cependant, avec la nouvelle réforme, la détermination du besoin en capital nécessite que les différents postes du bilan soient

valorisés en adoptant une vision économique et cohérente avec les valeurs de marché, de sorte à appréhender au plus juste les différents risques inhérents à l'activité d'assurance.

Pour les actifs d'une société d'assurance, principalement composés d'immobiliers, d'actions et d'obligations, il est facile de déterminer leurs valeurs de marché. En effet, il existe pour les actifs des marchés suffisamment liquides, actifs et transparents pour pouvoir vendre et acheter ces actifs et fournir une valeur de marché. En revanche, pour l'évaluation du passif, constitué principalement par les engagements de l'assureur, une valeur de marché ne peut être directement observable étant donné qu'il n'existe pas de marché pour vendre ou acheter ces passifs. Il est donc nécessaire d'employer une autre méthode d'évaluation qui soit cohérente avec l'ensemble des informations disponibles sur le marché. Cette valorisation dépendra notamment des nombreuses hypothèses formulées par la troisième Etude Quantitatives d'Impact (QIS3) lancée par le CEIOPS pour répondre à la Commission Européenne. Ceci formera la problématique centrale de ce mémoire, notamment à travers la notion de provisions « Best Estimate ».

Nous verrons dans un premier temps le contexte dans lequel s'inscrit la réforme de solvabilité en expliquant le système actuellement en place pour calculer la marge de solvabilité (Solvabilité I) ainsi que l'historique des études quantitatives d'impact (QIS) permettant de mesurer les répercussions de cette réforme pour les sociétés. Nous verrons ensuite, en nous fondant sur les hypothèses du QIS3, les changements occasionnés par cette réforme sur la méthode de calcul des provisions ainsi que sur les différents seuils de détention des capitaux. Enfin nous verrons dans une troisième partie une application sur un portefeuille de prévoyance du calcul des exigences de solvabilité sous solvabilité I et solvabilité II. Cette application permettra également de mettre en évidence les différences de résultats qui existent entre le modèle interne et la formule standard.

Chapitre 1. Solvabilité I, Solvabilité II : le contexte

En Mars 2003, les services de la Commission Européenne ont rédigé une note sur la conception d'un futur système de contrôle prudentiel applicable dans l'Union Européenne (UE). Celle-ci a marqué une étape décisive dans le projet Solvabilité II, lancé en 2001 afin d'étudier la nécessité de réviser le système de solvabilité en vigueur dans l'UE. Le concept proposé prévoit ainsi un changement de modèle pour le calcul de la solvabilité : l'approche actuelle de la solvabilité axée sur le risque de souscription doit être étendue suivant une approche qui tienne compte de l'ensemble des risques encourus par un assureur.

I. Solvabilité I

Les règles de mesure de la solvabilité réglementaire appliquées aujourd'hui par les organismes assureurs français et européens sont proches, mais laissent une certaine liberté nationale, notamment au niveau de la comptabilisation des provisions. Elles découlent de la directive européenne de 1973 pour la branche non vie et de 1979 pour la branche vie, qui ont créé les règles dites de Solvabilité I. La réglementation sur la solvabilité a pris de l'importance lors de l'ouverture des marchés prévue dans la troisième génération de directives européennes sur l'assurance, adoptées vers le milieu de l'année 1994, qui ont aboli le contrôle des prix et des produits dans l'ensemble de l'UE. L'objectif du contrôle de la solvabilité était de permettre aux autorités de contrôler et d'identifier en amont les cas problématiques parmi les assureurs et donc de mieux protéger les preneurs d'assurance. Conçue comme une norme minimale commune, la réglementation laissait aux états membres de l'UE toute liberté pour imposer une réglementation plus stricte mais fixait certaines règles afin de protéger les assurés. Ces règles, imposées par Solvabilité I aux assureurs, font intervenir trois éléments :

- La Marge de Solvabilité (MS) qui est la richesse de l'organisme ;
- L'Exigence de Marge de Solvabilité (EMS) qui est le montant en dessous duquel ne doit pas descendre la marge de solvabilité précédente ;
- Le fonds de Garanties (FdG), égal au Maximum entre le FdG minimum et 33.3% de l'EMS, le FdG minimum étant déterminé selon la branche d'activité.

I.1. La marge de solvabilité

La réglementation impose aux entreprises pratiquant des opérations d'assurance et de capitalisation de disposer à tout moment d'une marge de solvabilité destinée à amortir les effets d'éventuelles variations économiques défavorables. Cette marge constitue un élément important du système de surveillance prudentiel visant à protéger les intérêts des assurés et des preneurs d'assurances.

Par conséquent, la solvabilité d'une entreprise d'assurance se définit comme sa capacité à respecter à tout instant ses engagements envers les membres participants et les autres créanciers en cas de difficulté financière.

La marge de solvabilité est composée par l'ensemble des ressources qui sont constituées principalement par des fonds propres supplémentaires. Les entreprises pratiquant des opérations d'assurance et de capitalisation sont tenues de détenir ces fonds propres supplémentaires pour pouvoir faire face aux événements imprévus tels qu'un niveau de sinistre plus élevé que prévu ou des mauvais résultats de leurs placements.

La marge de solvabilité ne constitue pas une exigence de capital à détenir par l'entreprise, mais permettra de comparer la richesse de l'entreprise aux exigences de capital. En effet, chaque compagnie devra, pour exercer la profession, détenir une marge de solvabilité supérieure à l'exigence de marge de solvabilité (EMS) expliquée ci-dessous.

Actuellement l'EMS des organismes assureurs est mesurée sur la base du volume d'affaires souscrites (pourcentage des provisions techniques, des primes ou des sinistres), sans prendre en compte de manière actuarielle les risques réellement encourus.

I.1.1. Exigence de marge de solvabilité non vie

L'exigence de marge de solvabilité (EMS) est un montant en dessous duquel la marge de solvabilité ne doit pas descendre. Son calcul découle de la directive européenne de 1973 et concerne les produits :

- Incendie Accident Risque Divers (IARD),
- Incapacité, Invalidité,
- Frais de santé, Décès accidentel,
- Dépendance.

L'EMS est le maximum de deux montants portant l'un sur les primes encaissées et l'autre sur les sinistres :

- par rapport aux primes de l'année en cours, 18% pour la première tranche de 50 millions d'euros de primes encaissées et 16% au delà
- par rapport à la moyenne des sinistres des trois dernières années, 26% pour la première tranche de 35 millions et 23% au delà.

I.1.2. Exigence de marge de solvabilité vie

Son calcul découle de la directive européenne de 1979 et concerne les produits :

- Décès,
- Rentes de conjoint,
- Rentes d'éducation,
- Frais d'obsèques,

- Epargne,
- Retraite.

L'EMS est la somme des deux montants suivant :

- 4 % des provisions mathématiques avec possibilité de déduire partiellement la part réassurée ;
- Un pourcentage variant de 0.1% à 0.3 % des capitaux sous risques en fonction de la durée de l'engagement.

Ainsi un même produit d'assurance vie bénéficiant de taux garantis différents est soumis à la même EMS quelle que soit la capacité de l'assureur à servir le taux offert.

I.2. Fonds minimum de garantie

Le fonds minimum de garantie, second seuil dont doit disposer les entreprises est fixé à un tiers de l'exigence de marge de solvabilité, avec un minimum de 2 à 3 millions d'euros selon la branche.

Le fonds minimum de garantie et les seuils de primes et de sinistres sont révisés chaque année. Ils sont ajustés dès lors que l'indice des prix à la consommation européen a varié de plus de 5% depuis le dernier ajustement.

I.3. Surveillance des autorités de contrôle

Les autorités de contrôle, qui veillent à ce que la marge de solvabilité soit supérieure à l'exigence de solvabilité et au fonds minimum de garantie peuvent prendre des mesures d'urgence nécessaire à la sauvegarde de l'entreprise si elle ne respecte pas les conditions énoncées ci-dessus.

Si la marge de solvabilité est inférieure à l'EMS, l'organisme doit produire et exécuter un plan de redressement qui doit être soumis à l'approbation de la commission de contrôle dans le délai d'un mois.

Si la Marge de Solvabilité est inférieure au Fonds minimum de garantie, l'organisme doit produire et exécuter un plan de financement à court terme, qui doit être également soumis à l'approbation de la commission dans un délai d'un mois. L'organisme doit établir un plan de financement tendant à sa reconstitution à l'échéance d'une année de plus.

Différentes solutions existent pour les entreprises en cas de non respect des minima réglementaires tel que l'augmentation de capital, l'utilisation de la réassurance pour diminuer l'EMS ou encore céder une partie de son activité très exigeante en besoin de marge de solvabilité.

Si la marge de solvabilité et / ou le Fonds Minimum de garantie ne sont pas reconstitués pour faire face aux exigences de contrôle, leur agrément administratif sera retiré et l'entreprise d'assurance sera dissoute après transfert du portefeuille le cas échéant.

I.4. Les critiques de Solvabilité I

Les critiques formulées à l'encontre du système Solvabilité I sont d'ordre quantitatif mais aussi qualitatif.

I.4.1. Critiques quantitatives

Une des critiques principales de Solvabilité I repose sur le fait qu'il n'y a pas de distinction entre les risques, seul le risque de souscription est pris en compte pour les calculs de la marge de solvabilité.

De plus, les exigences de marge de solvabilité, sous les règles de solvabilité I, sont déterminées de manière forfaitaire par rapport à un ratio combinant les provisions, les primes et les sinistres. Ces exigences, généralement surévaluées, nécessiteront pour l'entreprise une immobilisation de fonds propres plus importante du fait de la surévaluation. Par exemple, deux entreprises peuvent avoir une même exigence de marge de solvabilité et pourtant ne pas subir les mêmes risques. L'entreprise subissant des risques plus importants devrait par conséquent détenir une exigence en capital plus élevée, l'objectif d'une compagnie étant d'avoir un capital ajusté à son profil de risques. De plus Solvabilité I se base sur une vision uniquement rétrospective sur des indicateurs comptables annuels en ne prenant comme seule et unique référence le passé et par conséquent suppose que le passé est un bon guide pour estimer le futur, ce qui ne se vérifie pas dans les faits.

Les modes de calcul des provisions diffèrent fondamentalement d'un pays à l'autre et aboutissent à des niveaux de prudence sensiblement différents. Les exigences de marge qui sont calculées sur la base de ces provisions sont donc très différentes, d'où l'utilité d'une harmonisation et d'une modernisation des règles en Europe, en prenant également en compte une vision aux niveaux des groupes pour estimer la solvabilité des succursales et des filiales.

I.4.2. Critiques qualitatives

D'un point de vue qualitatif, nous pouvons remarquer qu'aucune surveillance n'est exercée sur le contrôle interne (piste d'audit, méthode de gestion ...). L'aspect qualitatif est complètement négligé.

D'autre part Solvabilité I est moins complet que d'autres systèmes de surveillance de solvabilité internationaux tels que le « Swiss Solvency Test » en Suisse ou le modèle de solvabilité américain « Risk Based Capital » ce qui pousse les pays de l'Union européenne à développer leur propre modèle, Solvabilité II, et remet en cause l'harmonisation des normes.

II. Solvabilité II

Le projet Solvabilité II piloté par la Commission Européenne vise notamment à consolider l'ensemble des directives existantes et à réformer en profondeur les règles de solvabilité auxquelles sont soumises les entreprises d'assurance.

L'objectif est de créer un système plus harmonisé, avec une meilleure prise en compte des risques assumés par les organismes d'assurance, et plus cohérent avec le système prudentiel bancaire afin de communiquer des indicateurs qui soient les plus pertinents possibles.

Prévue pour entrer en vigueur à l'horizon 2010, cette mise à jour du cadre dans lequel s'inscrit l'activité des assureurs européens, doit actualiser un ensemble de règles élaborées au cours du temps. Ainsi, l'ensemble des directives existantes devrait être remplacé par une directive unique. S'inscrivant dans une architecture appelée « Lamfalussy », la mise en place de Solvabilité II comporte plusieurs étapes. En premier lieu, une directive comportant les éléments essentiels du nouveau système a été élaborée en juillet 2007 pour être adoptée par le conseil de l'Union Européenne et le Parlement Européen. Dans un second temps, des mesures de mise en œuvre doivent être définies et adoptées par voie de directive ou de règlement européen.

II.1. Les acteurs du projet

Les acteurs de la réforme Solvabilité II sont nombreux et regroupent deux catégories d'intervenants, les membres mandatés par la Commission Européenne et les professionnels. Le Comité européen des contrôleurs des assurances et des pensions professionnelles (CECAPP ou CEIOPS en anglais) est pleinement impliqué dans le processus d'élaboration de la future directive. Il a d'ailleurs mis en place plusieurs groupes de travail chargés de répondre aux demandes d'avis techniques formulées par la Commission.

Les professionnels (compagnies d'assurances, fédérations professionnelles, actuaires, consultants) sont, quant à eux consultés sur les projets d'avis du CEIOPS au travers des Etudes Quantitatives d'Impacts ou Quantitative Impact Studies en anglais (QIS).

II.2. Modèles dont s'inspire le projet Solvabilité II

Le projet Solvabilité II s'inspire à la fois des modèles existants utilisés en Suisse et aux Etats-Unis mais aussi de la réforme bancaire Bâle II.

Les normes Bâle II constituent un dispositif prudentiel bancaire destiné à établir les exigences en fonds propres, en tenant mieux compte des risques bancaires et principalement le risque de crédit ou de contrepartie. Ces directives ont été préparées depuis 1998 par le Comité de Bâle, sous l'égide de la « banque centrale des banques centrales » : la Banque des Règlements Internationaux. Ceci a abouti à la publication de la Directive CRD sur les « fonds propres réglementaires » (en anglais

Capital Requirement Directive). Le projet Solvabilité II va notamment reprendre l'architecture à 3 piliers déjà utilisée dans les réformes Bâle II.

Le Swiss Solvency Test (SST), appliqué en Suisse pour le contrôle de la solvabilité, permet de calculer le capital cible nécessaire à un assureur pour pouvoir supporter les risques encourus avec une probabilité suffisante. Il bannit autant que possible les formules rigides de calcul du capital cible. L'autorité de surveillance définit des lignes directrices à respecter. Il incombe ensuite aux compagnies de choisir la voie qui leur convient pour procéder aux calculs. Avec ce système, l'autorité de surveillance devra disposer d'un accès plus étendu aux modèles spécifiques des compagnies, tandis que ces dernières seront incitées à quantifier et gérer elles-mêmes leurs risques.

Le but du SST est double :

- Premièrement, il s'agit d'encourager la gestion des risques au sein des compagnies d'assurance. Le calcul du capital cible n'est pas la seule raison d'être du SST. La méthode suivie, les résultats intermédiaires, les scénarios et les estimations des risques encourus par la compagnie d'assurance comptent tout autant ;
- Deuxièmement, le capital cible remplit la fonction de signal avertisseur. Si le capital servant à couvrir le risque est inférieur au capital cible nécessaire, cela ne signifie pas qu'une compagnie n'est pas solvable. Mais il s'agira alors, soit de combler sur une certaine période le capital manquant, soit de réduire les risques, par exemple par une meilleure gestion des actifs et des passifs, de façon à ce que le capital cible ainsi réduit puisse être couvert par le capital existant.

Le modèle de solvabilité américain, le « Risk Based Capital » (RBC), mis en place dans les années 90 par la NAIC (National Association of Insurance Commissioners) a pour but d'associer à chacun des principaux « risques » pesant sur les sociétés d'assurance un besoin de capital : les méthodes de calcul utilisées, plus ou moins complexes, tiennent compte des caractéristiques de chaque entreprise. Un besoin global de fonds propres est ensuite obtenu en associant les besoins de fonds propres liés à chaque risque.

Ce besoin de fonds propres réglementaire global est ensuite comparé aux fonds propres de l'entreprise. Le ratio fonds propres de l'entreprise sur les besoins de fonds propres détermine les possibilités d'action de l'autorité de contrôle.

II.3. Les piliers de Solvabilité II selon l'approche de Lamfalussy

L'approche Lamfalussy est la démarche utilisée par l'Union européenne pour concevoir les réglementations du secteur de la finance et des assurances. Cette approche mise au point en mars 2001, porte le nom d'Alexandre Lamfalussy, qui présidait le comité consultatif.

L'approche Lamfalussy est composée de quatre niveaux successifs, dont l'objet est de se concentrer sur des aspects précis du travail législatif. Le premier niveau concerne l'élaboration de la législation. La commission européenne et le parlement européen adoptent un texte législatif qui livre les principes directeurs de la future réglementation et donne des axes de mise en œuvre.

Le second niveau concerne l'élaboration des mesures d'exécution où un comité spécialisé conçoit, en collaboration avec les autorités de régulation des états membres, les détails techniques liés à la mise en œuvre de la réglementation. Ceux-ci sont portés au vote des états membres, au travers de représentants du secteur de la finance concernés par la réglementation.

Le troisième niveau concerne la coopération des régulateurs : les autorités de régulation nationale coordonnent leurs travaux de déclinaison des textes européens dans leur droit, afin que les réglementations des états membres divergent le moins possible.

Enfin le quatrième niveau est axé sur le contrôle du respect du droit : la commission européenne vérifie la conformité des réglementations nationales et prend les mesures nécessaires à l'encontre des états suspectés de contourner le règlement européen.

A l'issue d'une première phase d'études et de concertations, la Commission Européenne a retenu en avril 2003 une architecture à trois piliers comparable à celle définie pour le secteur bancaire par le Comité de Bâle (Bâle II) : exigences quantitatives, activités de surveillance, information et publicité.

II.3.1. Pilier I : les règles quantitatives

Le pilier I vise à définir les règles quantitatives dans trois domaines :

- les provisions techniques avec un objectif d'harmonisation de leur valorisation.
- l'exigence de capital ; deux niveaux de capital seront déterminés :
 - o le minimum de capital requis ou MCR (en anglais, Minimum Capital Requirement) déterminé suivant un calcul simplifié et identique pour toutes les compagnies
 - o le capital de solvabilité requis ou SCR (en anglais, Solvabilité Capital Requirement) dont le calcul repose soit sur l'utilisation d'une formule standard (basée sur des facteurs et des modules de risque) soit sur l'utilisation d'un modèle interne capable de retracer la situation propre de la compagnie
- la définition et les règles d'éligibilité des éléments de capital

Ce premier pilier s'attache donc à établir des outils de mesure de la « suffisance » des provisions techniques et à formuler une harmonisation des principes de calcul entre les différentes compagnies européennes.

II.3.2. Pilier II : le processus de contrôle prudentiel

L'objectif poursuivi par le pilier II est de définir et d'harmoniser les activités de surveillance aussi bien au niveau des entreprises d'assurance elles-mêmes qu'à l'échelon des superviseurs c'est à dire par les autorités de contrôle telle que l'ACAM ou le CEIOPS.

Au sein des organismes d'assurance, ce sont les mécanismes de contrôle interne et d'organisation qui sont visés ainsi que les principes applicables en matière de gestion des risques. Il est nécessaire

que les compagnies puissent se contrôler elles-mêmes et régulièrement à travers des procédures écrites ou encore par le biais des systèmes de contrôle et d'audit interne.

Les instances européennes souhaitent donner aux autorités de contrôle les moyens d'identifier les compagnies représentant un risque financier ou organisationnel important. Dans de tels cas, elles doivent avoir la possibilité d'augmenter l'exigence de capital ou d'appliquer des mesures ciblées pour réduire les risques.

Les autorités de contrôle auront donc un droit de regard sur l'ensemble de la gestion et du fonctionnement d'un organisme assureur, examinant l'ensemble des risques dont le risque opérationnel.

II.3.3. Pilier III : information et discipline de marché

Le pilier III étudie les éléments d'information qui doivent être publiés par les entreprises d'assurance :

- information publique dans le cadre de la discipline de marché,
- information à l'usage des superviseurs (dossier annuel),
- règles d'information des assurés.

Le pilier III de Solvabilité II couvre un champ plus large que le pilier III de Bâle II. En effet, outre les exigences de publication par les entreprises en vue d'améliorer la transparence de l'information et de promouvoir une meilleure discipline de marché, il travaille sur les exigences de reporting aux superviseurs, notamment le dossier annuel.

Si la construction du pilier III est subordonnée à l'avancement des deux premiers piliers, deux grands principes ont, déjà, été posés par le CEIOPS :

- un principe de cohérence maximum avec les exigences comptables de publication d'information ;
- un principe d'harmonisation des états réglementaires de reporting aux superviseurs, avec comme objectif un dossier annuel européen.

II.4. La marge de solvabilité

La marge de solvabilité est constituée de manière à ce que la compagnie ait une probabilité de faillite très faible à un horizon fixé. La Commission Européenne a choisi de distinguer deux niveaux d'exigence de fonds propres.

- **Un niveau de capital minimum : le MCR**

L'exigence minimale de capital ou « Minimum Capital Requirement » (MCR) est un premier seuil d'alerte de la solvabilité qui a pour objectif d'émaner d'un calcul simplifié tout en étant fiable et robuste.

Le MCR représente le niveau en dessous duquel les fonds propres ne doivent pas chuter, sous peine d'une intervention des autorités de contrôle. On considère notamment qu'en deçà de ce seuil l'entreprise ne peut plus fonctionner normalement, et le non-respect de ce seuil entraînera une augmentation de capital immédiate sous peine de retrait d'agrément.

- **Un niveau de capital souhaitable : le SCR**

Le SCR doit donner un niveau de capital qui permet à l'assureur d'absorber les pertes imprévues et significatives, avec en même temps une assurance raisonnable aux assurés que l'assureur sera capable d'honorer ses engagements. Il est censé refléter le montant de capital requis pour que l'assureur puisse faire face à ses obligations pendant un horizon de temps spécifié et suivant un niveau de confiance donné. A ce stade d'avancement de la réforme, le SCR doit couvrir une probabilité de ruine de 0,5% sur un an. On peut définir qu'il y a ruine si la différence entre la valeur actuelle de l'actif et du passif exprimés en valeur de marché, est négative. Une exigence de capital de solvabilité faible ne permettrait pas aux entreprises de se rétablir par elles-mêmes si les fonds propres devenaient inférieurs à ce niveau. Ce niveau peut être interprété comme un seuil d'alerte qui nécessiterait une prise de décisions de la part de l'entreprise afin de revenir à une situation plus « solvable ».

Le calcul du SCR peut se faire selon différentes approches que l'assureur pourra choisir. Une formule standard, fournie par le CEIOPS, permettra un calcul simple applicable à toutes les sociétés quel que soit le pays. Cependant, afin d'avoir une approche au plus juste des risques que les sociétés encourent, elles pourront développer des modèles internes qui doivent être validés par les autorités de contrôle. Enfin, elles pourront également faire une combinaison des deux en associant certains risques à la formule standard et les autres risques à un modèle interne.

II.5. Les Etudes Quantitative d'Impact (QIS)

Dans l'optique du passage à Solvabilité II, la Commission Européenne a demandé au CEIOPS d'étudier les répercussions quantitatives du nouveau système avec des études quantitatives d'impact (QIS, Quantitative Impact Studies). Les QIS permettent de recueillir des retours quantitatifs auprès des acteurs du marché, et dans certains cas qualitatifs.

Il s'agit d'un véritable aller et retour entre théorie et pratique :

- les QIS sont la traduction concrète des orientations incluses dans les réponses du CEIOPS aux demandes d'avis de la Commission
- l'exploitation des QIS permet au CEIOPS de faire évoluer et d'améliorer ses réponses initiales.

Le CEIOPS a déjà réalisé trois études d'impact quantitatives : QIS 1 en automne 2005, QIS 2 en avril 2006 et enfin le QIS3 qui a débuté en avril 2007 jusqu'en juin et dont le CEIOPS fournira les résultats en octobre.

II.5.1. Automne 2005, QIS 1: objectifs, participation et enseignements

II.5.1.1. Objectifs

L'étude QIS 1 poursuivait un double objectif :

- comparer les niveaux de prudence des provisions techniques actuelles ;
- recueillir de l'information sur les méthodes utilisées pour calculer ces provisions.

Cette première étude quantitative d'impact visait donc à comparer les provisions existantes avec des provisions valorisées selon les principes communs suivants :

- décomposition des provisions en un « best estimate » et une marge pour risque ;
- calibrage pour obtenir un niveau de confiance prédéterminé, selon une approche « quantile » (60%, 75%, 90%) ;
- valorisation avec et sans actualisation en non-vie.

L'accent a été mis sur la fiabilité des résultats plus que sur la comparabilité (les méthodologies employées ont été laissées à l'appréciation des organismes concernés).

II.5.1.2. Participation

Les résultats de cette première étude quantitative d'impact ont été rendus publics en mars 2006. Une grande diversité des participants a été observée, tant concernant la taille des entreprises participantes que la nature des risques modélisés, notamment en assurance non-vie, pour laquelle la plupart des branches ont été représentées.

Participants	
Assurance vie	150
Assurance non-vie	190
Réassurance	4
Total (dont France)	1312 (47)

Certains organismes ont une activité mixte, ce qui explique que le nombre total de participants ne correspond pas à l'addition des données détaillées par catégorie

II.5.1.3. Enseignements

Les réponses à l'étude QIS 1 ont été souvent partielles et les résultats sont essentiellement indicatifs : en raison du caractère novateur de la démarche et des délais de réponse imposés, nombre d'organismes n'ont pas pu répondre à l'intégralité du questionnaire.

Les objectifs ont néanmoins été atteints :

- les provisions techniques ont pu être évaluées sur une nouvelle base ce qui a permis de mesurer l'impact d'une harmonisation des provisions au niveau européen ;

- les entreprises d'assurance ont montré leur capacité à implémenter les méthodes proposées ;
- les réponses qualitatives apportées ont été jugées de grande qualité.

Les réponses à cette première étude ont permis de dégager des constats généraux : ainsi, certains risques apparaissent difficiles à modéliser en approche quantile (catastrophes naturelles, comportement des assurés, mortalité future, etc.); QIS 1 a également permis de constater qu'il n'y avait que peu de différences entre les trois niveaux de confiance testés (75%, 90%, 60%). Seule la méthode quantile à 75% a par la suite été retenue dans le cadre de QIS 2.

En assurance vie, hors unités de compte, la prise en compte des participations aux bénéficiaires futures a un impact important sur les provisions. Pour les contrats avec participations aux bénéficiaires, la décomposition en Best Estimate et quantile est apparue difficile à effectuer : à peine un tiers des participants a fourni une estimation des quantiles. En outre, les méthodologies utilisées et les résultats obtenus se sont avérés assez hétérogènes entre les pays mais également au sein de chaque pays.

En assurance non-vie, l'évaluation des provisions actualisées selon le principe associant le Best Estimate et le quantile à 75% ou 90% est inférieure au niveau actuel. L'actualisation des provisions a un impact relativement important et représente 10 à 15% des provisions ; depuis le QIS 1, les provisions doivent être actualisées.

Les résultats obtenus se sont avérés assez homogènes et ont été considérés comme significativement acceptables par la majorité des autorités de contrôle.

II.5.2. Printemps 2006, QIS 2 : objectifs, participation, enseignements

II.5.2.1. Objectifs

Les objectifs généraux de QIS 2, lancé début mai 2006, étaient :

- de tester la faisabilité des principes de valorisation
- d'évaluer leurs impacts potentiels sur le bilan
- d'évaluer les nouvelles règles de calcul de solvabilité
- de recueillir des informations quantitatives et qualitatives sur la pertinence des approches envisagées pour le SCR.

L'accent était davantage mis sur la structure et la faisabilité des approches telles qu'un changement de valorisation des actifs que sur le calibrage des modules de risque ou des paramètres de la formule standard.

II.5.2.2. Participation

23 pays ont participé à l'enquête QIS 2 (contre 19 pour QIS 1), représentés par 514 entreprises, dont 108 mutuelles (contre un total de 319 participants à QIS 1). 76 de ces entreprises étaient françaises, dont 31 sociétés d'assurance mutuelle.

D'une façon générale, les taux de participation ont été supérieurs à 50% de parts de marché (sur la base des provisions en vie et des primes en non-vie). Au niveau européen, 65% de parts de marché étaient représentées en vie (72% en France) et 56% en non-vie (54% en France). Les grandes entreprises sont toutefois surreprésentées dans les réponses.

Participants	
Assurance vie (France)	167 (17)
Assurance non-vie	253 (44)
Réassurance	13(0)
Mixte	81 (15)

II.5.2.3. Enseignements

Les principaux enseignements européens à tirer de QIS 2 ont été les suivants :

- la plupart des entreprises demeurent solvables selon les critères QIS 2, i.e. couvrent l'exigence de capital du SCR ;
- une préférence pour l'approche « coût du capital » s'est dégagée pour le calcul de la marge de risque dans les provisions ;
- en moyenne, le niveau des provisions diminue, le SCR est supérieur à la marge actuelle et les éléments éligibles en couverture des exigences en capital augmentent ;
- certains modules d'évaluation des risques sont à ajuster, tant pour ce qui concerne leur structure que leur calibrage. Pour le QIS2 l'accent était toutefois mis sur les aspects structurels, le calibrage étant destiné à être testé lors du QIS3.

L'étude quantitative d'impact QIS 2 a suscité de nombreuses réactions :

- **sur la modélisation** : insuffisante prise en compte de la réassurance non proportionnelle, difficulté d'estimation des k-facteurs pour le calcul du SCR et MCR;
- **sur la non-équivalence des approches simple ou complexe testées** ;
- **sur les paramètres de calibrage** : matrices de corrélation (actions et immobilier ou actions et risque de taux, par exemple), sur les facteurs de risques individuels et sur les niveaux comparés des résultats obtenus avec ceux des modèles internes.

Grâce à la mobilisation de la profession et en dépit de délais très courts, les résultats du QIS 2 ont permis de mettre en évidence des questions de modélisation importantes et d'ouvrir la discussion sur le paramétrage de la formule standard (même si ce n'était pas son objectif premier).

