

Remerciements :

Avant d'entamer le développement de mon mémoire d'actuariat, je tiens à exprimer ma gratitude envers ceux qui ont contribué à son élaboration en m'offrant leur aide, leur soutien et leurs précieux conseils. Grâce à ces personnes, cette expérience a été une réussite tant sur le plan personnel que professionnel.

Je tiens à remercier tout d'abord Nordine Choukar, mon encadrant de mémoire, membre certifié de l'institut des actuaires et associé au sein du cabinet Exiom Partners, pour son suivi attentif et pour avoir partagé son expérience tout au long de cette rédaction.

Je remercie les associés ainsi que l'ensemble des collaborateurs du cabinet Exiom Partners pour leur bienveillance et leur soutien tout au long de la rédaction de ce mémoire. Mes remerciements vont également à mes collègues Iliasse Bourchid, Mathieu Schneider, Taha Boutouba et Valentin Farge. Leurs connaissances et leur soutien ont été précieux dans cette étude.

Un merci également à mes collègues de Mazars puis d'Exiom avec qui j'ai suivi cette formation.

Enfin, un immense merci à mes parents et proches et qui m'ont soutenu tout au long de la formation jusqu'à la réalisation de ce mémoire, pour leur patience et leur soutien sans faille.

Table des matières

Introduction	5
I. Risques financiers en assurance, sous Solvabilité II.....	7
1.1 Aspects quantitatifs de la réglementation Solvabilité II.....	7
1.1.1 Exigences quantitatives et bilan économique Solvabilité II.....	7
1.1.2 Evaluation du capital économique - SCR.....	12
1.2 Risques financiers et exposition du secteur d'assurance.....	15
1.2.1 Le risque marché et calcul de SCR.....	16
1.2.2 Exposition des acteurs du marché d'assurance non-vie aux risques financiers....	20
1.3 Gestion et atténuation de risque financier, et produit de couverture.....	22
1.3.1 Premiers recours pour l'atténuation des risques financiers.....	22
1.3.2 Les produits dérivés comme solution pour atténuer un risque financier.....	23
II. Modélisation de CDS et calcul de SCR associé sous FS.....	25
2.1 CDS : présentation et pricing du produit	25
2.1.1 Le risque de crédit.....	25
2.1.2 Définition du CDS.....	26
2.1.3 Modèles de pricing.....	31
2.2 Utilisation de CDS en tant que produit de couverture sous Solvabilité II.....	42
2.2.1 Produits dérivés et couverture : ce que dit la réglementation	43
2.2.2 Calcul du SCR spread d'un CDS, en tant que produit de couverture.....	48
2.3 Calcul du SCR de contrepartie, lié au fournisseur du CDS.....	62
2.3.1 Rappel de la Formule Standard pour le calcul du SCR de contrepartie.....	62
2.3.2 SCR contrepartie lié au CDS.....	63
III. Application des méthodologies et analyse des résultats.....	65
3.1 Présentation portefeuille et de ses caractéristiques.....	65
3.1.1 Composition du portefeuille.....	65
3.1.2 Caractéristiques Solvabilité II.....	68
3.2 Eligibilité du CDS en tant que couverture.....	73
3.2.1 Présentation et utilisation des CDS single-name.....	74
3.2.2 Présentation de l'indice CDS index iTRAXX Main Europe 5Y	75
3.2.3 Risque de base avec le portefeuille et éligibilité du CDS Index.....	77
3.3 Calcul du spread de choc Solvabilité II.....	82
3.3.1 Méthodologie Ligne à Ligne (LaL)	82

3.3.2	Méthodologie par segmentation.....	84
3.3.3	Approche par sensibilité du sous-portefeuille <i>SPF3</i>	88
3.4	Calcul du SCR de CDS couverture et des impacts sur les indicateurs SII.....	89
3.4.1	SCR spread CDS de couverture.....	89
3.4.2	Impact sur les indicateurs Solvabilité II.....	103
	Synthèse des résultats.....	108
	Conclusion.....	110
	Liste des tableaux et des figures.....	112
	Bibliographie.....	113
	Sites Internet, publications et articles.....	113
	Ouvrages.....	113
	Mémoires d'actuariat.....	114
	Annexes.....	115
	Annexe 1 : Correspondance entre le rating de différentes agences de notations et l'échelon de qualité de crédit d'une obligation (CQS).....	115
	Annexe 2 : Courbe des taux sans risque, et structure des chocs hausse et baisse de la courbe des taux sous Solvabilité II.....	116
	Annexe 3 : Courbe de spread des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS.....	119
	Annexe 4 : Historique d'évolution de spread CDS 5Y pour certains constituants de l'iTRAXX Main Europe 5Y.....	121
	Annexe 5 : Courbes de spread choquées par (Notation, Duration), des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS.....	123
	Annexe 6 : Courbes de spread choquées par Notation, des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS.....	125
	Annexe 7 : Courbes de spread choquées par (Notation, Secteur) des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS.....	127
	Annexe 8 : Courbes de spread des titres de l'iTRAXX Main Europe choquées par approche de sensibilité des titres, avec notation équivalente CQS.....	129

Introduction

Les acteurs assuranciers ont toujours été confrontés à de multiples défis économiques et défis financiers. Le marché financier pouvant connaître des fluctuations plus ou moins variables, le secteur de l'assurance est exposé à ces phénomènes économiques selon différentes mesures, et se doit de se protéger et se prémunir contre ces risques afin d'assurer la solvabilité de l'acteur et sa capacité d'honorer ses engagements envers les assurés.

Avec l'environnement prudentiel Solvabilité II, les assureurs doivent évaluer leur bilan selon des critères économiques et les obligent à identifier, mesurer et gérer leurs risques de manière prospective. Un des risques sur lequel nous nous attarderons dans ce mémoire est le risque marché. En effet, les assureurs sont sensibles à ce risque et ses différents sous-modules, notamment – le risque de spread. La maîtrise et l'évaluation de ces risques financiers sont donc primordiales pour les assureurs. Ces derniers gardent un cap sur le capital de solvabilité requis (SCR), évalué sous Formule Standard ou en modèle interne - correspondant au capital requis pour limiter la probabilité de ruine à horizon 1 an à 0,5%. Le volume de capital requis doit être mis en perspective avec l'espérance de rendement pour optimiser le choix d'allocation d'actifs en fonction de l'appétit pour le risque décidé par le top management.

L'exposition à ces risques pousse les assureurs à mettre en place différentes actions management d'atténuation de risque, en particulier l'utilisation de produits dérivés. Néanmoins, certaines conditions doivent être remplies afin de prendre en compte les bénéfices d'atténuation apportés par ces produits. Certaines conditions sont spécifiées dans les textes concernant le CDS (Credit Default Swap) qui constituent des produits de couverture adaptés pour limiter l'exposition au risque de spread. Cependant, ni la directive 2009/138 ni le règlement délégué 2015/35 de Solvabilité II ne précisent les modalités de chocs à appliquer pour cet instrument, afin d'évaluer le besoin en capital associé en Formule Standard et donc la réduction effective en SCR spread.

Au-delà des aspects d'exposition aux risques financiers, de valorisation du produit dérivé CDS et de son éligibilité en tant que technique d'atténuation sous Solvabilité II, ce mémoire propose des approches d'évaluation du « SCR spread couverture » lié au CDS, en Formule Standard, le risque spread ayant des particularités dans la modélisation de son choc sous ce schéma.

La première partie de ce mémoire rappelle les grands principes du calcul du capital économique sous Formule Standard, en particulier pour le risque marché, ainsi que l'exposition du secteur d'assurance aux principaux sous-modules. Nous y introduisons l'intérêt de la gestion et atténuation de risque, notamment grâce aux différents produits dérivés utilisés comme produit de couverture, en particulier les CDS pour le risque spread.

La seconde partie définit le produit CDS et présente les méthodologies de valorisation. Nous nous attarderons sur les conditions et prérequis d'éligibilité pour l'utilisation de produits dérivés en tant que technique d'atténuation de risque, puis proposerons des méthodologies pour le calcul du « SCR spread CDS couverture » en Formule Standard.

Enfin, la troisième partie de ce mémoire présente les analyses des résultats obtenus à travers l'application des différentes méthodologies présentées au chapitre 2. Nous évaluerons également les impacts d'atténuation apportés par l'utilisation de CDS sur les SCRs à différents niveaux ainsi que sur le ratio de solvabilité. Nous y aborderons aussi les limites de ces approches.

I. Risques financiers en assurance, sous Solvabilité II

Ce premier chapitre rappelle dans un premier temps les principes de calcul du capital économique en Formule Standard (FS), et plus particulièrement le calcul du SCR marché avant de donner une vision des niveaux d'exposition aux risques financiers du marché assurantiel. Nous introduirons ensuite les techniques de gestion et d'atténuation de ces risques, notamment à travers les produits dérivés, et plus particulièrement le CDS (Credit Default Swap), utilisé en tant que produit de couverture pour le risque de spread, sujet principal de ce mémoire.

1.1 Aspects quantitatifs de la réglementation Solvabilité II

1.1.1 Exigences quantitatives et bilan économique Solvabilité II

La réforme Solvabilité II porte deux objectifs principaux :

1. Créer un marché de l'assurance unique, homogène et ouvert à la concurrence à l'échelle européenne. Cet objectif découle de la réforme de l'uniformisation des contraintes prudentielles visant à supprimer les inégalités de référentiels réglementaires entre les pays de l'Union Européenne.
2. Renforcer la protection des assurés et les contreparties des compagnies. Cet objectif est porté par l'idée qu'un assureur se doit de mieux identifier, évaluer et gérer ses risques.

Le dispositif Solvabilité II repose sur les 3 piliers suivants :

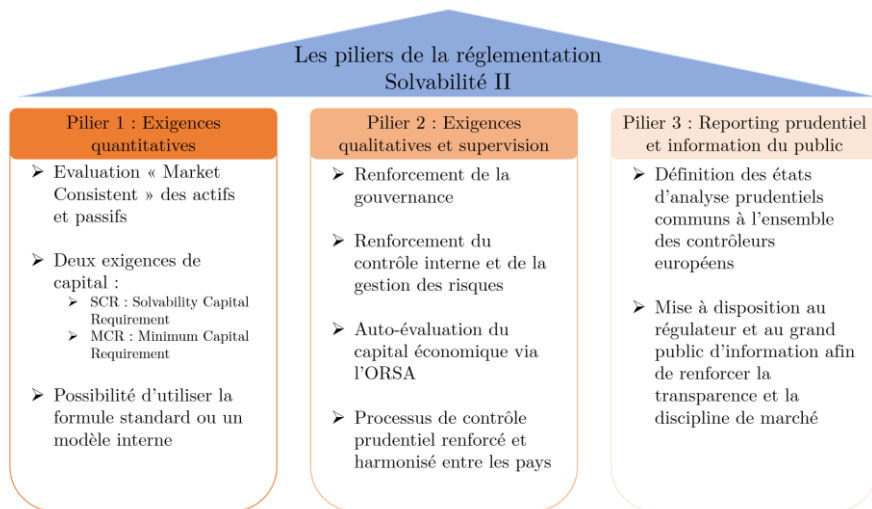


Figure 1 : Les 3 piliers de Solvabilité II (Gorrand, 2009)

- **Le pilier 1** a pour objectif de définir les normes quantitatives de l'évaluation économique du bilan des assureurs (Actif et Passif) ainsi que les exigences en capital. Les niveaux réglementaires définis pour les fonds propres sont le MCR et le SCR :
 - o Le MCR (Minimum Capital Requirement) : Il représente le niveau minimum de fonds propres en dessous duquel l'intervention de l'autorité de contrôle sera automatique ;

- Le SCR (Solvency Capital Requirement) : Il représente le capital cible nécessaire pour absorber le choc provoqué par un risque majeur (par exemple : un sinistre exceptionnel, un choc sur les actifs...).

Les exigences de capital peuvent être calculées à l'aide de la Formule Standard ou avec un modèle interne (complet ou partiel).

- **Le pilier 2** est relatif aux exigences qualitatives et de contrôle ayant pour objectif de définir et harmoniser les activités de surveillance au sein des organismes d'assurance ainsi qu'au niveau des superviseurs.
- **Le pilier 3** regroupe les exigences de reporting prudentiel et de publications d'informations de manière uniforme pour l'ensemble des assureurs européens.

Nous nous focaliserons dans la suite de ce mémoire sur les aspects quantitatifs du pilier 1, en utilisant la Formule Standard (FS).

1.1.1.1 Valorisation des Actifs et Passifs

Sous Solvabilité II, la méthode de comptabilisation du bilan est la juste valeur (Fair Value), définie comme le montant auquel un actif est échangé ou un passif transféré lors d'une transaction normale entre deux parties. Les actifs ainsi que les provisions techniques (qui constituent la majeure partie du passif d'un acteur d'assurance) sont évalués selon une approche économique.

Principe de valorisation des actifs

« Les actifs sont valorisés au montant pour lequel ils pourraient être échangés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions de concurrence normale, entre des parties informées et consentantes ». ¹

Principe de valorisation des passifs

« Les passifs sont valorisés au montant pour lequel ils pourraient être transférés ou réglés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions de concurrence normale, entre des parties informées et consentantes »²

En affinant ces définitions, nous arrivons aux éléments suivants :

➔ Les actifs sont évalués à la juste valeur selon deux méthodes :

- Pour les actifs cotés sur un marché liquide et transparent, la juste valeur de l'actif correspond à son cours observé sur le marché. C'est le cas d'une majorité des actifs détenus par les assureurs qui sont des produits simples (actions, obligations, immobilier etc...).

¹ D'après D. NOUY, Secrétaire général de l'Autorité de contrôle prudentielle

² D'après D. NOUY, Secrétaire général de l'Autorité de contrôle prudentielle

- Pour les produits financiers complexes pour lesquels un prix n'est pas disponible sur le marché, la juste valeur est déterminée à l'aide de modèles de valorisation. Cela concerne notamment les produits dérivés que nous introduirons comme technique d'atténuation, en tant que produit de couverture, du risque financier.

➔ Les passifs sont constitués principalement des provisions techniques, qui représentent l'engagement de l'assureur envers les assurés.

A contrario des produits financiers, constituant un marché liquide pour les actifs cotés (qui représentent une bonne partie de l'actif des acteurs en assurance), les transferts de portefeuille sont trop limités pour constituer un marché liquide.

Pour déterminer alors la juste valeur des provisions techniques, nous utilisons notamment le Best Estimate Liabilities, noté « BE » ou « BEL », qui est défini dans la directive Solvabilité II comme étant la moyenne des flux de trésorerie futurs pondérée par leur probabilité, compte tenu de la valeur actuelle de l'argent, estimée sur la base de la courbe des taux sans risque pertinents.

Mathématiquement, cette définition se traduit ainsi :

$$BE = E^{\mathbb{Q} \otimes \mathbb{P}} \left[\sum_{t \geq 1} \delta_t \times L_t \right]$$

Avec :

\mathbb{Q} : La probabilité risque neutre, d'un monde dans lequel tous les actifs ont pour rendement moyen le taux sans risque

\mathbb{P} : La probabilité en monde réel

δ_t : Le facteur d'actualisation, qui est en fonction du taux sans risque instantané r

$$\delta_t = e^{-\int_0^t r_h dh}$$

L_t : Les flux de passif (prestations, primes contractuelles, décès, frais, rachats) à t

Le passif est constitué également des blocs suivants :

- La marge pour risque : représente le montant qui sert à rémunérer³ le repreneur d'avoir à immobiliser du capital pour supporter les engagements qu'il va récupérer et ce jusqu'à leur extinction (run-off). Elle est déterminée comme le coût en capital dont doit disposer l'assureur pour faire face aux engagements d'assurance.
- Les fonds propres économiques, ou excédent des actifs sur les passifs ;

³ En effet, le passif - c'est-à-dire les engagements de l'assureur - ne trouverait pas preneur au prix du seul Best Estimate.

- Les impôts différés (Deferred Taxes) : ils représentent les impôts latents dont l'entreprise devra s'acquitter.

Ainsi le bilan d'un assureur sous Solvabilité II peut être schématisé par la figure suivante :



Figure 2 : Bilan économique sous Solvabilité II

1.1.1.2. Fonds Propres

Outre les règles de valorisation des actifs et de passifs, le pilier 1 de la réglementation Solvabilité II définit les exigences de capital imposés pour les niveaux de fonds propres économiques des organismes d'assurance, à savoir le MCR et le SCR, définis auparavant.

Avant d'introduire la relation mathématique entre le SCR et les fonds propres, nous pouvons présenter une vision simplifiée du bilan économique d'un acteur d'assurance, afin de définir mathématiquement les fonds propres. À tout instant t , le bilan économique peut se traduire de façon simplifiée comme suit :

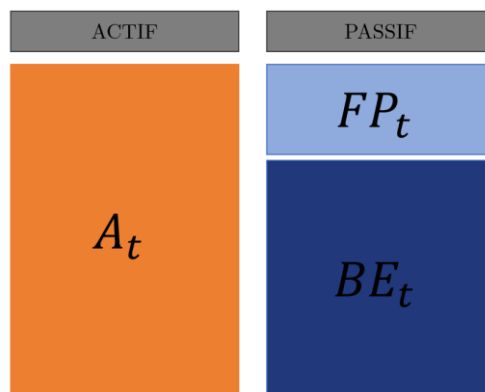


Figure 3 : Bilan simplifié sous Solvabilité II

Avec :

A_t : L'actif de l'assureur en valeur de marché

BE_t : Le Best Estimate des engagements de l'assureur, i.e la valeur économique du passif

FP_t : Les fonds propres économiques qui sont définis en se basant sur l'équation d'équilibre Actif-Passif du bilan

$$FP_t = A_t - BE_t$$

La valeur économique de chacun de ces postes du bilan est égale à l'espérance sous la probabilité risque neutre des flux futurs correspondants actualisés. Ainsi, les fonds propres peuvent être définis, **en approximation**, comme la valeur actuelle probable des résultats futurs :

$$FP_0 = E^{\mathbb{Q} \otimes \mathbb{P}} \left[\sum_{t \geq 1} \delta_t \times R_t \right]$$

Avec :

\mathbb{Q} : La probabilité risque neutre, d'un monde dans lequel tous les actifs ont pour rendement moyen le taux sans risque

\mathbb{P} : La probabilité en monde réel

δ_t : Le facteur d'actualisation, qui est en fonction du taux sans risque instantané r

R_t : Le résultat réalisé par l'assureur à l'instant t

A noter que c'est une approximation, car la compagnie pourrait bien prévoir 0 résultat futur.

1.1.1.3. SCR (Solvability Capital Requirement)

Le SCR (Solvency Capital Requirement), le capital de solvabilité requis, représente les fonds propres nécessaires pour absorber des chocs économiques. Ces chocs économiques correspondent par exemple à une baisse dans le marché des actions ou un rachat massif des contrats d'assurance vie.

Le SCR doit être calculé au moins une fois par an et recalculé à l'occasion d'un changement sensible du profil de risque de l'assureur. Autrement dit, le SCR définit le montant de fonds propres économiques dont doit disposer l'assureur pour être sûr de ne pas être en faillite dans 1 an et absorber les pertes survenues sur un horizon d'une année avec un niveau de confiance de 99,5%.

Mathématiquement, la définition du SCR se traduit comme suit :

$$P(FP_1 < 0) \leq 0.5\%$$

Avec P la probabilité du monde réel.

Il est démontré que le *SCR* peut s'écrire sous la forme suivante :

$$SCR = FP_0 - ZC(0,1) \times q_{0.5\%}(FP_1)$$

Avec :

FP_0 : Fonds propres économiques en $t=0$. Il s'agit d'une donnée déterministe.

FP_1 : Fonds propres économiques en $t=1$. Il s'agit d'une variable aléatoire.

$ZC(0,1)$: Facteur d'actualisation (prix d'un zéro-coupon à 1 an)

$q_{0,5\%}(FP_1)$: Le quantile à 99,5% de la distribution des fonds propres économiques à $t=1$.

Ci-dessous est représenté un exemple de la distribution de pertes, le quantile à 99,5% de la distribution ainsi que le SCR :

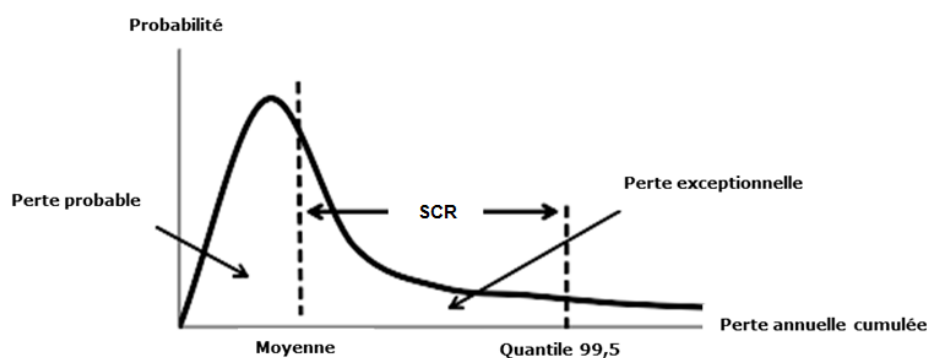


Figure 4 : Distribution de pertes, SCR et Quantile à 99,5%

Le SCR peut également être lu comme étant la VaR (Value at Risk) à 99,5% de la perte en fonds propres économiques à horizon d'un an.

1.1.2 Evaluation du capital économique - SCR

La réglementation Solvabilité II appliquée aux organismes d'assurance précise que les exigences de capital peuvent être calculées au moyen de la Formule Standard ou avec un modèle interne (complet ou partiel). Elle présente notamment l'approche modulaire, liée à la Formule Standard, que nous détaillons dans cette partie. C'est en effet cette approche qui présente des défis (qui seront présentés en détails dans le chapitre 2 de ce mémoire) pour le calcul du SCR lié au CDS à des fins d'atténuation du risque spread.

1.1.2.1 Décomposition du SCR par module de risque

Le capital économique requis (SCR) correspond à la Value-at-Risk des fonds propres de l'entreprise d'assurance avec un niveau de confiance de 99,5% à horizon 1 an (article 101 de la directive Solvabilité II (2009/138/ce, 2009)) et doit couvrir à minima les modules de risques suivants :

- Risque de souscription en non-vie ;
- Risque de souscription en vie ;
- Risque de souscription en santé ;

- Risque de marché ;
- Risque de crédit ;
- Risque opérationnel.

La réglementation Solvabilité II propose une approche commune pour le calcul du capital économique. Chacun des modules de risques ci-dessus est calibré individuellement sur la base d'une mesure de la valeur en risque (Value-at-Risk), avec un niveau de confiance de 99,5% à horizon 1 an.

Le SCR se décompose comme suit :

$$SCR = BSCR + SCR_{op} + Adj$$

Où :

- *BSCR* correspond au capital de solvabilité de base, brut de capacité d'absorption par provisions techniques et impôts différés ;
- *SCR_{op}* correspond au capital de solvabilité requis au titre du risque opérationnel ;
- *Adj* correspond à l'ajustement pour capacité d'absorption des pertes par les provisions techniques et les impôts différés ;

Le BSCR a une structure modulaire où chacun des risques ci-dessus (souscription, marché, crédit) résulte de l'agrégation de sous-modules de risques élémentaires tels que représenté dans le schéma ci-après :

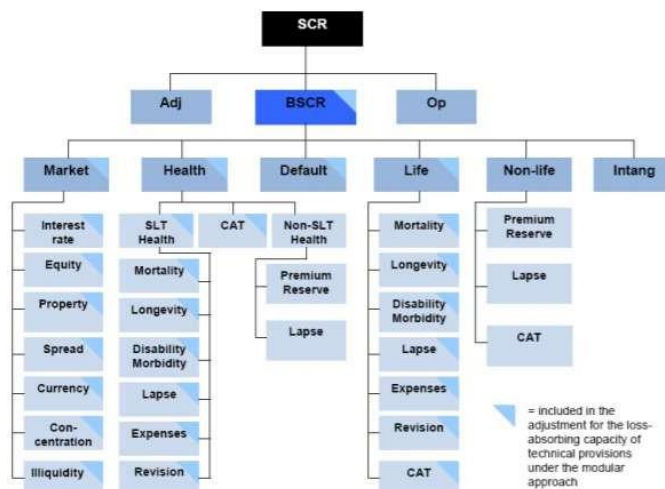


Figure 5 : Structure modulaire du SCR sous la Formule Standard

Le lecteur pourra se référer à la réglementation Solvabilité II pour une description des différents modules et sous-modules de risque décomposant le BSCR. Nous nous focaliserons sur le risque marché et ses sous-modules que nous présentons ci-après.

➔ Risque de marché :

Le risque de marché correspond à la perte de fonds propres suite à une variation de facteurs de marché définis par l'EIOPA. Pour chacun des sous-modules du risque de marché, un choc

est appliqué aux actifs et aux passifs afin de déterminer l'impact sur les fonds propres de la compagnie d'assurances.

- Risque action : risque lié à la baisse de valorisation des investissements en actions ;
- Risque de taux d'intérêt : risque lié à la variation à la hausse ou à la baisse des taux d'intérêt entraînant une perte de fonds propres ;
- Risque de spread : risque lié à la variation des spreads des instruments de dette ;
- Risque immobilier : risque lié à la chute du marché immobilier ;
- Risque de concentration : risque lié à la concentration des investissements sur une même contrepartie ;
- Risque de change : risque lié à la variation des taux de change.

1.1.2.2 Calcul du capital économique pour les risques élémentaires

La Formule Standard (FS) repose sur une application d'un choc instantané pour chacun des risques élémentaires, représentant un choc bicentenaire selon la définition du SCR – probabilité de ruine de l'organisme d'assurance à un niveau inférieur à 0,5% à horizon 1 an.

Pour calculer le SCR d'un risque élémentaire, l'assureur doit évaluer sur son bilan Solvabilité II l'impact sur l'actif et sur le passif de l'application du choc instantané de la Formule Standard.

Le *SCR* modulaire est donc déterminé par variation des *FP (Fonds propres)* suite à l'application de chocs sur les facteurs de risque. L'exigence de capital requis SCR_i , au titre d'un facteur de risque élémentaire i , est calculée comme la variation du niveau de fonds propres économiques ΔFP constatée suite à l'application d'un choc instantané sur le facteur de risque i au niveau de 0,5%.

Un exemple de choc sur le facteur de risque pourrait être une diminution des indices actions ou une augmentation massive des rachats de contrats.

Soit mathématiquement, pour un risque i donné :

$$SCR_i = \Delta FP = FP_0 - FP_{choc} = (A_0 - BE_0) - (A_{choc} - BE_{choc})$$

Avec :

A_0 : Valeur de marché de l'actif avant le choc

BE_0 : Best Estimate évalué avant le choc

A_{choc} : Valeur de marché de l'actif après le choc sur le facteur de risque i

BE_{choc} : Best Estimate évalué après le choc sur le facteur de risque i

Cette approche constitue le principe de base théorique de calcul d'un SCR, et nous nous attarderons sur cette approche notamment lors du calcul du SCR de spread et SCR d'un produit dérivé à des fins de couverture. En effet, dans ce mémoire nous aurons l'occasion d'explorer la déclinaison de ce calcul pour le cas d'un produit CDS, à travers l'évaluation du prix du CDS avant et après choc.

1.1.2.3 Agrégation des risques

Les différentes exigences de capital sont ensuite agrégées à l'aide de matrices de corrélation selon deux niveaux d'agrégation :

- Entre les risques élémentaires d'un même module de risque :

$$SCR_i = \sqrt{\sum_{j,k} Corr_{j,k} \times SCR_j \times SCR_k}$$

- Entre les modules de risques pour obtenir le montant de BSCR

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

Le SCR intangible, relatif aux actifs incorporels, n'est pas pris en compte dans la suite de ce mémoire. La formule du BSCR peut être réécrite :

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

Où $(i, j, k) \in \{\text{famille de risque élémentaires}\}$

Avec :

$Corr_{i,j}$: Coefficient de corrélation relatif aux risques (i,j) défini par les matrices réglementaires

SCR_i et SCR_j : Les exigences de capital pour les sous-modules i et j.

Pour chacune des formules ci-dessus, la structure de corrélations entre modules et sous-modules de risques est définie dans le règlement délégué (RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2015/35 DE LA COMMISSION) complétant la directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II), 2014).

1.2 Risques financiers et exposition du secteur d'assurance

Nous présentons dans cette partie les différents risques financiers auxquels une compagnie d'assurance pourrait être confrontée, en rappelant les principes de calcul de ces risques sous Solvabilité II. Nous y verrons notamment un bref aperçu des contraintes posées par le calcul sur SCR liée au risque spread.

Nous donnerons également un panorama de la composition des portefeuilles des assureurs et mutuelles du marché français, en termes d'allocations entre différents types de produits d'actifs tout en analysant les expositions aux risques financiers. Nous nous concentrerons sur les entreprises non-vie notamment, laissant de côté les aspects d'interactions actif/passif que l'on a en Vie.

1.2.1 Le risque marché et calcul de SCR

Présenté brièvement dans la partie 1.1.2.1, le risque marché est constitué, sous le schéma modulaire de la Formule Standard (FS), de 6 sous-modules correspondants aux facteurs de risque de marché identifiés par l'EIOPA (Autorité Européenne de Supervision des Institutions d'Assurance et de retraite) : risque de taux, risque actions, risque de spread, risque immobilier, risque de concentration et risque de change.

A chacun de ces sous-modules correspond un choc (un ou plusieurs) qui est appliqué à la fois aux actifs et aux passifs de l'institution (assurance ou mutuelle) concernée.

Le risque marché représente le risque de perte, ou de changement défavorable de la situation financière, résultant, directement ou indirectement, de fluctuations affectant le niveau et la volatilité de la valeur de marché des actifs, des passifs et des instruments financiers.

L'exposition au risque de marché est évaluée par la mesure de l'impact sur la solvabilité de variations de grandeurs financières (ex : indice du cours des actions, taux d'intérêt, prix de l'immobilier, taux de change, etc.)

Nous définissons mathématiquement le $SCR_{marché}$ comme suit :

$$SCR_{Marché} = \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{i,j} \times SCR_i(t) \times SCR_j(t)}$$

Où $(i, j) \in \{Taux, Actions, Immobiliers, Spread, Concentration, Change\}$

Avec :

$Corr$: Le coefficient de corrélation relatif au risque de marché⁴

SCR_i et SCR_j : Les exigences de capital pour les sous-modules i et j.

Nous présentons dans la suite de ce mémoire les différents sous-modules de risque, avec leurs particularités et les modalités générale de calcul de SCR propre à ces risques, permettant d'obtenir le SCR marché sous la formule présentée plus haut.

1.2.1.1 Risque de taux

Le module risque de taux vise à quantifier le besoin en capital nécessaire pour faire face à l'impact d'une évolution de la structure de courbe de taux, à la hausse comme à la baisse, sur la valeur du bilan. Ces chocs influent à la fois au niveau de l'actif, en impactant la valeur des obligations détenues, et au niveau du passif, utilisant la courbe des taux pour l'actualisation des flux futurs.

Au niveau de l'actif, plusieurs instruments financiers sont concernés par ce module :

- Les produits de taux simples : obligations d'entreprise et d'Etat, titres de créances, dette hybride.
- Les produits dérivés (options sur taux, futures, warrants, swaps de taux, et CDS).

⁴ La matrice sera présentée en détails dans le chapitre 3, Figure 10.

- Les produits structurés (CDO, CLO) ;
- Les OPC ayant une sensibilité taux non nulle.

Avec deux scénarios de choc, le besoin en capital sera égal à la plus grande perte générée par ces scénarios, à la hausse de la courbe des taux ou une baisse de la courbe des taux.

- Pour le risque de hausse des taux, un choc relatif est appliqué sur la courbe des taux (publiée par l'EIOPA), avec un minimum de 1%, correspondant à un choc absolu ;
- Pour le risque de baisse des taux, un choc relatif est également appliqué sur la courbe des taux. Une nouveauté a été introduite avec les nouvelles dispositions et aux conditions économiques récentes (taux négatifs) : aucun choc n'est appliqué lorsque le taux est négatif.

Les chocs relatifs sont définis par maturité annuelle.

1.2.1.2 Risque actions

Le module risque action vise à quantifier le besoin en capital nécessaire pour faire face à l'impact d'une baisse du cours des actions, sur la valeur du bilan. Il est divisé en 2 catégories :

- Action type 1 : actions listées dans un pays membre de l'Union Européenne ou de l'OCDE ;
- Action type 2 : autres actions listées hors OCDE, actions non listées, Hedge funds, matières premières et autres titres non classés dans un module du risque de marché.

Pour chacune des deux catégories d'actions, un niveau de choc, ajusté du SA (Symmetric Adjustment) est appliqué directement à l'exposition au marché (produit du choc avec le montant de l'exposition) : 39% pour les actions de type 1, et 49% pour les actions de type 2. Finalement un coefficient de corrélation entre les deux types d'actions est utilisé pour obtenir un SCR action.