II.5.3. Avril 2007, QIS 3 : objectifs, calendrier

II.5.3.1. Objectifs

Les QIS 1 et QIS 2 se sont avérées être des exercices de première approche, le premier consacré au seul calcul des provisions techniques et le second constituant un premier test de la structure de la future formule standard du SCR.

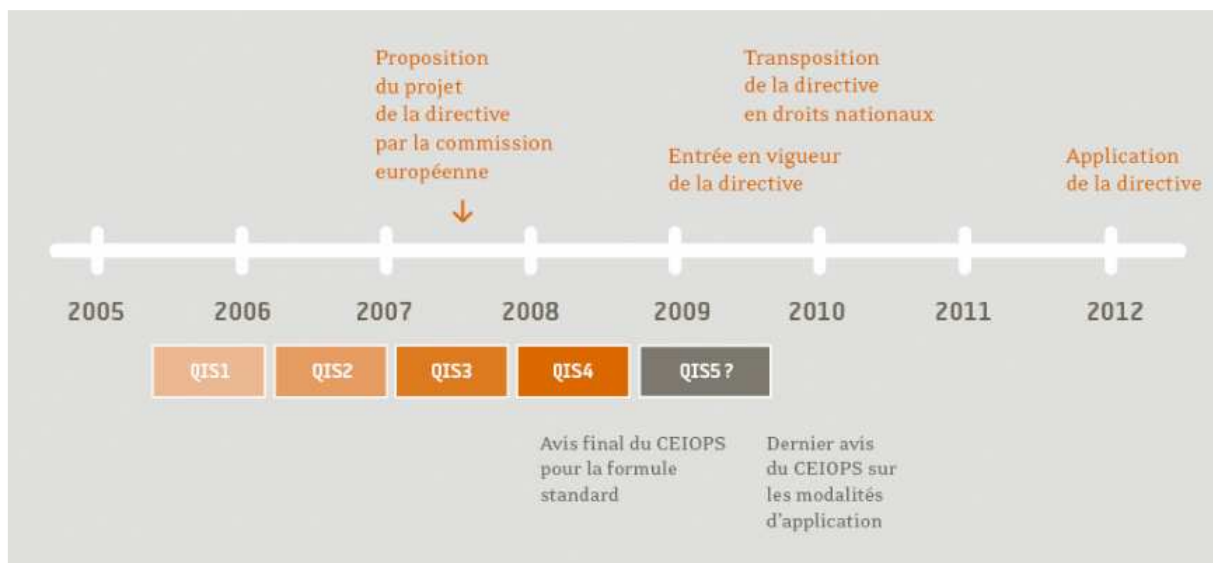
Les objectifs du QIS3 sont :

- fournir de plus amples informations sur la faisabilité des calculs demandés ;
- collecter les informations permettant d'affiner le calibrage de la formule standard ;
- recueillir des informations quantitatives d'impact sur les bilans des organismes d'assurance et sur les exigences en capital ;
- évaluer l'effet de l'application de la spécification de QIS3 aux groupes d'assurance.

II.5.3.2. Calendrier du QIS3

- Lancement du QIS3 : 2 avril 2007
- Date limite de renvoi aux autorités de contrôle nationales : 29 juin 2007
- Rapport de synthèse sur le QIS3 du CEIOPS en octobre 2007

II.5.4. Calendrier global du projet Solvabilité II



L'avis final du CEIOPS sur le calibrage des paramètres ainsi que sur les méthodes de calcul permettant d'obtenir les exigences de marge de solvabilité est attendu en mars 2008. Néanmoins il n'est pas exclu que de nouvelles études quantitatives d'impact soient programmées pour la fin de l'année afin d'affiner le paramétrage de la formule standard suite aux résultats du QIS3 attendu en octobre, notamment le QIS 4 de devrait débuter en décembre. Ce QIS4 aura notamment pour but de tester la formule standard en prenant en compte différentes simplifications sur l'évaluation des provisions techniques ou sur la prise en comptes des risques spécifiques pour le calcul du SCR.

Enfin la directive pourrait entrer en vigueur dès 2010, mais ne s'achèvera certainement pas avant 2012. Le déroulement des exigences de solvabilité à fournir auprès des autorités de contrôle durant la période de transition entre Solvabilité I et solvabilité II n'a pas encore été précisé.

Chapitre 2. Modalités de valorisation sous Solvabilité II

Le projet Solvabilité II impose aux assureurs une évaluation de leurs actifs et de leurs passifs à la valeur de marché appelé également la « fair value » ou « juste valeur » (IAS 39) afin d'appliquer une approche conforme aux réglementations fondées sur la réalité économique et financière. Cependant, il est nécessaire de faire une différenciation importante entre les actifs et les passifs pour calculer leurs valeurs de marché.

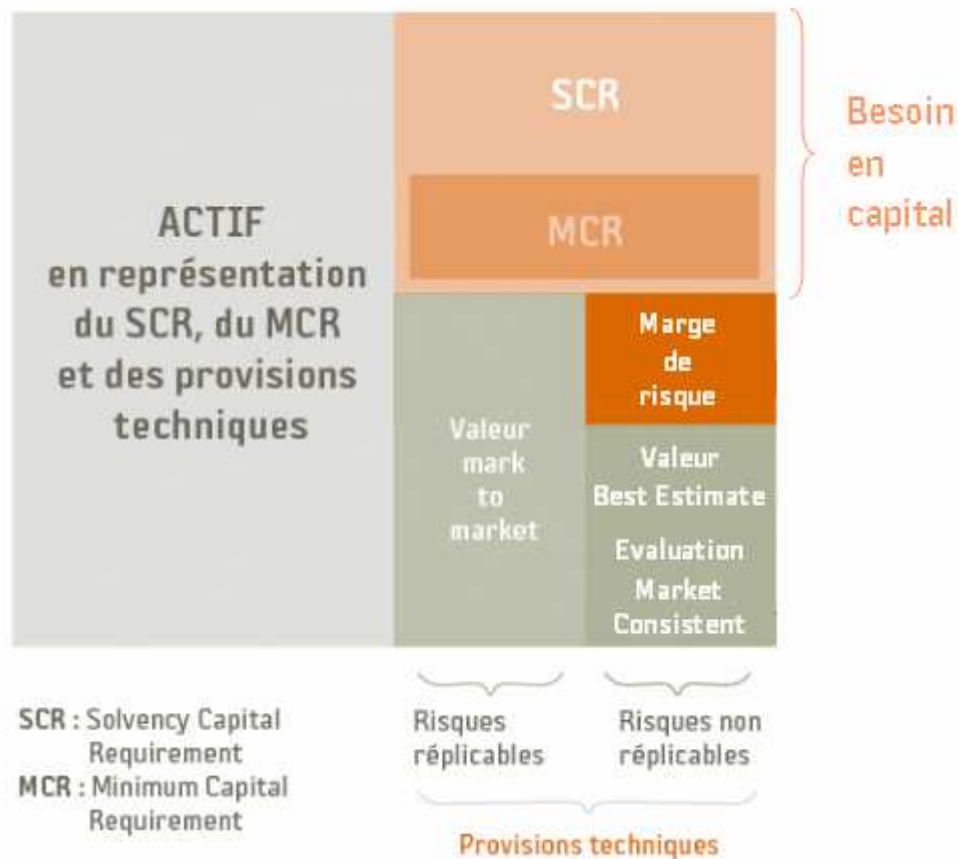
En effet la valeur de marché d'un actif est le montant auquel cet actif pourrait être vendu ou acheté dans une transaction actuelle sur un marché suffisamment actif, liquide et transparent. Pour la plupart des actifs d'une compagnie, composés généralement d'actions, d'obligations et d'immobiliers il existe un tel marché pour effectuer ces transactions. Il n'est donc pas difficile, à priori, de calculer cette valeur de marché pour les actifs d'une compagnie d'assurance.

A contrario pour le passif, constitué essentiellement par les provisions techniques, une évaluation à leur valeur de marché est plus problématique étant donné qu'il n'existe pas de marché comme il en existe pour les actifs. Il est donc nécessaire d'utiliser des méthodes alternatives qui soient cohérentes avec l'ensemble des informations disponibles sur le marché. Pour ce faire, nous distinguons deux situations dans la valorisation des provisions techniques selon que le risque soit hedgeable ou non.

Définissons à présent ces deux notions de risque :

- On appelle un risque « hedgeable » ou répliquable un risque qui peut être parfaitement couvert sur un marché suffisamment actif, liquide et transparent. Un marché actif, liquide et transparent est défini comme étant un marché où les participants peuvent rapidement exécuter des transactions de grand volume avec peu d'impact sur les cours. La valorisation des provisions techniques est donc déterminée par une théorie de réplication qui fournira directement un cours observable. On parle de mark-to-market. Par exemple, les supports en unité de compte peuvent être couverts sur un tel marché, ils sont donc des risques « hedgeable ».
- Un risque non hedgeable est un risque pour lequel une couverture financière ne peut être déterminée. La valorisation des provisions techniques s'effectuera dans ce cas selon une approche des provisions en Best Estimate à laquelle on ajoute une marge de risque obtenue par la méthode du coût du capital. Une provision Best Estimate correspond à la valeur actuelle espérée des cash flows futurs jusqu'à extinction des engagements de l'assureur.

Le graphique suivant met en évidence la composition du bilan d'une société d'assurance et notamment celle des provisions techniques selon que le risque couvert soit hedgeable ou non.



L'ensemble des hypothèses et des méthodes de calcul utilisé pour déterminer les exigences en capital ainsi que les provisions techniques vont être déterminé à partir des hypothèses formulées par le QIS3. En effet, le QIS3 n'est en rien une version définitive de la directive qui sera prochainement adoptée et pourra faire l'objet de modification ou de réajustement des paramètres au cours du QIS4 et probablement du QIS5.

Avant d'expliquer cette méthode du Best Estimate et des hypothèses y afférant, rappelons brièvement la méthode de provisionnement réglementaire utilisée actuellement sous Solvabilité I en France.

I. Rappel sur la méthode de provisionnement réglementaire

Les provisions mathématiques règlementaires appliquées aujourd'hui sont définies comme étant la différence entre d'une part la valeur actuelle probable des engagements pris par l'assureur et les charges de gestion liées aux contrats en cours et d'autre part la valeur actuelle probable des engagements pris par les souscripteurs.

Les provisions techniques, inscrites au passif du bilan d'une compagnie d'assurance correspondent aux charges à prévoir pour faire face à la sinistralité non encore déclarée mais prévisible des contrats en cours. Ces provisions sont calculées à partir de probabilités basées sur des statistiques de sinistres passés à l'aide de cadence de charge pour des contrats en assurance non vie.

En assurance de personne, le calcul des provisions s'effectue à partir d'une table réglementaire avec un taux d'actualisation constant. Ces deux notions constituent notamment les différences essentielles avec la méthode de provisionnement en Best Estimate.

Au moment de la souscription, la valeur actuelle probable des engagements de l'assureur est égale à celle du souscripteur. A toute époque ultérieure à la souscription, le premier élément devient supérieur au second. Autrement dit, la dette actualisée moyenne qu'a l'assureur envers les assurés est au moins égale à la créance actualisée moyenne sur les payeurs de prime.

Pour illustrer cette méthode de provisionnement en assurance de personnes prenons l'exemple d'une rente viagère. La rente sera versée au bénéficiaire tant que l'assuré sur lequel repose le contrat est en vie, le souscripteur paie une prime sur n années.

La valeur actualisée probable de l'engagement de l'assureur est la suivante :

$$\text{Rente} \times \sum_{k=0}^{\infty} v^k \times ({}_k p_x + \text{taux de frais})$$

La valeur actualisée probable de l'engagement du souscripteur est la suivante :

$$\text{Prime} \times \sum_{k=0}^{n-1} v^k \times {}_k p_x$$

La provision équivalente à ce jour est égale à

$$\text{Rente} \times \sum_{k=0}^{\infty} v^k \times ({}_k p_x + \text{taux de frais}) - \text{Prime} \times \sum_{k=0}^{n-1} v^k \times {}_k p_x$$

Où v^k représente au taux d'actualisation constant dans le temps ;

${}_k p_x$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge x soit en vie dans k années ;

Les frais représentent les charges de gestion liées aux contrats en cours de paiement ou encore les frais pour mise en service de la rente.

Regardons à présent la méthode de provisionnement en Best Estimate définie par la réforme Solvabilité II axée sur une table d'expérience. Nous verrons notamment que la marge de prudence, intégrée dans les tables réglementaires sous Solvabilité I, sera prise en charge non plus dans la table d'expérience mais dans une marge de risque calculée séparément de la provision.

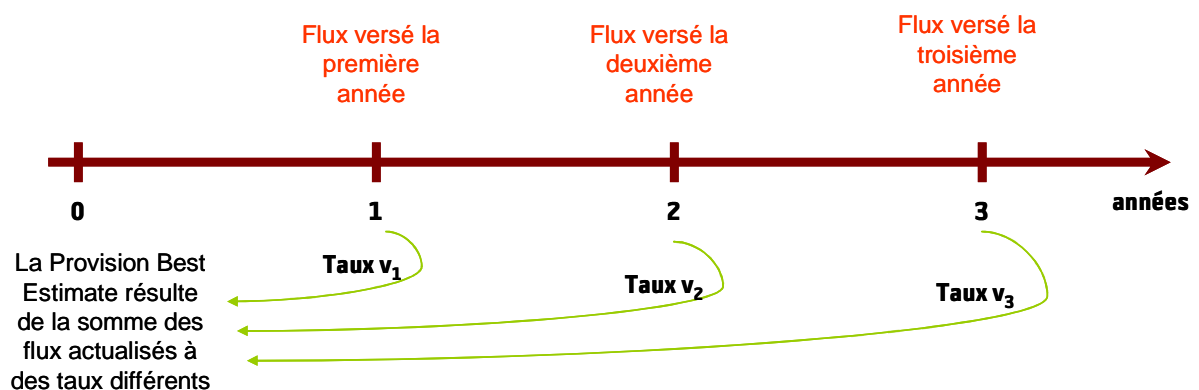
II. La provision Best Estimate

Une provision Best Estimate correspond à la valeur actuelle espérée de tous les flux futurs jusqu'à extinction du portefeuille.

II.1. Méthode de calcul pour obtenir une provision Best Estimate

Décomposons cette définition afin d'en comprendre tous les termes dans le cas d'un contrat de prévoyance versant une rente :

- La valeur actuelle correspond à l'actualisation à la date 0 de tous les flux futurs ;
- La valeur espérée correspond au montant probabilisé des flux ;
- Les flux futurs correspondent à l'ensemble des flux pour une date donnée que va encaisser ou payer l'assureur :
Flux futurs = Primes versées à l'assureur - arrérages versés au bénéficiaire - frais de gestion



L'ensemble des flux futurs est ici actualisé par rapport à la courbe des taux d'intérêt fournis par le CEIOPS.

Nous pouvons donc obtenir la formule suivante pour la provision technique, en reprenant l'exemple précédemment utilisé pour les provisions réglementaires :

$$\sum_{k=0}^{\infty} v_i^k \times_k P_x \times Flux_i$$

Où v_i^k représente le taux d'actualisation conforme à la courbe des taux d'intérêt fournis par le CEIOPS ;
 ${}_k P_x$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge x soit en vie dans k années ;
 Flux_i représente le total des cash flows pour une année donnée.

Afin d'harmoniser cette méthode de calcul des provisions, différentes hypothèses de travail sont imposées par le CEIOPS ainsi qu'une segmentation des provisions par branche d'activité ou par type de contrat.

II.2. Les hypothèses de travail

▪ **Hypothèses**

Dans le paragraphe précédent nous avons défini une provision Best Estimate comme étant la valeur actuelle espérée de tous les cash flows futurs. Ces cash flows doivent se baser sur des hypothèses estimées réalistes ce qui signifie que tous les cash flows futurs potentiels qui seraient engagés pour régler des engagements envers les assurés doivent être identifiés et évalués. Ces hypothèses réalistes se basent sur l'expérience de l'assureur concernant les distributions de probabilité pour chaque facteur de risque, mais en tenant compte également des données du marché lorsque l'expérience spécifique est limitée. Les projections de cash flows doivent également refléter les évolutions démographiques, juridiques, technologiques, sociales ou économiques. Cependant ces hypothèses réalistes ne doivent pas être délibérément surévaluées ou sous-évaluées lorsqu'aucune information crédible n'est disponible pour ces facteurs.

D'autres hypothèses sur l'actualisation des flux, sur les frais, sur la réassurance vont être imposées par le QIS3 afin d'obtenir une méthode de provisionnement commune pour les tous pays européens.

▪ **Actualisation**

Les cash flows sont actualisés au taux d'actualisation sans risque applicable à l'échéance correspondante en utilisant une interpolation ou extrapolation si le marché financier ne fournit pas de données. Le CEIOPS a fourni la courbe des taux d'intérêt afin que tous les participants procèdent à la même actualisation.

L'actualisation des cash flows à un taux variable représente une différence essentielle par rapport à la méthode de provisionnement réglementaire en vigueur qui utilise une actualisation à un taux constant.

▪ **Frais**

Une provision pour les frais futurs de gestion des contrats (frais administratif, gestion des investissements, dépenses de sinistres, frais généraux) doit être constituée.

▪ **Fiscalité**

Les paiements d'impôts requis pour satisfaire les engagements du souscripteur doivent être provisionnés sur la base appliquée actuellement.

- **Réassurance**

Les provisions en Best Estimate doivent être évaluées brutes et nettes de réassurance.

- **Horizon temporel**

Toutes les projections de cash flows doivent être faites sur un horizon d'un an pour avoir la possibilité de prendre en compte des mesures correctrices chaque année.

Depuis le QIS2, le calcul des provisions Best Estimate est segmenté par type de contrat pour les provisions vie et par branche d'activité pour les provisions non vie.

II.3. Les provisions vie

La première segmentation de l'activité vie sur les types de contrats est la suivante :

- contrats avec clauses de participation aux bénéfices
- contrats où l'assuré supporte le risque d'investissement
- autres contrats sans clause de participation aux bénéfices
- réassurance

Une seconde segmentation sur la branche d'activité est ensuite effectuée sur chacun de ces niveaux en fonction de la caractéristique prédominante du produit :

- contrats en cas de décès
- contrats en cas de survie
- contrats où le risque principal concerne l'invalidité et/ou la morbidité
- contrats d'épargne

Pour obtenir un calcul des provisions Best Estimate pertinent il est nécessaire d'inclure dans le calcul des provisions les différents facteurs de risques ci-dessous :

- taux de mortalité
- taux de morbidité
- longévité, taux de chute,
- exercice des options
- hypothèses de frais de gestion

La provision Best Estimate doit prendre en compte dans la projection des cash flows l'ensemble des actions futures de la société (taux de bénéfices supplémentaires, changement de produits..) ainsi que la participation aux bénéfices.

Les projections de cash flow pour l'activité d'assurance santé doivent tenir compte de l'inflation des sinistres et des clauses d'ajustement des primes. On peut cependant estimer que ces deux effets s'annulent dans la projection de cash flows, à moins que cette approche ne sous-estime le Best estimate.

Suite à cette segmentation, nous pouvons constater une différence notable sur la branche incapacité/invalidité dans l'application de la réforme solvabilité II. En effet, sous solvabilité I l'incapacité/invalidité est répertoriée dans la branche d'activité 1 « accident, accident de travail et maladies professionnels » en risque non vie, alors que suite à la réforme solvabilité II la branche invalidité/incapacité sera identifiée comme un risque vie.

II.4. Les provisions non vie

Pour l'activité non vie la segmentation pour les provisions en Best Estimate est effectuée par groupe de risque homogène (HGR, homogeneous risk groups) :

- Accident et santé (indemnité journalière)
- Accident et santé (autres)
- Responsabilité automobile, tiers
- Automobile, autres classes
- Marine, aviation et transport
- Incendie et autres dommages de biens
- Responsabilité au tiers
- Crédit et assurance caution
- Dépenses juridiques
- Assistance
- Assurance non vie divers

Les provisions en Best Estimate sont calculées par des méthodes actuarielles standard (triangle de liquidation des sinistres) sur des groupes de risques homogènes

III. La marge de risque

Comme nous avons pu le voir précédemment la valorisation des provisions techniques couvrant des risques non hedgeables résulte de l'addition de la provision en Best Estimate et de la marge de risque qui représente le coût explicite du risque.

On peut définir la marge de risque comme une couverture des risques liés à l'écoulement des passifs sur la totalité de leur durée. Cette approche a pour but de protéger les droits des assurés en tenant compte de l'incertitude liée à l'évaluation des provisions en Best Estimate.

Pour les risques non-hedgeables, la marge de risque peut être interprétée comme un coût additionnel relatif aux exigences futures en capital de solvabilité. En effet les risques hedgeables sont « parfaitement couverts » par la valeur mark-to-market, la marge de risque est par conséquent déjà incluse dans le prix fourni par cette méthodologie, qui est requis pour gérer l'activité jusqu'à l'extinction du portefeuille.

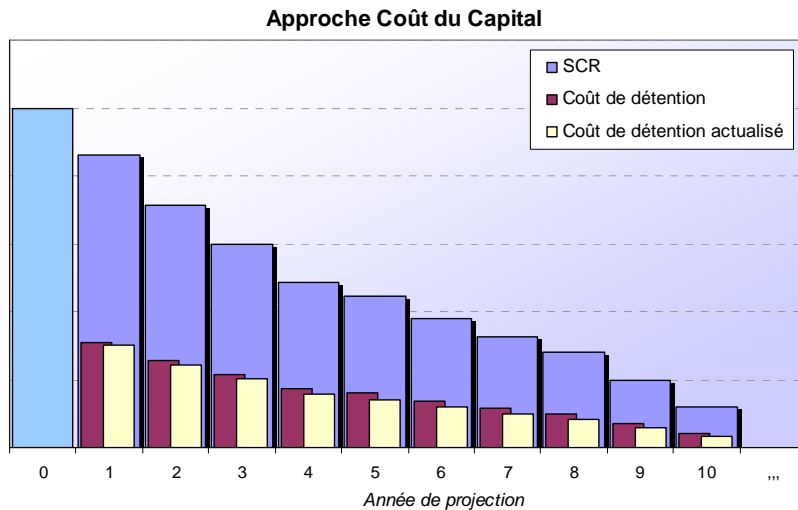
La méthode de calcul de cette marge de risque a fait l'objet de nombreux débats au cours des différents QIS. Lors de la précédente étude d'impacts (QIS2), les participants avaient la liberté de calculer la marge de risque par une approche des quantiles à 75% proposée par le CEIOPS ou par une approche du coût capital soutenue par le Comité Européen des Assurances (CEA). Cette seconde approche, qui n'est pas une nouveauté dans le monde de l'assurance, puisqu'elle intervient depuis plus de vingt ans dans les méthodes de valorisations telles que l'embedded value mais aussi dans le Swiss Solvency Test, a été largement retenue par les participants et a été mise en œuvre dans le QIS3.

Cette approche vise à projeter les composantes de risque sous l'hypothèse de run off du portefeuille et de déterminer le SCR correspondant. Les risques à prendre en compte dans ce calcul sont le risque de marché, le risque de défaut de contrepartie, le risque de souscription et le risque opérationnel.

Cependant tous ces risques ne sont pas à prendre en compte chaque année. Le SCR à l'année 1 prendra en compte uniquement le risque de marché et de défaut des contreparties et les SCR des années suivantes se limiteront aux risques de souscription et risques opérationnel.

Il faudra ensuite appliquer le facteur de coût du capital aux différents SCR, identique pour toutes les sociétés, qui est évalué à 6% par le CEIOPS.

Enfin la marge de risque est obtenue en sommant les différents résultats obtenus précédemment pour chaque année actualisés à l'aide de la structure par terme.



$$\text{Marge de risque} = \sum_{t=1} \text{Facteur} \times \text{SCR}_t \times v^t$$

On remarque que le SCR à la date t=0 n'est pas inclus dans le calcul de la marge de risque car il correspond aux exigences en capital que la compagnie doit détenir aujourd'hui pour palier à une probabilité de ruine à 0.5% sur un horizon d'un an.

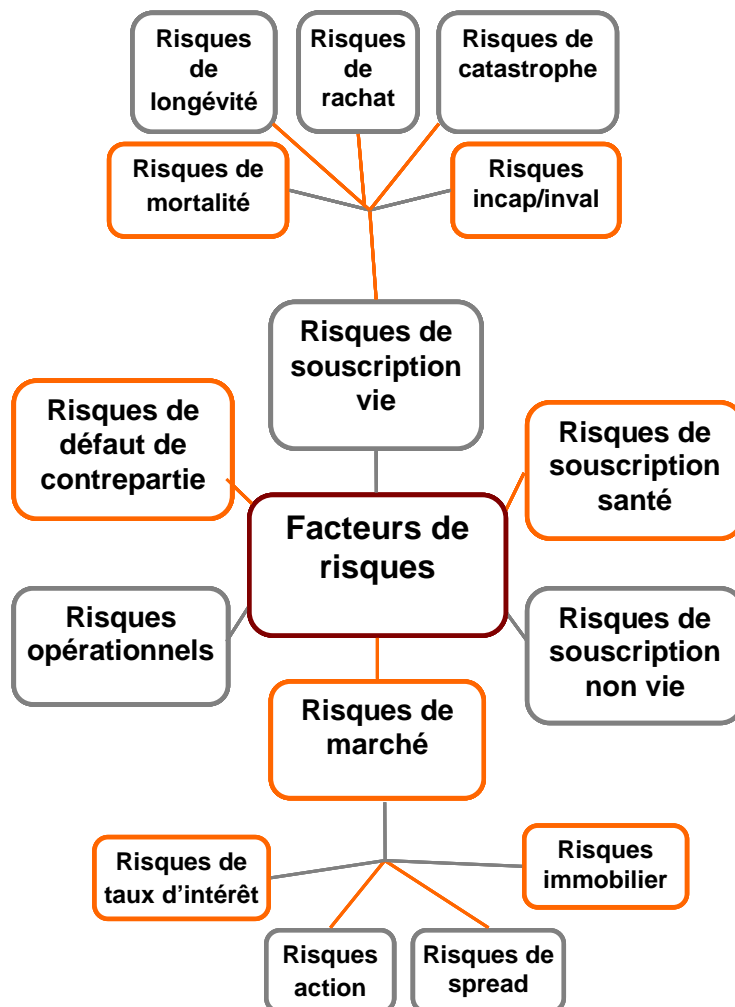
La provision technique inscrite au passif du bilan résultera de la somme de cette marge de risque ainsi que de la provision Best Estimate. Étant donné que la marge de risque est déterminée en fonction du SCR, nous nous basons uniquement sur la provision Best Estimate pour déterminer par la suite, les exigences de capital.

IV. Méthode de calcul du Solvency Capital requirement (SCR)

Comme nous avons pu le voir précédemment le SCR doit couvrir une probabilité de ruine à 0.5% sur un horizon d'un an afin de respecter les engagements pris envers les assurés. Pour la détermination de ce capital, basé sur les risques réels pris par la société, nous pouvons lister les différents risques qui interviennent dans le calcul du SCR par la formule standard.

IV.1. Les facteurs de risques

Le graphique ci-dessous présente l'architecture des risques pris en compte dans la détermination du SCR par la formule standard mais nous montre également le panel des risques pouvant mener une compagnie à la faillite.



On dénombre six catégories principales de risque subdivisées en de nombreux « sous-risques ».

IV.1.1. Le risque opérationnel

Le risque opérationnel (SCRop) est le risque de perte résultant de processus, personnes, systèmes internes ou d'événements externes inadéquats ou défaillants. Le risque opérationnel inclut également les risques juridiques. Le risque de réputation et les risques résultant de décisions stratégiques ne sont pas inclus dans le risque opérationnel. Le module de risque opérationnel est conçu pour traiter les risques opérationnels dans la mesure où ils n'ont pas été explicitement couverts dans les autres modules de risque. Le capital nécessaire pour couvrir ce risque correspond à un pourcentage en fonction des provisions techniques de l'assurance des branches vie, non vie et santé ainsi que des primes gagnées brutes de réassurance pour les mêmes branches.

IV.1.2. Le risque de marché

Le risque de marché (SCRmkt) résulte du niveau ou de la volatilité des cours de marché des instruments financiers. L'exposition au risque de marché est mesurée par l'impact des mouvements dans le niveau des variables financières tel que les cours des actions, les taux d'intérêt, les cours de l'immobilier et les taux de change

- **Le risque de taux d'intérêt (MKTint)** existe pour tous les actifs et passifs dont la valeur est sensible aux variations de la structure de la courbe de taux d'intérêt et qui ne sont pas affectés aux polices dans lesquelles les souscripteurs supportent le risque d'investissement. Il est obtenu en effectuant des variations à la baisse ou à la hausse de la structure des courbes des taux fournie par le CEIOPS.
- **Le risque action (MKTeq)** résulte du niveau ou de la volatilité des cours des actions. L'exposition au risque action fait référence à tous les actifs et passifs dont la valeur est sensible aux variations des cours des actions. La charge de capital pour couvrir ce risque est déterminée comme l'effet immédiat sur la valeur nette des actifs et passifs espérée dans le cas d'un scénario de choc sur action.
- **Le risque immobilier (MKTprop)** résulte du niveau ou de la volatilité des cours de l'immobilier. La charge de capital pour le risque immobilier est déterminé en effectuant une chute de 20% des benchmark immobiliers sur la valeur nette des actifs et des passifs.
- **Le risque de devise (MKTfx)** résulte du niveau ou de la volatilité des taux de change. La charge de capital pour le risque de devise est déterminée en effectuant une variation de 20% sur la valeur nette des actifs et des passifs .
- **Le risque de spread (MKTsp)** est la part de risque issue des instruments financiers et qui est expliqué par la volatilité des spreads de crédit sur la structure de courbe de taux d'intérêt sans risque. Il reflète la variation de valeur due à un mouvement de la courbe de crédit relative à la structure de courbe sans risque
- **Les concentrations du risque de marché (MKTconc)** présentent un risque supplémentaire pour un assureur en raison de :
 - La volatilité supplémentaire qui existe dans les portefeuilles d'actifs concentrés ;
 - Le risque supplémentaire de perte de valeur partielle ou totale définitive en raison de la défaillance d'un émetteur.

IV.1.3. Le risque de défaut de contrepartie

Le risque de défaut de contrepartie (SCRdef) est le risque qu'un emprunteur n'honore pas ses engagements dans les conditions initialement prévues (par exemple défaut de la compagnie de réassurance).

IV.1.4. Le risque de souscription vie

Le risque de souscription vie (SCRlife) regroupe l'ensemble des risques lié à une tarification insuffisamment prudente lors de la souscription ou le rachat du contrat (comprenant le risque de mortalité, le risque de longévité, et le risque d'invalidité/morbidité), le risque de rachat, le risque de dépense et le risque de catastrophe) :

- La charge de capital pour le risque de mortalité est obtenue en augmentant de 10% les taux de mortalité pour chaque âge en les appliquant à la variation de la valeur nette des actifs moins le passif.
- La charge de capital pour le risque de longévité est obtenue en baissant de 25% les taux de mortalité pour chaque âge en les appliquant à la variation de la valeur nette des actifs moins le passif.
- La charge de capital pour le risque d'invalidité est obtenue en augmentant de 35% les taux d'invalidité pour l'année suivante avec une augmentation permanente du taux d'invalidité pour les années ultérieures. Cette augmentation est appliquée à la variation de la valeur nette des actifs moins le passif.
- Le risque de rachat fait référence à un taux (supérieur ou inférieur) prévu de rachats de polices, de résiliations, de modifications au statut libéré (cessation du paiement des primes) . La charge de capital pour le risque de rachat est obtenue soit en augmentant de 50% les taux de rachat chaque année soit en augmentant de 3% par an les polices lorsque la valeur de rachat dépasse les provisions et en réduisant de 50% les taux supposés de rachat pour les polices lorsque la valeur de rachat est actuellement inférieure aux provisions techniques appliquées à la variation de la valeur nette des actifs moins le passif.
- Le risque de dépense résulte de la variation des dépenses associées aux contrats d'assurance
- Le risque de révision a pour objectif de capturer une variation imprévue du montant des rentes issues d'une révision non anticipée du processus des sinistres. La charge de capital pour le risque de révision est obtenue en augmentant de 3% les montants de rentes exposées au risque de révision appliqué à la variation de la valeur nette des actifs moins le passif.
- Les risques catastrophe vie résultent d'événements extrêmes ou irréguliers (par exemple une pandémie) qui ne sont pas suffisamment pris en compte par les frais pour les autres sous-modules de risque de souscription vie

IV.1.5. Le risque de souscription santé

Le risque de souscription santé (SCRhealth) ne rentre pas en compte dans l'étude du QIS3 en France étant donnée que l'assurance santé est obligatoire en France et est rattachée au risque non vie.

IV.1.6. Le risque de souscription non vie

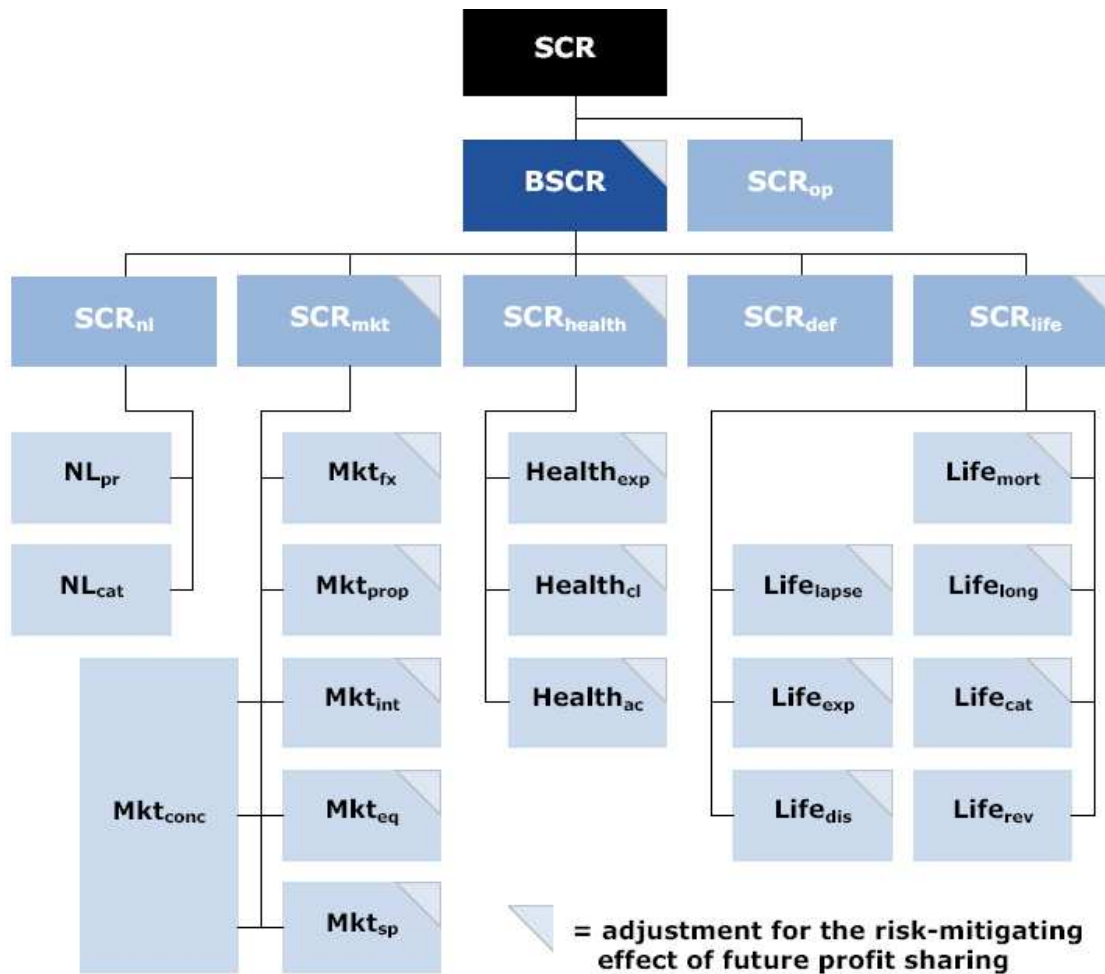
Le risque de souscription non vie (SCRnl) est le risque d'assurance spécifique résultant des contrats d'assurance. Il fait référence à l'incertitude concernant les résultats de la souscription de l'assureur. Cela comprend l'incertitude au niveau :

- du montant et des délai d'éventuels règlements de sinistres en relation avec les passifs existants ;
- du volume de l'activité à souscrire et des taux de primes auxquels le contrat sera souscrit ;
- des taux de prime qui seraient nécessaires pour couvrir les passifs créés par l'activité souscrite.

La charge de capital pour le risque de souscription est déterminée en fonction des charges de capital pour le risque de prime et de réserve ainsi que de la charge de capital pour le risque de catastrophe.

IV.2. La méthode de calcul

Comme nous pouvons le voir sur ce graphique, le SCR est obtenue à partir des charges de capital pour le risque opérationnel et du capital de solvabilité de base (BSCR). Le BSCR, qui représente le SCR avant tout ajustement, est une combinaison des charges de capital pour le risque de marché, pour le risque de défaut de contrepartie, pour le risque de souscription non vie, pour le risque de souscription vie et enfin le risque de souscription santé.



IV.2.1. le SCR de base

Le capital de solvabilité requis de base (BSCR) est obtenu à partir de la formule suivante :

$$BSCR = \sqrt{\sum_i \sum_j Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j}$$

où SCR_i représente le module de risque i et SCR_j le module de risque j , et où « i,j » indique que la somme des différents termes doit couvrir toutes les combinaisons possibles de i et j . Dans le calcul, SCR_i et SCR_j sont remplacés par:

- SCR_{nl} , qui représente la charge de capital pour le «risque de souscription non-vie»;
- SCR_{life} , qui représente la charge de capital pour le «risque de souscription vie»;
- SCR_{health} , qui représente la charge de capital pour le «risque spécial de souscription santé»;
- SCR_{Mkt} , qui représente la charge de capital pour le «risque de marché»;
- SCR_{def} , qui représente la charge de capital pour le «risque de défaut de contrepartie».

Le facteur $Corr_{ij}$ représente l'élément figurant dans la ligne i et la colonne j de la matrice de corrélation suivante :

$CorrSCR=$	SCR_{mkt}	SCR_{def}	SCR_{life}	SCR_{health}	SCR_{nl}
SCR_{mkt}	1				
SCR_{def}	0.25	1			
SCR_{life}	0.25	0.25	1		
SCR_{health}	0.25	0.25	0.25	1	
SCR_{nl}	0.25	0.5	0	0	1

A partir de ce tableau on pourra observer par exemple que le risque de marché est corrélé avec l'ensemble des risques ou encore que la charge de capital pour le risque de souscription vie est indépendante de la charge de capital pour le risque de souscription non vie.

L'architecture de calcul du SCR et des sous modules de risque est notamment issue de l'approche américaine RBC associant à chaque risque un montant de capital. La somme de ces montants alloués par risque, ajusté selon la dépendance qu'il existe entre les branches à l'aide de la matrice de covariance précédente, forme le SCR de base.

IV.2.2. le SCRnl

La charge de capital pour le «risque de souscription non-vie» est obtenue à partir de la formule suivante :

$$SCR_{nl} = \sqrt{\sum_i \sum_j Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j}$$

où SCR_i représente le sous-module i et SCR_j le sous-module j , et où « i,j » indique que la somme des différents termes doit couvrir toutes les combinaisons possibles de i et j . Dans le calcul, SCR_i et SCR_j sont remplacés par :

- $SCR_{prime\ et\ réserve}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de prime et de réserve non-vie»;
- $SCR_{catastrophe\ non-vie}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de catastrophe non-vie».

IV.2.3. le SCRlife

La charge de capital pour le «risque de souscription vie» est obtenue à partir de la formule suivante :

$$SCR_{life} = \sqrt{\sum_i \sum_j Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j}$$

où SCR_i représente le sous-module i et SCR_j le sous-module j , et où « i,j » indique que la somme des différents termes doit couvrir toutes les combinaisons possibles de i et j . Dans le calcul, SCR_i et SCR_j sont remplacés par :

- $SCR_{mortalité}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de mortalité»;
- $SCR_{longévité}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de longévité»;
- $SCR_{invalidité}$, qui représente la charge de capital pour le «risque d'invalidité - d'incapacité»;
- $SCR_{dépenses\ santé}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de dépenses en santé»;
- $SCR_{révision}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de révision»;
- SCR_{rachat} , qui représente la charge de capital pour le «risque de rachat»;
- $SCR_{catastrophe\ vie}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de catastrophe vie»;

IV.2.4. le SCR_{mkt}

La charge de capital pour le «risque de marché» est obtenue à partir de la formule suivante :

$$SCR_{mkt} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j}$$

où SCR_i représente le sous-module i et SCR_j le sous-module j , et où « i,j » indique que la somme des différents termes doit couvrir toutes les combinaisons possibles de i et j . Dans le calcul, SCR_i et SCR_j sont remplacés par :

- $SCR_{taux\ d'intérêt}$, qui représente la charge de capital pour le «risque de taux d'intérêt»;
- $SCR_{actions}$, qui représente la charge de capital pour le «risque sur actions»;
- $SCR_{actifs\ immobiliers}$, qui représente la charge de capital pour le «risque sur actifs immobiliers»;
- SCR_{spread} , qui représente la charge de capital pour le «risque de spread»;
- $SCR_{concentrations}$, qui représente la charge de capital pour le «concentrations du risque de marché»;
- $SCR_{monnaie}$, qui représente la charge de capital pour le «risque monétaire»;

IV.2.5. le SCR_{op}

La charge de capital pour le «risque opérationnel» est obtenue à partir de la formule suivante :

$$SCR_{op} = \min \left\{ 30\% \times BSCR; \max \left\{ \begin{array}{l} 0.03 \times Prime_{life} + 0.02 \times Prime_{nl} + 0.02 \times Prime_{health}; \\ 0.003 \times Provision_{life} + 0.02 \times Provision_{nl} + 0.002 \times Provision_{health} \end{array} \right\} \right\}$$

Où $Prime_{life}$, $Prime_{nl}$ et $Prime_{health}$ correspondent respectivement aux primes obtenues pour l'activité vie, l'activité non vie et l'activité santé.

De même $Provision_{life}$, $Provision_{nl}$ et $Provision_{health}$ correspondent respectivement aux provisions technique obtenues pour l'activité vie, l'activité non vie et l'activité santé.

V. Calcul du Minimum de Capital Requis (MCR)

Le minimum de capital requis représente le niveau de fonds propres en dessous duquel les intérêts des assurés se verraient sérieusement menacés si l'entreprise était autorisée à poursuivre son activité. La transgression de ce seuil déclenche une intervention prudentielle de dernier ressort incluant le retrait de l'agrément. Les entreprises sont par conséquent tenues de détenir des fonds propres éligibles de base couvrant le minimum de capital requis. Le minimum de capital requis qui doit être calculé trimestriellement, nécessite l'utilisation d'une formule simple et objective et sur la base de données vérifiables.

V.1. Risques à prendre en compte

Les risques à prendre en compte dans le calcul du MCR sont plus restreints que les risques utilisés dans la détermination du SCR. En effet seul les risque de marché, risque de souscription vie et risques de souscription non vie seront à prendre en compte dans le calcul de ce second seuil d'exigence de capital. Cependant, l'évaluation de ces charges de capital n'est pas la même que celle envisagée pour le calcul du SCR. En effet, elles sont déduites à un calcul plus simple permettant un suivie régulier et périodique de ce seuil.

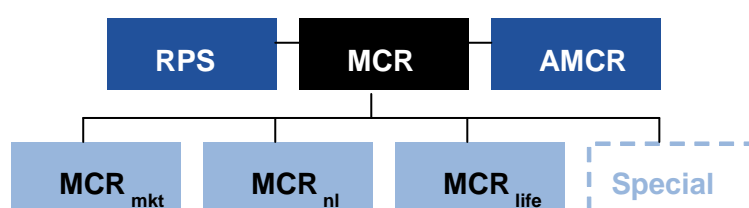
La charge de capital pour le risque de marché (MCR_{mkt}) peut être calculée à partir de deux méthodes. La différenciation entre les deux méthodes repose sur le fait que l'une d'elle utilise la durée pour calculer la charge de capital pour le risque d'intérêt alors que la seconde méthode utilise un coefficient fixe.

La charge de capital pour le risque de souscription non vie est déterminée à partir des provisions pour les sinistres en cours ainsi que des primes perçues pour la même activité le tout associé à des coefficients différents selon le secteur d'activité.

La charge de capital pour le risque de souscription vie est obtenue à partir des provisions, du capital sous risque et des dépenses administratives pour l'activité en unité de compte.

V.2. Méthode de calcul

L'architecture pour calculer le MCR se décompose suivant les charges de capital énoncées précédemment, et comprend également un minimum à ne pas dépasser ainsi qu'un ajustement pour la réduction du partage des bénéfices.



L'ajustement du MCR pour la réduction du partage des bénéfices (AMCR) reflète la perte potentielle des futurs bonus non garantis sur les produits d'assurance vie.

Le minimum de capital requis absolu (AMCR) représente un plancher minimum pour le SCR. La commission européenne n'ayant pas encore de position définitive sur le sujet, le QIS3 définit trois hypothèses de montant minimum respectivement égale à 1, 2 et 3 millions d'euros.

Le minimum de capital requis est donc obtenu à partir de l'équation suivante :

$$MCR = \sqrt{\sum_{R \times c} CorrMCR_{r,c} \times MCR_r \times MCR_c} - RPS$$

où MCR_r représente le module de risque r et MCR_c le module de risque c , et où « r,c » indique que la somme des différents termes doit couvrir toutes les combinaisons possibles de r et c . Dans le calcul, MCR_r et MCR_c sont remplacés par :

- MCR_{mkt} , qui représente la charge de capital pour le «risque de marché»;
- MCR_{life} , qui représente la charge de capital pour le «risque de souscription vie»;
- MCR_{nl} , qui représente la charge de capital pour le «risque de souscription non vie»;

Les coefficients de la matrice de corrélation $CorrMCR$ sont fournis par le QIS3 dans le tableau suivant :

$CorrMCR =$	MCR_{mkt}	MCR_{life}	MCR_{nl}	MCR_{health}
MCR_{mkt}	1			
MCR_{life}	0.25	1		
MCR_{nl}	0.25	0	1	
MCR_{health}	0.25	0.25	0	1

VI. Le modèle interne

Un modèle interne est un modèle, qui peut être à fois déterministe ou stochastique, permettant de déterminer le besoin en capital d'une compagnie en fonction d'une probabilité de ruine jugée acceptable basée sur le profil de risque de celle-ci. Autrement dit, il s'agit d'une traduction littérale et quantitative de la réalité des risques assurés.

Dans une simulation stochastique, ce type de modèle permet de tester la robustesse financière d'une société suivant un grand nombre de scénarios pouvant correspondre à des situations réelles. Ces scénarios prennent en compte différents facteurs tels que, par exemple, une sinistralité exceptionnelle impactant l'ensemble du portefeuille, une volatilité importante des marchés boursiers ou la défaillance des réassureurs.

Un modèle interne est par conséquent un outil de simulation destiné à fournir des projections de l'activité et des résultats de l'entreprise, respectant certaines propriétés tel que la cohérence des exigences de solvabilité par rapport aux résultats obtenus par une formule standard ou encore la transparence et le réalisme du modèle.

VI.1. Objectif d'un modèle interne

L'utilisation d'un modèle interne consiste à simuler les flux futurs de manière à déterminer une fonction reliant le niveau des fonds propres à détenir pour couvrir le SCR au risque de l'entreprise. L'objectif premier du développement d'un modèle interne est par conséquent de calculer son exigence de fonds propres au plus juste des risques qu'elle encourt afin d'éviter une immobilisation de capital qui ne serait nécessaire à sa couverture de risque. Afin d'avoir un modèle interne fonctionnel à tous niveaux, celui-ci devra également être capable de fournir des renseignements interprétables et exploitables comme des reporting de la situation financière de l'entreprise de manière régulière au moyen d'indicateurs clairs.

Le modèle interne permet aux assureurs, en tenant compte de risques inhérents à leurs activités, de retracer une image fidèle et réaliste du profil de risque et de fournir ainsi des indicateurs cohérents sur sa santé financière. Il est alors possible de déterminer des niveaux de besoin en capitaux appropriés et de prendre de bonnes décisions de gestion. Il n'est donc pas construit uniquement en fonction des exigences réglementaires : sa vocation est aussi de servir au contrôle des risques et à l'aide à la décision technique et financière.

En effet, les prévisions et les indicateurs de risques calculés par le modèle interne sont présentés à la direction générale, débattus avec les directions opérationnelles, et régulièrement utilisés dans plusieurs des domaines, tels que :

- le processus budgétaire
- la fixation des tarifs et des niveaux de garantie
- la décision en matière de taux servis
- l'allocation d'actif
- le choix de réassurance et d'autres moyens de transfert de risque

- la fixation des limites de risques
- l'évaluation des engagements et de l'Embedded Value
- l'allocation de capital et la mesure de performance

Ainsi, le modèle interne fournit des renseignements au sujet de l'exposition au risque et de la solidité financière des compagnies d'assurance. Il peut de ce fait intéresser plusieurs groupes de personnes :

- les actionnaires
- les régulateurs
- les banques
- les agences de notation
- la gestion interne (prise de décision en connaissance de cause)
- les assurés...

VI.2. Elaboration d'un modèle interne

L'élaboration d'un modèle interne se décompose en plusieurs étapes auxquelles on peut associer différentes tâches opérationnelles à effectuer comme le montre le graphique suivant :

Déploiement d'un modèle interne - Etapes opérationnelles

Décision	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Définition et cadrage du projet - objectifs, moyens et périmètre - budget et calendrier ✓ Validation par la direction et communication interne
Conception	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Données - Hypothèses d'entrées dynamiques ▶ Paramètres - Hypothèses statiques ▶ Moteur - Structure technique et procédures de calcul ① Rédaction d'une expression des besoins ① Rédaction du cahier des charges ① Spécifications détaillées - acquisitions de données et paramétrages - calculs - états de sortie
Mise en oeuvre	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Développements (solution interne/éditeur) - base(s) de données et entrepôt de données spécifiques - logiciel / moteur de calcul - base de données des résultats / états de sortie ▶ Paramétrage logiciel ✓ Recette fonctionnelle et tests techniques ① Rédaction documentation fonctionnelle et technique
Utilisation	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Formation des utilisateurs ▶ Paramétrage ▶ Acquisition des données ▶ Calculs du modèle interne ▶ Organisation des résultats ✓ Rapport synthétique et validation des montants ✓ Publication des résultats
Contrôles & Suivi régulier	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Audit fonctionnel et technique du modèle et de l'outil ▶ Vérification de la compatibilité selon les évolutions - structurelles des risques - informatiques des bases de données - des paramètres - réglementaires ① Rapport d'audit ▶ Formation des utilisateurs

Cette méthodologie pour l'élaboration d'un modèle interne permet de bien définir : les objectifs à atteindre, la faisabilité, les moyens et le temps disponibles afin que la direction puisse valider cette structure.

La mise en place d'un modèle interne nécessite la détermination de ce qui caractérise le risque de l'entreprise (la faillite évaluée à travers la probabilité de ruine), le choix d'une mesure de risque (VaR, TVaR) et enfin la modélisation de l'entreprise (actif, passif et interactions). Le modèle doit intégrer l'ensemble des risques souscrits, internes au passif, les risques d'actifs, les risques opérationnels, et les risques des filiales étrangères ou succursales. Il peut être complètement libre ou structuré par branche de risques.

Un modèle interne doit être contrôlé régulièrement à la fois au sein de la compagnie afin de tenir compte de l'évolution des paramètres de modélisation mais aussi par les autorités de contrôle qui valide le modèle interne pour son utilisation. Les autorités de contrôle pourront refuser l'utilisation d'un modèle interne si celui-ci ne retrace pas convenablement les risques de la société mais pourra

également imposé à une compagnie de calculer ses exigences de solvabilité au moyen d'un modèle interne si la formule standard ne reflète pas les risques réels de l'entreprise. La mise en place d'un tel modèle sera également irréversible pour les compagnies, c'est-à-dire qu'elles ne pourront plus utiliser la formule standard les années à venir si celle-ci fournit des exigences en capital moins coûteuses qu'un modèle interne.

Un modèle interne n'est pas forcément stochastique (pas vraiment de principes directeurs) mais le modèle interne stochastique est le mieux à même pour traduire le plus fidèlement possible la réalité des risques souscrits. Ceci est d'ailleurs le but premier de tout modèle interne.

Les modèles internes stochastiques utilisent les techniques de simulations et de modélisations stochastiques. Un modèle interne satisfaisant est un modèle utilisant des techniques stochastiques à l'actif et au passif. Etant donné l'interdépendance des aspects financiers avec les risques d'assurance, seule l'utilisation conjointe de plusieurs modèles stochastiques assurera une efficacité réelle aux modèles internes.

Il est évident que les modèles internes tiendront une place très importante dans la réforme Solvabilité II. Il est vrai que cela peut représenter un coût d'investissement significatif au départ, mais sur le long terme, cela ne peut être que bénéfique : les modèles internes constituent une formidable opportunité pour les assureurs dans leur processus de gestion du risque, grâce notamment à l'application de techniques sous-jacentes aux modélisations : les modélisations stochastiques.

VI.2.1. La probabilité de ruine

La formule standard va calculer à partir des différents risques de l'entreprise le montant de capital requis pour faire face à ses engagements en fonction des corrélations qui existent entre ces risques. Pour le modèle interne, le QIS3 a fixé le montant de capital à détenir tel que la probabilité de ruine de la société soit inférieure à 0.5%.

On peut définir la ruine d'une entreprise lorsque ses fonds propres sont négatifs à un horizon de temps donné. Dans la mesure où cela est possible, les estimations tirées des modèles internes doivent être compatibles avec les objectifs de calibrage pour la formule standard, à savoir une VaR standard de 99,5% sur un horizon à un an, afin de permettre la comparaison des résultats du calcul de la formule standard. Cependant il sera possible à un assureur de se référer un horizon temporelle différent ou d'utiliser une autre mesure de risque que le calibrage utilisé par la formule standard si le SCR garanti aux assuré un niveau de protection au moins équivalent à celui calculé avec une VaR de 99.5% sur un horizon d'un an.

Dans la pratique, pour calculer une probabilité de ruine de 99,5% à un an, il est nécessaire de calculer la distribution du résultat de l'entreprise afin de déterminer le niveau de capital à détenir pour couvrir les résultats négatifs.

VI.2.2. Les mesures de risques

Le choix de la mesure de risque est important dans la problématique de Solvabilité II, étant donné que la mesure de risque aura un impact direct sur l'exigence de capital à détenir dans le cas du modèle interne. Nous présentons ici les deux mesures de risques les plus utilisées, la Value At Risk (VaR) et la Tail Var (TVaR) ainsi que les conditions permettant de qualifier une mesure de risque cohérente.

Une mesure de risque cohérente doit satisfaire les propriétés suivantes de façon cumulative.

- Invariance par translation

$$\rho(X + a) = \rho(X) + a \quad \forall X$$

- Sous additivité

$$\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y) \quad \forall X, \forall Y$$

La sous additivité traduit la réduction de risque par diversification.

L'effet de diversification représente l'économie réalisée en couvrant simultanément X et Y, cet effet est mesuré par :

$$\rho(X) + \rho(Y) - \rho(X + Y) \geq 0 \quad \forall X, \forall Y$$

On parle d'additivité lorsqu'il y a égalité i.e. $\rho(X + Y) = \rho(X) + \rho(Y)$ on dit alors que l'effet de diversification est nul.

- Homogénéité

$$\rho(X \times a) = a \times \rho(X) \quad \forall X, \forall a$$

L'homogénéité peut être vue comme un cas limite de la sous additivité, lorsqu'il n'y a aucune diversification possible.

- Monotonie

$$P(X \leq Y) = 1 \Rightarrow \rho(X) \leq \rho(Y) \quad \forall X, \forall Y$$

Cette propriété exprime le fait qu'il faut plus de capital lorsque la perte financière devient plus sévère.

Détaillons à présent les deux valeurs de risque que nous connaissons.

VI.2.2.1. La Value at Risk

La VaR (value at risk) est une notion qui peut se comparer à la probabilité de ruine. Il s'agit du quantile à α % de la distribution des pertes. Formellement : Soit X la distribution des pertes d'une compagnie d'assurance, alors la VaR de niveau α est $VaR_\alpha = q_\alpha(X)$ où $q_\alpha(X)$ est le quantile d'ordre α de la fonction de densité de la variable X .

Dans le cas d'une variable X continue, la formule de la VaR est la suivante :

$VaR_\alpha = F_\alpha^{-1}(X)$ où F_α^{-1} désigne la fonction quantile de la loi de X

La Value at Risk n'est pas une mesure de risque cohérente étant donné qu'elle ne respecte pas la condition de sous additivité. Cette valeur de risque qui a le mérite de reposer sur un concept simple et facilement explicable reste très utilisé étant donné que ce concept est directement lié à la probabilité de ruine. En effet, une société disposant d'un montant de fond propre égale à $VaR(X, \alpha)$, assurant un risque X à une probabilité de ruine égale à $1 - \alpha$.

VI.2.2.2. La Tail Value at Risk et la Conditional Tail Expectation

Elle correspond à l'espérance des pertes sachant que les pertes sont supérieures à la Value-at-risk.

Formellement : $TVaR_\alpha = \frac{1}{1-\alpha} \int_{VaR_\alpha}^{\infty} F_X^{-1}(x) dx$

$$CTE_\alpha = E[X / X \geq VaR_\alpha]$$

On remarquera également que la TVaR peut s'exprimer en fonction de la VaR :

$$TVaR_\alpha = VaR_\alpha + \frac{1}{1-\alpha} E[(X - VaR_\alpha)^+]$$

Contrairement à la VaR, La Tail-Value at Risk (TVaR) et la Conditional tail Expectation sont des mesures de risque cohérentes qui respectent les propriétés vues précédemment.

On notera également que dans le cas continu, ces deux notions sont équivalentes.

Dans le cadre de notre étude sur un portefeuille de prévoyance, nous chercherons uniquement à modéliser la mortalité pour le passif et la courbe des taux d'intérêt pour l'actif. En effet la majorité des provisions étant couvertes par des obligations, nous nous limiterons à ce risque pour modéliser notre actif.

VI.3. Modélisation de la mortalité

Les techniques stochastiques sont traditionnellement utilisées dans la modélisation de l'actif afin d'estimer au mieux les différents risques et de palier entre autres aux fluctuations des marchés financiers. L'utilisation de ces techniques stochastiques pour la modélisation du passif est plus récente. Elles apportent des informations beaucoup plus intéressantes, notamment pour le contrôle des risques. Alors qu'un modèle déterministe ne fournit qu'une valeur moyenne, un modèle stochastique est capable de nous renseigner sur l'ensemble de la distribution de la quantité étudiée et permet notamment d'en estimer la variance et les quantiles.