L'ajustement symétrique, plafonné à +/- 10%, représente l'ajustement à rajouter au niveau de choc mentionné précédemment, afin de prendre en compte l'aspect contracyclique : le choc est plus élevé lorsque le marché action est à tendance haussière. Inversement, le choc est moins élevé lorsque le marché action est en baisse. Cet ajustement symétrique se calcule selon une formule précise, en fonction du niveau de cours actuel et de la moyenne sur les 36 derniers mois. Il est également publié par l'EIOPA.

Le risque actions est un des risques à forte variance et pour lequel les institutions mettent en place des instruments de couverture afin d'atténuer ce risque. Les instruments de couverture (options, futures) liés au marché action, doivent être pris en compte en proportion du niveau moyen de couverture à horizon d'un an, (excepté les stratégies de couverture sujette à un roll régulier). En effet, l'aspect temporel est important : prise en compte de la durée/maturité du produit de couverture, par rapport au gain potentiel en SCR, qui est une mesure de risque à horizon 1 an. Ces éléments seront détaillés et précisés dans la partie 2.2.1.

1.2.1.3 Risque de spread

Le module risque de spread vise à quantifier le besoin en capital correspondant au risque d'une évolution à la hausse des spreads de crédit (écart entre le taux actuariel d'un produit de taux et le taux sans risque, dans la devise du titre). Trois grandes catégories d'instruments financiers sont concernées :

- Les obligations et prêts ;
- Les positions de titrisation ;
- Les dérivés de crédits (CDS par exemple), **à des fins autres que de couverture.**

Dans le dernier cas, l'objectif serait de quantifier le besoin en capital correspondant au risque d'une baisse des spreads de crédits.

Cette catégorie de produit financier, les CDS, sera présentée plus en détails dans la deuxième partie de ce mémoire (concept, modélisation et valorisation). Comme évoqué précédemment, et comme nous pouvons constater qu'il n'y a aucune indication pour le calcul de SCR pour le CDS en cas de couverture, l'objectif sera donc également d'aborder l'utilisation de ce produit CDS en proposant des approches de calcul du « SCR spread CDS couverture ».

Concernant le choc, il correspond à une fonction linéaire par morceau de la duration, et utilisant également la notation. En effet, par simplification, le choc de spread est appliqué à la valeur de marché des titres concernés par le risque, et non au spread du titre en tant que tel. Cela représentera une des complexités de modélisation du SCR spread CDS couverture que l'on verra au chapitre 2.

Le risque de spread recourt à la notation du titre, en CQS (Credit Quality Steps, échelon de qualité de crédit). Une correspondance entre les notations des différentes agences et le CQS est définie dans le règlement⁵ et sera présentée en Annexe 1.

Ainsi, en fonction de la typologie de titre (Obligation et prêts, position de titrisation, de retitrisation), des matrices à double entrée (duration modifiée et échelon de crédit) sont fournies dans le règlement délégué, et définissent le niveau de choc à appliquer à l'instrument financier. Elle sera présentée en détail dans la partie 2 de ce mémoire.

Sans s'attarder sur les différentes spécificités qui peuvent se poser pour les instruments financiers ayant un risque de spread, il est à noter que des spécificités existent, notamment :

- Choc nul pour les obligations émises par les Etats membres de l'UE ou par la BCE ;
- Chocs spécifiques, avec une matrice dédiée (également à double entrée, duration et notation), pour les obligations émises par des Etats non-membres de l'EEA en devise locale ;
- Traitement favorable pour les obligations garanties ayant une qualité de crédit inférieure ou égale à 3, et une maturité inférieure à 5.

⁵ RÈGLEMENT D'EXÉCUTION (UE) 2016/1799 DE LA COMMISSION du 7 octobre 2016.

Nous détaillerons particulièrement dans le deuxième chapitre les niveaux de chocs ainsi que le calcul du SCR spread (y compris les simplifications utilisées), pour des titres obligataires mais également les méthodologies possibles pour le calcul du « SCR spread CDS couverture ».

Nous examinerons également les limites méthodologiques qui se posent, notamment avec la liaison étroite entre un écartement de spread et la réalisation d'évènements de défaut, impliquant un risque de contrepartie/défaut.

1.2.1.4 Risque immobilier

Le module de risque Immobilier vise à quantifier l'impact de la baisse des marchés immobiliers sur la valeur des actifs. Le choc de ce module consiste à faire diminuer instantanément de 25% la valeur des actifs immobiliers.

Cependant les organismes d'assurance ont à leur disposition différents véhicules pour investir indirectement dans l'immobilier. Bien que tous ces investissements impliquent une exposition à l'immobilier, tous ne sont pas considérés comme assimilables à du risque immobilier et / ou peuvent entraîner un coût supérieur aux 25% annoncés (Exemple : Société Civile Immobilière – SCI ou Société Civile de Placement Immobilier – SCPI).

1.2.1.5 Risque de change

Le module risque de change vise à quantifier le besoin en capital correspondant à la perte générée par l'effet de change sur la valeur des actifs. Sont concernés par ce module :

- Tous les titres libellés en devises étrangères ;
- Les produits de change (options, futures, swaps, forwards).

Pour chacune des devises est calculée l'exposition nette, c'est-à-dire la valeur absolue de la somme des expositions individuelles des titres à cette devise. Nous retenons la variation en fonds propres maximale parmi le choc à la hausse et à la baisse (égale à +/-25%) comme besoin en capital individuel de l'exposition nette à une devise étrangère.

Il est à noter qu'il n'y a pas de diversification entre devise (le SCR change est à égal à la somme directe des différents besoins en capital pour chacun des devises).

1.2.1.6 Risque de concentration

Ce module vise à quantifier le besoin en capital correspondant à un manque de diversification ou à une surexposition au risque de défaut d'un même émetteur.

Ce module concerne les titres relevant des sous-modules actions, crédit et immobilier. La concentration est calculée non pas au niveau de l'émetteur mais au niveau du groupe auquel l'émetteur est rattaché.

Nous identifions les groupes par la société mère ultime.

Pour déterminer le coût de la concentration à un groupe, il faut au préalable calculer l'exposition nette à ce groupe et la qualité de crédit. L'exposition nette correspond à la somme des expositions individuelles.

Pour plus de détails sur les niveaux de chocs appliqués pour chacun des risques élémentaires du risque marché (hors risque de spread), le lecteur pourra se référer aux documents relatifs à la réglementation Solvabilité II et des revues réalisées.

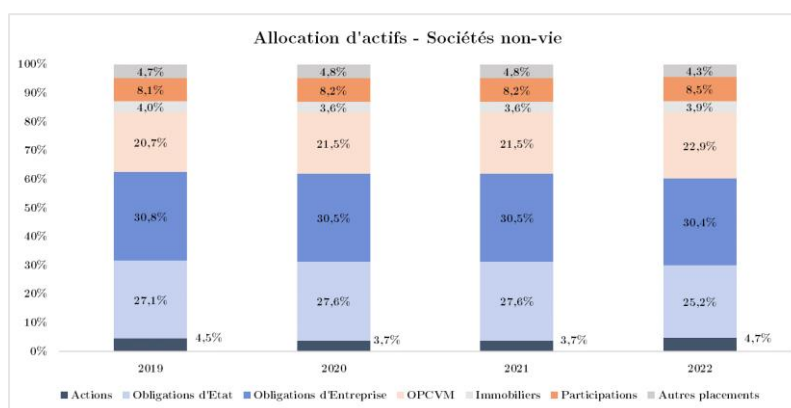
1.2.2 Exposition des acteurs du marché d'assurance non-vie aux risques financiers

Dans cette partie, nous présentons le panorama de la composition des portefeuilles des acteurs du marché français, ainsi que l'exposition aux multiples sous modules du risque marché. Sociétés (vie et non-vie), mutuelles ou bancassureurs, tous ont une approche au risque différente du fait de l'activité, de la durée d'engagement et du comportement unique des assurés et adhérents vis-à-vis du produit.

L'étude a été réalisée sur la base des rapports SFCR, rapports de solvabilité publiés annuellement par les acteurs du marché non-vie, dans le cadre du pilier 3 de Solvabilité II (Cf. partie 1.1). Avec également les événements récents depuis 2020 (crise covid, hausse des taux), nous analyserons également les évolutions qui ont eu lieu dans l'allocation d'actifs des portefeuilles de ces acteurs.

Grâce aux différentes informations financières présentes dans les SFCR, notamment grâce au QRT S.02.01.02, un des états de reportings financiers présents dans le SFCR, il est possible représenter graphiquement la composition du portefeuille d'actifs des acteurs. Ayant agrégé ces informations par type d'acteurs⁶ (mutuelles, sociétés et bancassureurs), pour la période 2019 à 2022, les figures suivantes illustrent en moyenne les allocations d'actifs des acteurs et leur évolution, par typologie d'acteur :

Pour les sociétés non-vie, comme Allianz IARD, AXA IARD ou Generali IARD, nous remarquons que les Obligations d'Entreprises sont les plus représentées dans ces portefeuilles. Deux risques sont portés par ce type d'actif, comme évoqué lors de la présentation des sous-modules : le risque de taux et le risque de spread. Il serait



Histogramme 1 : Allocation d'actifs – Sociétés non-vie

opportun d'analyser la segmentation de cette catégorie, en termes de notation et duration, ainsi que d'autres critères tels que le secteur d'activité de l'entreprise et le rendement attendu. En

⁶ La liste des différents acteurs, dont les SFCR ont été une source pour ce benchmark, est présente en annexe.

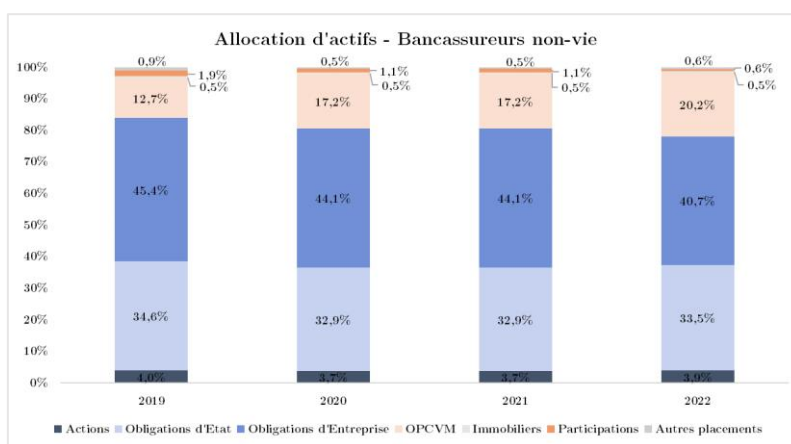
effet, à montant égal d'Obligations d'Entreprise, leurs notations et leurs durations peuvent donner un profil de risque différent vis-à-vis du risque spread, pouvant favoriser, selon les conditions économiques ainsi que objectifs fixés par l'acteur, le comportement d'un portefeuille par rapport à un autre. Nous verrons que ces éléments constituent des indicateurs clés lors des arbitrages et décisions d'investissement réalisés dans le cadre la gestion d'actifs (évoqué en partie 1.3.1.1).

Derrière les Obligations d'Entreprise, nous retrouvons les Obligations d'Etat, puis les OPCVM (Organisme de Placement Collectif en Valeur Mobilières) qui sont des produits pouvant porter plusieurs risques, selon leur composition. Un OPCVM pouvant regrouper différents types d'actifs en sous-jacents (actions, obligations, immobilier...), les OPCVM obligataires⁷ sont également des actifs qui portent les risques taux et spread.

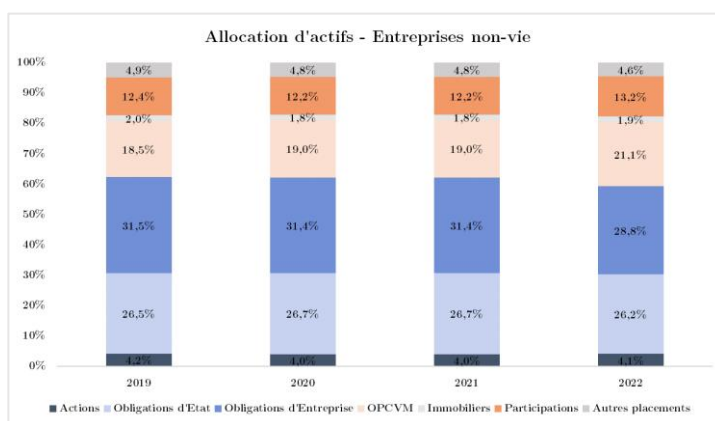
En ce qui concerne les bancassureurs non-vie, nous retrouvons un poids plus important pour les Obligations d'Entreprise dans leur portefeuille. En effet, cela peut être interprétée par une meilleure connaissance des entreprises émettant des obligations, mais également par l'activité elle-même qui cherche à obtenir un rendement à

travers des investissements plus sécurisés que les actions, et avec un rendement plus important que celui des Obligations d'Etat. En effet, la frontière efficiente est un élément important pour les équipes financières, leur permettant de visualiser le rendement optimum pour le niveau de risque pris.

Plus globalement, nous remarquons que pour les entreprises non-vie, la part d'actifs la plus élevée est celle des Obligations d'Entreprise. Avec également des Obligations d'Etat en portefeuille, le risque de taux pourrait constituer un risque important au sein des portefeuilles, en fonction de la durée du passif. Également,



Histogramme 2 : Allocations d'actifs – Bancassureurs non-vie



Histogramme 3 : Allocation d'actifs – Entreprises non-vie

⁷ Grâce aux processus de transparenisation, consistant à détailler les différents actifs vanilles sous-jacents contenu dans l'OPCVM, il est possible d'identifier les risques prépondérants portés par l'OPCVM.

nous ne pouvons trancher entre le risque de spread ou le risque action, car nous n'avons pas plus d'éléments quant au poids du risque de spread (dépendant essentiellement sous Solvabilité II de la durée et de la notation, Cf. partie 1.2.1.3) par rapport au risque actions, les SCRs de ces sous-modules n'étant pas disponibles dans les rapports quantitatifs.

Nous pouvons constater également qu'il y a un changement de profil de risque au fil des ans. La part d'Obligations d'Entreprises passant de 31,5% en 2019 à 28,8% en 2022, signe de dérisking réalisé sur cette poche d'actif, qui peut être dû aux arrivées à échéances, en investissant les tombées de coupons et nominal sur d'autres poches d'actifs jugés plus intéressants (rendement, objectif de SCR et ratio), ou également des arbitrages de réallocation, notamment avec une période qui a connu un écartement de spread et une volatilité sur ce marché. Cette évolution est encore plus portée essentiellement par les bancassureurs non-vie (de 45,4% à 40,7%) comparée aux sociétés non-vie.

1.3 Gestion et atténuation de risque financier, et produit de couverture

La gestion des risques financiers (et plus globalement des risques) au sein d'une compagnie d'assurance fait l'objet de plusieurs principes, études et implémentation de stratégies à des fins de respect de solvabilité mais également pour honorer de manière durable les engagements envers les assurés. En effet, la gestion des risques constitue un des piliers de Solvabilité II (Pilier 2, Cf. partie 1.1).

Sans s'attarder sur le cadre global de la gestion des risques, nous allons aborder plus particulièrement les notions d'allocation d'actifs et la gestion actif-passif, permettant de gérer les risques financiers, puis introduire les produits dérivés comme technique d'atténuation de ces risques.

1.3.1 Premiers recours pour l'atténuation des risques financiers

Les acteurs du marché ont à disposition plusieurs outils de gestion et atténuation de risque. Grâce à l'ORSA ou la pratique de stress-tests et études, il est possible d'identifier à un premier niveau, le(s) sous-module(s) de risque pour lequel (lesquels) il existe une forte sensibilité et exposition.

1.3.1.1 Une gestion active des investissements et de l'allocation d'actifs

L'un des premiers outils qui est à disposition des acteurs est la mise en place d'une gestion et allocation d'actif en ligne avec le profil de risque et les attentes en termes de rendement. Cela peut se décliner par la définition de limites d'investissement par catégorie d'actifs, allant jusqu'à la maille jugée la plus fine, selon la typologie d'actif. En prenant l'exemple d'obligation d'entreprise, plusieurs critères peuvent être utilisés pour mieux qualifier et cibler les investissements :

- La qualité/échelon de crédit de l'émetteur ;
- La durée de l'obligation et son impact sur la durée du portefeuille ;
- Le secteur de l'entreprise émettant l'obligation ;
- Le coupon servi et son impact sur le rendement attendu du portefeuille ;

Avec une gestion active en place ainsi qu'une gouvernance permettant de suivre de près les caractéristiques du marché, du portefeuille et des investissements réalisés, il est possible d'adapter le profil de risque souhaité et d'obtenir une atténuation des risques financiers.