Pour évaluer au plus juste le risque de mortalité, la modélisation stochastique introduit des termes aléatoires à deux niveaux : on considère d'une part une durée de vie aléatoire des assurés et d'autre part une loi de mortalité aléatoire. La modélisation de la durée de vie aléatoire des assurés par rapport à une loi donnée permet la modélisation de l'effet de non mutualisation : un portefeuille de petite taille peut s'écarter sensiblement de la loi des assurés supposée connue. La Loi des Grands Nombres atteste que cet impact est d'autant plus réduit que le portefeuille est de taille importante. La loi de mortalité aléatoire des assurés permet alors la modélisation d'un écart possible de la loi des assurés par rapport à la loi d'expérience.

VI.3.1. Premier niveau stochastique : la survie aléatoire des individus

Chaque année la survie de l'individu va dépendre de la réalisation d'une variable aléatoire suivant la loi de Bernouilli. Si la probabilité de survie de l'assuré est supérieure ou égale à la variable uniforme nous considérons que l'assuré est en vie, dans le cas contraire on considère que l'assuré est décédé. Si on note u la réalisation de la loi uniforme comprise dans l'intervalle $]0,1[$, la réalisation cherché de la loi de Bernouilli est la suivante :

Si $u \leq {}_1p_x$ la réalisation de la variable de Bernouilli est égale à : 1

→ l'individu est vivant

Si $u > {}_1p_x$ la réalisation de la variable de Bernouilli est égale à : 0

→ l'individu est mort

VI.3.2. Deuxième niveau stochastique : modèle de mortalité stochastique de Lee

De nombreux modèles de mortalité stochastique existent à ce jour. Parmi ceux-ci, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Lee qui s'écrit sous la forme :

$$q_x^{sto} = \tilde{\alpha}_{t,x} \times q_x^{th} + \tilde{\beta}_{t,x}$$

q_x^{sto} est la mortalité stochastique utilisée dans le modèle, q_x^{th} est la mortalité théorique et $\tilde{\alpha}_{t,x}$ et $\tilde{\beta}_{t,x}$ représentent des modifications aléatoires de celle-ci. A noter que l'utilisation de $\tilde{\beta}_{t,x}$ est facultatif.

En pratique $\tilde{\alpha}_{t,x}$ et $\tilde{\beta}_{t,x}$ suivent des lois normales. Si l'on restreint le modèle à l'équation $q_x^{sto} = \tilde{\alpha}_{t,x} \times q_x^{th}$ deux options de modélisation sont alors ouvertes :

- $\tilde{\alpha}_{t,x} \mapsto N(1, \sigma_x)$ permet la modélisation de variations aléatoires autour de la mortalité théorique.
- $\tilde{\alpha}_{t,x} \mapsto N(\alpha_{t,x}, \sigma_{t,x})$ avec $\alpha_{t,x} \neq 1$ permet la modélisation d'un écart de la mortalité observée par rapport à la mortalité théorique.

La variance $\sigma_{t,x}$ permet également de produire des études intéressantes. En pratique elle pourra par exemple diminuer avec la taille du portefeuille. Elle pourra également être utilisée comme paramètre du modèle et permettre des études de sensibilité.

VI.3.3. Générateur de nombres aléatoires uniformes

Différents algorithmes permettant de générer des nombres aléatoires uniformes existent mais leur qualité de convergence ou encore leur vitesse diffèrent et permettent de les différencier.

Le logiciel Excel/ Visual Basic dispose par exemple d'un générateur de nombre aléatoire via la fonction 'Rnd' mais celui-ci est qualifié de générateur périodique. Pour un grand nombre de simulations, on pourra observer une répétition des nombres aléatoires générés. C'est pourquoi, nous avons choisi d'utiliser le générateur quasi aléatoire du « Tore mélangé » tant pour sa simplicité d'implémentation que pour sa qualité reconnue et sa vitesse de convergence.

La variable générée va être obtenue à partir du générateur 'Rnd' de Visual basic d'après la formule suivante :

$$x_m = x_{\varphi(n)}$$

où $\varphi(n) = \{100 \times N \times Rnd + 1\}$ avec N le nombre de nombres aléatoires dont on souhaite disposer.

VI.4. Modélisation de la courbe des taux d'intérêt

VI.4.1. Choix d'un modèle

IL est important pour un assureur de pouvoir modéliser la courbe des taux d'intérêt afin de pouvoir analyser l'impact d'une variation des taux sur son bilan mais aussi sur son niveau de capital à détenir.

La courbe des taux au 31/12/2006 et pour les années antérieures est fournie par le CEIOPS, il sera donc nécessaire de modéliser la courbes des taux à partir du 31/12/2007. Une variation des taux aura un impact direct à la fois pour l'assureur qui utilise la courbe des taux pour l'actualisation des flux futurs dans le calcul des provisions Best Estimate mais également sur le comportement des investisseurs dans le cas des produits d'épargne par exemple. L'intérêt d'une modélisation de la courbe des taux d'intérêt est double étant donné qu'il permet à la fois de reproduire les prix des instruments cotés mais permet aussi de prévoir l'évolution du prix et par conséquent de mesurer l'exposition au risque d'un portefeuille ou des actif / passif de la compagnie.

Les modèles d'évaluation de la structure des taux d'intérêt peuvent être classés en deux approches :

- La première approche impose à priori des contraintes sur la forme fonctionnelle de la tendance et de la variance instantanée des processus stochastiques qui décrivent le taux court terme.

Cette approche permet de dériver une équation différentielle partielle (EDP) qui dépendra en plus du taux et des paramètres du modèle, du prix du marché du risque. Nous retrouverons notamment dans cette approche les modèles les plus utilisés pour la modélisation de la courbe des taux, à savoir le modèle de Cox Ingersoll Ross (1985) et le modèle de Vasicek (1977)

- La seconde approche considère que la structure initiale des taux est donnée et que la dynamique de cette structure est fixée de manière exogène. Par exemple, le modèle de Ho et Lee (1986) suppose que la structure initiale des taux spot est donnée et que la dynamique de la structure est décrite par un processus binomial.

Pour notre étude nous avons choisi d'appliquer le modèle de Cox Ingersoll Ross qui est le modèle le plus répandu pour modéliser la courbe des taux d'intérêt mais reconnu également pour ne pas fournir des taux négatifs contrairement au modèle de Vasicek.

VI.4.2. Le modèle de Cox Ingersoll Ross

Développé en 1985, ce modèle appelé aussi modèle en racine carrée est une alternative au modèle de Vasicek dans lequel le taux est toujours positif. Le processus suivi par r est donné par :

$$dr = a(b - r)dt + \sigma\sqrt{r}dz.$$

où a , b et σ sont des constantes positives et où z est un mouvement brownien.

r est le taux court.

a est la force de rappel, c'est-à-dire la vitesse d'ajustement du taux court simulé vers sa moyenne de long terme.

b correspond au taux long terme.

σ représente la volatilité

dt est le pas dans le temps c'est-à-dire la durée d'une période.

Cette définition garantit que le processus r soit toujours positif (si $r(0) \geq 0$) dans le cas continu.

En effet, si à un instant donné $r(t)$ prend la valeur $r = 0$, la variance de dr ($\sigma\sqrt{r}dz$) devient nulle et par conséquent le taux sera égal à son espérance $ab dt$ qui est positive ; on dit que $r = 0$ est une barrière réfléchissante pour le processus suivi par r .

Une application du lemme d'Itô montre qu'une condition nécessaire pour que le modèle CIR n'engendre pas des taux négatifs dans la discrétisation de r est $\sigma^2 > 2ab$.

Le pris des zéro coupons est déterminé à partir de la formule suivante :

$$P(t, T) = A(t, T) \times e^{-B(t, T) \times r(t)}$$

Où A et B sont déterminés par les équations suivantes :

$$A(t, T) = \left[\frac{2\gamma \times e^{\frac{(\gamma+a)(T-t)}{2}}}{(\gamma+a)(e^{\{\gamma(T-t)\}} - 1) + 2\gamma} \right]^{\frac{2ab}{\sigma^2}} \quad \text{et} \quad B(t, T) = \left[\frac{2 \times (e^{\{\gamma(T-t)\}} - 1)}{(\gamma+a)(e^{\{\gamma(T-t)\}} - 1) + 2\gamma} \right]$$

$$y = \sqrt{a^2 + 2\sigma^2}$$

Et a et b sont estimés de façon à ce que les prix des Zéro coupons obtenus à partir des taux court fournissent les mêmes résultats que les prix observés sur le marché.

Pour générer un historique de l'évolution de la structure des taux, il suffit à présent de générer un historique du taux à court terme à chaque pas pour obtenir la structure par terme des taux d'intérêt. Pour cela, il est nécessaire de spécifier une forme discrète du processus suivi par r qui décrit l'évolution du taux à court terme:

$$\Delta r_t = r_{t+\Delta t} - r_t = a(b - r_t) \times \Delta t + \sigma \sqrt{r_t} (Z_{t+\Delta t} - Z_t)$$

Z étant un mouvement brownien, $(Z_{t+\Delta t} - Z_t)$ suit une loi normale d'espérance nulle et de variance Δt .

On obtient ainsi la formule suivante : $r_{t+\Delta t} = ab \times \Delta t + (1 - a\Delta t) \times r_t + \sigma \sqrt{r_t} \times \sqrt{\Delta t} \times \varepsilon_t$

où ε_t est une réalisation d'une variable aléatoire distribuée suivant une loi normale centrée réduite $N(0,1)$ et Δt est le pas de discrétisation.

Cette approche est très utilisée de par sa simplicité. Cependant, ce modèle a des limites communes avec le modèle de Vasicek : ils stabilisent tous deux la queue de la structure des taux et ils n'ont qu'une seule variable explicative (le taux sans risque instantané) ce qui suppose une parfaite corrélation entre les taux $r(t)$, non satisfaite dans la pratique.

Ces deux modèles donnent ainsi une vision uniquement économique. Ils restent cependant très utilisés pour la modélisation des taux d'intérêts.

Chapitre 3. Application à un portefeuille de prévoyance

Nous avons à présent défini et expliqué les différentes exigences en capital sous Solvabilité I et sous Solvabilité II. Pour pouvoir comparer les différentes exigences de marge solvabilité nous allons appliquer ces méthodes de calcul à un portefeuille de prévoyance. Nous verrons dans une première partie les particularités du portefeuille servant de base pour notre étude. Nous détaillerons ensuite le calcul de la marge de solvabilité utilisé actuellement sous Solvabilité I puis nous verrons les évolutions de cette marge selon la réforme Solvabilité II par le biais de la formule standard et d'un modèle interne.

I. Présentation du portefeuille de l'étude

Le portefeuille servant de référence pour notre étude est un portefeuille de prévoyance composé d'un produit versant des rentes. Nous travaillerons donc sur un portefeuille dit « classique » très répandu dans le secteur de l'assurance de personne. Le produit que nous appellerons produit X par la suite, consiste à verser des rentes invalidités et éducations suite au décès ou à l'invalidité du titulaire du contrat initial. Les rentiers de notre portefeuille sont donc les bénéficiaires du contrat initial de prévoyance.

I.1. Particularités du portefeuille

Notre portefeuille de rentes comprend 2738 rentes en service. Le produit de prévoyance initial, qui offre les garanties de rentes en cas de réalisation du risque, a été arrêté à la souscription depuis 1992. Le portefeuille initial est en groupe fermé, les assurés payent leurs cotisations annuelles et alimentent lors de la réalisation du risque, décès ou invalidité, le portefeuille de rentes tous les ans. Dès lors qu'un nouveau bénéficiaire de rente est activé, le produit de prévoyance initial paye un capital constitutif au portefeuille de rentes, et le sinistre est alors réglé.

Les rentes sont alors considérées en service et plus aucun flux n'existe entre le produit de prévoyance et les rentes. Les flux à prendre en considération pour le calcul de la provision Best Estimate ne concernent donc que les prestations versées, les rentes, par l'assureur aux bénéficiaires du contrat.

Pour cette étude nous supposons que les engagements de l'assureur sont exclusivement couverts par des obligations d'état. Ceci nous permettra notamment de limiter le risque de marché au risque de taux d'intérêt pour le calcul des exigences en capital sous solvabilité II. Dans la réalité, les placements sont relativement équivalents, avec cependant entre 8 et 10 % de l'actif qui est investi sur des supports de type Actions. Détaillons à présent les garanties « rente invalidité » et « rente éducation » du produit.

I.1.1. La garantie « rente invalidité »

Le portefeuille comprend 819 rentiers au 31 décembre 2006, titulaires du contrat initial de prévoyance ayant une garantie rente invalidité ayant été activée suite à la mise en invalidité du titulaire.

La garantie « rente invalidité » prévoit le versement d'une rente si l'assuré est atteint avant l'âge de 60 ans d'une incapacité totale ou partielle. La rente versée peut être soit une rente temporaire jusqu'à l'âge de 60 ans soit une rente viagère selon les termes définis au contrat.

La table de provisionnement réglementaire pour cette garantie est la table du BCAC (Bureau Commun des Assurances Collectives) utilisée pour tarifier les rentes jusqu'à l'âge de 60 ans de l'assuré. Au delà de l'âge de 60 ans la table utilisée est la Table Prospective par Génération (TPG) de 1993. (Voir Annexe 1 pour les valeurs de la table)

Le tableau suivant montre la répartition des bénéficiaires, l'âge moyen et le montant de rente moyen entre les rentes temporaires et viagères.

	Rente viagère	Rente temporaire 60 ans	Total des rentes invalidité
âge moyen	61	47	59
Rente moyenne	6 885	5 320	6 612
Nombre de rente	676	143	819

I.1.2. La garantie « rente éducation »

La garantie « rente éducation » qui regroupe 1929 contrats, prévoit le versement d'une rente aux bénéficiaires du contrat si l'assuré principal décède avant 65 ans. Il s'agit donc de verser, si l'assuré décède, une rente aux enfants à sa charge qui sont âgés de moins de 25 ans et qui poursuivent leurs études.

Aucune table ne permettant de fournir une loi décrivant la fin des études des bénéficiaires, cette garantie est provisionnée à partir d'une table d'expérience. (Voir Annexe 2 pour les valeurs de la table)

	Rente viagère
âge moyen	18
Rente moyenne	1 917

II. Marge de solvabilité sous Solvabilité I

L'exigence de marge de solvabilité et le fond minimum de garantie, les deux exigences en capital sous solvabilité I, vont être déterminés à partir de l'état réglementaire C6.

L'existence des états réglementaires permet à l'Autorité de Contrôle et donc à l'Etat de vérifier la solidité financière des sociétés d'assurances. C'est aussi un moyen d'attirer l'attention des différents acteurs du marché sur les conséquences d'une gestion imprudente de leur activité.

Ci-après une liste de quelques principaux états réglementaires que les sociétés d'assurances doivent fournir, en fonction de leurs statuts juridiques et de leurs activités, chaque année à l'ACAM :

- C1 : Résultats techniques par catégories d'opérations ;
- C2 : Engagements et résultats techniques par pays ;
- C3 : Acceptations et cessions en réassurance, affaires directes prises et opérations données en substitution ;
- C4 : Cotisations par catégories de contrats et garanties ;
- C5 : Représentation des engagements réglementés ;
- C6 : Marge de solvabilité ;
- C6 bis : Test d'exigibilité ;
- C7 : Provisionnement des rentes en service ;
- C8 : Description du plan de réassurance ;
- C9 : Dispersion des réassureurs et simulations d'événements ;

Pour notre étude c'est l'état réglementaire C6, permettant le calcul des exigences en capital à partir des provisions techniques, qui va nous intéresser.

II.1. Le calcul des provisions techniques

Les provisions techniques sont calculées à partir des tables réglementaires selon la méthode décrite dans le chapitre 2.1 ;

L'engagement de l'assuré s'éteint à la liquidation de la rente, avec le versement des capitaux constitutifs. C'est pourquoi la provision mathématique pour l'année t résulte uniquement de l'engagement de l'assureur.

$$PM_t = \text{Rente} \times \sum_{k=0}^{\infty} v^k \times_k p_{x+t}$$

Avec :

- $w = 25$ si la garantie est une rente éducation
- $w = 60$ si la garantie est une rente d'invalidité temporaire jusqu'à l'âge de 60 ans
- $w = 108$ si la garantie est une rente d'invalidité viagère
- rente = Montant de la rente annuelle perçu par le bénéficiaire.
- v_i^k représente le taux d'actualisation;
- ${}_k p_x$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge x soit en vie dans k années calculée à partir des tables réglementaire.

Le taux d'actualisation, qui peut être modifié chaque année, est défini par la compagnie. En réalité, il est fixé au taux maximum admis par la réglementation. Il ne peut excéder 60 % du taux moyen des emprunts (TME) de l'Etat français calculé sur une base semestrielle, sans pouvoir dépasser 3,5 % selon l'arrêté A331-10 du Code des assurances.

Le taux d'actualisation des engagements ne peut être supérieur au taux garanti et au rendement des actifs qui sont en représentation des engagements. Limiter celui-ci pour le calcul des provisions mathématiques est prudent car la somme actualisée des engagements est décroissante avec le taux d'actualisation.

Le taux technique au 31/12/2006 s'élève à 2.75% pour les produit d'assurance non vie et de 2 % pour les produit d'assurance vie.

Conformément au tableau suivant établi par le code des assurances, la garantie « rente invalidité » est considérée comme une garantie non vie appartenant à la branche 1 alors que la garantie « rente éducation » est une garantie décès appartenant à la branche 20.

	Branche d'activité	
NON VIE ET DOMMAGE	1	Accidents (y compris accidents du travail et maladies professionnelles)
	2	Maladie
	3	Corps de véhicules terrestres (autres que ferroviaires)
	4	Corps de véhicules ferroviaires
	5	Corps de véhicules aériens
	6	Corps de véhicules maritimes, lacustres et fluviaux
	7	Marchandises transportées
	8	Incendie et éléments naturels
	9	Autres dommages aux biens
	10	Responsabilité civile - véhicules terrestres automoteurs
	11	Responsabilité civile - véhicules aériens
	12	Responsabilité civile - véhicules maritimes, lacustres et fluviaux
	13	Responsabilité civile générale
	14	Crédit
	15	Cautions
	16	Pertes pécuniaires diverses
	17	Protection juridique
	18	Assistance
VIE ET EPARGNE	20	Vie-Décès
	21	Nuptialité-Natalité
	22	Assurances liées à des fonds d'investissement
	23	Opérations tontinières
	24	Capitalisation
	25	Gestion de fonds collectifs
	26	Retraite par points

Nous obtenons les provisions mathématiques réglementaires suivantes au 31/12/2006 :

Provisions	Montant (€)
Provision "rente éducation"	19 653 853
Provision "rente invalidité"	78 760 600

II.2. L'état C6 et la marge de solvabilité

L'exigence de marge de solvabilité est calculée séparément selon leur branche, vie et non vie, d'appartenance.

$$EMS_{vie} = 4\% \times 19\,653\,853 = 786\,154 \text{ €}$$

L'exigence de marge de solvabilité non vie correspond au maximum entre l'EMS calculé sur les primes et l'EMS calculé sur les sinistres. L'assuré ne payant plus de primes, l'EMS sera calculé à partir de la moyenne des sinistres versés sur les 3 dernières années. Pour notre étude, on considère le sinistre comme étant la somme annuelle des paiements de rente effectués aux bénéficiaires.

Année	Montant des prestations versées aux bénéficiaires durant l'année (€)
2006	5 380 752
2005	5 764 013
2004	6 203 867
Moyenne	5 782 877

$$EMS_{non\ vie} = 26\% \times 5\,782\,877 = 1\,503\,548 \text{ €}$$

$$EMS = EMS_{vie} + EMS_{non\ vie} = 2\,289\,702 \text{ €}$$

Le fonds minimum de garanti correspond au tiers de l'EMS et donne le résultat suivant :

$$FdG = 1/3 \times 2\,289\,702 = 763\,234 \text{ €}$$

L'exigence de marge de solvabilité à détenir pour ce portefeuille est par conséquent de 2 289 702€.

III. Marge de solvabilité sous Solvabilité II

III.1. Calcul du SCR par la formule standard

Comme nous avons pu le voir précédemment dans la partie théorique, le SCR résulte de l'addition entre le SCR de base et la charge de capital pour le risque opérationnel.

La base des calculs pour obtenir le SCR selon la formule standard repose sur l'estimation de la provision Best Estimate que nous allons chiquer selon les principes énoncés dans le QIS3 afin d'obtenir les charge de capital des différents risques.

La provision Best Estimate est obtenue à partir de la formule suivante pour chaque individu j :

$$PM_j = \text{rente} \times \sum_{k=1}^w v_i^k \times {}_k P_x^{\text{exp}}$$

Avec dans notre exemple

- w = 25 si la garantie est une rente éducation
- w = 60 si la garantie est une rente d'invalidité temporaire jusqu'à l'âge de 60 ans
- w = 108 si la garantie est une rente d'invalidité viagère
- rente = Montant de la rente annuelle perçu par le bénéficiaire.
- v_i^k représente le taux d'actualisation conforme à la courbe des taux d'intérêt fournis par le CEIOPS ;
- ${}_k P_x^{\text{exp}}$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge x soit en vie dans k années calculée suivant la table d'expérience

Provisions	Montant (€)
Provision "rente éducation"	18 069 937
Provision "rente invalidité"	64 732 371
Provision totale	82 802 308

La provision ainsi obtenue pour le portefeuille X au 31/12/2006 est égale à 82 802 308€.

Dans notre application, les obligations d'état couvrant la totalité des engagements de l'assureur, la charge de capital pour le risque de marché résulte uniquement du module de risque de taux d'intérêt.

La charge de capital pour le risque de marché est obtenue en calculant la variation de la valeur nette de l'actif en valeur de marché diminuée de la provision Best Estimate.

$$\text{charge de Capital} = (\text{Actif}_{\text{tx normal}} - \text{Best Estimate}_{\text{tx normal}}) - (\text{Actif}_{\text{tx choqué}} - \text{Best Estimate}_{\text{tx choqué}})$$

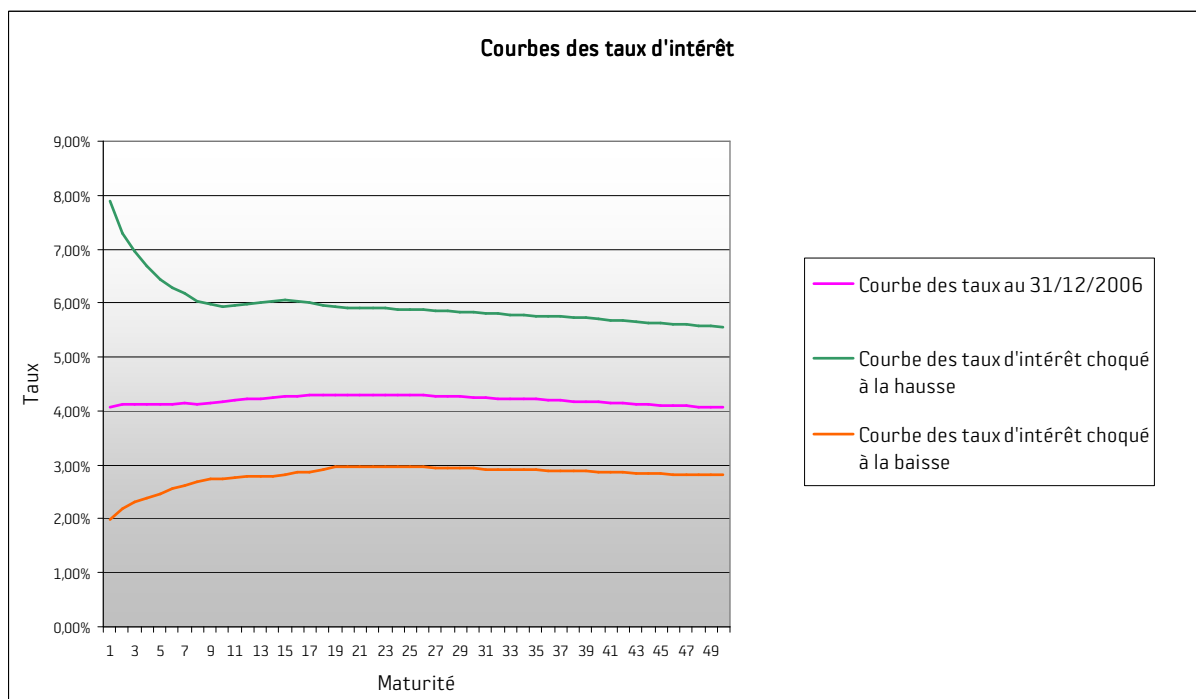
L'actif « taux choqué » correspond à la valeur des actifs en valeur de marché suite à une hausse ou une baisse des taux d'intérêt. Le nombre d'obligations composant le portefeuille reste le même, cependant le prix de l'obligation diffère.

Celui-ci est obtenu par la formule suivante : $P = \frac{1}{(1+r)}$

Il en est de même pour la provision Best Estimate « taux choqué », calculée selon le principe des provisions en Best Estimate, en prenant le taux technique évalué à la hausse ou à la baisse.

Le CEIOPS a imposé, pour la formule standard, les coefficients à appliquer sur les taux d'intérêt afin d'obtenir des taux choqués identiques pour tous les participants.

Nous obtenons les courbes des taux d'intérêt suivantes (les valeurs des taux sont fournies dans l'annexe3) :



Les résultats des éléments de l'actif et du passif conformément aux directives du QIS3 sont les suivants :

Taux utilisés	Prix de l'obligation	Nombre d'obligation	Valeur de marché de l'actif	Provision Best Estimate	Variation
taux normal	0,960846	86 176 502	82 802 308	82 802 308,0	/
taux choqué à la baisse	0,980423	86 176 502	84 489 459	94 931 545,7	10 442 087
taux choqué à la hausse	0,926737	86 176 502	79 862 938	70 440 216,0	- 9 422 722

Une valeur positive de la variation de la valeur nette de l'actif en valeur de marché diminuée de la provision Best Estimate est une perte et inversement une valeur négative est un gain.

Nous retiendrons comme valeur le maximum entre la charge de capital où les taux sont choqués à la baisse et la charge de capital où les taux sont choqués à la hausse, soit 10 442 087€.

La charge de capital pour le risque de souscription vie comprend uniquement le module de risque de mortalité.

La charge de capital pour le risque de mortalité est obtenue en choquant de 10% la mortalité. Pour notre application, il s'agit de diminuer de 10% la probabilité de décès des individus afin d'augmenter la durée de paiement de la rente. Notons que si notre étude portait sur une garantie en cas de décès il faudrait alors augmenter de 10% la mortalité des individus.

La charge de capital pour le risque de mortalité est obtenue de la même manière que pour le risque de taux d'intérêt en effectuant la variation de la valeur nette de l'actif en valeur de marché diminuée de la provision Best Estimate.

Mortalité	Provision Best Estimate	Variation
mortalité normale	82 802 308	/
mortalité choqué	85 068 925	2 266 617

Nous pouvons à présent calculer le SCR de base en tenant compte de la corrélation qui existe entre ces 2 risques et nous obtenons le résultat suivant :

$$BSCR = \sqrt{\left[\begin{matrix} 10\,442\,087 & 2\,266\,617 \end{matrix} \right] \times \begin{bmatrix} 100\% & 25\% \\ 25\% & 100\% \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 10\,442\,087 \\ 2\,266\,617 \end{bmatrix}} = 11\,225\,366 \text{ €}$$

Déterminions à présent le risque opérationnel permettant d'obtenir le SCR :

$$SCR_{op} = \min\{30\% \times 11\,225\,366 ; 0.003 \times 82\,802\,308\} = \min\{3\,367\,609 ; 248\,407\} = 248\,407 \text{ €}$$

Nous pouvons donc conclure que le SCR obtenue par la formule standard est de :

$$SCR = BSCR + SCR_{op} = 11\,225\,366 + 248\,417 = 11\,473\,773 \text{ €}$$

Le capital à détenir sous Solvabilité II à partir de la formule standard est par conséquent plus prudent que le capital calculé précédemment sous Solvabilité I.

Cette augmentation de capital résulte notamment de la charge de capital pour le risque de marché, très conséquente, qui n'apparaissait pas dans le calcul de l'exigence de marge sous Solvabilité I.

Un outil Excel a été développé par le CEIOPS permettant de réaliser les calculs des charges de capital pour chaque module de risque (Voir annexe 4). Celui-ci reste cependant difficile d'approche étant donné le nombre important de données à insérer pour obtenir les différents résultats.

III.2. Calcul du SCR par le modèle interne

L'objectif pour un modèle interne dans la détermination des exigences en capital est de détenir des fonds propres nécessaires à couvrir une probabilité de ruine de 0.5% sur un horizon d'un an.

Pour déterminer la probabilité de ruine et obtenir le quantile à 0.5% il est nécessaire de modéliser le résultat technique du portefeuille.

III.2.1. Résultats de la modélisation des paramètres

Le taux d'intérêt est modélisé à l'aide du modèle du Cox Ingersoll Ross (CIR) qui a été décrit précédemment.

Les paramètres a et b du modèle ont été estimés afin de minimiser la distance quadratique suivante :

$$D = \sum_{i=1}^N (\text{Prix théorique}_i - \text{Prix estimé}_i)^2$$

Où : Prix théorique = Prix donné par la fonction d'actualisation fournie par le CEIOPS au 31/12/2006,
 Prix estimé = Prix calculé sur la base du modèle de CIR,
 N = Nombre d'obligations envisagées pour l'ajustement.

Le Prix estimé est obtenu à partir du taux court instantané. Il est donc nécessaire dans un premier temps de fixer la volatilité de ce taux, estimée à partir des instruments directeurs sur le marché et non par le programme de minimisation permettant l'estimation de a et b. Pour estimer les taux d'intérêt court terme, les instruments directeurs pour le très court terme sont les taux interbancaires et pour les taux court terme ce sont les futurs sur IBOR. Par conséquent nous avons décidé de prendre la volatilité annuelle du taux EURIBOR 1 mois comme référence pour estimer la volatilité du taux court instantané.

Mathématiquement, la volatilité des taux d'intérêts est obtenue par la variance de la rentabilité des obligations.

$$V(r) = \sum_{i=1}^n p_i \times (r_i - \bar{r})^2$$

Avec r_i la rentabilité de l'obligation pour l'année i
 \bar{r} la rentabilité moyenne
 p_i la probabilité d'occurrence de chacune des rentabilité possible.

La volatilité annuelle du taux court instantané, estimée à 4.861%, a été calculée à partir de l'historique des taux EURIBOR 1 mois de l'année 2006. Le détail des calculs pour obtenir la volatilité ainsi que l'historique des taux est fournie dans l'annexe 5.

Nous obtenons les résultats suivants pour une volatilité de 4,861% :

- la force de retour à la moyenne : $a = 0.01$
- la valeur du taux long terme : $b = 0.0875$
- le taux court terme en date 0 : $r(0) = 0.0393$

À partir de ces paramètres estimés, nous pouvons à présent simuler la valeur du taux instantané dans un an ($r(1)$) et les paramètres $A(t,T)$ et $B(t,T)$ afin de calculer le prix des obligations zéro coupon $P(t,T)$.

$P(t,T)$ est la valeur à l'instant t , d'un paiement à recevoir à une date future T obtenue à partir de la relation suivante :

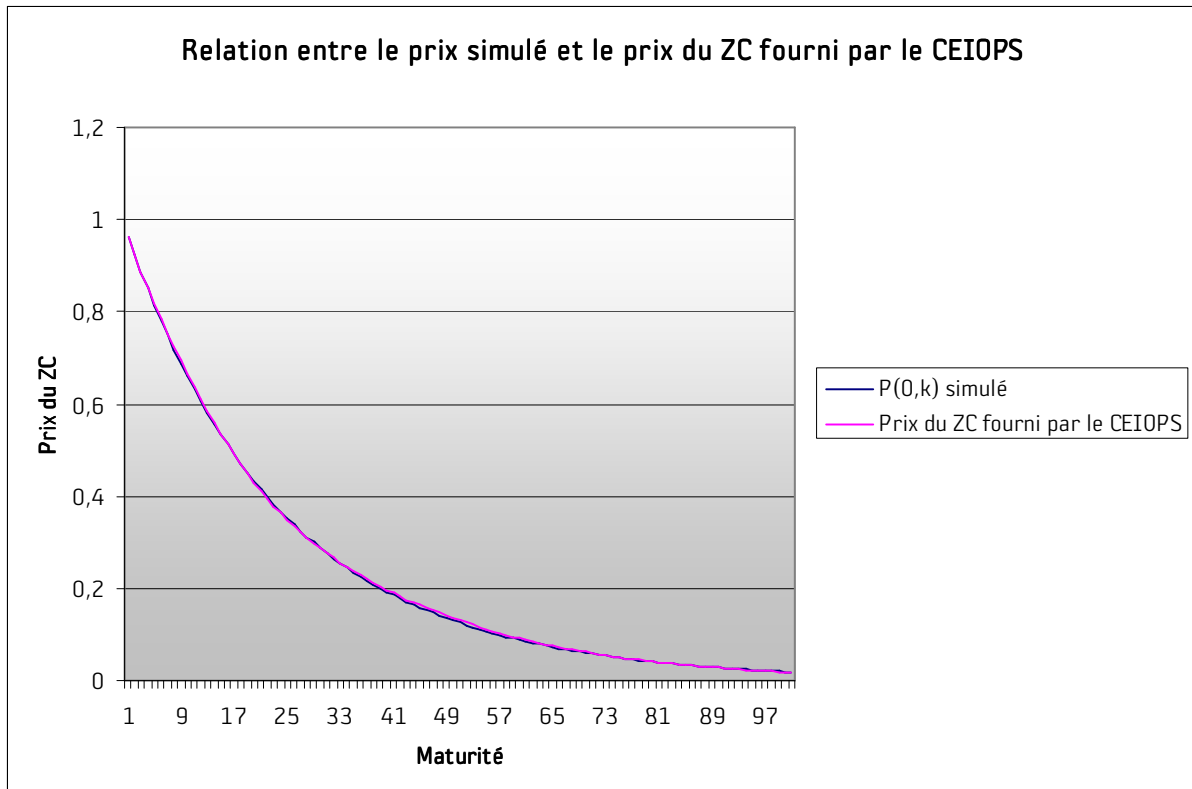
$$P(t,T) = A(t,T) \times e^{-B(t,T) \times r(t)}$$

Le graphique ci-dessous permet de mettre en évidence un écart très faible entre le prix zéro coupon fourni par le CEIOPS, $P'(0,k)$, et le prix simulé $P(0,k)$ estimé à partir des paramètres a , b , et r_0 .

L'écart maximum en valeur absolue entre le prix fourni par le CEIOPS et le prix simulé est de 0.00634 soit 4.64% pour une maturité de 50 ans.

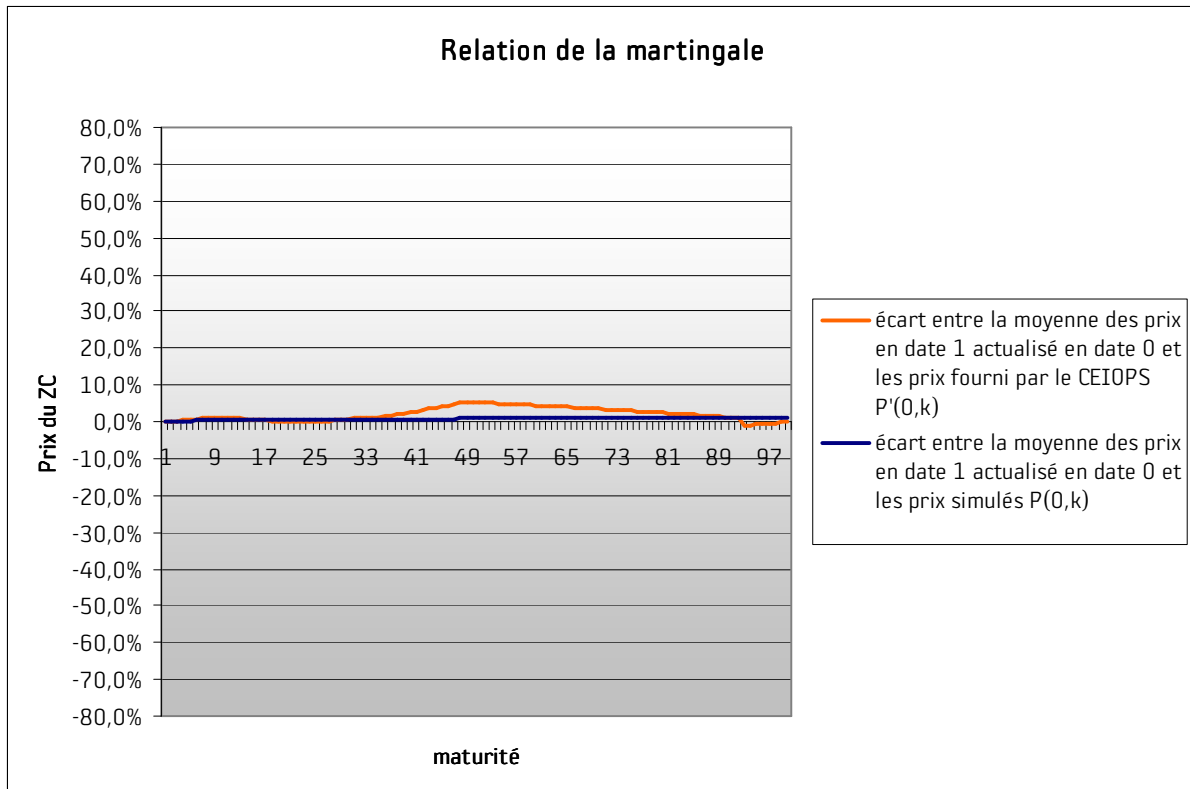
Cet écart maximum peut être considéré comme acceptable étant donné que l'impact des prix est très faible lorsque la maturité augmente.

Ces résultats nous permettent notamment de valider les paramètres estimés précédemment par le programme de minimisation.



Afin de vérifier la cohérence des nombres aléatoires générés, nous pouvons vérifier la relation de la martingale, c'est-à-dire que les valeurs escomptées sont des martingales par rapport à la probabilité risque neutre.

$$E[P(1,k) \times P(0,1)] \cong P(0,k) \quad \forall k \in [1, T]$$



L'écart maximum entre la moyenne des prix en date 1 actualisé en date 0 et :

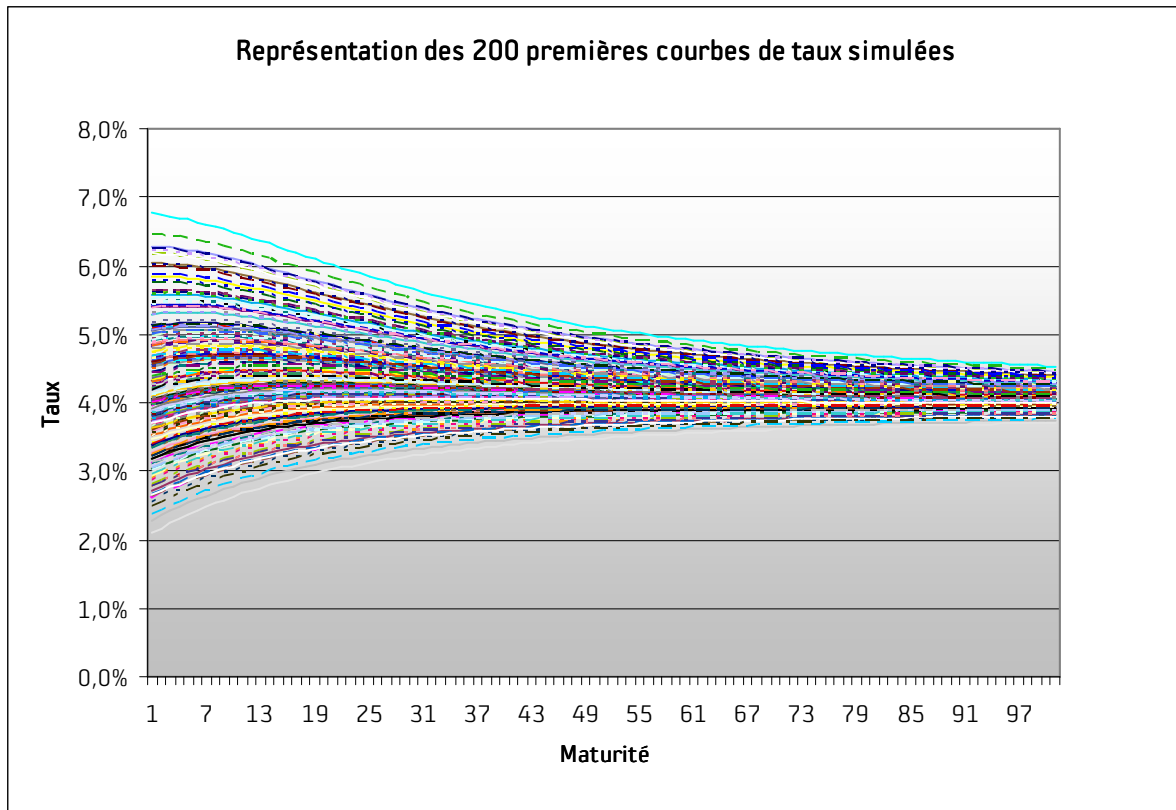
- les prix fournis par le CEIOPS est de 5.40% (expliqué par l'écart maximum entre $P(0,k)$ et $P'(0,k)$ pour la même maturité de 50 ans).
- les prix simulés est de 0.80%.

L'écart entre la moyenne des prix simulés et les prix fournis par le CEIOPS étant proche de zéro pour une maturité inférieure à zéro, nous pouvons valider les nombres aléatoires générés et ainsi obtenir la structure par terme des taux zéro coupon.

La structure par terme des taux zéro coupon (nous raisonnons avec des taux discrets), $R(t,T)$, est défini par la relation suivante en fonction des prix $P(t,T)$ calculé précédemment.

$$R(t,T) = P(t,T)^{\frac{1}{T-t}} - 1$$

Ainsi nous obtenons les différentes structures par termes utilisées dans le calcul des provisions Best Estimate. Il est en effet nécessaire de simuler une structure par terme pour chaque simulation de notre modèle.



III.2.2. Modélisation du résultat

Pour pouvoir comparer le SCR obtenu par le modèle interne avec celui de la formule standard nous fixons l'horizon de l'analyse du résultat sur une année, l'horizon de un an étant une contrainte forte imposée par la réforme Solvabilité II.

Après avoir traité l'ensemble des individus, le résultat est déduit pour chaque simulation de la manière suivante :

Résultat simplifié = provision mathématique d'ouverture
 - provision mathématique de clôture
 - prestation versée
 + produit financier

Le résultat simplifié présenté ci-dessus est un résultat technique, c'est-à-dire avant impôt et autres éléments non techniques liés à la gestion des contrats. Le SCR est calculé à partir de la queue de distribution du résultat afin d'obtenir une probabilité de ruine inférieure à 0.5%. L'imposition étant nulle lorsque le résultat est négatif, l'exigence de solvabilité requis n'est par conséquent pas impactée par l'imposition.

Détaillons à présent la méthode de calcul des différentes composantes du résultat.

III.2.2.1. La provision mathématique d'ouverture

La Provision mathématique d'ouverture correspond à la provision en date 0, inscrite au bilan comptable. Cette provision est évaluée selon le principe Best Estimate : la probabilité de survie de l'individu est obtenue à partir d'une table d'expérience et non pas d'une table réglementaire.

La table d'expérience est déterminée à partir de la mortalité observée du portefeuille. Il est donc nécessaire de connaître l'historique de la mortalité sur plusieurs années afin de refléter au plus juste la mortalité des assurés du portefeuille.

La probabilité de mortalité d'expérience est définie par la relation suivante :

$$q_{x,t}^{\text{exp}} = \alpha_{x,t} \times q_{x,t}^{\text{th}}$$

Où :

$q_{x,t}^{\text{exp}}$ est la probabilité d'expérience pour qu'une tête d'âge x décède dans l'année sachant qu'elle est en invalidité depuis t années.

$q_{x,t}^{\text{th}}$ est la probabilité théorique pour qu'une tête d'âge x décède dans l'année sachant qu'elle est en invalidité depuis t années.

$\alpha_{x,t}$ représente le paramètre d'ajustement entre la table réglementaire et la table d'expérience.

Les valeurs du paramètre $\alpha_{x,t}$ ont été reprises à partir d'une étude précédente réalisée par Optimind sur le portefeuille et sont données dans l'annexe 6.

$$PM_j(0) = \text{rente} \times \sum_{k=1}^w v_i^k \times {}_k p_x^{\text{exp}}$$

Pour chaque individu j , la provision d'ouverture sera calculée en fonction des garanties de l'assuré :

- $w = 25$ si la garantie est une rente éducation
- $w = 60$ si la garantie est une rente d'invalidité temporaire jusqu'à l'âge de 60 ans
- $w = 108$ si la garantie est une rente d'invalidité viagère
- $\text{rente} =$ Montant de la rente annuelle perçu par le bénéficiaire
- v_i^k représente le taux d'actualisation conforme à la courbe des taux d'intérêt fournis par le CEIOPS
- ${}_k p_x^{\text{exp}}$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge x soit en vie dans k années calculée suivant la table d'expérience

Pour chaque simulation que nous effectuons, la provision d'ouverture sera la même et égale à 82 802 308€.

III.2.2.2. La provision mathématique de clôture

La Provision mathématique de clôture correspond à la provision en date 1, fin de première année. Contrairement à la provision en date 0 où tous les individus sont vivants, il sera nécessaire ici d'utiliser la modélisation de la survie des individus présentée précédemment. La survie des individus, différente pour chaque simulation et pour chaque survivant, va être déterminée à partir de la probabilité stochastique énoncée ci-dessous.

Si $u > {}_1 p_x^{\text{sto}}$ on considère que l'individu est mort dans l'intervalle $[0,1[$, on ne versera par conséquent pas de prestation au bénéficiaire et la provision en date 1 sera nulle.

Avec

u : la réalisation de la variable uniforme sur l'intervalle $[0 ; 1]$

${}_1 p_x^{sto}$: la probabilité stochastique de l'individu d'âge x d'être en vie dans 1 année

La probabilité stochastique est obtenue à partir de la méthode décrite dans le point 2.VI.3.2

$$q_x^{sto} = \tilde{\alpha}_{t,x} \times q_x^{th} \quad \text{où } \tilde{\alpha}_{t,x} \mapsto N(\alpha_{t,x}, \sigma_{t,x})$$

Les valeurs du paramètre $\alpha_{x,t}$ sont identiques aux valeurs utilisées précédemment pour le calcul de la probabilité d'expérience. Les valeurs des paramètres de la loi normale ont été reprises à partir d'une étude précédente réalisée par Optimind et sont donnés dans l'annexe 6 et 7.

Dans le cas contraire si $u \leq {}_1 p_x^{sto}$ on va considérer que l'individu est vivant en date 1 et nous pourrions calculer la provision en date 1 correspondante.

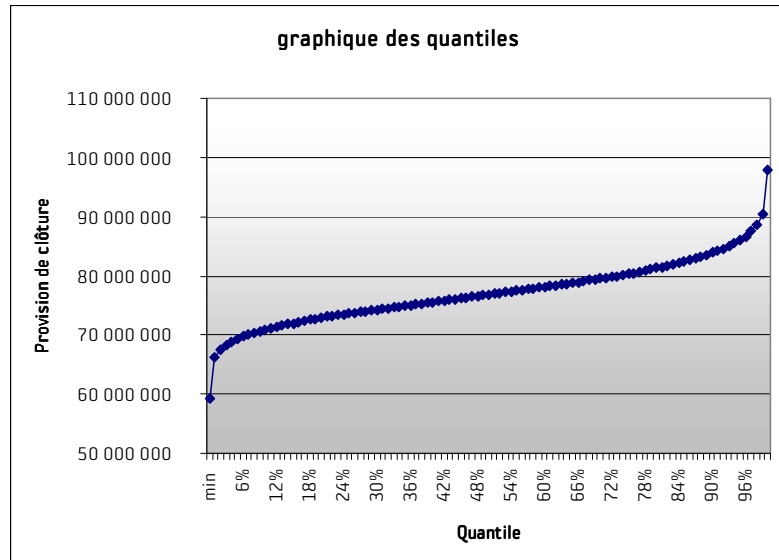
$$PM_j(1) = \text{rente} \times \sum_{k=1}^w v_i^k \times {}_k p_{x+1}^{\text{exp}}$$

Pour chaque individu j la provision de clôture sera calculée de la même manière concernant les spécifications en fonction des garanties. Cependant la courbe des taux ainsi que la probabilité de survie diffèrent :

- v_i^k représente le taux d'actualisation en date 1 simulé par la méthode de Cox Ingersoll Ross;
- ${}_k p_{x+1}^{\text{exp}}$ représente la probabilité pour qu'une tête d'âge $x+1$ soit en vie dans $x+1+k$ années calculé sur la table d'expérience

Les résultats de la simulation nous permettent d'obtenir les différents quantiles de la provision de clôture, ils sont présentés dans le tableau et le graphique suivants :

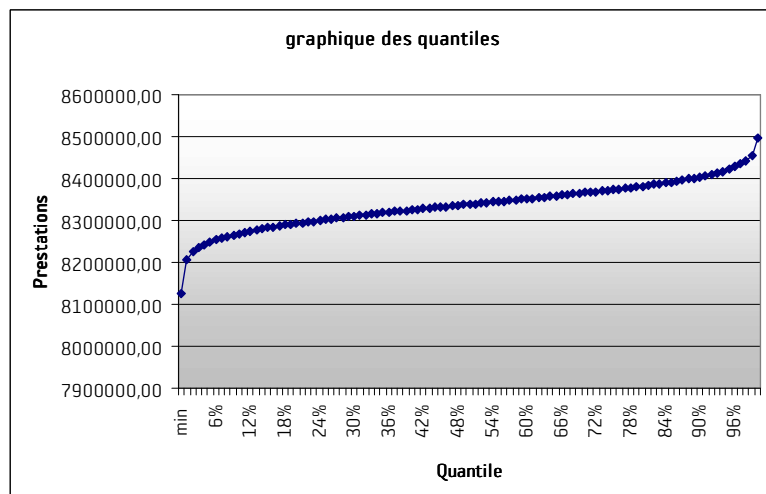
Quantile	Provision de clôture
Min	61 103 108
0,50%	65 605 373
5%	69 164 667
10%	70 932 105
20%	72 931 844
30%	74 448 378
40%	75 719 860
50%	76 923 573
60%	78 240 141
70%	79 694 879
80%	81 326 599
90%	83 665 240
99,5%	91 915 989
Max	96 850 704



III.2.2.3. Les prestations

La prestation versée chaque année par l'assureur au bénéficiaire du contrat correspond à la rente annuelle

Quantile	Prestation
Min	8 138 666
0,50%	8 192 987
5%	8 247 257
10%	8 267 300
20%	8 292 666
30%	8 310 314
40%	8 325 670
50%	8 339 910
60%	8 354 514
70%	8 368 049
80%	8 383 638
90%	8 403 555
99,5%	8 461 688
Max	8 506 387



III.2.2.4. Le produit financier

Le **produit financier** correspond au rendement des actifs en représentation des provisions techniques placées au taux sans risque en date 0. On supposera que les actifs servant de couverture aux provisions correspondent à la provision d'ouverture.

Dans un premier temps, il est nécessaire de calculer le nombre d'obligations permettant de couvrir la provision d'ouverture.

Le nombre d'obligations est calculé en date 0 de manière à avoir la relation d'équilibre suivante :

$$\text{provision d'ouverture} = \text{nombre d'obligations} \times P(0,1)$$

Le produit financier correspond à la différence entre le prix de l'obligation en date 1 et le prix auquel les obligations ont été achetées en date 0. Afin d'isoler l'impact de la variation des prix des zéro coupons sur le SCR, nous avons décidé d'investir les actifs dans des obligations de maturité un an.

Le produit financier est donc calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{produit financier} = \text{nombre d'obligations} \times (P(1,1) - P(0,1))$$

Avec :

$P(0,1)$ prix du Zéro Coupon d'échéance 1 connu à la date d'évaluation

$P(1,1) = 1$ étant donné que l'obligation est arrivée à maturité

D'où

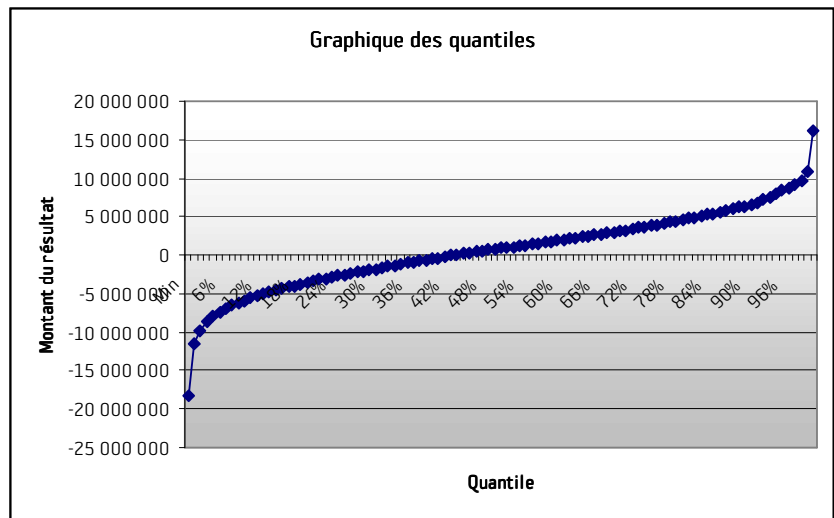
PM (0)	82 802 308
P(0,1)	0,9608
Nombre d'obligation	86 176 502
Produit financier	3 374 194

La provision en date 0 étant fixe pour toutes les simulations, le produit financier pour le résultat en date 1 est de 3 374 194 €.

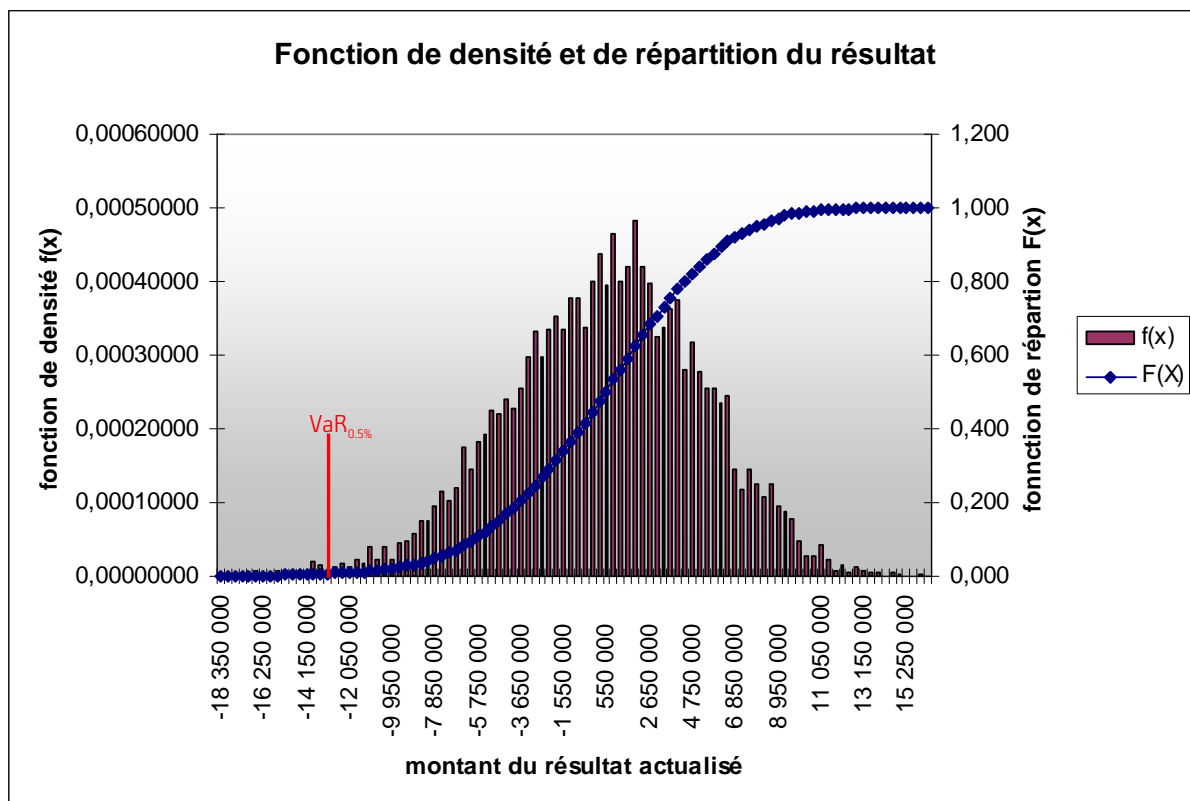
III.2.2.5. Le SCR de base

A présent nous pouvons obtenir la distribution du résultat actualisé en date 0 et ainsi déterminer l'exigence de marge nécessaire pour couvrir la probabilité de ruine à 0.5%.

Quantile	Résultat en date 1 actualisé en date 0
Min	- 18 354 377
0,50%	- 13 569 947
5%	- 7 446 930
10%	- 5 611 757
20%	- 3 354 412
30%	- 1 788 040
40%	- 388 805
50%	884 843
60%	2 028 940
70%	3 265 768
80%	4 747 617
90%	6 637 815
99,5%	11 707 238
Max	16 093 034



Le capital de solvabilité requis (SCR) pour faire face à une probabilité de ruine à 0.5% sur un an est par conséquent de 13 569 947€. Ce résultat intègre dans le calcul le risque de mortalité et le risque de taux d'intérêt.



Ce graphique résume la problématique pour les sociétés d'assurances à savoir : trouver le montant de capital nécessaire pour obtenir une probabilité de ruine à 0.5% .

La fonction de répartition empirique $F(x)$ est obtenue à partir de la fréquence cumulée :

$$F_{emp X}(x) = \frac{\text{(nombre de simulations } \leq x)}{\text{nombre totale de simulations}}$$

La fonction de répartition permet aisément d'obtenir graphiquement les quantiles à partir de l'axe des ordonnées.

La probabilité de ruine à 0.5%, caractérisée par un résultat négatif, correspond à une $VaR_{99.5\%}$:

$$VaR(-\text{Résultat}, 99.5\%) = -VaR(\text{Résultat}, 0.5\%)$$

Travaillant sur la fonction de répartition empirique et non continue du résultat, la VaR est estimée à partir de la formule suivante :

$$\inf \{x \in R, P(-\text{Résultat} \leq x) > 1 - 99.5\% \} \Leftrightarrow -\inf \{x \in R, P(\text{Résultat} \leq x) > 1 - 0.5\% \}$$

Graphiquement on peut représenter la VaR comme étant la cinquième valeur la plus négative sur mille simulations du résultat.

Pour avoir la fonction de densité empirique, il faut tout d'abord discrétiser l'ensemble des valeurs prises par notre variable aléatoire en 100 intervalles (nombre choisi arbitrairement) de même longueur notés $x_1 < x_2 < \dots < x_{100}$.

La fonction de densité empirique au point x_{t+1} est obtenue à partir de la formule suivante :

$$F_{emp X}(x_{t+1}) = \frac{F_{emp X}(x_{t+1}) - F_{emp X}(x_t)}{x_{t+1} - x_t}$$

Elle approxime la probabilité pour que le résultat de la simulation soit compris entre x_i et x_{i+1} .