1.3.1.2 La gestion et l'adossement actif-passif (ALM – Asset Liability Management)

Dans le marché d'assurance vie, il existe une complexité de fonctionnement supplémentaire nécessitant l'implémentation d'outils visant à projeter dans l'avenir le comportement de l'entreprise, à travers l'évolution de son bilan, de son compte de résultat, de ses provisions techniques, de ses primes, etc.... Du fait de l'interaction et lien étroit entre actif et passif, dû au fonctionnement des contrats d'assurance vie (notamment avec le partage de richesse grâce à la participation aux bénéfices, en cas de contrats Euros), l'assureur a en effet le besoin de prévoir le comportement notamment de son actif et de son passif dans les années à venir.

Ces outils cherchent à projeter et comparer les flux de trésorerie, ou cash-flows, générés par les actifs financiers d'une part, et par les engagements de l'assureur d'autre part qui sont présents en portefeuille (vision « run-off »). Dans la projection des flux de l'actif, nous sommes sur toutes les périodes les cash-flows issus des revenus financiers du portefeuille (intérêts, loyers, dividendes, coupons, etc.). Dans la projection des flux du passif, on somme sur toutes les périodes les cash-flows issus des contrats (TMG, dates d'échéance, rachats, décès, etc.). La différence entre ces deux valeurs donne pour chaque période l'excédent ou l'impasse de trésorerie permettant à l'assureur de connaître une approximation du montant qu'il aura à investir, ou le montant d'actif qu'il aura à liquider, et donc la stratégie de gestion adéquate de son portefeuille. L'assureur va pouvoir chercher à adosser l'actif au passif afin de couvrir ses flux de passifs par ses revenus d'actifs.

La gestion actif-passif, aussi dénommée par son acronyme anglais ALM (Asset and Liability Management), est une pratique à la croisée des chemins de la gestion des risques et du pilotage stratégique. Elle consiste à analyser la situation du bilan et son évolution probable sur un certain horizon, en fonction de certaines hypothèses (taux d'intérêt, développement commercial, indicateurs macro-économiques et autres variables de marché). Elle a pour objectif d'estimer et piloter l'équilibre entre les ressources et les emplois compte tenu des risques encourus par l'établissement, sous contrainte d'un niveau de rentabilité. Également, elle a besoin de comprendre les comportements de la clientèle, afin de les modéliser et d'en évaluer les impacts au travers de simulations qui lui permettent alors de décider de mettre en place des opérations de couverture contre les risques identifiés.

Nous ne développerons pas ces principes dans ce mémoire, puisque nous nous concentrerons sur les entreprises non-vie, avec l'application de Formule Standard pour le calcul du SCR.

1.3.2 Les produits dérivés comme solution pour atténuer un risque financier

Une des méthodologies permettant l'atténuation des risques financiers est l'utilisation d'instruments financiers de couverture (Hedging). L'utilisation de ces instruments et produits dérivés devient répandue sur le marché, notamment avec les derniers événements impactant le marché financier, comme la covid-19 ou également la hausse des taux (que nous vivons encore

aujourd'hui). Lors de ces crises, les principaux facteurs de risque ayant connu des variations drastiques, rapides et/ou longues, sont le risque de taux, le risque de spread ainsi que le risque action. Nous avons d'ailleurs constaté que ces facteurs de risques sont les plus prépondérants chez les entreprises non-vie, à travers les éléments présentés en section 1.2.2.

Ces produits dérivés, lorsqu'ils sont judicieusement choisis et calibrés sur certains paramètres de marché mais également du portefeuille, permettent de se couvrir contre des variations de marchés impactant négativement les actifs détenus par l'entreprise.

Par exemple, pour se couvrir contre une baisse du cours actions, un des produits couramment utilisés pour se couvrir contre ce scénario est le put. C'est un instrument financier, donnant l'option de vendre une quantité donnée d'actions (sous-jacent), à un certain prix (appelé Strike) fixé, plus élevé que le cours actuel (qui a subi une baisse). Ainsi, la différence entre cours actuel et le strike, représente l'atténuation (le gain, appelé Payoff) sur la chute des prix d'actions détenues. Nous remarquons d'ores-et-déjà qu'un matching est nécessaire entre le sous-jacent (panier d'actions ou indice marché d'action) et le portefeuille ou sous-portefeuille d'actions détenues, afin de réduire le risque de base existant. Nous définirons et détaillerons notamment ces notions ainsi que les contraintes réglementaires existantes au chapitre 2, dans le cadre de la mise en place de couverture à travers des produits dérivés. En effet, plusieurs critères qualitatifs, quantitatifs et réglementaires sont nécessaires à remplir afin que la technique d'atténuation du risque soit éligible pour prendre en compte ses effets sous Solvabilité II.

Dans le cadre du présent mémoire, nous nous intéresserons au facteur de risque spread (ou crédit), présent principalement à travers la classe d'actifs d'Obligations d'Entreprises, et qui est un risque de perte lié à l'évolution de la qualité de la signature de l'émetteur (notation, variation de spread, évènement de crédit/défaut).

Par conséquent, un des produits dérivés pouvant être utilisé comme produit de couverture est le CDS (Credit Default Swap). Le chapitre suivant sera consacré à ce produit et ses caractéristiques. Nous y verrons également que plusieurs critères doivent être remplis pour une éligibilité du produit à la technique d'atténuation de risque financier sous Solvabilité II. Bien que ce produit soit mentionné dans certains textes concernant l'éligibilité et son utilisation, nous ne trouvons aucune indication sur les principes et techniques d'évaluation du SCR associé lorsque ce produit est utilisé à des fins de couverture. Nous explorerons et proposerons donc des méthodologies d'évaluation possibles du « SCR spread CDS couverture » sous la Formule Standard (FS).

II. Modélisation de CDS et calcul de SCR associé sous FS

Ce deuxième chapitre définit le produit dérivé CDS, avec ses caractéristiques et variantes, tout en développant les modèles de valorisation (pricing) permettant d'évaluer le produit sous tout environnement. Nous aborderons ensuite les axes principaux de ce mémoire : les aspects réglementaires liés à l'éligibilité du CDS à la technique d'atténuation de risque, puis l'exploration de différentes méthodologies de calcul du SCR spread lié au produit, la réglementation n'étant pas claire à tous égards sur cet aspect. Nous verrons notamment que les particularités de modélisation du risque spread en Formule Standard ont motivé ces propositions de méthodologies.

2.1 CDS : présentation et pricing du produit

2.1.1 Le risque de crédit

Le risque de crédit désigne le risque de perte lié à l'évolution de la qualité de la signature d'un émetteur. En effet, la possibilité de défaut de la part des emprunteurs, des contreparties dans les transactions d'actifs dérivés et des émetteurs d'obligations met les institutions financières face à un risque de crédit significatif. Ce risque peut se matérialiser sous plusieurs formes pour un émetteur donné :

- Le changement de sa note : des agences de notation à l'instar de Moody's ou Standard & Poor's évaluent le risque de non-remboursement de la dette ou d'un emprunt d'un État, d'une entreprise ou d'une collectivité locale. Ces agences, rémunérées par le demandeur de notation financière, produisent, à titre indicatif, des outils estimant les risques d'insolvabilité ;
- La variation de son spread de crédit : le spread de crédit (ou spread) désigne l'écart de taux actuariel entre :
 - une obligation émise par une entreprise, une collectivité territoriale ou un organisme ; et
 - un emprunt d'État théorique qui aurait les mêmes flux financiers ;
- L'apparition d'un évènement de crédit / défaut : cet évènement reflète l'incapacité d'une entreprise de faire face à son devoir de paiement, dû à une certaine institution.

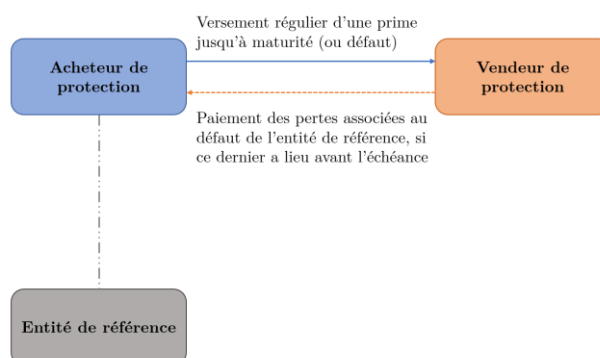
Afin de se prémunir et se couvrir de ces situations, des produits dérivés sont disponibles sur le marché pour atténuer les pertes générées par ces situations de crédit. Nous les présentons dans la prochaine partie.

2.1.2 Définition du CDS

2.1.2.1 CDS single-name

Le swap de défaut, ou plus communément appelé Credit Default Swap (CDS), est le dérivé de crédit le plus populaire. C'est un contrat bilatéral de gré à gré, entre un acheteur de protection et un vendeur de protection, qui a pour objectif de protéger une partie, l'acheteur de la protection, contre la perte de valeur nominale d'obligations ou de prêts, à la suite de la défaillance de leur émetteur. Cette protection prend effet à partir de la date d'entrée en vigueur qui tombe sur la date civile suivant la date de la transaction, et dure jusqu'à une date d'échéance spécifiée. L'émetteur de l'obligation sur laquelle porte le CDS est connu comme *l'entité de référence*.

Le fonctionnement d'un CDS est similaire à un contrat d'assurance : il permet le transfert du risque de crédit d'une entité de référence entre deux contreparties. Cependant, contrairement à un contrat d'assurance, l'acheteur de protection ne détient pas forcément l'entité de référence. Le vendeur s'engage à indemniser l'acheteur de protection en cas de survenance d'un événement de défaut relatif à la dette obligataire. Dans notre cas spécifique, ce sera une obligation (ou ensemble d'obligation) d'entreprise, au vu du facteur de risque spread considéré. En échange de cette protection, l'acheteur s'engage à verser périodiquement au vendeur une prime (ou *spread de crédit*).



Nous distinguons 2 types de « jambes » dans un CDS :

- La jambe de défaut (Default Leg) ou jambe de protection : Si un défaut, ou plus communément appelé un événement de crédit⁸, se produit avant la date d'échéance du contrat, le vendeur de protection doit indemniser l'acheteur de protection pour la perte par rapport au pair sur la valeur nominale des *obligations* ;
- La jambe de primes (Premium Leg) : En contrepartie de la prise en charge du risque de crédit associé à cette obligation, le vendeur de protection reçoit un paiement régulier, généralement trimestriel⁹, de l'acheteur de protection. Ces paiements prennent fin à la suite d'un événement de crédit ou à l'échéance du contrat, selon ce qui se produit le plus tôt. Tout paiement qui s'est accumulé depuis la date du coupon précédent est

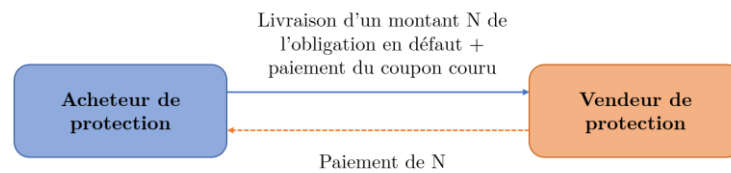
⁸ La définition du « défaut » est spécifiée dans le contrat à l'achat du CDS.

⁹ Calendrier spécifié par l'ISDA (International Swaps and Derivatives Association) IMM Dates

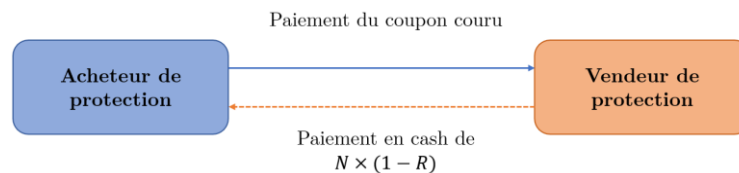
également versé au vendeur de protection. Le montant de la jambe de primes est exprimé en points de base, en pourcentage du principal (par ex : 90bps sur un montant de 100 M€). Il est appelé *spread de CDS*.

Le paiement contingent désigne le versement que le vendeur de protection effectue auprès de l'acheteur de protection si un événement de crédit, tel que prévu et décrit contractuellement, survient. Il faut également définir de quelle manière le vendeur de protection effectue le paiement contingent : soit faire une compensation en espèces (cash settlement), – qui est en grande majorité le cas –, soit un règlement physique (physical settlement) :

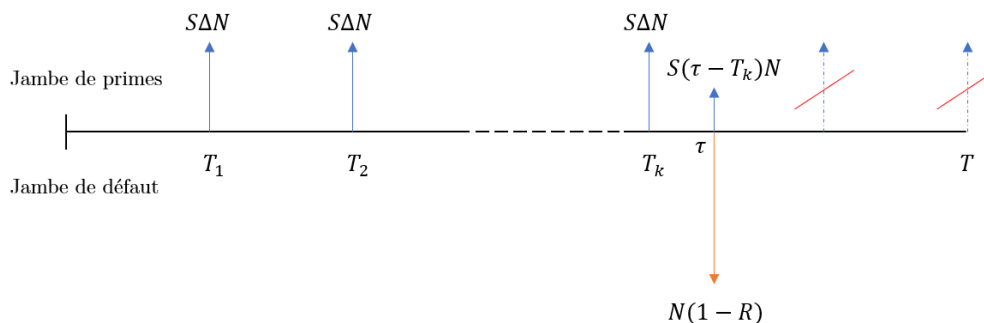
- Le règlement physique (physical settlement) : le vendeur de protection paie le montant notionnel de l'actif en cash, et reçoit l'actif en contrepartie de la part de l'acheteur de protection.



- Le règlement en espèces (cash settlement) : le vendeur de protection paie à l'acheteur de protection la valeur nominale de la protection, moins le taux de recouvrement de l'obligation de référence en espèces. Le prix de la récupération est déterminé par un sondage auprès des concessionnaires ou processus d'enchères.



Nous pouvons schématiser le fonctionnement d'un CDS et ses flux, avec un défaut avant maturité, grâce au diagramme suivant :



En notant :

N le montant nominal à protéger, T la date de maturité du swap, S le spread du contrat (en points de base, bps), τ la date de défaut, et ;

T_1, T_2, \dots, T_n : Les dates de paiement des primes (avec $T_n = T$). Les versements sont trimestriels (20 mars, 20 juin, 20 septembre et 20 décembre) par convention¹⁰ ;

$\Delta = T_i - T_{i-1}$: La durée entre chaque date de paiement ;

R : Le taux de recouvrement.

Le recouvrement estimé est également un élément clé de la valorisation d'un contrat CDS, car il représente la valeur après défaut, et a donc un impact sur les flux de trésorerie attendus. Le taux de recouvrement, noté R , n'est pas directement observable sur le marché. Pour un dérivé de crédit, le recouvrement après défaut est défini comme la valeur de marché d'une obligation de l'émetteur à une date postérieure au défaut. Comme cette valeur est inconnue à l'initiation du contrat, il faut la modéliser. Il est en général estimé par les desks de trading des CDS. Néanmoins, la méthode la plus simple (et la plus courante) consiste à le considérer comme un pourcentage supposé constant du montant nominal de l'obligation. En pratique, pour valoriser un CDS, il est supposé $R = 40\%$ (la probabilité de défaut étant faible, le taux de recouvrement est au mieux une estimation). C'est également ce que nous ferons dans ce mémoire.

Toutefois, dans le cas des titres moins bien notés, où la probabilité de défaut est plus élevée, le taux de recouvrement est souvent défini plus précisément pour mieux refléter la réalité.

2.1.2.2 Indices CDS – CDS Index

Les indices CDS ont été instaurés dans l'optique de favoriser une plus grande liquidité et une plus grande transparence sur le marché des CDS. Ces indices sont des portefeuilles de CDS simples : ils sont constitués d'un panier équilibré de contrats CDS single-name. Les titres regroupés dans ces paniers sont typiquement les CDS les plus liquides, et sont choisis par zone géographique et/ou par notation.



Figure 6 : Encours total du nominal des CDS échangés sur le marché

¹⁰ Le lecteur pourra se référer à [Dominic O’Kane, 2008] Modelling single-name and multi-name credit derivatives, pour plus d’informations sur les conventions de paiements.

Pour les marchés d'Europe, la famille d'indices CDS, gérées par Markit Group sont les indices iTRAXX. Par exemple, l'iTRAXX Europe est composé de 125 swaps de défauts relatifs à des titres obligataires de qualité financière « Investment Grade »¹¹. La pondération est $\frac{1}{125}$ pour chaque entité au sein du portefeuille.