III.2.2.6. Le risque opérationnel

Pour pouvoir comparer convenablement la formule standard et le modèle interne il est nécessaire de prendre en compte le risque opérationnel.

Dans la formule standard, le risque opérationnel a été estimé en appliquant un pourcentage sur les provisions ou sur le SCR de base. La prise en compte de ce risque dans le calcul de la marge de solvabilité est récente et n'existait pas auparavant sous Solvabilité I. Le risque opérationnel, qui couvre les erreurs humaines, les fraudes et malveillances, les défaillances des systèmes d'information, les problèmes liés à la gestion du personnel, possèdent un champ d'action relativement large d'où l'intérêt de pouvoir modéliser ce risque.

On peut considérer comme réalisation d'un risque opérationnel tout événement qui perturbe le déroulement normal des actions des salariés et qui génère des pertes financières ou une dégradation de l'image de la société. Une gestion attentive et minutieuse de ce risque permettra notamment d'améliorer les conditions de production en rationalisant par exemple les processus effectués par les salariés et par conséquent d'optimiser les gains.

D'autre part la complexité et la technicité croissante des opérations, l'augmentation des volumes et le développement du temps réel réduisent de plus en plus le « droit à l'erreur », quand le coût de l'erreur peut rapidement se chiffrer en centaines de milliers voire en millions d'Euros. Il est donc tout à fait essentiel de connaître et de modéliser ce risque au même titre que le risque de marché ou le risque de souscription.

Néanmoins la modélisation de ce risque se heurte à de nombreux obstacles tant au niveau de l'estimation du risque que sur le plan décisionnel :

- il n'existe pas de cartographie pour le secteur de l'assurance à ce jour
- les tâches de reporting et de suivi, indispensables pour identifier et répertorier le risque opérationnel, représentent une charge supplémentaire pour les opérationnels
- la direction de la société peut également avoir tendance à minimiser l'impact de ce risque du fait de l'engagement des responsabilités des cadres dirigeants sur les défaillances humaines.
- un environnement complexe lié à Solvabilité II qui nécessite la prise en compte de nombreux autres risques.

Aucune étude n'a été réalisée pour le moment permettant de répertorier les risques opérationnels dans le secteur de l'assurance. Nous pouvons toutefois nous baser sur l'expérience du secteur bancaire qui a été obligé de maîtriser ce risque sous Bâle II.

Avant de mesurer le risque, il est important de le définir, de le délimiter et de mettre en place des outils de collecte auprès des opérationnels.

La première étape consiste donc à établir une cartographie des risques. Cette cartographie doit s'appuyer sur une analyse des processus métiers, établis en fonction des services et produits offerts par l'établissement, en fonction d'une typologie standard des risques opérationnels (fraudes,

dommages aux actifs corporels, problèmes sociaux, etc). Un processus métier désigne un ensemble de tâches coordonnées en vue de fournir un produit ou un service à la clientèle qui répond dans un premier lieu à un découpage économique de l'activité de l'assurance, et non un découpage organisationnel.

Pour chaque événement possible, on évalue le risque en termes de probabilité d'occurrence et de perte encourue en cas de réalisation. Cette analyse des processus métiers doit être confiée aux opérationnels concernés. Une fois la cartographie effectuée, il est important de mettre en place une base de données dans laquelle on recense les événements de perte au fur et à mesure de leurs occurrences. C'est à partir de cet historique de pertes qu'il sera possible plus tard de quantifier le risque, de le distribuer et d'analyser les impacts de telle ou telle mesure prise. Il est également possible de se baser sur un historique des pertes en fonction des processus métiers si une telle base existe.

A ce stade, trois méthodes peuvent être envisagées pour calculer les pertes :

- *Les approches statistiques* : L'approche la plus connue est l'approche de la « distribution des pertes » ou « Loss Distribution Approach (LDA) ». La démarche consiste d'abord à établir pour chaque ligne métier et chaque type d'événement de pertes deux courbes de distribution des probabilités de pertes, l'une représentant la fréquence des événements de pertes sur un intervalle de temps donné, l'autre traitant de la sévérité de ces mêmes événements. Pour ce faire, on trie les événements de pertes par fréquence d'une part, et par coût d'autre part, puis l'on représente le résultat sous forme graphique (histogrammes). Pour chacune de ces distributions de pertes, on cherche ensuite le modèle mathématique qui rend le mieux compte de la forme de la courbe. On en déduit ensuite la perte maximale encourue avec la probabilité de 99.5% afin de se baser sur les mêmes hypothèses utilisées pour le calcul du SCR.
- *L'approche par scénarios* : L'approche est identique à celle utilisée pour d'autres natures de risque, comme les risques de marché par exemple. Le but est d'obtenir une évaluation de la probabilité d'occurrence ainsi que le coût pour chaque risque déterminée par la cartographie des risques opérationnels. La construction des scénarios combine l'ensemble des facteurs de risque. On pourra notamment effectuer avec cette méthode un grand nombre de simulations en faisant varier les facteurs de risque. Cette approche est plus complète que l'approche statistique étant donnée qu'elle permet de prendre la totalité des risques en compte à contrario de la méthode précédente qui se base sur des risques qui sont déjà survenus au sein de la compagnie. L'intérêt de cette méthode est donc de pouvoir capter des événements singuliers dont les conséquences pourraient être graves pour l'établissement et qu'une approche statistique aurait du mal à envisager.
- *L'approche Scorecard* : Cette approche s'appuie sur des indicateurs de risque qui incorporent une vision a priori des risques opérationnels. Cette méthode consiste à établir pour chaque catégorie de risque une grille d'appréciation fondée à la fois sur des critères qualitatifs et sur des critères quantitatifs. Des questionnaires sont établis conjointement par les spécialistes du risque opérationnel et par les opérationnels. A partir de ces questionnaires on pourra effectuer une première évaluation de chaque risque par ligne métier. Cette évaluation sera légèrement surestimée étant donné que par la suite on se basera sur cette première évaluation que l'on fera évoluer régulièrement. Le capital est

ensuite alloué pour chaque nature de risque. Pour cela, on distribue les questionnaires aux lignes métier qui les remplissent pour chaque catégorie de risque. Cela fait donc au final un grand nombre de données. Sur la base du dépouillement des questionnaires, on donne une note ou un score à chaque ligne métier pour chaque catégorie de risque. En répétant ce processus de manière régulière, on fait évoluer le capital alloué à chaque ligne métier et ainsi le capital global. L'intérêt de cette méthode est qu'elle associe intimement les opérationnels à la gestion des risques opérationnels en les intéressant à la réduction des risques.

N'ayant malheureusement pas pu créer une cartographie des risques opérationnels en rapport avec le portefeuille étudié, j'ai choisi d'utiliser la méthode similaire à la formule standard à savoir le minimum entre 30% du SCR de base et 0.3% des provisions mathématiques. En effet, il n'est pas exigé aux sociétés développant un modèle interne d'intégrer l'ensemble des risques et des charges de capital qui en découlent. Celles-ci peuvent développer un modèle interne partiel calculant une partie des charges de capital selon un modèle interne et estimer, à partir de la formule standard, les autres charges de capital.

La charge de capital pour le risque opérationnel est donc la suivante :

$$SCR_{op} = \min\{30\% \times 13\,569\,947 ; 0.003 \times 82\,802\,308\} = \min\{4\,070\,984 ; 248\,406\} = 248\,406 \text{ €}$$

III.2.3. Conclusion

Le SCR final ainsi obtenu à partir d'un modèle interne résulte de la somme du risque opérationnel et du SCR de base calculé précédemment. Le modèle interne fournit ainsi un SCR de 13 818 353€.

Nous pouvons à présent comparer les trois exigences de capital calculées précédemment sous solvabilité I et Solvabilité II (formule standard et modèle interne).

	Solvabilité I	Solvabilité II formule standard	Solvabilité II modèle interne
Exigence en capital à détenir	2 289 702	11 473 773	13 818 353

Les exigences en capital à détenir sous Solvabilité II sont environ cinq fois plus importantes pour la formule standard et six fois pour le modèle interne que les exigences requises sous Solvabilité I.

Il semble, après quelques échanges avec des intervenants du marché, que ce résultat se vérifie dans de nombreux de cas : pour les petites compagnies, ou les portefeuilles de taille réduite, les exigences en capital sous Solvabilité II seraient de 5 à 10 fois plus importantes que la réglementation actuelle. Par ailleurs, pour ces mêmes cas, il est apparu que les modèles internes n'impliquent pas forcément un gain d'exigence par rapport aux formules standards.

IV. Ouverture sur des horizons différents de l'approche du QIS3

Afin d'obtenir des résultats plus réalistes concernant la politique d'investissement en obligations des entreprises, nous allons calculer les exigences de solvabilité en fonction d'un investissement reflétant la durée des engagements de la société.

IV.1. La durée d'investissement

La société peut en effet choisir d'investir son actif dans des obligations ayant des maturités différentes. Celle-ci devra, pour optimiser son résultat, investir son actif dans des obligations ayant même maturité que son engagement face aux bénéficiaires.

Il est donc important dans un premier temps de calculer la durée moyenne des engagements de l'assureur en fonction des garanties et au global.

Toutes garanties confondues, la durée moyenne des engagements est 10.5 années.

Cependant, la disparité de la durée des engagements entre les deux garanties « rente invalidité » et « rente éducation » nous amène à considérer une autre approche.

La durée moyenne de l'engagement de l'assureur selon la garantie est la suivante :

Rentes	Durée moyenne de l'engagement de l'assureur
Rente éducation	6,05
Rente invalidité	20,85

A présent, afin d'obtenir une durée moyenne pour l'ensemble du portefeuille, nous pouvons pondérer ces durées par le poids des provisions mathématiques. Il est justifié de prendre en considération le poids des provisions mathématiques dans le calcul de la durée moyenne des engagements étant donnée que les engagements de l'assureur sont constitués à 78% par les provisions de la garantie « rentes invalidité ».

Rappelons les provisions mathématiques en date 0 des « rentes invalidité » et « rentes éducation » :

Provisions	Montant
Provision "rente éducation"	18 069 937
Provision "rente invalidité"	64 732 371
Provision totale	82 802 308

La durée moyenne des engagements pondérée par les provisions mathématiques est la suivante :

$$\text{durée moyenne des engagements} = \frac{18\,069\,937 \times 6.05 + 64\,732\,371 \times 20.85}{82\,802\,308} = 17.62$$

Nous avons par conséquent décidé de couvrir les engagements de l'assureur par des obligations ayant une maturité de 17 ans.

IV.2. Impact sur les produits financiers de la durée des engagements

Le choix d'un horizon d'investissement des obligations sur une maturité supérieure à une année impactera les produits financiers et par conséquent le résultat. Cependant celui ci n'impactera pas les provisions mathématiques qui reste actualisées avec le même taux technique.

Détaillons à présent les résultats obtenus pour le produit financier.

$$\text{produit financier} = \text{nombre d'obligations} \times (P(1,17) - P(0,17))$$

Le nombre d'obligations est calculé en date 0 de manière à avoir la relation d'équilibre suivante :

$$\text{provision en date 0} = \text{nombre d'obligations} \times P(0,17)$$

Avec :

$P(0,17)$ le prix du Zéro Coupon d'échéance 17 années connu à la date d'évaluation

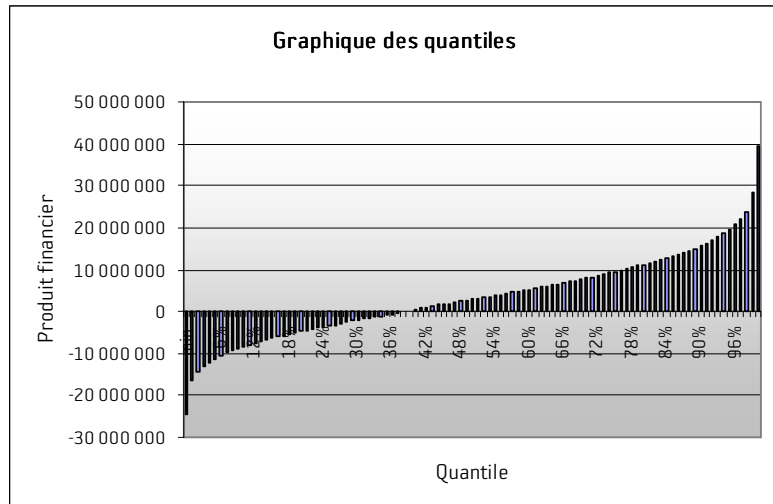
$P(1,17)$ le prix de l'obligation évalué dans un an pour une maturité de 16 ans.

Nous obtenons les résultats suivants :

PM (0)	82 802 308
P(0,17)	0,489861
Nombre d'obligations	169 032 247

Le prix de l'obligation, évalué dans un an, pour une maturité de 17 ans est calculé pour chaque simulation et nous pouvons ainsi obtenir la distribution du produit financier suivante :

Quantile	Produit financier
Min	- 24 407 561
0,50%	- 17 272 187
5%	- 11 578 513
10%	- 8 586 367
20%	- 4 774 465
30%	- 2 011 072
40%	395 325
50%	2 846 848
60%	5 151 366
70%	7 889 650
80%	11 257 867
90%	15 697 641
99,5%	30 767 934
Max	39 468 141



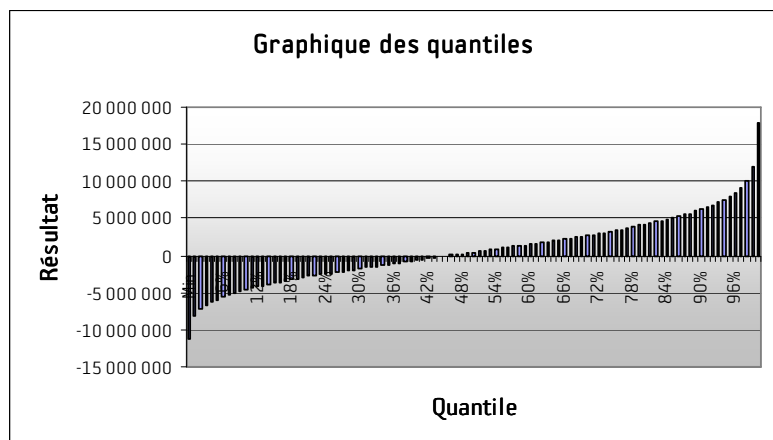
IV.3. Modélisation du résultat

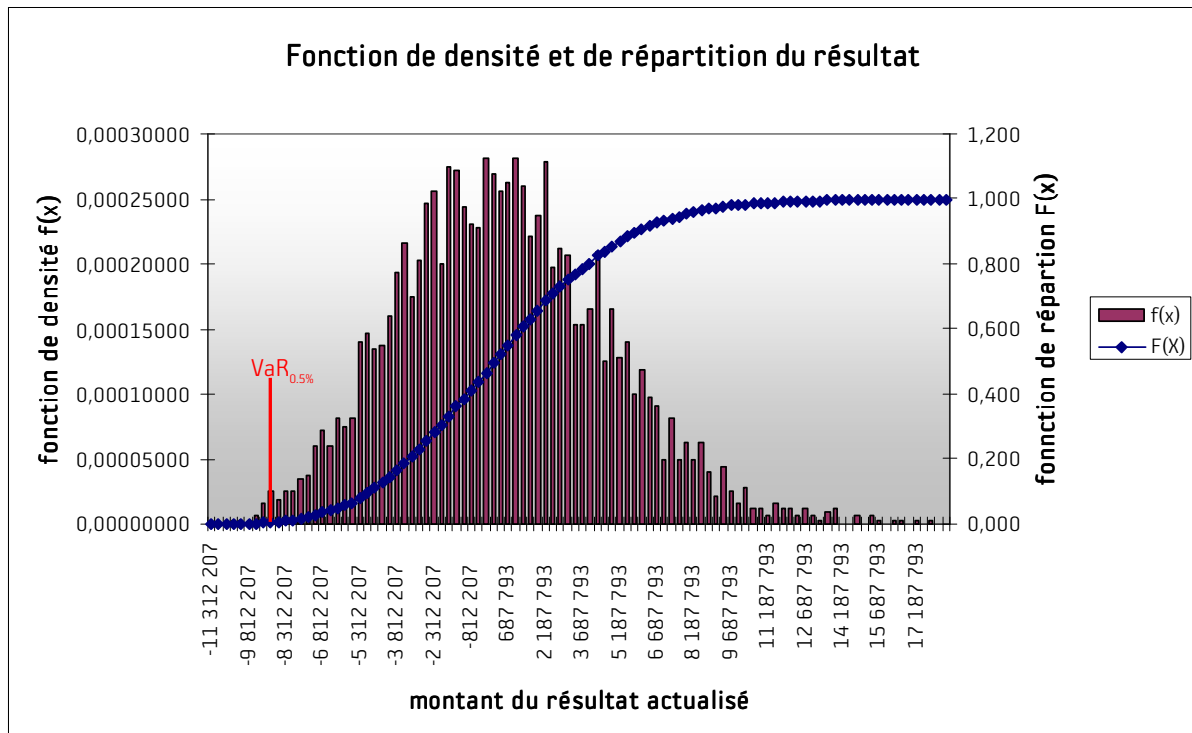
La modélisation du résultat est obtenue suivant le même principe énoncé précédemment dans la partie II.2.2 à partir de la formule :

$$\begin{aligned} \text{Résultat simplifié} = & \text{provision mathématique d'ouverture} \\ & - \text{provision mathématique de clôture} \\ & - \text{prestation versée} \\ & + \text{produit financier} \end{aligned}$$

La distribution du résultat de date 1 actualisé en date 0 est la suivante :

Quantile	Résultat en date 1 actualisé en date 0
Min	- 11 312 207
0,50%	- 8 676 207
5%	- 5 899 550
10%	- 4 665 620
20%	- 3 014 154
30%	- 1 749 526
40%	- 635 406
50%	429 581
60%	1 498 434
70%	2 697 692
80%	4 254 797
90%	6 238 382
99,5%	13 623 060
Max	17 891 158





L'investissement de l'actif dans des obligations de maturité 17 ans permet de diminuer le SCR de base par rapport à un investissement sans risque présenté précédemment.

Le capital nécessaire à détenir pour se couvrir d'une probabilité de ruine à 0.5% est de 8 676 207€.

Il reste à comparer ce capital au capital évalué par la formule standard qui est aussi impacté par une variation de la durée des engagements.

IV.4. SCR évalué à partir de la formule standard

Pour pouvoir comparer le SCR obtenu précédemment par le modèle interne en investissant les obligations sur une maturité de 17 ans à la formule interne il est nécessaire de recalculer la charge de capital pour le risque de marché en fonction des nouvelles hypothèses.

La charge de capital pour le risque de marché est calculée à partir de la variation de la valeur de marché des actifs et des provisions Best Estimate conformément à la méthode utilisée précédemment pour la formule standard.

L'investissement de l'actif dans des obligations de maturité 17 ans n'a pas d'impact sur le calcul des provisions Best Estimate, le taux technique restant le même. Cependant la valeur de marché de l'actif, dépendant du prix et du nombre d'obligations détenu en date 0, est impacté selon les variations à la hausse ou la baisse des cours imposées par le QIS 3.

Taux	Prix de l'obligation	Nombre d'obligation	Valeur de marché de l'actif	Provision Best Estimate	Variation
taux normal	0,489861	169 032 247	82 802 308	82 802 308,0	/
taux choqué à la baisse	0,617899	169 032 247	104 444 847	94 931 545,7	-9 513 302
taux choqué à la hausse	0,371241	169 032 247	62 751 626	70 440 216,0	7 688 590

La charge de capital retenue pour le risque de marché étant le maximum entre la variation suite à une hausse des taux et à une baisse des taux, est de 7 688 590€

Nous pouvons à présent calculer le capital de solvabilité nécessaire pour couvrir une probabilité de ruine à 0.5% :

$$BSCR = \sqrt{\left[\begin{matrix} 7\,688\,590 & 2\,266\,317 \end{matrix} \right] \times \begin{bmatrix} 100\% & 25\% \\ 25\% & 100\% \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7\,688\,590 \\ 2\,266\,317 \end{bmatrix}} = 8\,541\,985$$

L'investissement de l'actif dans des obligations de maturité 17 ans permet de baisser considérablement la détention de capital de solvabilité.

Le SCR obtenu par la formule standard reste cependant légèrement inférieur au SCR du modèle interne.

V. Comparaison des SCR selon les différentes méthodes

Le tableau comparatif suivant représente les exigences en capital à détenir sous la réglementation Solvabilité I et Solvabilité II en faisant varier les maturités des obligations entre 1 an et 30 ans.

L'ensemble de ces résultats a été obtenu à partir de 1000 simulations ayant les mêmes courbes de taux d'intérêt.

Les courbes de taux d'intérêt simulées par Cox Ingersoll Ross sont identiques pour l'ensemble des onze cas présenté ci-dessous permettant une meilleure comparaison.

Échéance des investissements	Solvabilité I	Solvabilité II formule standard			Solvabilité II modèle interne
	Exigence minimal de solvabilité	charge de capital pour le risque de marché	charge de capital pour le risque de souscription	SCR par la formule standard	SCR par le modèle interne
1	2 289 702	10 442 087	2 266 617	11 473 773	13 818 357
3	2 289 702	7 646 191	2 266 617	8 749 423	9 892 906
6	2 289 702	4 229 498	2 266 617	5 522 829	4 959 186
9	2 289 702	1 316 813	2 266 617	3 140 448	2 174 049
12	2 289 702	2 781 314	2 266 617	4 251 574	5 009 250
15	2 289 702	6 296 714	2 266 617	7 454 119	7 706 275
17	2 289 702	7 688 606	2 266 617	8 790 408	8 924 613
18	2 289 702	8 284 606	2 266 617	9 367 687	10 046 028
20	2 289 702	9 299 677	2 266 617	10 355 877	10 432 004
25	2 289 702	13 704 147	2 266 617	14 686 974	12 749 813
30	2 289 702	17 618 418	2 266 617	18 565 429	14 641 095

Sous Solvabilité I, l'exigence minimale de solvabilité à détenir est constante quelque soit la maturité des obligations choisie.

On remarquera que la charge de capital pour le risque de marché ainsi que les SCR pour le modèle interne et la formule standard décroît jusqu'à une maturité des obligations de 10 ans et croît par la suite.

Dans la formule standard, la charge de capital pour le risque de marché résulte du maximum entre la charge de capital choquée à la hausse des taux et celle choquée à la baisse des taux suivant la formule suivante :

$$\text{charge de Capital} = (\text{Actif}_{\text{tx normal}} - \text{Best Estimate}_{\text{tx normal}}) - (\text{Actif}_{\text{tx choqué}} - \text{Best Estimate}_{\text{tx choqué}})$$

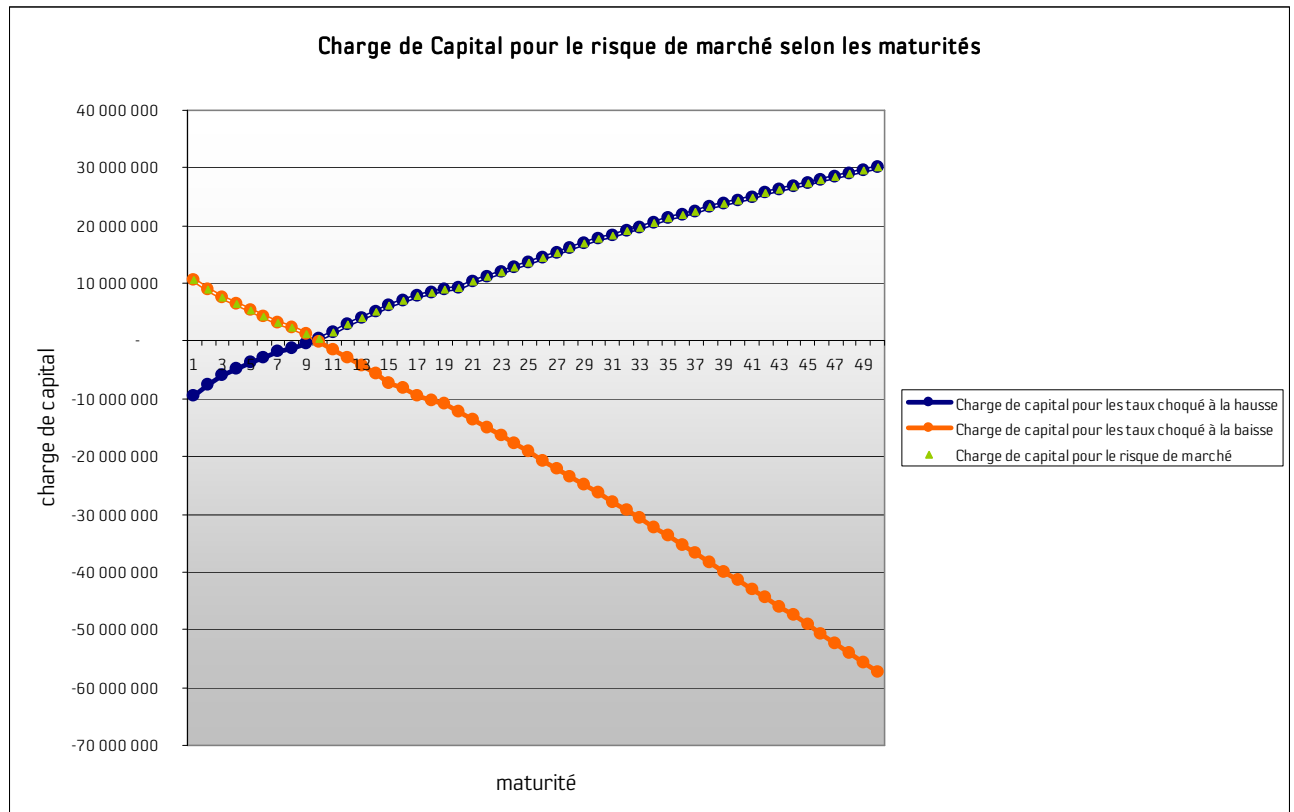
La valeur des actifs fluctue en fonction de la maturité des obligations à contrario de la provision Best Estimate qui n'est pas impacté par la maturité.

Nous obtenons les charges de capital en fonction de la maturité pour les taux choqués à la baisse et à la hausse suivants :

Hausse des taux						
Maturité	Prix du Zéro coupon P(0,1)	Nombre d'obligation	Prix du Zéro coupon choqué à la hausse	Valeur de l'actif	Provision Best Estimate	Charge de capital pour les taux choqué à la hausse
1	0,96085	86 176 502	0,92674	79 862 938	70 440 216	-9 422 722
3	0,88585	93 471 660	0,81704	76 370 218	70 440 218	-5 930 000
6	0,78440	105 561 405	0,69397	73 256 059	70 440 221	-2 815 838
9	0,69360	119 380 840	0,59319	70 815 013	70 440 224	-374 789
12	0,60955	135 842 357	0,49807	67 658 913	70 440 227	2 781 314
15	0,53471	154 853 390	0,41422	64 143 516	70 440 230	6 296 714
17	0,48986	169 032 247	0,37124	62 751 626	70 440 232	7 688 606
18	0,46907	176 525 610	0,35211	62 155 627	70 440 233	8 284 606
20	0,43022	192 465 624	0,31767	61 140 558	70 440 235	9 299 677
25	0,34948	236 929 557	0,23946	56 736 093	70 440 240	13 704 147
30	0,28657	288 942 717	0,18281	52 821 827	70 440 245	17 618 418

Baisse des taux						
Maturité	Prix du Zéro coupon P(0,1)	Nombre d'obligation	Prix du Zéro coupon choqué à la baisse	Valeur de l'actif	Provision Best Estimate	Charge de capital pour les taux choqué à la hausse
1	0,96085	86 176 502	0,98042	84 489 459	94 931 546	10 442 087
3	0,88585	93 471 660	0,93382	87 285 357	94 931 548	7 646 191
6	0,78440	105 561 405	0,85923	90 702 053	94 931 551	4 229 498
9	0,69360	119 380 840	0,78417	93 614 741	94 931 554	1 316 813
12	0,60955	135 842 357	0,71964	97 757 321	94 931 557	-2 825 764
15	0,53471	154 853 390	0,65962	102 144 192	94 931 560	-7 212 632
17	0,48986	169 032 247	0,61790	104 444 847	94 931 562	-9 513 286
18	0,46907	176 525 610	0,59558	105 135 808	94 931 563	-10 204 245
20	0,43022	192 465 624	0,55668	107 140 940	94 931 565	-12 209 375
25	0,34948	236 929 557	0,48186	114 166 536	94 931 570	-19 234 966
30	0,28657	288 942 717	0,41984	121 309 695	94 931 575	-26 378 120

La représentation graphique de la charge de capital retenue pour le risque de marché dans la formule standard est par conséquent la partie positive entre les charges de capital pour les taux choqués à la hausse et à la baisse.



Pour les résultats du modèle interne on constate la même variation du SCR. Celle-ci s'explique par un effet inversé entre le produit financier et la provision Best Estimate sur le résultat.