Le succès des indices CDS est dû aux nombreux avantages qu'ils présentent, parmi lesquels qui nous concernent dans ce mémoire :

- Contenant jusqu'à 125 crédits, les indices CDS permettent aux investisseurs de prendre une large exposition aux marchés du crédit en une seule transaction.
- Les indices CDS permettent une couverture des marchés du crédit en une seule transaction. C'est ainsi qu'ils seront utiles comme nous le verrons en sections 2.2, puisqu'ils permettent de couvrir une large exposition aux marchés du crédit.
- Les indices CDS ont un coût initial faible. En effet, il est naturel d'intégrer l'information d'impact sur le résultat lors de la réalisation de tels investissements pour les compagnies d'assurance.

Un indice CDS est également un contrat bilatéral de gré à gré. Il est important de noter que la terminologie des indices CDS est différente de celle du marché des CDS évoquée précédemment. Être acheteur d'indice CDS signifie être acheteur de risque de crédit (donc vendeur de protection) - la partie qui reçoit le spread. Ce marché est différent de celui des CDS, où l'on suppose souvent que l'acheteur est un acheteur de protection.

La plupart des indices CDS sont émis ou renouvelés semestriellement avec un coupon fixé pour la durée de vie de l'émission. Celui-ci est égal approximativement à la prime moyenne des contrats CDS single-name constituant l'indice à sa date de lancement. Pendant la période entre l'émission d'un nouvel indice et la publication de la prochaine série (6 mois plus tard), cet indice est connu sous le terme d'*on-the-run index*.

Les indices sont émis avec une gamme d'échéances. Il est aujourd'hui possible de négocier des indices avec des échéances de 3Y, 5Y, 7Y et 10Y, en notant que les plus liquides sont les échéances 5Y et 10Y. Ce sont ces derniers, en particulier celui à tenor 5Y qui nous intéressera dans ce présent mémoire.

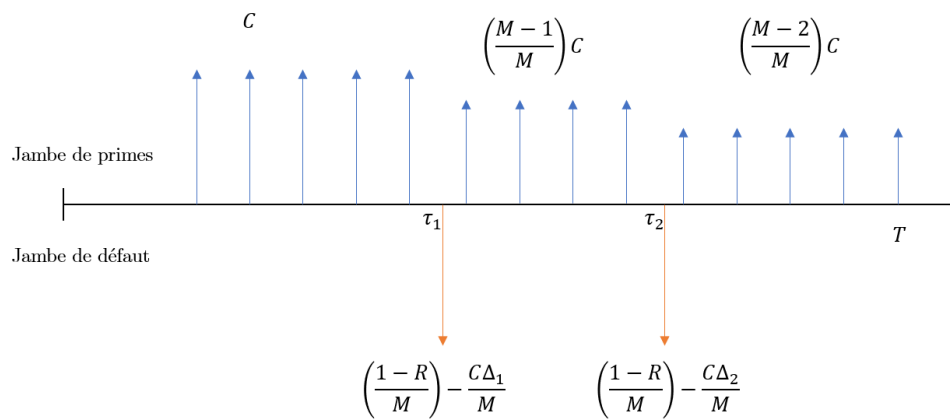
Les constituants d'une émission d'un indice restent les mêmes pendant sa durée de validité, sauf en cas de survenance d'un défaut, auquel cas le(s) constituant(s) est (sont) supprimé(s) de l'indice « on-the-run » sans remplacement (jusqu'à la prochaine publication de série). Les constituants des nouvelles publications de l'indice « on-the-run » (même maturité) peuvent également changer d'une publication (roll) à une autre pour certaines raisons : typiquement, certains titres sont supprimés car ne respectent plus les critères d'inclusion dans l'indice (dégradation de notation, évènement de défaut, diminution de la liquidité du titre). Ils sont remplacés par d'autres titres qui satisfont lesdits critères.

En l'absence d'évènement de crédit, l'acheteur de protection paie alors une prime trimestrielle, le 20 mars, le 20 juin, le 20 septembre et le 20 décembre de chaque année jusqu'à la maturité

¹¹ Emetteurs ayant une notation entre AAA et BBB-, selon l'échelle Standard & Poor's, reprise en Annexe 1.

du contrat (ceux sont les dates conventionnelles de paiement dans un contrat d'indice CDS)¹⁰. Si un événement de crédit affecte une des entités, alors dans le cas où le portefeuille est constitué de M crédits :

- Le vendeur de la protection paie $\frac{1}{M}$ de la valeur du Nominal du contrat à l'acheteur de la protection, en échange de la livraison d'un actif défaillant également sur $\frac{1}{M}$ du contrat notionnel ;
- Le vendeur de protection reçoit la fraction de la prime qui s'est accumulée à partir de la date du coupon précédent sur le titre de crédit ayant fait défaut ;
- Le notionnel du contrat est réduit de $\frac{1}{M}$. De ce fait, le spread de la jambe de prime est lui aussi réduit de $\frac{1}{M}$.



Paiements contingents, avec coupon couru inclus

2.1.2.3 Cotation des CDS

Depuis 2009, le marché a connu une standardisation des procédures de cotations des CDS, l'objectif étant de faciliter l'introduction d'une chambre de compensation.

Parmi les évolutions majeures, la standardisation des primes des CDS se trouve en tête. Traditionnellement, les CDS sont cotés selon la prime que doit payer l'acheteur trimestriellement au vendeur de protection. Cette prime varie grandement de jours en jours, ce qui n'est pas pratique. En effet l'intérêt est de pouvoir regrouper tous les CDS acquis à des dates proches en un seul et même CDS (pour réduire notamment l'exposition future). Théoriquement, cette prime appelée « *par spread* » est celle qui annule le prix du CDS à la date d'achat. L'ISDA (International Swaps and Derivatives Association) a donc introduit le paiement de coupons standardisés plutôt que des coupons payés au *par spread*. Pour les CDS américains, les coupons standards ont été établis à 100 et 500 points de base (bps), tandis que les coupons standards européens sont fixés quant à eux à : 25, 100, 500 et 1000 points de base.

La compensation entre le *par spread* et le coupon standard s'effectue dorénavant par le paiement d'un versement initial, « *l'Upfront fee* ». Celui-ci vise à compenser l'écart entre le *par spread* et le coupon standard. Les CDS sont dorénavant cotés par leur *Upfront fee* (et le coupon standard associé).

2.1.2.4 CDS senior vs. CDS subordonné

Une obligation d'entreprise peut présenter plusieurs caractéristique et options, et l'objectif n'est pas de détailler ces aspects ici. Toutefois, l'une des caractéristiques marquantes réside dans la différenciation entre les obligations dites « Senior » et obligations dites « Subordonnées ».

Dans les nouveautés apportées¹² par l'ISDA en 2014 sur le marché des CDS, figure le fractionnement des CDS Senior et CDS subordonnés, dans le but étant d'éviter un déclenchement de contrats CDS senior par un événement de crédit affectant uniquement la dette subordonnée.

Une obligation subordonnée est représentative d'un emprunt dont le remboursement n'est pas prioritaire en cas de faillite ou de liquidation de l'émetteur. L'emprunt est subordonné à celui des autres créanciers détenteurs d'obligations de rang supérieur, « Senior ». Dans l'ordre de remboursement donc, les titres subordonnés se placent après les obligations « Senior ».

Ces obligations subordonnées peuvent représenter un intérêt pour une compagnie d'assurance, du fait d'un traitement prudentiel favorable et également d'un rendement plus attractif. En effet, la rémunération de ces titres est plus élevée que celle d'une obligation conventionnelle. Cependant, cette rémunération implique un niveau de spread plus important, l'évènement de crédit ayant plus de probabilité de survenir. Une protection contre ce type d'évènement pour les obligations subordonnées est fournie grâce au CDS subordonné.

Néanmoins les compagnies d'assurance détiennent peu d'obligation de ce type, particulièrement dans le contexte actuel de hausse des taux, permettant aux compagnies d'être plus rémunérée tout étant sur le marché « Senior ».

Par la suite, nous considérons que toutes les obligations (d'entreprises) détenues sont de type Senior, ainsi que tous les éléments relatifs aux CDS, qui seront également Senior.

Il est également utile de noter l'existence d'autres dérivés de crédit, avec différentes particularités, en pensant notamment aux CDO, représentant une forme de titrisation dont le portefeuille sous-jacent peut être composé d'Obligations, de prêts, de CDS ou de tranches d'autres CDO. Ils occupent une place importante dans le marché des dérivés de crédit. Nous ne traiterons pas ces produits dans ce présent mémoire.

2.1.3 Modèles de pricing

Plusieurs types de modèles de défaut peuvent être envisagés, allant du plus simple (une variable aléatoire binaire définissant l'occurrence d'un défaut) au plus complexe (un bilan aléatoire des actifs et des passifs, pouvant capter les recouvrements potentiels en cas de défaut).

Il existe deux grandes familles de modèles pour le défaut d'une entreprise :

- les modèles structurels : basés sur une approche de type bilan d'entreprise. Ils apportent une explication au défaut d'une entreprise à partir de variables économiques et de données propres à l'entreprise. Le modèle le plus célèbre est celui de Merton, il lie le défaut d'une entreprise à sa capacité à rembourser sa dette.

¹² ISDA. (2014). Credit Derivates Definitions Protocol.

- les modèles à intensité (aussi connus sous le nom de modèles à forme réduite) : basés sur la théorie de la survie, et ne prenant pas en compte d'informations supplémentaires. Les modèles à forme réduite cherchent à expliquer le défaut à partir d'un processus exogène appelé l'intensité de défaut. Ce processus décrit la probabilité instantanée d'une entreprise à faire faillite.

Ce mémoire se concentrera exclusivement sur les modèles à intensité, qui représentent la pratique générale du marché. En effet, les modèles structurels¹³ présentent quelques limites pratiques en tant que modèle de valorisation :

- En pratique, il est difficile d'avoir accès aux valeurs des actifs d'une société. Les paramètres d'entrées du modèle sont ainsi difficilement accessibles ou estimables ;
- La vision du défaut également adoptée par cette approche est simpliste : un défaut survient uniquement à échéance (dans le cas du modèle de Merton classique) et lorsque les valeurs des actifs deviennent inférieures à un certain seuil, ce qui n'est pas le cas dans la réalité économique d'une entreprise ;
- Le modèle ne tient pas compte de la structure de la dette des entreprises (la séniorité de la dette) alors qu'en réalité toutes les dettes ne se valent pas, ce qui impacte la valorisation du CDS.

2.1.3.1 Modèles à forme réduite (à intensité)

Les modèles d'intensité reposent sur l'idée de décrire le temps de défaut τ comme le premier temps de saut d'un Processus de Poisson.

Le défaut n'est pas induit par des observables de base du marché et/ou fondamentaux économiques, mais comporte une composante exogène indépendante de toutes les informations par défaut sur le marché libre. Également, la surveillance du marché (taux d'intérêt, taux de change, etc.) ne fournit pas d'informations exhaustives sur le processus de défaut, et il n'y a aucune justification économique au défaut.

Le défaut étant un événement imprédictible, la seule information importante concerne la viabilité opérationnelle et la solvabilité de l'entreprise. Nous définirons donc rapidement les trois types de processus de Poisson, avant d'aborder la valorisation (pricing) du CDS.

Pour des détails mathématiques approfondis sur les concepts abordés dans cette partie, le lecteur pourra consulter les références suivantes :

- [Damiano B., Fabio M.] Interest rate models – Theory and practice, with smile, inflation and credit ;
- [Dominic O'Kane, 2008] Modelling single-name and multi-name credit derivatives ;

¹³ Le lecteur pourra se référer au mémoire « Tarification des CDS et des options sur iTRAXX » réalisé par Alexandre Puel, pour plus d'information sur les modèles structurels.

- PUEL ALEXANDRE (2020) Tarification des CDS et des options sur iTraxx : théorie et pratique dans le cadre d'une mission d'audit. Impacts de la crise de la Covid-19 sur les spreads de crédit.

- Probabilité de survie, fonction de hasard et intensité de défaut

En notant τ l'instant de défaut, la probabilité de survie peut s'écrire simplement sous la forme suivante, pour $t > 0$:

$$\mathbb{P}(\tau > t)$$

Sous probabilité conditionnelle, avec $T \geq t > 0$:

$$\mathbb{P}(\tau > T | \tau > t) = \frac{\mathbb{P}(\tau > T \cap \tau > t)}{\mathbb{P}(\tau > t)} = \frac{\mathbb{P}(\tau > T)}{\mathbb{P}(\tau > t)}$$

Nous pouvons définir le taux de hasard $h(t)$ comme tel, représentant l'intensité de défaut :

$$h(t) = \frac{\mathbb{P}(\tau \in [t, t + dt] | \tau > t)}{dt} = \frac{\mathbb{P}(\tau > t) - \mathbb{P}(\tau > t + dt)}{\mathbb{P}(\tau > t)dt} = -\frac{1}{\mathbb{P}(\tau > t)} \frac{d}{dt} \mathbb{P}(\tau > t)$$

Ainsi, avec $\mathbb{P}(\tau > 0) = 1$, la fonction de survie peut s'écrire :

$$\mathbb{P}(\tau > t) = e^{-\int_0^t h(s)ds}$$

Et nous pouvons donc écrire la probabilité de défaut comme suit :

$$\mathbb{P}(\tau \leq t) = 1 - e^{-\int_0^t h(s)ds}$$

- Processus homogène : intensité constante

Ce modèle représente l'approche la plus basique et c'est l'hypothèse qui sous-tend le modèle utilisé par l'ISDA, avec une légère variation qui nous fera retenir le modèle inhomogène (défaut représenté par une fonction constante par morceau). La probabilité de défaut est modélisée via un processus de Poisson homogène, où l'instant de défaut suit une distribution exponentielle.

Cela revient à supposer que l'intensité de défaut λ est constante, et donc que le taux de hasard $h(t)$ est constant. Ainsi, la probabilité de survie s'écrit comme suit :

$$\mathbb{P}(\tau > t) = e^{-\lambda t}$$

Nous pourrions remarquer l'analogie entre cette expression, et l'expression naturelle d'un zéro-coupon, avec un taux $r = \lambda$.

- Processus inhomogène : intensité déterministe

Avec une intensité de défaut dépendant du temps, nous définissons la fonction de répartition suivante :

$$\Gamma(t) = \int_0^t h(s)ds$$

$\Gamma(t)$ représente la fonction de hasard, fonction de répartition de $h(s)$.

En raison de la relation entre le spread et l'intensité du défaut, et si l'on considère la structure des termes du spread, l'hypothèse d'une intensité constante ne peut tenir. C'est ainsi que l'introduction de méthodes déterministes d'une intensité du défaut dépendant du temps prend sa place.

Ainsi nous pouvons écrire la probabilité de défaut sous la forme suivante :

$$\mathbb{P}(\tau \leq t) = 1 - e^{-\Gamma(t)} = 1 - e^{-\int_0^t h(s)ds}$$

La probabilité de survie s'écrit donc naturellement :

$$\mathbb{P}(\tau > t) = e^{-\int_0^t h(s)ds}$$

- Processus de Poisson à intensité stochastique (Processus de Cox)

Sous ce modèle, l'intensité de défaut est supposée dépendante du temps mais également variable aléatoire, ce qui donne son caractère stochastique. Sachant l'information disponible pour tous sur le marché de 0 à t, et en notant l'intensité de défaut λ_t , λ est connu à chaque instant, de 0 à t.

Nous pouvons écrire la fonction de répartition, ou la fonction hasard, comme suit :

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda_s ds$$

Par analogie au processus de Poisson inhomogène, et puisque nous avons une variable aléatoire, nous pouvons écrire la probabilité de survie sous la forme suivante :

$$\mathbb{P}(\tau > t) = \mathbb{E}[e^{-\int_0^t \lambda_s ds}]$$

Remarquons encore l'analogie entre cette expression et le prix d'une obligation sous le modèle de taux à termes, avec un taux d'intérêt λ_s .

En conclusion, avec ces différents modèles, nous pouvons retenir que :

- Le processus homogène de Poisson permet une modélisation avec une intensité de défaut constante dans le temps ;
- Le processus inhomogène de Poisson introduit la variable temps avec une modélisation d'une intensité de défaut déterministe. C'est ce qui est généralement utilisé dans le marché pour la cotation des spreads de crédits, CDS ;
- Le processus de Cox permet une modélisation avec une intensité de défaut en variable aléatoire, et dépendante du temps. Il est utilisé pour des dérivés de crédit plus sophistiqués (options sur CDS par exemple), prenant compte de la volatilité des spreads.

Nous retiendrons par la suite de ce mémoire le modèle à intensité avec le processus inhomogène de Poisson dans le cadre du pricing du CDS pour des raisons de simplicité et comparabilité avec le marché, en conformité avec les directives de l'ISDA (section 2.1.3.2).