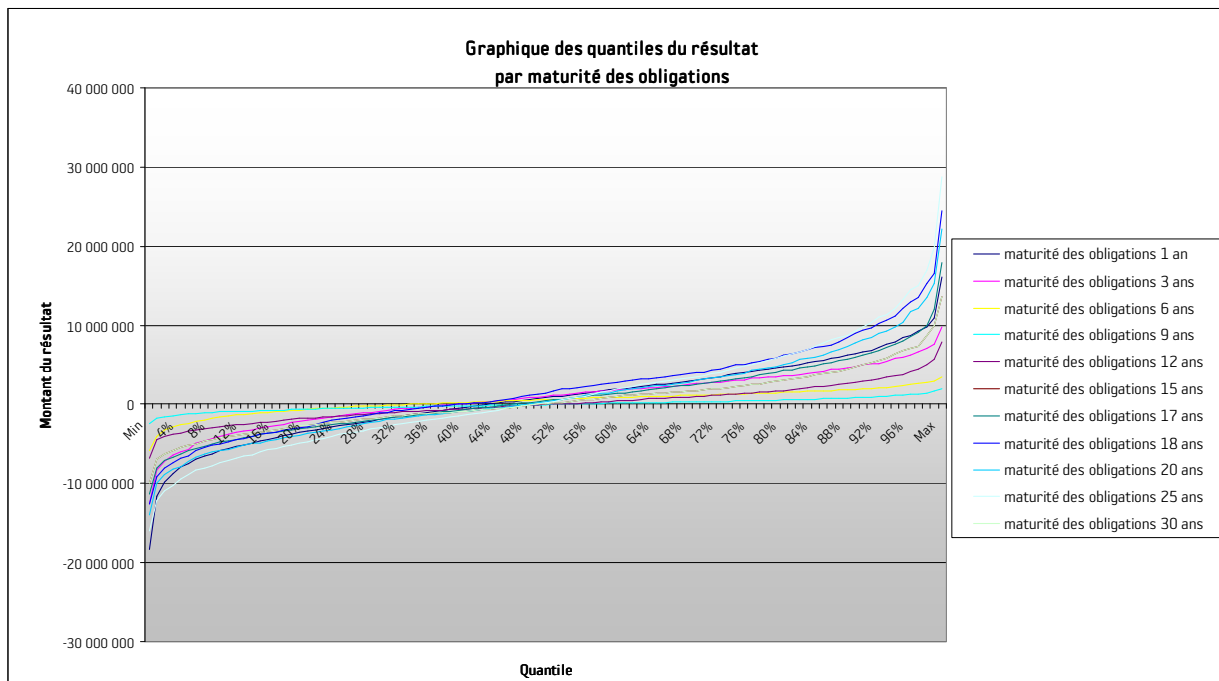
Si la courbe des taux d'intérêt, simulée par le modèle de Cox Ingersoll Ross, est supérieure à la courbe des taux d'intérêt au 31/12/2006 alors :

- la provision Best Estimate en date 1 va diminuer et augmente ainsi le résultat
- les produits financiers vont baisser et diminuer le résultat.

De même, si la courbe des taux d'intérêt simulé est inférieure à la courbe des taux d'intérêt au 31/12/2006 alors :

- la provision Best Estimate en date 1 va augmenter et diminue ainsi le résultat
- les produits financiers vont augmenter et augmente le résultat.

Le graphique ci-dessous montre la disparité des courbes représentant la distribution du résultat selon la durée d'investissement de l'actif.



Selon la durée de l'investissement choisie il est donc possible d'obtenir des exigences en capital de solvabilité à partir d'un modèle interne inférieure à celle calculées par la formule standard, notamment lorsque la maturité des obligations s'allonge. Cette condition, très importante pour favoriser le développement d'un modèle interne par rapport à la formule standard, est donc fortement sensible aux hypothèses utilisées par le modèle.

Conclusion

Les sociétés d'assurances connaissent aujourd'hui une refonte complète de leur système de solvabilité visant principalement à une harmonisation européenne des exigences en capital et une meilleure gestion des risques.

Les exigences en capital, calculées à partir de la formule standard ou d'un modèle interne, seront dans la plupart des cas réévaluées à la hausse par rapport au système Solvabilité I actuellement en vigueur en Europe. Cette augmentation résulte principalement de la prise en compte de l'ensemble des risques auxquels l'assureur doit faire face pour couvrir une probabilité de ruine à 0.5% sur un horizon d'un an.

Malgré cette nécessaire évolution de la réglementation, nous pouvons cependant constater la complexité de la mise en œuvre de la formule standard et notamment pour des petites structures. Elles devront être capables d'identifier l'ensemble des risques auxquels les entreprises sont sujettes dans un premier temps puis de calculer les charges en capital correspondantes. Cela nécessite par conséquent un engagement important de la part des sociétés pour suivre l'évolution de la réglementation afin de se préparer au mieux à la mise en place de la directive en 2010.

Néanmoins l'application de cette directive ne sera pas immédiate (prévue pour 2012) et une période de transition sera à prévoir pour permettre le passage des directives Solvabilité I à Solvabilité II. La commission devra également se positionner quant au déroulement de cette période de transition où différentes hypothèses sont envisageables : double calcul des exigences en capital sous Solvabilité I et Solvabilité II, imposer à toutes les sociétés la formule standard, ou encore laisser aux entreprises la possibilité de calculer les exigences en capital avec leur modèle interne.

Le calibrage de la formule standard, volontairement surestimé par le CEIOPS, devra cependant être ajusté minutieusement d'après les résultats du QIS3 en octobre ainsi que par le QIS4 prévu en décembre 2007 afin de favoriser le développement des modèles internes par les sociétés. En effet, un modèle interne, qui a pour but de traduire le plus fidèlement possible la réalité des risques souscrit de l'entreprise, se doit d'être moins « gourmand » en capital à détenir que la formule standard.

Le cas pratique sur le portefeuille de rentes nous a montré l'évolution du SCR selon les différentes méthodes du calcul des exigences de solvabilité. Dans un premier temps, nous pouvons constater une hausse considérable du capital à détenir qui peut être cinq à dix fois supérieur aux exigences de solvabilité actuelles. Cette hausse peut s'expliquer par la non diversification des risques de l'assureur et va ainsi pénaliser les petites entités. Une société gérant plusieurs risques pourra ainsi diminuer son exigence en capital du fait de la prise en compte des différentes matrices de corrélation qui interviennent dans le calcul de la formule standard.

L'analyse concernant la comparaison de la formule standard et du modèle interne nous a permis de constater que les hypothèses choisies pour développer un modèle interne ainsi que la durée d'investissement des actifs seront décisives pour la détermination des exigences en capital. Selon la politique d'investissement de la société il sera possible d'obtenir des résultats, pour la formule standard, plus avantageux en termes de capital que le modèle interne. Néanmoins notre étude,

construite sur un portefeuille de prévoyance relativement classique et ordinaire, peut être faussée par la simplification des risques envisagés. Ce résultat peut être également expliqué par une mauvaise calibration des paramètres de la formule standard.

Certaines questions concernant le module du risque de marché reste cependant en suspend depuis le QIS2. Les réponses du QIS2 soulevaient notamment une inquiétude quant à la détention d'actions pour les sociétés d'assurances. En effet celles-ci se verraient pénalisées par un coefficient de solvabilité, jugé trop élevé, pour la détermination de la charge de capital pour le risque action. Solvabilité II pénaliserait ainsi l'investissement en actifs « volatiles » tels que les actions du fait de l'horizon à un an. Les actions seront plus rentables que les obligations sur le long terme grâce à un phénomène de retour à la moyenne. En contre partie de ce rendement, la volatilité d'un investissement en actions sera considérablement plus importante qu'un investissement en obligations sur un horizon d'un an. Suite à ces inquiétudes, ce coefficient a été ramené à 32% dans le QIS3 au lieu de 40% précédemment dans le QIS2.

Les réponses du QIS3 à ce sujet sont très attendues étant donné qu'une modification de la répartition d'investissements des sociétés d'assurances pourrait avoir de lourdes conséquences d'un point de vue microéconomique au niveau des compagnies mais aussi macroéconomique au niveau des pays.

Du point de vue microéconomique, les portefeuilles d'investissement des assureurs se tourneraient davantage vers des instruments de taux, moins volatiles que les actions, et seraient donc moins diversifiés. Ceci permettrait notamment aux assureurs de diminuer la charge de capital pour le risque action et par conséquent de diminuer leurs exigences en capital nécessaire à détenir pour couvrir une probabilité de ruine à 0.5% sur un horizon d'un an.

Néanmoins, une non diversification du portefeuille signifierait une gestion non optimale pour le couple « rendement/risque » et impacterait significativement la position des assurés. En effet, pour pallier une baisse des rendements des actifs, l'assureur se verrait contraint de réajuster les garanties proposées à ses clients en baissant, par exemple, le taux minimum garanti pour les contrats d'épargne en euros. Cette optique reste cependant contraire à l'objectif de la réforme de solvabilité visant à mieux protéger les assurés. L'offre des assureurs pourrait ainsi être orientée vers des produits en unités de compte où le consommateur supporterait la totalité du risque.

L'impact macroéconomique est difficile à prévoir. A ce jour, les compagnies d'assurances investissent généralement entre 5 et 20 % de leurs actifs en actions. Une baisse de l'investissement en actions de la part des assureurs entraînerait les grands groupes industriels à trouver de nouveaux actionnaires et pourrait voir leur capital détenu majoritairement par des acteurs non européens. Inversement, le manque d'actionnaires pour palier aux désinvestissements des assureurs obligerait les entreprises à restreindre leurs projets ce qui impliquerait un ralentissement de la croissance aux niveaux national et européen.

Les assureurs attendent des réponses concrètes à ce problème et espèrent une réelle prise en compte de ce sujet au niveau de la commission européenne et des parlementaires.

Par ailleurs, les études quantitatives vont se poursuivre dans les mois à venir avec le QIS4 prévu en décembre 2007 afin d'affiner le calibrage de la formule standard en testant diverses simplifications sur le calcul du SCR.

Annexe

- **Annexe 1** : Les tables de mortalités pour la garantie « rente invalidité »
- **Annexe 2** : Les tables de mortalités pour la garantie « rente éducation »
- **Annexe 3** : Courbe des taux d'intérêt au 31/12/2006
- **Annexe 4** : Copies d'écran du classeur Excel fourni par le CEIOPS pour calculer les exigences de solvabilité par la formule standard
- **Annexe 5** : Historique des taux EURIBOR 1 mois et méthode de calcul de la volatilité
- **Annexe 6** : La table des $\alpha_{x,t}$
- **Annexe 7** : La table des $\sigma_{x,t}$

- **Annexe 1** : Les tables de mortalités pour la garantie « rente invalidité »

La mortalité de la garantie « rente invalidité » est calculée à partir de la Table Prospective par Génération (TPG) pour un âge de l'assuré inférieur à 18 ans et supérieur à 60 ans.

Pour les âges compris entre 18 et 60 ans la table utilisée est la table du BCAC

Pour la TPG, on trouve le nombre de survivants, l_x , sur 100 000 personnes en fonction de l'année de naissance de l'assuré et de son âge.

Pour la table du BCAC, on trouve le nombre de survivants, l_x , sur 10 000 personnes en fonction de l'âge de l'assuré et de la durée en invalidité de celui-ci.

La probabilité pour qu'une tête d'âge x décède dans l'année est ainsi obtenue à partir de la formule

suivante : $q_x = \frac{l_{x+1}}{l_x}$

La Table Prospective par Génération (TPG) :

Année de naissance Âge	1900	1901	1902	1903	1904	1905	...	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	...	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
1	81 203	81 814	82 411	82 991	83 556	84 106	...	99 299	99 327	99 353	99 379	99 403	99 427	99 450	99 471
2	75 349	76 121	76 875	77 612	78 330	79 032	...	99 043	99 080	99 116	99 151	99 185	99 217	99 248	99 277
3	73 920	74 739	75 539	76 320	77 083	77 827	...	99 000	99 039	99 077	99 114	99 149	99 183	99 215	99 246
4	73 146	73 986	74 807	75 610	76 393	77 157	...	98 965	99 006	99 045	99 083	99 119	99 154	99 187	99 220
5	72 119	73 569	74 400	75 212	76 005	76 778	...	98 937	98 978	99 019	99 057	99 094	99 130	99 164	99 197
6	72 619	73 470	74 302	75 116	75 909	76 684	...	98 918	98 961	99 001	99 040	99 078	99 114	99 148	99 182
7	72 531	73 383	74 216	75 031	75 826	76 601	...	98 901	98 943	98 984	99 024	99 062	99 098	99 133	99 167
8	72 454	73 307	74 141	74 956	75 751	76 528	...	98 884	98 927	98 968	99 008	99 046	99 083	99 118	99 152
9	72 385	73 239	74 074	74 889	75 686	76 463	...	98 868	98 911	98 953	98 993	99 031	99 068	99 104	99 138
10	72 325	73 180	74 015	74 831	75 628	76 405	...	98 852	98 896	98 938	98 978	99 017	99 054	99 090	99 124
11	72 284	73 137	73 974	74 791	75 588	76 366	...	98 841	98 885	98 927	98 968	99 007	99 044	99 080	99 115
12	72 241	73 096	73 933	74 750	75 547	76 326	...	98 829	98 873	98 915	98 956	98 995	99 033	99 069	99 104
13	72 199	73 054	73 892	74 708	75 506	76 285	...	98 815	98 859	98 901	98 942	98 982	99 020	99 056	99 091
14	72 157	73 012	73 849	74 666	75 464	76 243	...	98 798	98 842	98 885	98 926	98 966	99 004	99 041	99 076
15	72 113	72 968	73 806	74 623	75 421	76 200	...	98 779	98 823	98 866	98 908	98 948	98 986	99 023	99 058
16	72 073	72 928	73 766	74 583	75 381	76 159	...	98 756	98 801	98 844	98 886	98 926	98 964	99 001	99 037
17	72 030	72 885	73 722	74 539	75 337	76 115	...	98 729	98 774	98 818	98 860	98 900	98 939	98 976	99 012
18	71 983	72 838	73 675	74 492	75 289	76 068	...	98 698	98 743	98 787	98 829	98 870	98 909	98 946	98 983
-
60	62 396	63 291	64 171	65 035	65 887	66 727	...	95 480	95 576	95 671	95 763	95 852	95 940	96 025	96 108
61	61 764	62 663	63 547	64 415	65 271	66 116	...	95 309	95 409	95 506	95 601	95 694	95 784	95 873	95 959
62	61 092	61 994	62 883	63 756	64 617	65 467	...	95 137	95 240	95 341	95 440	95 535	95 629	95 720	95 809
63	60 377	61 285	62 179	63 057	63 924	64 779	...	94 965	95 072	95 176	95 278	95 377	95 474	95 568	95 661
64	59 621	60 533	61 432	62 317	63 190	64 051	...	94 784	94 895	95 003	95 108	95 211	95 311	95 409	95 504
65	58 820	59 738	60 643	61 533	62 413	63 281	...	94 594	94 709	94 820	94 930	95 036	95 140	95 242	95 341
66	57 975	58 898	59 809	60 706	61 592	62 466	...	94 395	94 513	94 629	94 743	94 853	94 961	95 066	95 169
67	57 082	58 012	58 929	59 832	60 725	61 607	...	94 185	94 309	94 429	94 546	94 661	94 773	94 882	94 989
68	56 143	57 078	58 002	58 911	59 811	60 701	...	93 966	94 094	94 219	94 341	94 460	94 576	94 689	94 800
69	55 143	56 084	57 013	57 929	58 836	59 732	...	93 716	93 849	93 979	94 106	94 230	94 351	94 469	94 584
70	54 080	55 025	55 960	56 882	57 794	58 697	...	93 431	93 569	93 705	93 837	93 967	94 093	94 216	94 337
71	52 950	53 899	54 838	55 764	56 682	57 590	...	93 105	93 250	93 391	93 530	93 665	93 797	93 926	94 052
72	51 749	52 701	53 643	54 573	55 495	56 408	...	92 732	92 884	93 032	93 177	93 319	93 458	93 593	93 726
73	50 473	51 426	52 370	53 303	54 228	55 145	...	92 305	92 465	92 621	92 774	92 923	93 068	93 211	93 350
74	49 092	50 045	50 990	51 924	52 852	53 771	...	91 810	91 978	92 143	92 303	92 461	92 614	92 765	92 912
75	47 601	48 552	49 495	50 430	51 358	52 279	...	91 235	91 412	91 586	91 756	91 923	92 085	92 245	92 400
76	45 992	46 939	47 880	48 812	49 739	50 660	...	90 566	90 754	90 938	91 119	91 295	91 468	91 637	91 803
77	44 261	45 202	46 138	47 066	47 989	48 907	...	89 788	89 988	90 184	90 376	90 564	90 748	90 929	91 105
78	42 403	43 336	44 264	45 185	46 103	47 016	...	88 885	89 098	89 307	89 512	89 712	89 909	90 102	90 290
79	40 418	41 339	42 256	43 168	44 077	44 983	...	87 852	88 080	88 303	88 522	88 737	88 947	89 154	89 356
80	38 305	39 211	40 114	41 013	41 911	42 806	...	86 674	86 917	87 156	87 390	87 620	87 846	88 067	88 285
81	36 067	36 954	37 840	38 723	39 605	40 486	...	85 330	85 590	85 846	86 098	86 344	86 587	86 825	87 058
82	33 710	34 574	35 438	36 300	37 164	38 027	...	83 799	84 078	84 353	84 623	84 888	85 148	85 404	85 656
83	31 244	32 080	32 918	33 755	34 595	35 435	...	82 059	82 358	82 653	82 942	83 227	83 507	83 783	84 054
84	28 718	29 522	30 329	31 137	31 948	32 762	...	80 119	80 440	80 755	81 066	81 372	81 673	81 969	82 261
85	26 151	26 919	27 690	28 464	29 242	30 024	...	77 962	78 305	78 642	78 975	79 303	79 626	79 944	80 258
-

- **Annexe 2** : La table de mortalités pour la garantie « rente éducation »

Age	qx
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0,05
19	0,04
20	0,09
21	0,0699947
22	0,1100113
23	0,1599895
24	0,1700114
>25	1

- Annexe 3 : Courbe des taux d'intérêt au 31/12/2006

Maturité t (années)	Courbe des taux d'intérêt au 31/12/2006	Variation relative à la hausse	Courbe des taux d'intérêt choqué à la hausse	Variation relative à la baisse	Courbe des taux d'intérêt choqué à la hausse
1	4,0750%	0,94	7,906%	-0,51	1,997%
2	4,1223%	0,77	7,296%	-0,47	2,185%
3	4,1228%	0,69	6,968%	-0,44	2,309%
4	4,1225%	0,62	6,678%	-0,42	2,391%
5	4,1241%	0,56	6,434%	-0,40	2,474%
6	4,1303%	0,52	6,278%	-0,38	2,561%
7	4,1431%	0,49	6,173%	-0,37	2,610%
8	4,1289%	0,46	6,028%	-0,35	2,684%
9	4,1489%	0,44	5,974%	-0,34	2,738%
10	4,1704%	0,42	5,922%	-0,34	2,752%
11	4,1921%	0,42	5,953%	-0,34	2,767%
12	4,2116%	0,42	5,980%	-0,34	2,780%
13	4,2301%	0,42	6,007%	-0,34	2,792%
14	4,2467%	0,42	6,030%	-0,34	2,803%
15	4,2618%	0,42	6,052%	-0,34	2,813%
16	4,2758%	0,41	6,029%	-0,33	2,865%
17	4,2872%	0,40	6,002%	-0,33	2,872%
18	4,2953%	0,39	5,970%	-0,32	2,921%
19	4,3028%	0,38	5,938%	-0,31	2,969%
20	4,3075%	0,37	5,901%	-0,31	2,972%
21	4,3092%	0,37	5,904%	-0,31	2,973%
22	4,3088%	0,37	5,903%	-0,31	2,973%
23	4,3075%	0,37	5,901%	-0,31	2,972%
24	4,3029%	0,37	5,895%	-0,31	2,969%
25	4,2949%	0,37	5,884%	-0,31	2,963%
26	4,2883%	0,37	5,875%	-0,31	2,959%
27	4,2803%	0,37	5,864%	-0,31	2,953%
28	4,2723%	0,37	5,853%	-0,31	2,948%
29	4,2643%	0,37	5,842%	-0,31	2,942%
30	4,2539%	0,37	5,828%	-0,31	2,935%
31	4,2434%	0,37	5,813%	-0,31	2,928%
32	4,2339%	0,37	5,800%	-0,31	2,921%
33	4,2254%	0,37	5,789%	-0,31	2,916%
34	4,2179%	0,37	5,779%	-0,31	2,910%
35	4,2111%	0,37	5,769%	-0,31	2,906%
36	4,2038%	0,37	5,759%	-0,31	2,901%
37	4,1953%	0,37	5,748%	-0,31	2,895%
38	4,1856%	0,37	5,734%	-0,31	2,888%
39	4,1748%	0,37	5,719%	-0,31	2,881%
40	4,1630%	0,37	5,703%	-0,31	2,872%
41	4,1511%	0,37	5,687%	-0,31	2,864%
42	4,1397%	0,37	5,671%	-0,31	2,856%
43	4,1289%	0,37	5,657%	-0,31	2,849%
44	4,1184%	0,37	5,642%	-0,31	2,842%
45	4,1084%	0,37	5,629%	-0,31	2,835%
46	4,0987%	0,37	5,615%	-0,31	2,828%
47	4,0893%	0,37	5,602%	-0,31	2,822%
48	4,0804%	0,37	5,590%	-0,31	2,815%
49	4,0718%	0,37	5,578%	-0,31	2,810%
50	4,0634%	0,37	5,567%	-0,31	2,804%

- **Annexe 4** : Copies d'écran du classeur Excel fourni par le CEIOPS pour calculer les exigences de solvabilité par la formule standard

Module de risque de souscription vie :

<Nom de l'organisme non renseigné> - [solo] Millions d'euros 2006 data

CEIOPS QIS3 - 20070604 risk_L Souscription vie

SCRlife calculation		Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	rais de gestio	Révision	CAT	SCRlife
		I.3.139 .. 141	I.3.147 .. 149	I.3.155 .. 157	I.3.161 .. 163	I.3.167 .. 169	I.3.173	I.3.182 .. 184	
I.3.132	ΔNAV post scenario	01	2 266 617					0	2 266 617
	correlation avec Mortalité		100%	0%	50%	0%	25%	0%	0%
	correlation avec Longévité		0%	100%	0%	25%	25%	0%	0%
	correlation avec Invalidité		50%	0%	100%	0%	50%	0%	0%
	correlation avec Rachat		0%	25%	0%	100%	50%	0%	0%
	correlation avec Frais de gestion		25%	25%	50%	50%	100%	25%	0%
	correlation avec Révision		0%	25%	0%	0%	25%	100%	0%
	correlation avec CAT		0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	ΔNAV with risk mitigation	02							KClife
I.3.133	Modulation des PB futures (KC)	03	0	0	0	0	0	0	0
Détail du risque CAT		Entrée							
TP	Provisions nettes	04							
SA	Cap. garanti Inva	05							
AB	Prestations annuelles (invalidité)	06							
	Facteur annuité	07							
	Capitaux sous risque	08	0						
	Facteur	09	0,15%						
I.3.180	Risq CAT mort + inva	10	0						
I.3.177	Exposition rachats UC	11							
	Facteur	12	75,0%						
I.3.181	Risque CAT rachat	13	0						

Module du risque de marché :

<Nom de l'organisme non renseigné> - [solo] Millions d'euros 2006 data

CEIOPS QIS3 - 20070604 risk_M Risque de marché

Calcul du SCRmkt		MKTint	MKTeq	MKTprop	MKTsp	MKTconc	MKTfx	SCRmkt	
I.3.30	Sub risk value	01	10 442 087	0	0	0	0	10 442 087	
	correlation avec MKTint		100%	0%	50%	25%	0%	25%	
	correlation avec MKTeq		0%	100%	75%	25%	0%	25%	
	correlation avec MKTprop		50%	75%	100%	25%	0%	25%	
	correlation avec MKTsp		25%	25%	25%	100%	0%	25%	
	correlation avec MKTconc		0%	0%	0%	100%	0%	0%	
	correlation avec MKTfx		25%	25%	25%	25%	100%	0%	
I.3.31	Modulation des PB futures (KC)	03	0	0	0	0	0	0	
								NAV	
								0	
Risque de taux		Hausse taux	Baisse taux	Ensemble					
I.3.37	ΔNAV post scenario	04	-9 422 722	10 442 087	10 442 087				
I.3.38	ΔNAV with risk mitigation	05			0				
Risque actions		Index global	Autre	Aggrégation					
I.3.56	Max(ΔNAV post scenario;0)	06			0	I.3.66 Please provide data on the structure of your liabilities			
	correlation avec Index global		100%	75%		I.3.75 Approche risque actions alternative (optionnel)			
	correlation avec Autre		75%	100%		Max(ΔNAV post scenario;0) 0			
I.3.57	Max(ΔNAV with risk mitigation;0)	08			0	Modulation des PB futures (FPS) 0			
Risque immobilier		Baisse							
I.3.62	ΔNAV post scenario	09				I.3.79 Approche risque immobilier alternative (optionnel)			
I.3.63	ΔNAV with risk mitigation	10				Max(ΔNAV post scenario;0) 0			
						Modulation des PB futures (FPS) 0			
Risque de change		Hausse	Baisse	Ensemble					
I.3.85	ΔNAV post scenario	11			0				
I.3.86	ΔNAV with risk mitigation	12			0				
risque de spread		ΣMV _t Dur _t	Net de modulation des PB	F(Notation)	Résultat	Net de modulation des PB			
I.3.97	Résultat d'ensemble	13			0	0	I.3.98		
I.3.95	I - Extremely strong	14		0,25%	0,0	0,0			
	II - Very strong	15		0,25%	0,0	0,0			
	III - Strong	16		1,03%	0,0	0,0			
	IV - Adequate	17		1,25%	0,0	0,0			
	V - Speculative	18		3,39%	0,0	0,0			
	VI - Very speculative	19		5,60%	0,0	0,0			
	VII - Extremely speculative	20		11,20%	0,0	0,0			
	VIII - non noté	21		2,00%	0,0	0,0			
I.3.113	Risque de concentration	22	0	Helper tab "V.B.1 Concentration risk" can be used to calculate the concentration result					

Calcul du SCR :

<Nom de l'organisme non renseigné> - [solo]

Millions d'euros

2006 data

CEIOPS QIS3 - 20070604

30

Synthèse SCR

		Risque de marché	Risque de défaut	Risque de souscription			Aggregation I.3.26	BSCR I.3.26	SCRop	SCR I.3.15
				Vie	Santé	Non-Vie				
Basic SCR and SCR calculation	01	10 442 087	0	2 266 617	0	0	11 225 366	11 225 366	248 407	11 473 773
correlation avec SCRmkt	03	100%	25%	25%	25%	25%		Part. bénéf futures		
correlation avec SCRdef		25%	100%	25%	25%	50%				
correlation avec SCRlife		25%	25%	100%	25%	0%				
correlation avec SCRhealth		25%	25%	25%	100%	0%				
correlation avec SCRnl		25%	50%	0%	0%	100%				
Modulation des PB futures (KC)	05	0		0	0	0	0			
I.4.4 Résultats modèle interne	06									

Risks details		Modèle QIS3		Modèle interne
		Risque	Atténuation	
Risque de marché	10	10 442 087	0	0
Taux d'intérêt	11	10 442 087	0	
Actions	12	0	0	
Immobilier	13	0	0	
spread	14	0	0	
concentration	15	0	0	
change	16	0	0	
Risque de défaut	17	0		0
Souscription vie	18	2 266 617	0	0
mortalité	19	2 266 617	0	
longévité	20	0	0	
Invalité	21	0	0	
rachat	22	0	0	
frais de gestion	23	0	0	
révision	24	0	0	
CAT	25	0	0	
Souscription santé	26	0	0	0
frais de gestion	27	0	0	
sinistres	28	0	0	
accumulation	29	0	0	
Souscription non-vie	30	0		0
Tarifcation et provisions	31	0		
CAT	32	0		
Risque opérationnel	33	248 407		0

Couverture du SCR		
SCR éligible	SCR surplus	SCR ratio
0	-11 473 773	0,0%

Informations optionnelles	
SCR hors actifs libres	
SCR avec risque SCRmkt alternatif	

Annexe 5: Historique des taux EURIBOR 1 mois et méthode de calcul de la volatilité