2.1.3.2 Pricing de CDS

Dans le cadre de ce mémoire, il a été nécessaire de construire un pricer de CDS, en utilisant l'approche par forme réduite, en modélisant l'intensité de défaut implicite des spreads de CDS observés sur le marché. Cette partie présente la méthodologie de construction du pricer. L'outil nous permettra de valoriser ce type d'actif détenu en portefeuille à tout instant t , ce qui est un des prérequis réglementaires Solvabilité II, comme nous le verrons dans la section 2.2.1.

2.1.3.2.1 Construction de la courbe des taux sans risque

Tout produit nécessitant une actualisation de cash-flow dépend de la courbe des taux utilisées. Ainsi la première étape consiste à construire la courbe des taux.

C'est la méthodologie de Bootstrapping (ou Stripping) qui est généralement utilisée pour la construction de la courbe de taux, à partir des instruments cotés sur le marché. Elle sera présentée pour la construction de courbe de spread. Etant donné que nous nous intéressons uniquement au référentiel Solvabilité II dans ce mémoire, la courbe des taux sans risque utilisée est celle de l'EIOPA (publiée mensuellement).

Nous noterons par la suite :

- $ZC(0, T)$, le taux sans risque à maturité T , vu à l'instant initial. C'est la donnée présente dans la courbe des taux sans risque de l'EIOPA ;
- $ZC(t, T)$, le taux sans risque à maturité T , vu en t . Il est calculé grâce à la formule des taux forward (à partir des données de la courbe de l'EIOPA présente en Annexe 2).

2.1.3.2.2 Valorisation de CDS single-name

La prime de CDS (ou *par spread*) reflète le risque de crédit général sur une entité de référence. Théoriquement, dans le cadre d'absence d'opportunité d'arbitrage, cette prime devrait être égale au spread observé entre le rendement des obligations émises par les entités de référence et le taux sans risque, dans la mesure où cet écart représente le risque de crédit de l'émetteur.

Considérons un CDS de notional 1€, avec les dates de paiement suivants : $[T_1, T_2, \dots, T_n]$ et S_{conv} la prime standard payée trimestriellement. En cas de défaut, le vendeur de protection devra payer $1 - R$ (recouvrement) à la date qui suit le défaut. On s'intéresse maintenant aux trois jambes qui constituent un CDS :

- **Jambe de prime**

La jambe de prime représente le paiement des coupons de la part de l'acheteur au vendeur, à des dates régulières T_i jusqu'à maturité T du CDS, sauf en cas de défaut de l'entité de référence. Elle a une valeur égale à :

$$V(Prime)_t = \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(\tau > T_i) S_{conv} \times (T_i - T_{i-1})$$

Avec $\mathbb{P}(\tau > T_i)$ la probabilité de survie jusqu'à T_i et $(T_i - T_{i-1})$ le nombre de jours entre T_{i-1} et T_i , en fraction d'année.

- **Jambe de prime encourue**

La jambe de prime encourue représente les paiements de primes en cas de défaut entre deux périodes. Si un défaut survient entre deux dates de paiement standards, l'acheteur doit tout de même payer une prime sur cette dernière période. Elle peut s'exprimer comme suit :

$$V(\text{Prime encourue})_t = \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) S_{conv} \times (\tau - T_{i-1})$$

Avec $\mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i)$ la probabilité que l'entité fasse défaut entre T_{i-1} et T_i .

- **Jambe de protection**

La jambe de protection représente le versement des flux en cas de défaut de l'entité de référence du CDS. Elle est réalisée par le vendeur de la protection à l'acheteur. Elle a une valeur égale à :

$$V(\text{Protection})_t = \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) (1 - R)$$

Avec $\mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i)$ la probabilité que l'entité fasse défaut entre T_{i-1} et T_i , et R le taux de recouvrement.

Nous introduisons ici le *par spread* $S_{par}(t)$, qui permet d'égaliser la jambe de prime avec la jambe de défaut à l'instant t , et qui égal à :

$$S_{par}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) (1 - R)}{\sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) (\tau - T_{i-1}) + \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}(\tau > T_i) (T_i - T_{i-1})}$$

Ainsi, la jambe de protection peut s'écrire comme suit :

$$\begin{aligned} V(\text{Protection})_t &= S_{par}(t) \times \left[\sum_{i=1}^n [ZC(t, T_i)(T_i - T_{i-1})\mathbb{P}(\tau > T_i) + ZC(t, T_i)\mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i)(\tau - T_{i-1})] \right] \\ &= S_{par}(t) \times P(t, T) \end{aligned}$$

- **Valeur du CDS**

Ainsi la valeur du CDS, du point de vue de l'acheteur, est égale à la différence entre la valeur de la jambe de protection et les jambes de primes.

$$VM_t^{CDS} = V(\text{Protection})_t - V(\text{Prime})_t - V(\text{Prime encourue})_t$$

Nous pouvons donc écrire grâce aux expressions précédentes :

$$V_t^{CDS} = P(t, T) \times (S_{par}(t) - S_{conv})$$

À date d'émission, un CDS a une valeur nulle. Le spread qui annule la valeur du CDS à cette date est le *par spread* S_{par}^0 .

À partir des expressions des différentes jambes, il est possible d'exprimer le *par spread initial* S_{par}^0 :

$$S_{par}^0 = \frac{\sum_{i=1}^n ZC(0, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) (1 - R)}{\sum_{i=1}^n ZC(0, T_i) \mathbb{P}(T_{i-1} < \tau < T_i) (\tau - T_{i-1}) + \sum_{i=1}^n ZC(0, T_i) \mathbb{P}(\tau > T_i) (T_i - T_{i-1})}$$

Depuis la mise en place des coupons standardisés (cf. 2.3.4), le calcul de l'*Upfront fee* est devenu nécessaire. Il correspond au montant payé afin de compenser la différence entre le coupon négocié et le coupon standard payé. Il peut être payé ou reçu par l'acheteur de protection en début de période.

$$Upfront\ fee(0) = \sum_{i=1}^n ZC(0, T_i) \mathbb{P}(\tau > T_i) \times (T_i - T_{i-1}) \times (S_{par}^0 - S_{conv})$$

avec S_{par}^0 correspond au *par spread* et S_{conv} correspond au spread conventionnel. Pour simplifier la formule ci-dessus, la compensation faite sur la jambe de prime encourue a été ignorée.

L'*Upfront fee* en $t = 0$ est donc le paiement, réalisé à date d'achat, par l'acheteur de CDS s'il est positif (ou par le vendeur s'il est négatif) afin de compenser la différence entre la prime qui devrait être payée (la prime qui annule le prix du CDS à date d'achat) et la prime réellement payée (la prime conventionnelle).

A tout instant t , nous pouvons également exprimer la valeur du CDS, comme suit :

$$V_t^{CDS} = P(t, T) \times (S_{par}(t) - S_{conv})$$

Dans l'ensemble des relations présentées précédemment, l'unique variable non encore entièrement construite est la probabilité de défaut. Dans la section précédente, nous avons examinés les différents modèles permettant de calculer cette probabilité, et comme mentionné en introduction de cette partie, c'est le modèle inhomogène de Poisson, avec une fonction constante par morceau, qui est retenu et adopté par l'ISDA.

Dans la section suivante, nous présentons la construction complète des probabilités de défaut sous ce modèle.

2.1.3.2.3 Construction de la courbe de spread CDS

Dans le modèle réduit développé par l'ISDA, le taux de défaut est considéré comme déterministe, constant par morceaux, ayant donc la forme suivante :

$$h(t) = \lambda(t) = \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i Ind_{[T_i, T_{i+1}[}(t)$$

Afin de construire la courbe de spread CDS, nous utilisons les cotations d'instruments disponibles sur le marché, à savoir ici les spreads des CDS. Nous appliquons la méthode de

Bootstrapping, que nous détaillons ci-après, avec le bon décompte des jours¹⁴, pour construire entièrement la courbe.

En reprenant les formules des différentes jambes de la partie précédente, et à partir des cotations CDS d'une certaine entité de référence, i.e $[S_{1an}, S_{2ans}, \dots, S_{Nans}]$, nous pouvons calculer la probabilité de survie jusqu'au temps T_1 :

$$\mathbb{P}(\tau > T_1) = \frac{1 - R}{(1 - R) + (T_1 - T_0)S_{1an}}$$

Et de manière récursive, nous pouvons déduire :

$$\mathbb{P}(\tau > T_2) = \frac{ZC(0, T_1)[(1 - R) - (1 - R + (T_1 - T_0)S_{1an})\mathbb{P}(\tau > T_1)]}{ZC(0, T_2)(1 - R) + (T_2 - T_1)S_{2an}} + \frac{\mathbb{P}(\tau > T_1)(1 - R)}{(1 - R) + (T_2 - T_1)S_{2ans}}$$

De manière plus générale, nous pouvons exprimer la probabilité de survie jusqu'à l'instant T_n , en supposant que $T_0 = 0$ et $\mathbb{P}(\tau > T_1) = 1$:

$$\mathbb{P}(\tau > T_n) = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} ZC(0, T_j)[(1 - R)\mathbb{P}(\tau > T_{j-1}) - (1 - R + (T_j - T_{j-1})S_j)\mathbb{P}(\tau > T_j)]}{ZC(0, T_n)(1 - R) + (T_n - T_{n-1})S_n} + \frac{\mathbb{P}(\tau > T_{n-1})(1 - R)}{(1 - R) + (T_n - T_{n-1})S_n}$$

Ainsi, pour déterminer par exemple λ_1 , en partant des prix CDS sur le marché et des formules précédentes, nous pouvons écrire :

$$e^{-\int_0^t h(s)ds} = e^{-\lambda_1(T_1 - T_0)} = \frac{1 - R}{(1 - R) + (T_1 - T_0)S_{1an}}$$

Nous déduisons ainsi les différentes probabilités de défauts (λ_i), avec les différentes maturités i existantes sur le marché, généralement de 1an à 7ans, afin d'avoir la courbe de spread. Les maturités intermédiaires peuvent être définis par interpolation linéaire.

2.1.3.2.4 Valorisation de CDS index

Afin de valoriser un produit d'indice de CDS, il est nécessaire d'utiliser un modèle également, et nous nous baserons sur les mêmes principes établis précédemment pour les CDS single-name, à savoir le modèle à intensité, et les fonctions réglementées de l'ISDA pour les intensités de défauts. L'objectif sera de déterminer la relation entre le spread de l'indice CDS, et les spreads des différents CDS single-name inclus dans l'indice.

Dans ce qui suit, nous souhaitons calculer la valeur du CDS Index, notée V_t^{CDS-I} , sur la base des courbes de spreads des CDS single-name constituant l'indice. Nous l'appellerons « Valeur Intrinsèque », et nous la distinguerons de la valeur « réelle » du CDS Index, notée U_t^{CDS-I} .

¹⁴ Pour plus de détails sur les méthodologies de décompte de jours utilisées, le lecteur pourra se référer à la réglementation ISDA et au mémoire « Tarification des CDS et des options sur iTraxx » réalisé par Alexandre Puel.

En notant M le nombre de titres CDS single-name inclus dans l'indice CDS (au nombre de 125 pour l'iTRAXX par exemple), qui sont équipondérés, de poids $\frac{1}{M}$, nous allons définir les expressions des différentes jambes, le fonctionnement étant assez similaire avec le CDS single-name.

Avec un notionnel de 1€, des dates de paiement : $[T_1, T_2, \dots, T_n]$, S_{conv} la prime standard payée trimestriellement et l'indexation $m = 1, \dots, M$, en cas de défaut de l'entité m , le vendeur de protection devra payer $1 - R_m$ ¹⁵ (recouvrement pour l'entité m), à la date τ_m de défaut. Nous nous intéressons maintenant aux expressions des différentes jambes :

- **Jambe de prime**

En reprenant les expressions précédentes, et en l'appliquant à M titres, nous pouvons écrire :

$$V_I(Prime)_t = \frac{1}{M} \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}_m(\tau_m > T_i) S_{conv} \times (T_i - T_{i-1})$$

Avec $\mathbb{P}_j(\tau_j > T_i)$ la probabilité de survie jusqu'à T_i de l'entité m et $(T_i - T_{i-1})$ le nombre de jours entre T_{i-1} et T_i , en fraction d'année.

- **Jambe de prime encourue**

De manière similaire, nous obtenons l'expression suivante :

$$V_I(Prime\ encourue)_t = \frac{1}{M} \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}_m(T_{i-1} < \tau_m < T_i) S_{conv} \times (\tau_m - T_{i-1})$$

Avec $\mathbb{P}_m(T_{i-1} < \tau_m < T_i)$ la probabilité que l'entité m fasse défaut entre T_{i-1} et T_i .

- **Jambe de protection**

La jambe de protection représente le versement des flux en cas de défaut de l'entité m . Elle est payée par le vendeur de la protection à l'acheteur. Elle a une valeur égale à :

$$V_I(Protection)_t = \frac{1}{M} \times \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n ZC(t, T_i) \mathbb{P}_m(T_{i-1} < \tau_m < T_i) (1 - R_m)$$

En introduisant le *par spread* du titre m à l'instant t , $S_m^{par}(t)$, nous pouvons réécrire la jambe de protection comme suit :

$$V_I(Protection)_t = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M S_m^{par}(t) \times \left[\sum_{i=1}^n [ZC(t, T_i)(T_i - T_{i-1})\mathbb{P}_m(\tau_m > T_i) + ZC(t, T_i)\mathbb{P}_m(T_{i-1} < \tau_m < T_i)(\tau_m - T_{i-1})] \right]$$

¹⁵ Les taux de recouvrement seront supposés égaux et constant égal à R , comme évoqué en partie 2.1.2.

Et en introduisant la notation $P_m(t, T)$, nous réécrivons simplement :

$$V_I(Protection)_t = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M S_m^{par}(t) \times P_m(t, T)$$

➤ **Valeur intrinsèque :**

En ayant modélisé la valeur de l'indice CDS à travers celles des différents CDS single-name le constituant, nous définissons la valeur intrinsèque de l'indice comme étant égale à la différence entre la valeur de la jambe de protection et les jambes de primes.

$$V_t^{CDS-I} = V_I(Protection)_t - V_I(Prime)_t - V_I(Prime encourue)_t$$

On peut donc écrire grâce aux expressions précédentes :

$$V_t^{CDS-I} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_m(t, T) \times (S_m^{par}(t) - S_{conv})$$

➤ **Relation entre spread CDS index et spreads constituants l'indice CDS :**

Afin de calculer la valeur « réelle » de l'indice CDS, nous introduisons le spread de l'indice CDS, $S_I^{par}(t)$.

En faisant l'analogie avec le prix d'un CDS single-name, ayant un seul spread, nous pouvons écrire la valeur de l'indice CDS, utilisant le spread unique, comme suit :

$$U_t^{CDS-I} = (S_I^{par}(t) - S_{conv}) \times P(t, T)$$

Avec $P(t, T) = \sum_{i=1}^n [ZC(t, T_i)(T_i - T_{i-1})\mathbb{P}(\tau > T_i) + ZC(t, T_i)\mathbb{P}(T_{i-1} < \tau_m < T_i)(\tau - T_{i-1})]$

L'égalisation des deux valeurs mène à l'expressions suivante, à résoudre pour obtenir $S_I(t)$:

$$\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_m(t, T) \times (S_m^{par}(t) - S_{conv}) = (S_I^{par}(t, T) - S_{conv}) \times P(t, T)$$

En considérant que les spreads des constituants de l'indice CDS sont homogènes, nous pouvons faire l'approximation suivante¹⁶ :

$$P(t, T) \simeq \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_m(t, T)$$

Ainsi, nous obtenons la relation finale suivante :

$$S_I^{par}(t, T) \simeq \frac{(\sum_{m=1}^M S_m^{par}(t) \times P_m(t, T))}{\sum_{m=1}^M P_m(t, T)}$$

Cette approximation est valable lorsque les courbes CDS des constituants homogènes, en particulier lorsqu'elles sont égales, ce qui n'est pas toujours le cas dans la réalité. Mais nous

¹⁶ Modeling Single Name and Multi-Name Credit Derivatives (O'Kane, 2008)

pourrons nous appuyer dessus du fait des écarts très faibles, de l'ordre de 0,015 bps, qui ressortent de la comparaison entre le spread réel de l'indice ITRAXX Europe 5Y sur les marchés par rapport au calcul réalisé avec cette approximation.

Cette approximation nous permettra donc de déterminer le spread du CDS Index $S_I^{par}(t)$ à travers les spreads des différents constituants, les $S_m^{par}(t)$, qui sont évalués à leurs à tours sur la base du modèle présenté pour le pricing du CDS single-name.

2.1.3.2.5 Pricing sous environnement choqué

Dans le cadre de calcul de SCR que nous verrons dans la prochaine partie, il sera nécessaire d'appliquer des chocs SII afin de déterminer la valeur du CDS sous environnement choqué.

Avec les principes et la méthodologie de valorisation d'un CDS présentés précédemment, il est nécessaire de reconstruire une nouvelle courbe de spread, qui correspond au nouvel environnement, et évaluer les différentes jambes avec cette courbe afin d'obtenir la valeur du CDS choquée. Lorsque c'est un CDS Index, il suffira d'utiliser l'approximation du *par spread réel* utilisant les nouveaux spreads des constituants, avec la nouvelle courbe de spread construite, pour déduire le prix.

Voici les 3 étapes nécessaires afin de reconstruire la courbe de spread :

- **Etape 1 : Application des chocs sur les cotations marché**

Dans le cadre de l'application de chocs, le niveau d'écartement de spread sera un input important. Ce niveau d'écartement peut correspondre à titre spécifiquement, à une certaine notation, ou à un ensemble de titres regroupés par facteurs de risque.

Exemples d'illustration :

- Si le niveau de choc déterminé pour le secteur bancaire est de +10bps, alors pour un CDS single-name de ce secteur, ce niveau de choc sera à additionner au *par spread*.
- Si le niveau de choc déterminé pour l'entreprise X est de +15bps, alors pour le CDS portant sur ce titre, ce niveau de choc sera à additionner au *par spread*.

Nous verrons dans la partie 2.2.2 les segmentations proposées pour le calcul des niveaux de spread de chocs adéquats à utiliser dans notre cas.

Ainsi, pour les différents produits CDS cotés sur le marché, un niveau de choc de X bps, noté S_{choc} , devra être calculé ou sera fourni, et sera à rajouter au *par spread*, de façon uniforme, donnant la nouvelle cotation sous choc, que nous appellerons « *par spread_{choc}* », noté S_{par}^{choc} .

$$S_{par}^{choc} = S_{par} + S_{choc}$$

- **Etape 2 : Construction de la nouvelle courbe de spread**

Avec les S_{par}^{choc} , nous sommes capables de déterminer, grâce aux expressions de récursivité, pas à pas, les nouvelles probabilités de défaut $\lambda_{i,choc}$, suivant la même méthodologie vue dans la partie précédente.

Par exemple, nous pouvons déduire la nouvelle probabilité de défaut à 1an, λ_1^{choc} , de l'expression suivante :

$$e^{-\lambda_1^{choc}(T_1-T_0)} = \frac{1-R}{(1-R) + (T_1-T_0)(S_{1an} + S_{choc})} = \frac{1-R}{(1-R) + (T_1-T_0)S_{1an}^{choc}}$$

Nous utilisons la même méthodologie de Bootstrapping, avec une fonction constante par morceaux, afin de définir l'ensemble des intensités de défauts, et obtenir la nouvelle courbe de spread.

- **Etape 3 : Réévaluation des jambes et valorisation du CDS**

Avec maintenant toutes les composantes permettant d'évaluation les jambes du CDS définies pour le scénario de choc, nous déterminons la valeur du CDS choquée single-name comme précédemment, en utilisant les nouvelles intensités de défauts λ_i^{choc} calculées à l'étape 2 :

$$V_{choc,t}^{CDS} = V_{choc}(Protection)_t - V_{choc}(Prime)_t - V_{choc}(Prime encourue)_t$$

Ou également, en reprenant les expressions de la partie 2.1.3.2.2 :

$$V_{choc,t}^{CDS} = P_{choc}(t, T) \times (S_{par}^{choc}(t) - S_{conv})$$

Avec $P_{choc}(t) = [\sum_{i=1}^n [ZC(t, T_i)(T_i - T_{i-1})\mathbb{P}_{choc}(\tau > T_i) + ZC(t, T_i)\mathbb{P}_{choc}(T_{i-1} < \tau < T_i)(\tau - T_{i-1})]]$

De manière similaire, et appliquant les mêmes principes de la partie 2.1.3.2.4, nous pouvons déterminer la valeur choquée du CDS Index, grâce à l'expression suivante :

$$U_{choc,t}^{CDS-I} \simeq \left(\frac{(\sum_{m=1}^M S_{choc,m}^{par}(t) \times P_{choc,m}(t, T))}{\sum_{m=1}^M P_{choc,m}(t, T)} - S_{conv} \right) \times \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{choc,m}(t, T)$$

Ainsi, sous conditions d'avoir tous les éléments d'inputs, notamment le niveau de spread de choc à rajouter au *par spread*, nous sommes capables de calculer la valeur d'un CDS, single-name ou index, dans tout environnement/référentiel.

Ayant présenté tous les éléments de valorisation concernant les CDS, en scénario central mais également choqué, nous aborderons dans la prochaine partie les considérations du référentiel Solvabilité II, tant sur les aspects règlementaires, qualitatifs et également quantitatifs, notamment pour le niveau de choc SII à appliquer pour la prise en compte du CDS en tant que produit de couverture.

2.2 Utilisation de CDS en tant que produit de couverture sous Solvabilité II

Nous avons vu dans le premier chapitre que le risque spread est un risque prépondérant dans le portefeuille des acteurs du marché, et qu'il existe plusieurs méthodes d'appréhension et d'atténuation de ce risque, dont l'utilisation des produits dérivés. Cette partie du mémoire a pour but de présenter le cadre réglementaire de prise en compte de produit de couverture, et d'aborder en détails les méthodologies du calcul de SCR spread des CDS, à des fins

d'atténuation le risque de spread, ainsi que le calcul de tout autre risque inhérent à l'utilisation de ces produits.

2.2.1 Produits dérivés et couverture : ce que dit la réglementation

La mise en place du cadre réglementaire de Solvabilité II, des périmètres à considérer sous chacun des risques facteurs identifiés par la réglementation, mais aussi les traitements de technique d'atténuation de risque, reposent sur un processus transparent d'échange, de compréhension et appréciation des différents textes. Nous pensons notamment aux QISs (Quantitative Impact Studies), aux Consultation Papers émis par le CEIOPS¹⁷ et les échanges et commentaires avec les acteurs du marchés et groupes de consultations. En complément des articles de la réglementation Solvabilité II, nous avons pris le soin de parcourir ces documents incluant les commentaires et échanges afin d'apporter davantage de clarté sur l'acquisition et l'utilisation de techniques d'atténuation de risque qui nous intéressent dans ce mémoire, en particulier les techniques financières.

2.2.1.1 Les prérequis pour l'application d'une technique d'atténuation de risques

- Eligibilité du produit de couverture à la « Risk Mitigation Technique » (RMT) :

L'utilisation de produits dérivés, tels que les CDS, en tant que produit de couverture doit répondre à certains critères qualitatifs, mais également quantitatifs, afin de prendre en compte les impacts potentiels dans le calcul du SCR global. En effet, sans l'étude préalable de l'éligibilité, la compagnie ne peut prétendre à comptabiliser les effets de couverture engendrés par le CDS lors du calcul du SCR.

Ces éléments de respect de gouvernance et contractualisation de couverture devraient être documentés pour présentation au régulateur notamment, mais pour également assurer une bonne traçabilité et pilotage des décisions d'investissement.

La réglementation Solvabilité II¹⁸ ainsi que les documents relatifs¹⁹ aux techniques d'atténuation de risques (RMT), précisent ces critères que nous résumons ci-après :

- Efficacité et applicabilité juridique de la technique d'atténuation de risque ;
- Pas de détention de créance directe sur la contrepartie/fournisseur, en cas de défaut ou d'insolvabilité ;
- Documentation interne et analyse complète des expositions et des risques inhérents (liquidité, contrepartie, autres...), ainsi qu'une capacité d'évaluation du produit à tout moment ;
- Respect des politiques internes concernant les aspects de liquidités et de risk management ;
- Capacité de suivi en continu de la bonne application de la technique d'atténuation ;

¹⁷ Committee of European Insurance and Occupational Pensions Supervisors.

¹⁸ Réglementation Solvabilité II et actes délégués, Section 10, Article 208 à 215

¹⁹ Allowance of financial risk mitigation techniques, Octobre 2009, Consultation Paper 31

- Prise en compte de la couverture dans le calcul du SCR et reflet total du produit dans le calcul, de façon proportionnelle à l'étendue de cette protection, avec le traitement approprié ;
- Pas de double comptage d'effet de couverture (si par exemple plusieurs produits sont utilisés pour couvrir les mêmes produits) ;
- Calcul basé sur les actifs et passifs détenus à date, ainsi que prise en compte de la couverture lorsqu'elle est effectivement présente à la date d'évaluation de solvabilité.

Notons également que la réglementation précise que « l'entreprise doit être en mesure d'évaluer les actifs » sur lesquels porte la couverture, ainsi que le produit de couverture en lui-même, « au montant pour lequel ils pourraient être échangés dans le cadre d'une transaction conclue, dans des conditions normales, entre parties informées et consentantes ». (Article 212 de la réglementation²⁰ Solvabilité II, et article 75 de la directive 2009/138/CE.)

- Risque de base :

Dans le milieu des stratégies de couvertures, les professionnels font face à une notion très répandue et naturelle : le risque de base. En effet, lorsqu'il y a un intérêt d'utilisation d'un produit de couverture, nous avons deux éléments à disposition à analyser pour mettre en place une bonne stratégie de couverture : l'actif à couvrir, et le sous-jacent du produit de couverture. Généralement, ces deux éléments coïncident rarement, et le différentiel représente le risque de base.

La réglementation Solvabilité II définit le risque de base comme « le risque découlant de la situation dans laquelle l'exposition couverte par la technique d'atténuation du risque ne correspond pas à l'exposition au risque de l'entreprise d'assurance ou de réassurance ».

Il est mentionné notamment que les techniques d'atténuation financière qui génèrent des risques significatifs, n'étant pas explicitement ou suffisamment pris en compte dans le calcul du SCR, ne sont pas admissibles. « C'est le cas des techniques d'atténuation des risques financiers impliquant risques de base importants »¹⁹. Ces derniers doivent être explicités.

En effet, « le risque de base est important s'il conduit à une inexactitude de la déclaration de l'effet d'atténuation du risque sur le capital de solvabilité requis de base [...], susceptibles d'influer sur la prise de décision ou le jugement des utilisateurs attendus de ces informations, y compris les autorités de contrôle »²¹. Afin d'obtenir un peu plus d'information sur la matérialité du risque de base selon les principes de la réglementation, pour une bonne appréciation et compréhension des attendus, nous avons exploré les Orientations de l'EIOPA ainsi que les Consultation Papers à ce sujet.

²⁰ RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2015/35 DE LA COMMISSION complétant la directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II), 2014.

²¹ Article 210, alinéa 3, du règlement Solvabilité II.

Il est notamment précisé²² qu'une technique d'atténuation du risque ne résulte pas en un risque de base important si :

- l'exposition couverte par la technique d'atténuation du risque est de nature suffisamment similaire à celle de l'exposition au risque de l'entreprise;
- les modifications de la valeur de l'exposition couverte par la technique d'atténuation du risque reflètent les modifications de la valeur de l'exposition au risque de l'entreprise.

Plus précisément²³, et en citant l'exemple de CDS, « aucun risque de base significatif est la situation dans laquelle la variation de la valeur de l'exposition couverte par la technique d'atténuation des risques refléterait au moins 90% de la variation de la valeur de l'exposition au risque de l'entreprise ».

Les entreprises devraient évaluer²² entre autres l'importance du risque de base par rapport à l'exposition couverte et les modifications de la valeur des expositions selon une série complète de scénarios, y compris ceux de la Formule Standard, en tenant compte :

- du degré de symétrie entre les deux expositions;
- de toutes dépendances non linéaires selon le scénario;
- de toute asymétrie pertinente des comportements en cas de sous-modules de risque où sont appliquées des tensions tant vers le haut que vers le bas;
- des niveaux de diversification de chaque exposition respective;
- des éventuels risques pertinents dont il n'est pas explicitement tenu compte dans la Formule Standard;
- de la distribution complète des versements applicable à la technique d'atténuation du risque.

Ainsi, lors du choix du produit CDS pour couvrir la totalité ou une partie du portefeuille d'obligations d'entreprise, il sera nécessaire de réaliser des études de corrélations, en explorant les différents scénarios, entre la poche d'obligations (d'entreprise) détenues (ou une sous-partie de celui-ci) à couvrir, avec le(s) sous-jacent(s) du CDS.

Quelques indications ont été apportées dans certains documents concernant les techniques d'atténuation des risques financiers, en précisant qu'un CDS, dont le sous-jacent présente une corrélation pas loin de 1, avec une maturité et nominal considérablement différents, introduit un risque de base important²⁴.

- Rolling et couverture dynamique :

Dans ce paragraphe, nous abordons brièvement un cas particulier de l'utilisation de produit de couverture, avec un rolling (renouvellement / réadaptation de la couverture, vente puis rachat d'une couverture) et un suivi dynamique de la couverture et de ses effets. En effet, certains critères supplémentaires s'imposent pour la prise en compte des impacts de couverture :

²² Orientations sur le risque de base, EIOPA, Février 2015

²³ Final Report on Public Consultation No. 14/036 on Guidelines on basis risk

²⁴ Allowance of financial risk mitigation techniques, Octobre 2009, Consultation Paper 31

- Lorsque le produit de couverture s'étale sur une partie des 12 prochains mois, alors ses impacts sont évalués sur le SCR qu'à hauteur de cette période (prorata temporis) : par exemple si le CDS est contractualisé sur les 6 prochains mois, alors nous prenons en compte uniquement la moitié de l'atténuation apporté par la couverture lorsque le choc intervient ;
- Lorsque la couverture s'étale sur une partie des 12 prochains mois, mais qu'un programme de rolling est mis en place, alors les effets de couverture sont pris en compte si :
 - o Il existe une documentation complète et d'un process bien défini du programme de rolling mis en place ;
 - o Le risque d'absence de liquidité pour que la couverture soit reconduite n'est pas significatif ;
 - o Les coûts de renouvellement d'une même couverture sur une période d'un an sont répercutés dans le calcul du SCR en réduisant le niveau de protection de la couverture ; et
 - o Tout risque de contrepartie supplémentaire résultant du refinancement de la couverture doit être reflété dans le SCR.

Précisons que lorsqu'il y a une couverture dynamique (rolling automatisé et dynamique), elle n'est pas considérée comme technique d'atténuation de risque, et que donc ses impacts ne peuvent être pris en compte dans le calcul du SCR.

Dans le cadre de ce mémoire, nous aborderons uniquement les produits de couverture avec une maturité supérieure ou égale à 1 an, et sans aucun programme de rolling mis en place.

- Reconnaissance de nouveaux risques générés par la technique d'atténuation de risque

La mise en place d'une technique d'atténuation de risque à travers l'acquisition d'un produit dérivé peut générer d'autres risques, autre que le risque de base (potentiellement). Ces risques doivent être identifiés par l'acteur, tout en ayant la capacité de le quantifier selon les directives de la réglementation afin de l'inclure dans le calcul global du SCR.

En effet, l'article 210 de la réglementation mentionne que « l'arrangement contractuel ne doit pas créer de risque de base significatif ou d'autres risques, sauf si le calcul du capital de solvabilité requis en tient compte ». De plus, il est spécifié dans le QIS4 que « dans le cadre de la Formule Standard, ces deux effets sont séparés et à prendre en compte :

- o l'étendue du transfert de risque est reconnue lors de l'évaluation des différents modules de risque », en l'occurrence le risque de spread dans notre cas ; « et
- o les risques de contrepartie acquis sont capturés dans le module risque de défaut de contrepartie »²⁵.

²⁵ Partie TSVII.A.4 du QIS 4, Technical specifications, Mars 2008

Et plus précisément, « lorsque des instruments d'atténuation des risques financiers sont pris en compte dans le calcul du SCR, tout nouveau risque important doit être identifié et le capital requis SCR quantifié ».²⁶

Un autre prérequis est donc d'inclure dans le calcul global du SCR, le risque de contrepartie du fournisseur de l'instrument de couverture, généré par l'acquisition du produit dérivé.

Le fournisseur de cette technique d'atténuation doit également satisfaire certains critères, notamment en termes de qualité de crédit : « les contreparties de la technique d'atténuation du risque ont une qualité de crédit à laquelle a été affecté un échelon de qualité de crédit 3 ou supérieur »²⁷. En effet, le fournisseur devrait avoir une qualité de crédit, au moins BBB-, permettant de garantir que l'assureur bénéficiera bien de la protection en cas de réalisation des événements d'écartements de spread spécifiés par le contrat CDS.

2.2.1.2 Choix du produit CDS pour l'atténuation du risque de spread

Les multiples critères présentés dans la partie précédente mettent en avant des contraintes au choix du produit adéquat qui serait en position d'être considéré comme une technique d'atténuation de risque financier sous Solvabilité II.