Date	taux EURIBOR 3 mois	Date	taux EURIBOR 3 mois	Date	taux EURIBOR 3 mois	Date	taux EURIBOR 3 mois	Date	taux EURIBOR 3 mois
12/29/06	3,725	10/17/06	3,503	08/07/06	3,204	05/26/06	2,913	03/13/06	2,701
12/28/06	3,723	10/16/06	3,502	08/04/06	3,201	05/25/06	2,91	03/10/06	2,698
12/27/06	3,722	10/13/06	3,499	08/03/06	3,185	05/24/06	2,905	03/09/06	2,695
12/22/06	3,716	10/12/06	3,494	08/02/06	3,178	05/23/06	2,904	03/08/06	2,694
12/21/06	3,714	10/11/06	3,487	08/01/06	3,17	05/22/06	2,901	03/07/06	2,692
12/20/06	3,707	10/10/06	3,479	07/31/06	3,161	05/19/06	2,896	03/06/06	2,688
12/19/06	3,704	10/09/06	3,47	07/28/06	3,149	05/18/06	2,893	03/03/06	2,684
12/18/06	3,699	10/06/06	3,464	07/27/06	3,146	05/17/06	2,884	03/02/06	2,674
12/15/06	3,686	10/05/06	3,464	07/26/06	3,141	05/16/06	2,883	03/01/06	2,666
12/14/06	3,679	10/04/06	3,453	07/25/06	3,134	05/15/06	2,884	02/28/06	2,664
12/13/06	3,674	10/03/06	3,435	07/24/06	3,126	05/12/06	2,885	02/27/06	2,657
12/12/06	3,674	10/02/06	3,424	07/21/06	3,124	05/11/06	2,879	02/24/06	2,644
12/11/06	3,673	09/29/06	3,417	07/20/06	3,117	05/10/06	2,877	02/23/06	2,628
12/08/06	3,669	09/28/06	3,413	07/19/06	3,114	05/09/06	2,872	02/22/06	2,616
12/07/06	3,662	09/27/06	3,376	07/18/06	3,104	05/08/06	2,866	02/21/06	2,612
12/06/06	3,653	09/26/06	3,368	07/17/06	3,1	05/05/06	2,859	02/20/06	2,609
12/05/06	3,643	09/25/06	3,374	07/14/06	3,092	05/04/06	2,855	02/17/06	2,608
12/04/06	3,639	09/22/06	3,376	07/13/06	3,09	05/03/06	2,865	02/16/06	2,604
12/01/06	3,638	09/21/06	3,372	07/12/06	3,083	05/02/06	2,86	02/15/06	2,597
11/30/06	3,636	09/20/06	3,352	07/11/06	3,079	04/28/06	2,852	02/14/06	2,596
11/29/06	3,627	09/19/06	3,349	07/10/06	3,079	04/27/06	2,832	02/13/06	2,594
11/28/06	3,626	09/18/06	3,34	07/07/06	3,075	04/26/06	2,824	02/10/06	2,592
11/27/06	3,625	09/15/06	3,335	07/06/06	3,062	04/25/06	2,79	02/09/06	2,585
11/24/06	3,624	09/14/06	3,333	07/05/06	3,06	04/24/06	2,783	02/08/06	2,575
11/23/06	3,618	09/13/06	3,321	07/04/06	3,055	04/21/06	2,779	02/07/06	2,569
11/22/06	3,613	09/12/06	3,315	07/03/06	3,055	04/20/06	2,776	02/06/06	2,57
11/21/06	3,604	09/11/06	3,305	06/30/06	3,056	04/19/06	2,77	02/03/06	2,57
11/20/06	3,603	09/08/06	3,301	06/29/06	3,063	04/18/06	2,769	02/02/06	2,563
11/17/06	3,604	09/07/06	3,294	06/28/06	3,061	04/13/06	2,765	02/01/06	2,554
11/16/06	3,598	09/06/06	3,289	06/27/06	3,041	04/12/06	2,764	01/31/06	2,547
11/15/06	3,595	09/05/06	3,275	06/26/06	3,001	04/11/06	2,762	01/30/06	2,542
11/14/06	3,593	09/04/06	3,271	06/23/06	2,997	04/10/06	2,763	01/27/06	2,536
11/13/06	3,587	09/01/06	3,267	06/22/06	2,993	04/07/06	2,764	01/26/06	2,534
11/10/06	3,585	08/31/06	3,264	06/21/06	2,985	04/06/06	2,831	01/25/06	2,533
11/09/06	3,584	08/30/06	3,256	06/20/06	2,976	04/05/06	2,824	01/24/06	2,527
11/08/06	3,577	08/29/06	3,257	06/19/06	2,973	04/04/06	2,822	01/23/06	2,524
11/07/06	3,575	08/28/06	3,254	06/16/06	2,966	04/03/06	2,818	01/20/06	2,52
11/06/06	3,569	08/25/06	3,255	06/15/06	2,963	03/31/06	2,816	01/19/06	2,516
11/03/06	3,566	08/24/06	3,254	06/14/06	2,961	03/30/06	2,814	01/18/06	2,505
11/02/06	3,566	08/23/06	3,253	06/13/06	2,959	03/29/06	2,797	01/17/06	2,508
11/01/06	3,563	08/22/06	3,249	06/12/06	2,953	03/28/06	2,772	01/16/06	2,508
10/31/06	3,564	08/21/06	3,244	06/09/06	2,953	03/27/06	2,745	01/13/06	2,507
10/30/06	3,561	08/18/06	3,236	06/08/06	2,99	03/24/06	2,741	01/12/06	2,514
10/27/06	3,554	08/17/06	3,234	06/07/06	2,974	03/23/06	2,739	01/11/06	2,502
10/26/06	3,548	08/16/06	3,227	06/06/06	2,969	03/22/06	2,737	01/10/06	2,495
10/25/06	3,538	08/15/06	3,22	06/05/06	2,957	03/21/06	2,728	01/09/06	2,492
10/24/06	3,528	08/14/06	3,219	06/02/06	2,95	03/20/06	2,723	01/06/06	2,491
10/23/06	3,526	08/11/06	3,217	06/01/06	2,944	03/17/06	2,705	01/05/06	2,49
10/20/06	3,521	08/10/06	3,215	05/31/06	2,926	03/16/06	2,704	01/04/06	2,489
10/19/06	3,519	08/09/06	3,21	05/30/06	2,922	03/15/06	2,703	01/03/06	2,489

Méthode de calcul pour obtenir une volatilité de 4.861% :

N	=nombre(Sj)	254
m	=moyenne(L)	-0,001642
m'	=somme(L')	0,002299
d	=m'/(N-1)	0,000009
variance	=d*260	0,002363
volatilité	=variance^0.5	4,861%

Sj	Rj	L	L'
	= Sj / Sj-1	= ln (Rj)	= (L - m) ²
3,633			
3,634	1,0003	0,000275	0,000004
3,672	1,0105	0,010403	0,000145
3,671	0,9997	-0,000272	0,000002
3,665	0,9984	-0,001636	0,000000
3,663	0,9995	-0,000546	0,000001
3,663	1,0000		0,000003
3,657	0,9984	-0,001639	0,000000
3,655	0,9995	-0,000547	0,000001
3,654	0,9997	-0,000274	0,000002
3,653	0,9997	-0,000274	0,000002
3,653	1,0000		0,000003
3,65	0,9992	-0,000822	0,000001
3,634	0,9956	-0,004393	0,000008
3,625	0,9975	-0,002480	0,000001
...
2,387	1,0008	0,000838	0,000006
2,386	0,9996	-0,000419	0,000001
2,385	0,9996	-0,000419	0,000001
2,386	1,0004	0,000419	0,000004
2,387	1,0004	0,000419	0,000004
2,389	1,0008	0,000838	0,000006
2,396	1,0029	0,002926	0,000021
2,391	0,9979	-0,002089	0,000000
2,386	0,9979	-0,002093	0,000000
2,389	1,0013	0,001257	0,000008
2,387	0,9992	-0,000838	0,000001
2,39	1,0013	0,001256	0,000008
2,393	1,0013	0,001254	0,000008
2,398	1,0021	0,002087	0,000014

• **Annexe 6** : La table des $\alpha_{x,t}$

âge de l'assuré	Durée de l'invalidité								
	0	1	2	3	4	5	6	7	> 7
<18	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
18	7,4703	6,5637	8,5979	8,4268	4,0559	3,2906	2,5606	1,8173	1,0000
19	6,6131	5,8101	7,6201	7,4717	3,5852	2,9050	2,2554	1,6365	1,0000
20	6,4257	5,6450	7,4124	7,2709	3,4787	2,8151	2,1808	1,5758	1,0000
21	6,5428	4,5921	6,0366	5,9236	2,8262	2,2843	1,7658	1,2707	1,0000
22	6,6598	4,6740	7,2739	7,1404	3,3976	2,7429	2,1159	1,5166	1,0000
23	6,7769	4,7558	7,4089	7,1022	3,3706	2,7181	2,0925	1,4940	1,0000
24	6,8940	4,8377	7,5438	7,2340	4,7341	3,8133	2,9299	2,0838	1,0000
25	7,0110	4,9195	7,6786	7,3657	4,8087	4,0542	3,1090	2,2029	1,0000
26	7,1281	5,0179	7,8134	7,4973	4,8834	4,1128	5,4032	3,8145	1,0000
27	7,2452	5,0808	7,9116	7,6289	4,9580	4,1715	5,4703	3,2243	1,0000
28	7,3622	5,1517	8,0880	7,7248	5,0326	4,2301	5,5374	3,2524	1,0000
29	7,4793	5,2357	8,2467	7,8971	5,2130	4,2888	5,6045	3,2805	1,0000
30	7,5964	5,3224	8,3769	8,0520	5,1665	4,4859	5,6716	3,3086	1,0000
31	7,7135	5,3996	8,5000	8,1787	5,1712	4,3859	6,0240	3,3367	1,0000
32	7,8305	5,4772	8,6442	8,2999	5,2595	4,3530	5,7643	3,6437	1,0000
33	6,8170	5,5708	8,7878	8,4405	5,3655	4,4295	5,6427	3,3524	1,0000
34	8,2642	6,5939	8,8965	8,5804	5,4104	4,5293	5,7468	3,1960	1,0000
35	9,4463	5,0307	8,0192	8,6863	5,4579	4,5490	5,8985	3,2602	1,0000
36	9,3498	5,0447	8,2783	9,2738	5,6077	4,5721	5,8854	3,3711	1,0000
37	9,8935	5,3819	7,9614	11,1804	6,8091	4,7291	5,8793	3,3208	1,0000
38	9,5857	5,3124	7,2889	11,4593	4,9007	5,5145	6,1491	3,2773	1,0000
39	10,2055	5,1793	6,6021	8,7792	5,4880	7,1321	6,8306	3,5036	1,0000
40	9,0809	5,3587	7,3333	9,4329	5,0552	6,4684	4,6020	3,9090	1,0000
41	9,5117	6,0038	7,5252	8,4697	5,0702	5,2284	4,1868	4,8796	1,0000
42	10,6103	6,3273	8,1758	8,4325	5,6447	4,0926	3,9060	2,8374	1,0000
43	11,6561	6,1163	8,5395	8,7289	6,9820	3,7980	2,9302	2,6681	1,0000
44	10,1699	6,3206	8,3849	10,4360	7,1440	3,6849	3,6529	3,6756	1,0000
45	9,4652	6,9934	7,4072	9,8049	7,5437	3,4060	2,7204	1,9149	1,0000
46	8,9087	8,7803	7,4572	9,3212	6,7128	3,3638	2,4658	1,6910	1,0000
47	9,7437	9,2988	7,0381	8,7776	5,9405	3,1184	2,3102	1,7359	1,0000
48	9,7792	8,8737	6,8908	8,6820	5,4618	3,1370	2,4989	1,6015	1,0000
49	9,5873	8,6702	7,1455	8,7188	6,0750	2,7354	2,3499	1,8658	1,0000
50	9,1737	9,0903	7,7196	8,2512	6,3374	2,6462	2,4047	1,7922	1,0000
51	8,3877	8,2543	7,3823	8,2109	5,7510	2,7602	2,5173	1,9136	1,0000
52	8,1264	7,9205	8,5296	7,8649	4,9390	2,9278	2,4728	1,4002	1,0000
53	8,7258	7,2937	8,4479	7,7689	4,7767	2,9515	2,7176	1,3553	1,0000
54	8,6066	6,3872	9,2852	7,0852	4,4450	2,9750	2,3546	1,3405	1,0000
55	8,2206	6,1932	8,2428	7,3720	4,4393	3,0893	2,8744	1,4491	1,0000
56	8,6957	5,3228	8,1614	6,8150	4,1632	3,1280	2,8416	1,5000	1,0000
57	8,6931	5,3975	7,7895	6,1343	3,7745	2,9953	3,0212	1,4707	1,0000
58	8,5159	5,5471	6,8161	5,9104	3,8523	3,1629	2,3074	1,3766	1,0000
59	8,5740	5,5498	7,3716	6,2236	3,4450	2,8973	2,1461	1,0000	1,0000
60	62,4049	54,2029	74,4016	73,6471	30,4773	22,8631	15,4046	8,1218	1,0000
61	61,5433	53,4798	73,3604	72,6252	30,0964	22,5953	15,2363	8,0307	1,0000
62	60,5010	52,6011	72,0836	71,3892	29,6271	22,2569	15,0291	7,9393	1,0000
63	57,9437	50,4061	68,9993	68,3471	28,4148	21,3602	14,4396	7,6546	1,0000
64	55,0976	47,9599	65,5705	64,9616	27,0975	20,3544	13,7758	7,3239	1,0000
65	52,6912	45,8972	62,6643	62,0930	25,9974	19,5548	13,2194	7,0495	1,0000
66	50,3595	43,9036	59,8443	59,3107	24,9347	18,7849	12,7321	6,7832	1,0000
67	48,1096	41,9833	57,1140	56,6218	23,9136	18,0464	12,2681	6,5839	1,0000
68	43,2304	37,7670	51,2623	50,8337	21,5840	16,3170	11,1284	6,0213	1,0000
69	38,7693	33,9123	45,9119	45,5395	19,4632	14,7371	10,0848	5,5051	1,0000
70	34,7543	30,4436	41,0949	40,7733	17,5581	13,3271	9,1487	5,0407	1,0000
71	31,1235	27,3041	36,7379	36,4615	15,8359	12,0557	8,3145	4,6238	1,0000
72	27,7530	24,3882	32,6992	32,4591	14,2356	10,8724	7,5404	4,2463	1,0000
73	24,4051	21,4871	28,6949	28,4935	12,6336	9,6844	6,7571	3,8606	1,0000
74	21,3837	18,8678	25,0830	24,9160	11,1762	8,6094	6,0480	3,5090	1,0000
75	18,7341	16,5706	21,9154	21,7789	9,8970	7,6574	5,4266	3,2020	1,0000
76	16,3875	14,5300	19,1109	19,0006	8,7620	6,8119	4,8653	2,9292	1,0000
77	14,3241	12,7350	16,6535	16,5579	7,7636	6,0669	4,3700	2,6791	1,0000
78	12,6377	11,2698	14,6420	14,5650	6,9548	5,4667	3,9731	2,4826	1,0000
79	11,1468	9,9741	12,8645	12,8030	6,2259	4,9362	3,6234	2,3089	1,0000
80	9,8274	8,8271	11,2917	11,2445	5,5803	4,4516	3,3141	2,1564	1,0000
81	8,6495	7,7981	9,8887	9,8538	5,0015	4,0173	3,0207	2,0191	1,0000
82	7,6091	6,8885	8,6566	8,6258	4,4892	3,6319	2,7609	1,8815	1,0000
83	6,8013	6,1855	7,6951	7,6727	4,1026	3,3450	2,5715	1,7884	1,0000
84	6,0700	5,5484	6,8255	6,8105	3,7403	3,0847	2,3995	1,7029	1,0000
85	5,4166	4,9791	6,0488	6,0404	3,4161	2,8396	2,2465	1,6272	1,0000
86	4,8290	4,4626	5,3506	5,3483	3,1233	2,6180	2,0949	1,5590	1,0000
87	4,3018	3,9985	4,7313	4,7276	2,8595	2,4180	1,9577	1,4835	1,0000
88	3,8855	3,6344	4,2384	4,2388	2,6609	2,2703	1,8603	1,4354	1,0000
89	3,5066	3,3028	3,7905	3,7944	2,4681	2,1363	1,7715	1,3916	1,0000
90	3,1627	3,0014	3,3842	3,3913	2,2921	2,0012	1,6914	1,3516	1,0000
91	2,8511	2,7281	3,0165	3,0266	2,1319	1,8779	1,6046	1,3160	1,0000
92	2,5672	2,4787	2,6823	2,6948	1,9844	1,7641	1,5239	1,2681	1,0000
93	2,3464	2,2876	2,4172	2,4323	1,8791	1,6857	1,4724	1,2426	1,0000
94	2,1434	2,1123	2,1737	2,1909	1,7820	1,6139	1,4248	1,2192	1,0000
95	1,9570	1,9511	1,9496	1,9693	1,6931	1,5476	1,3813	1,1974	1,0000
96	1,7863	1,8036	1,7444	1,7660	1,6115	1,4875	1,3414	1,1780	1,0000
97	1,6293	1,6680	1,5558	1,5791	1,5369	1,4316	1,3048	1,1595	1,0000
98	1,4861	1,5444	1,3833	1,4084	1,4688	1,3815	1,2713	1,1433	1,0000
99	1,3544	1,4309	1,2244	1,2513	1,4058	1,3348	1,2408	1,1277	1,0000
100	1,2344	1,3271	1,0790	1,1078	1,3490	1,2925	1,2132	1,1145	1,0000
101	1,1238	1,4952	1,0000	1,0000	1,2963	1,2533	1,1869	1,1015	1,0000
102	1,0231	1,3577	1,0000	1,0000	1,2492	1,2180	1,1635	1,0896	1,0000
103	1,0000	1,2329	1,0000	1,0000	1,2052	1,1868	1,1427	1,0793	1,0000
104	1,0000	1,1188	1,0000	1,0000	1,9428	1,1564	1,1241	1,0699	1,0000
105	1,0000	1,0148	1,0000	1,0000	1,7565	2,0065	1,1052	1,0618	1,0000
106	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,5864	1,8112	2,0372	1,0519	1,0000
107	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,4351	1,6375	1,8412	2,0459	1,0000
108	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

• Annexe 7 : La table des $\sigma_{x,t}$

Âge de l'assuré	Durée de l'invalidité								
	0	1	2	3	4	5	6	7	> 7
<18	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	1,5069	1,4125	1,6167	1,6005	1,1104	1,0001	0,8823	0,7433	0,5513
19	1,4178	1,3290	1,5220	1,5071	1,0440	0,9397	0,8280	0,7053	0,5513
20	1,3976	1,3100	1,5011	1,4867	1,0283	0,9251	0,8142	0,6921	0,5513
21	1,4103	1,1815	1,3546	1,3419	0,9269	0,8333	0,7326	0,6215	0,5513
22	1,4228	1,1920	1,4870	1,4733	1,0163	0,9131	0,8020	0,6790	0,5513
23	1,4353	1,2024	1,5007	1,4693	1,0122	0,9090	0,7975	0,6739	0,5513
24	1,4476	1,2127	1,5143	1,4829	1,1996	1,0767	0,9437	0,7959	0,5513
25	1,4599	1,2229	1,5278	1,4963	1,2090	1,1101	0,9721	0,8183	0,5513
26	1,4720	1,2350	1,5411	1,5096	1,2184	1,1181	1,2816	1,0768	0,5513
27	1,4840	1,2428	1,5508	1,5228	1,2276	1,1261	1,2895	0,9900	0,5513
28	1,4960	1,2514	1,5680	1,5324	1,2369	1,1340	1,2974	0,9943	0,5513
29	1,5078	1,2616	1,5833	1,5494	1,2588	1,1418	1,3052	0,9986	0,5513
30	1,5196	1,2720	1,5957	1,5645	1,2532	1,1677	1,3130	1,0029	0,5513
31	1,5312	1,2812	1,6074	1,5768	1,2538	1,1547	1,3532	1,0071	0,5513
32	1,5428	1,2903	1,6210	1,5884	1,2644	1,1503	1,3237	1,0524	0,5513
33	1,4395	1,3013	1,6344	1,6018	1,2771	1,1604	1,3097	1,0095	0,5513
34	1,5850	1,4158	1,6445	1,6150	1,2824	1,1734	1,3217	0,9857	0,5513
35	1,6945	1,2366	1,5613	1,6249	1,2881	1,1759	1,3390	0,9955	0,5513
36	1,6859	1,2383	1,5863	1,6790	1,3056	1,1789	1,3375	1,0123	0,5513
37	1,6525	1,2791	1,5557	1,8435	1,4387	1,1990	1,3369	1,0047	0,5513
38	1,7070	1,2708	1,4885	1,8664	1,2205	1,2947	1,3672	0,9981	0,5513
39	1,7613	1,2547	1,4167	1,6336	1,2916	1,4724	1,4410	1,0320	0,5513
40	1,6614	1,2763	1,4930	1,6933	1,2396	1,4022	1,1828	1,0901	0,5513
41	1,7004	1,3509	1,5124	1,6046	1,2415	1,2607	1,1281	1,2179	0,5513
42	1,7959	1,3869	1,5765	1,6010	1,3099	1,1154	1,0897	0,9287	0,5513
43	1,8823	1,3635	1,6112	1,6289	1,4568	1,0745	0,9438	0,9006	0,5513
44	1,7582	1,3861	1,5965	1,7811	1,4736	1,0584	1,0538	1,0570	0,5513
45	1,6962	1,4580	1,5005	1,7264	1,5143	1,0175	0,9094	0,7629	0,5513
46	1,6456	1,6337	1,5056	1,6833	1,4285	1,0112	0,8658	0,7170	0,5513
47	1,7210	1,6813	1,4627	1,6335	1,3438	0,9736	0,8380	0,7264	0,5513
48	1,7241	1,6424	1,4473	1,6245	1,2885	0,9765	0,8716	0,6977	0,5513
49	1,7071	1,6234	1,4738	1,6280	1,3589	0,9119	0,8452	0,7531	0,5513
50	1,6699	1,6623	1,5319	1,5837	1,3880	0,8969	0,8550	0,7381	0,5513
51	1,5968	1,5840	1,4980	1,5798	1,3222	0,9160	0,8748	0,7627	0,5513
52	1,5717	1,5517	1,6102	1,5462	1,2253	0,9434	0,8670	0,6524	0,5513
53	1,6286	1,4890	1,6025	1,5367	1,2050	0,9472	0,9089	0,6419	0,5513
54	1,6175	1,3934	1,6800	1,4676	1,1624	0,9510	0,8460	0,6383	0,5513
55	1,5808	1,3721	1,5829	1,4970	1,1617	0,9691	0,9348	0,6637	0,5513
56	1,6258	1,2720	1,5751	1,4393	1,1249	0,9751	0,9294	0,6753	0,5513
57	1,6256	1,2809	1,5388	1,3655	1,0712	0,9542	0,9583	0,6686	0,5513
58	1,6089	1,2985	1,4394	1,3404	1,0821	0,9805	0,8375	0,6469	0,5513
59	1,6144	1,2988	1,4969	1,3754	1,0233	0,9385	0,8077	0,5513	0,5513
60	4,3554	4,0591	4,7557	4,7315	3,0438	2,6363	2,1639	1,5713	0,5513
61	4,3253	4,0320	4,7223	4,6986	3,0247	2,6208	2,1521	1,5624	0,5513
62	4,2885	3,9987	4,6810	4,6584	3,0010	2,6011	2,1374	1,5535	0,5513
63	4,1969	3,9144	4,5798	4,5581	2,9390	2,5481	2,0951	1,5254	0,5513
64	4,0925	3,8182	4,4645	4,4438	2,8700	2,4874	2,0464	1,4921	0,5513
65	4,0021	3,7352	4,3645	4,3445	2,8112	2,4381	2,0046	1,4639	0,5513
66	3,9126	3,6532	4,2651	4,2461	2,7531	2,3896	1,9673	1,4359	0,5513
67	3,8242	3,5724	4,1667	4,1487	2,6962	2,3422	1,9311	1,4147	0,5513
68	3,6251	3,3883	3,9475	3,9309	2,5615	2,2271	1,8392	1,3529	0,5513
69	3,4329	3,2107	3,7358	3,7206	2,4324	2,1165	1,7509	1,2936	0,5513
70	3,2503	3,0421	3,5344	3,5205	2,3103	2,0127	1,6676	1,2379	0,5513
71	3,0759	2,8809	3,3418	3,3292	2,1940	1,9143	1,5898	1,1856	0,5513
72	2,9045	2,7228	3,1528	3,1412	2,0802	1,8180	1,5140	1,1361	0,5513
73	2,7237	2,5557	2,9534	2,9430	1,9597	1,7158	1,4332	1,0833	0,5513
74	2,5495	2,3949	2,7613	2,7521	1,8432	1,6177	1,3559	1,0328	0,5513
75	2,3864	2,2443	2,5810	2,5730	1,7345	1,5257	1,2844	0,9866	0,5513
76	2,2319	2,1016	2,4103	2,4033	1,6320	1,4390	1,2161	0,9436	0,5513
77	2,0867	1,9675	2,2500	2,2435	1,5362	1,3580	1,1526	0,9024	0,5513
78	1,9600	1,8509	2,1097	2,1041	1,4540	1,2891	1,0990	0,8687	0,5513
79	1,8408	1,7412	1,9775	1,9728	1,3757	1,2250	1,0495	0,8378	0,5513
80	1,7284	1,6381	1,8527	1,8488	1,3024	1,1633	1,0037	0,8096	0,5513
81	1,6215	1,5396	1,7338	1,7307	1,2330	1,1051	0,9582	0,7834	0,5513
82	1,5209	1,4470	1,6222	1,6193	1,1682	1,0507	0,9161	0,7563	0,5513
83	1,4379	1,3712	1,5294	1,5272	1,1167	1,0084	0,8841	0,7373	0,5513
84	1,3584	1,2987	1,4404	1,4388	1,0663	0,9683	0,8540	0,7195	0,5513
85	1,2832	1,2303	1,3560	1,3550	1,0190	0,9291	0,8264	0,7033	0,5513
86	1,2116	1,1647	1,2753	1,2751	0,9744	0,8921	0,7980	0,6884	0,5513
87	1,1435	1,1025	1,1993	1,1988	0,9323	0,8573	0,7714	0,6715	0,5513
88	1,0868	1,0511	1,1351	1,1351	0,8994	0,8307	0,7520	0,6606	0,5513
89	1,0324	1,0020	1,0734	1,0740	0,8662	0,8058	0,7338	0,6504	0,5513
90	0,9805	0,9552	1,0143	1,0153	0,8347	0,7799	0,7170	0,6410	0,5513
91	0,9310	0,9106	0,9576	0,9592	0,8050	0,7555	0,6984	0,6325	0,5513
92	0,8834	0,8680	0,9030	0,9051	0,7767	0,7323	0,6806	0,6209	0,5513
93	0,8445	0,8339	0,8572	0,8599	0,7558	0,7158	0,6690	0,6146	0,5513
94	0,8072	0,8013	0,8129	0,8161	0,7360	0,7004	0,6581	0,6088	0,5513
95	0,7713	0,7701	0,7698	0,7737	0,7174	0,6859	0,6480	0,6033	0,5513
96	0,7369	0,7404	0,7282	0,7327	0,6999	0,6724	0,6385	0,5984	0,5513
97	0,7038	0,7121	0,6877	0,6928	0,6835	0,6597	0,6298	0,5937	0,5513
98	0,6721	0,6852	0,6484	0,6543	0,6682	0,6480	0,6217	0,5895	0,5513
99	0,6416	0,6595	0,6101	0,6167	0,6537	0,6370	0,6141	0,5855	0,5513
100	0,6126	0,6352	0,5727	0,5803	0,6404	0,6268	0,6073	0,5820	0,5513
101	0,5845	0,6142	0,5513	0,5513	0,6277	0,6172	0,6007	0,5786	0,5513
102	0,5577	0,6424	0,5513	0,5513	0,6162	0,6085	0,5947	0,5755	0,5513
103	0,5513	0,6122	0,5513	0,5513	0,6053	0,6006	0,5894	0,5728	0,5513
104	0,5513	0,5832	0,5513	0,5513	0,6085	0,5929	0,5845	0,5703	0,5513
105	0,5513	0,5554	0,5513	0,5513	0,7307	0,7810	0,5796	0,5681	0,5513
106	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,6944	0,7420	0,7869	0,5655	0,5513
107	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,6605	0,7055	0,7481	0,7886	0,5513
108	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513	0,5513

Bibliographie

- Mémoires d'actuariat

T. BORDI(2006) : « *SOLVABILITE 2 : Normes et Enjeux* », Mémoire ULP

D.Fitouchi (2003) : « *Solvency 2 : approche par les modèles internes* », Mémoire ULP

F. HENGE (2006) : « *Rapprochement des concepts de la Valeur Intrinsèque et du Capital Economique en Assurance Vie* », Mémoire ULP

F. HITMI (2002) : « *Estimation de la Structure par Terme des Taux d'Intérêt* » Mémoire INSEA

C. SAUVET (2006) : « *SOLVABILITE 2 : Quelle modélisation stochastique des provisions techniques prévoyance et non vie ?* », Mémoire ISFA

- Sites internet

Site de l'ACAM (Autorité de Contrôle des Assurances et des Mutuelles)

<http://www.ccamip.fr/info/00>

Site du CEIOPS (Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors)

<http://www.ceiops.org/>

Site de la FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurances) :

<http://www.ffsa.fr/>

Site de la Commission Européenne concernant le projet Solvabilité 2 :

http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/solvency2/index_fr.htm

Site du CEA (Comité Européen des Assurances) :

<http://www.cea.assur.org/>

Site du QIS3 :

<http://www.QIS3.fr>

Site permettant de trouver le code des assurances :

<http://www.legifrance.gouv.fr>

- Publications

Bauer, Enz: *Solvabilité II: une approche intégrée des risques pour les assureurs européens* ; Sigma n°4/2006, Swiss Re (2006)

Guibert, Denis : *Quels enjeux pour le contrôle prudentiel ?* ; Risque n°66, juin 2006

Lustman : *Solvabilité II : Un vecteur de changement pour l'Europe de l'assurance* ; Echanges n°266, février 2007

- Ouvrages

Le Vallois, Palski, Paris, Tosetti : *Gestion Actif Passif en Assurance Vie, Réglementation, outils, méthodes* ; Economica (2003)

Planchet, Théron, Jacquemin : *Modèles financiers en assurances, Analyses de risques dynamiques* ; Economica (2005)

Liste des abréviations

ACAM : Autorité de contrôle des assurances et des mutuelles

BCAC : Bureau Commun des Assurances Collectives

BSCR : Basic Solvabilité Capital Requirement (capital de solvabilité requis de base)

CEA : Comité Européen des Assurances

CEIOPS : Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors (Comité européen des contrôleurs des assurances et des pensions professionnelles, CECAPP)

CTE : Conditional Tail Expectation

EMS : Exigence de Marge de Solvabilité

FdG : Fonds de Garanties

MCR : Minimum Capital Requirement (minimum de capital requis)

MS : Marge de Solvabilité

QIS : Quantitative Impact Studies (Etudes Quantitatives d'Impacts)

RBC : Risk Based Capital

SCR : Solvabilité Capital Requirement (capital de solvabilité requis)

SST : Swiss Solvency Test

TailVaR : Tail Value at Risk

TME : Taux Moyen des Emprunts

TPG : Table Prospective par Génération

UE : Union Européenne

VaR : Value at Risk