Concernant le risque spread, et au vu des différentes déclinaisons de CDS présentées auparavant, le produit CDS qui serait naturellement intéressant de choisir dans ce cas sera un indice CDS. D'un point de vue structurel, ce produit présente une liquidité supérieure sur le marché, une couverture plus large qu'un CDS single-name, et pourra donc potentiellement couvrir une plus grande proportion du portefeuille d'obligation d'entreprises détenus. En effet, certains CDS single-name pourraient ne pas exister pour couvrir des titres détenus en portefeuille. L'utilisation de CDS index, plus liquide, permettra d'avoir une atténuation du risque spread plus large. De plus, le tenor devra sensiblement être proche de la durée du portefeuille.

Il est également nécessaire d'établir quantitativement l'absence d'un risque de base matériel. Un matching du portefeuille ou sous-portefeuille à couvrir devra être réalisé, en démontrant une corrélation d'au minimum 90%²³.

Néanmoins, nous pourrions également nous intéresser à une couverture des titres lignes à lignes, en acquérant plusieurs CDS single-name, qui doivent porter sur les mêmes titres détenus et tenor, pour des raisons d'éligibilité. Cette technique représenterait tout de même quelques contraintes apparentes :

- Existence et liquidité du produit : Tous les titres obligataires n'ont pas forcément de CDS existant sur le marché. Également, le marché des CDS single-name présente moins de liquidité que celui des indices CDS, et met la condition d'éligibilité en risque ;

²⁶ Partie TSVII.C.2 du QIS 4, Technical specifications, Mars 2008

²⁷ Article 212, alinéa 4 et 5 du règlement Solvabilité II

- Impact de résultat - prix du produit : se couvrir titre à titre reviendrait plus cher que de se couvrir sur un panier de titres. En effet, la relation entre le spread intrinsèque d'indice CDS et ceux des constituants de l'indice démontre cela ;
- Process et monitoring : plusieurs CDS single-name veut également dire que les éléments d'RMT doivent être documentés, et un suivi continu de la bonne application de la technique d'atténuation doit être réalisé pour chacun des produits.

Nous nous intéresserons donc à l'utilisation d'indice CDS, et plus particulièrement l'iTRAXX MAIN EUROPE, à tenor 5Y.

Enfin, et cette contrainte est valable pour les deux produits, le fournisseur de la protection se doit d'avoir un échelon de qualité de crédit d'au moins BBB-.

En complément de ces aspects intrinsèques au produit et/ou lié à la structure du portefeuille, les contraintes mentionnées dans la partie « Eligibilité du produit de couverture à la Risk Mitigation Technique » doivent être également remplies.

Si tous ces éléments qualitatifs et de considération d'éligibilité de CDS sont mentionnés dans les textes, en précisant que ce produit constitue une technique d'atténuation du risque spread, nous ne retrouvons cependant aucuns éléments quantitatifs donnant les indications concernant le calcul du SCR spread de couverture associé à ce produit.

2.2.2 Calcul du SCR spread d'un CDS, en tant que produit de couverture

Comme évoqué précédemment, la méthodologie de calcul de l'atténuation de risque en Formule Standard, en utilisant un produit dérivé tel qu'un CDS éligible au RMT, n'est pas explicitement définie par les textes réglementaires, et plus particulièrement concernant le risque de spread (articles 176 et 179). Dans cette partie, nous développons les méthodologies et réflexions pour réaliser ce calcul.

2.2.2.1 Rappel du choc spread Solvabilité II et exploration de ses limites

Nous avons brièvement présenté lors de la partie 1.2.1.3 les principes énoncés dans la réglementation Solvabilité II pour identifier le risque de spread dans un portefeuille d'actifs.

En se focalisant sur les titres obligataires (d'Entreprises), qui représentent majoritairement la poche d'actifs portant le facteur de risque de spread, l'adoption de la Formule Standard nécessite un calcul ligne à ligne sur les obligations détenues en portefeuille afin d'appliquer le choc défini par la réglementation, en fonction de la notation et la duration modifiée²⁸ du titre que nous noterons *dur*. A la différence des autres risques marché, nous n'avons pas de niveau de choc que nous appliquons directement au facteur à l'origine du risque au sein de l'instrument (niveau d'indice actions ou la courbe de taux sans risque, pour respectivement le risque action et risque de taux), qui est dans notre cas le niveau de spread de l'actif.

²⁸ La duration modifiée (ou sensibilité) est égale à la duration du titre rapportée à $1+TRI$, avec TRI le taux de rendement actuariel du titre à l'instant t . $dur_t = \frac{duration(t)}{1+TRI_t}$

En effet, au cours des différents échanges et publications réglementaires²⁹ pour l'application effective de Solvabilité II, nous pouvons retrouver des indications sur la calibration du choc spread. L'exigence de capital pour le risque de spread pour les obligations est déterminée en multipliant la valeur de marché de l'obligation par sa durée modifiée et une fonction dépendante de la notation de l'obligation. Les valeurs de cette fonction avec les plafonds et les planchers pour la duration sera présentée par la suite. Cette calibration³⁰ a reposé notamment sur les informations contenues dans les indices d'obligations d'entreprise de Merrill Lynch. Ce sont des sous-indices de la zone Euro, avec des données allant de février 1999 à 2010, couvrant différentes tranches de maturités (0-3 ; 3-5 ; 5-7 ; 7-10 ; +10ans) et de catégorie de notation (AAA, AA, A, BBB, BB et B) qui ont été utilisées. Des segmentations supplémentaires ont été réalisées afin de baser le calibrage sur des tranches annuelles. Également, les données ont été lissées et parfois avec du rééquilibrage (rebalancing), lorsque la composition du bucket est marquée par la présence de titres émis par des institutions financières (ayant connu la crise, avec de fortes augmentations de spreads) afin d'éviter tout biais. Les calculs sur les indices ont été réalisés séparément pour les indices financiers et non financiers, puis pondérés en fonction du nombre d'émission de chacune des catégories, en mettant un plafond de $\frac{1}{3}$ pour l'indice financier.

Pour des obligations ayant une évaluation de crédit établie par un OEEC (Organisation for European Economic Co-operation), le calcul du SCR spread passe par l'application de la fonction de choc selon le tableau ci-dessous :

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

Tableau 1 : Fonction de choc pour le calcul du SCR spread des obligations notées par un OEEC

Un tableau plus simple, avec des fonctions similaires, est également disponible pour appliquer le choc spread sur des titres obligataires dont le crédit n'est pas établi par un OEEC. Le lecteur pourra se référer au règlement pour plus d'informations sur ces chocs.

²⁹ QIS4, Consultation Paper 47, Calibration Paper, et Comments on consultation papers CP 47

³⁰ CEIOPS Solvency II Calibration Paper, 3.187 à 3.192

Nous supposons que les obligations d'Entreprises détenues ont toutes une évaluation de crédit établie par un OEEC, et donc suivent les formules du tableau ci-dessus.

Pour déterminer la valeur choquée d'un titre i , nous pouvons écrire la relation suivante, pour un titre de valeur VM_i , avec une duration modifiée entre 5 et 20 ans :

$$SCR_i^{spread} = VM_i \times (a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i}))$$

Et donc, par application de la formule du calcul élémentaire de SCR³¹, on obtient :

$$VM_i^{choc} = VM_i \times \left[1 - \left(a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i}) \right) \right]$$

Avec C_{dur_i} la constante présente dans le tableau, qui est fonction de la catégorie de duration modifiée du titre i , et a_i et b_i les constantes du tableau en fonction de la notation et de la duration modifiée du titre i .

- **Simplification de calcul avec une duration modifiée moyenne :**

La formulation précédente implique un calcul ligne à ligne. Dans certaines situations, cela peut représenter un temps de calcul important. Il est possible d'appliquer une simplification de calcul, en segmentant le portefeuille obligataire par groupe définis grâce au couple $C = (notation, duration\ modifiée) = (no, dur)$, selon le découpage défini dans le tableau ci-dessus tiré du règlement délégué³².

Cela nous permet de déterminer une valeur de marché sous choc par groupe de couple C , avec une duration moyenne. Pour un couple C donné, nous pourrions écrire de façon similaire que précédemment :

$$SCR_C^{spread} = VM_C \times \left(a_C + b_C \cdot \left(dur_C^{moyenne} - C_{dur_C^{moyenne}} \right) \right)$$

$$VM_C^{choc} = VM_C \times \left[1 - \left(a_C + b_C \cdot \left(dur_C^{moyenne} - C_{dur_C^{moyenne}} \right) \right) \right]$$

Avec $dur_C^{moyenne}$ la duration modifiée moyenne des obligations appartenant au groupe de couple C , $C_{dur_C^{moyenne}}$ la constante correspondante, en fonction de la duration moyenne, et a_C et b_C les facteurs du tableau correspondants au couple $C = (no, dur_{moyenne})$.

Nous considérerons la formule suivante pour la duration modifiée moyenne :

$$dur_C^{moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^n VM_i \times dur_i}{VM_C}$$

³¹ Aucune composante au passif n'est impactée pour le risque de spread, sous formule standard en non-vie, et sans volatility adjuster (VA).

³² RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2015/35 DE LA COMMISSION complétant la directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II), 2014

n étant le nombre de titre appartenant au couple C , ayant une duration modifiée compris entre les bornes définies par les catégories du tableau 1.

- **Limites pour la modélisation du choc SCR spread pour CDS**

Comme évoqué en chapitre 1 et vu en détails dans la section précédente, le choc Solvabilité II pour le risque facteur spread correspond à un choc à appliquer directement à la valeur de marché des titres concernés par le risque, et non au spread du titre en tant que tel. De ce fait, nous n'avons pas d'informations supplémentaires sur l'écartement de spread qui correspondrait au choc SII.

Or nous avons vu dans la partie pricing de CDS sous environnement de choc (2.1.3.2.5) que la valorisation d'un CDS sous choc repose sur la reconstruction de la courbe de spread avec des niveaux de spread de choc, pour les différents titres constituants. Sans ces niveaux de choc sur le spread, il est impossible de déterminer une valeur de choc, et in fine un SCR spread de CDS, détenu en tant que produit de couverture. De plus, aucune indication dans les textes n'est donnée concernant le calcul d'un SCR spread couverture pour le CDS.

Il est donc nécessaire de développer des réflexions et méthodologies pour évaluer un spread de choc SII, qui serait à appliquer directement aux spread CDS cotés sur le marché pour obtenir une valeur de CDS choqué. Nous aborderons également des méthodologies alternatives, ne passant pas par l'évaluation d'un spread de choc, tout en présentant les avantages et limites de celles-ci. Ce sera l'objet de la partie suivante (2.2.2.2).

- **Considérations réglementaires quantitatives dans la modélisation du choc SCR spread**

Le risque de spread identifie et quantifie les impacts de volatilité des spreads de crédit par rapport à la structure de taux d'intérêt. Il reflète donc la variation de la valeur marché des titres due à un mouvement de la courbe de rendement par rapport à la courbe des taux sans risque. Economiquement, cette volatilité de spread implique également une dégradation de la qualité de crédit de l'entité, menant potentiellement à un défaut de cette dernière. Il y a donc une composante de défaut qui ne peut être dissociée du risque de spread.

Le QIS 4 ainsi que le Calibration Paper final précisent que « le risque de défaut n'est pas explicitement intégré dans le module de risque de spread. Cependant, le module risque de spread inclura implicitement une partie de ce risque via les mouvements des spreads de crédit ». Ainsi, la calibration des chocs de spread et les fonctions présentés dans le tableau 1 prennent en partie compte de ce risque de défaut.

La définition du risque de spread dans ces textes permet aussi « un certain niveau de liberté dans la délimitation entre le module de risque de spread et le module de risque de contrepartie [...] tout en respectant le principe important de non-négligence de risque, et d'éviter tout double

comptabilisation »³³. En effet, les directives de calcul du risque de contrepartie/défaut ne prennent pas en compte le périmètre des obligations, ce qui confirme qu'il n'y a pas de double-comptage.

Ainsi, les réflexions et méthodologies développées pour l'extraction du niveau de spread équivalent au choc SII n'échapperont pas à cette considération réglementaire. Ce niveau de spread équivalent au choc SII englobera donc la composante liée au risque de contrepartie (de l'émetteur de l'obligation).

2.2.2.2 Modélisation d'un spread de choc équivalent Solvabilité II

Dans cette partie, nous explorons les méthodologies permettant de déterminer un niveau de choc sur la valeur des spreads du marché, qui serait équivalent au choc suggéré à travers les formules Solvabilité II. Ces méthodologies correspondent globalement à différents niveaux de granularités, avec des calculs sous-jacents, s'alignant sur les niveaux de calcul du SCR spread des obligations d'entreprises présentés dans la partie précédente.

Méthodologie ligne à ligne

L'objectif des réflexions menées est d'extraire une valeur de spread de choc S_{choc} correspondant au niveau de spread qui mènerait à une valorisation du titre de l'obligation égale à celle de l'expression suggérée en appliquant le choc Solvabilité II pour le risque spread.

Cela se traduit donc par la réalisation de l'égalité suivante, pour un titre i , à coupon C_i fixe annuel :

$$VM_i^{choc} = VM_i \times \left[1 - (a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i})) \right]$$

$$= \frac{CC_i}{(1 + r_\Delta + \Delta \cdot S_{choc}^i)^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1 + r_j + S_{choc}^i)^j} + \frac{N_i}{(1 + r_n + S_{choc}^i)^n}$$

Avec N_i le nominal de l'obligation i , n le nombre d'échéance restantes, dur_i la durée du titre i , r_j le taux sans risque pour la maturité j obtenu grâce à la courbe des taux sans risque publié par l'EIOPA, Δ la période courue, CC_i le coupon couru, et finalement, S_{choc}^i le niveau de choc spread pour le titre i , permettant d'obtenir la valeur de marché choqué du titre selon la formule de la réglementation Solvabilité II.

Cette méthodologie de calcul de spread de choc LaL pourra principalement être utilisée lorsque la couverture utilisée est un CDS single-name sur la même obligation. En effet, Nous appliquerons le choc correspondant au titre lors de la valorisation du CDS choqué portant sur le même titre.

Grâce à un solveur Excel, nous pouvons extraire et déterminer le spread de choc S_{choc}^i dans cette expression.

³³ Consultation Paper 47, Structure and design of market risk module

Pour établir l'expression précédente, notamment l'égalisation d'une valeur marché avec des flux de coupons actualisés au taux sans risque, il est nécessaire de définir la notion de risque neutralisation.

- **Notion de risque neutralisation**

Nous rappelons ici que le prix d'une obligation à la date t peut s'écrire comme suit :

$$VM_i = \frac{CC_i}{(1+r_\Delta)^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1+r_j)^j} + \frac{N_i}{(1+r_n)^n}$$

En réalité, en prenant r comme le taux sans risque défini par la courbe des taux de l'EIOPA, cette égalité n'est quasiment jamais vérifiée (encore plus lorsque c'est une obligation d'entreprise, ayant son propre spread). Pour l'établir, nous appliquons le mécanisme de risque neutralisation sur les flux de coupons actualisés afin de retomber sur la valeur marché réelle du titre i .

Il existe deux approches :

- Approche par introduction de spread propre au titre i :

Nous égalisons la valeur marché réelle du titre i avec les flux de coupons actualisés au taux sans risque, incrémenté d'un spread de risque neutralisation, noté S_{RN} . Cela revient à retrouver ce dernier grâce à l'égalité suivante :

$$VM_{i-réelle} = \frac{CC_i}{(1+r_\Delta + \Delta \cdot S_{RN})^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1+r_j + S_{RN})^j} + \frac{N_i}{(1+r_n + S_{RN})^n}$$

- Approche par application facteur de risque-neutralisation :

A travers l'expression théorique du prix de l'obligation, nous calculons un facteur permettant d'égaliser celle-ci avec le prix réel de l'obligation sur le marché, comme suit :

$$VM_{i-réelle} = F_i \times \left(\frac{CC_i}{(1+r_\Delta)^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1+r_j)^j} + \frac{N_i}{(1+r_n)^n} \right)$$

Cela revient à « risque-neutraliser » les coupons et le nominal de l'obligation.

C'est cette méthode que nous retiendrons dans les différentes expressions du mémoire ainsi que sur les applications des méthodologies sur le portefeuille d'obligation en chapitre 3.

Par soucis de simplicité, nous supposerons que les différents coupons et notionnels présentés dans les prochaines expressions mathématiques sont tous « risque-neutralisés », et donc que les valeur marché utilisées sont celles constatées sur le marché. ($VM_i = VM_{i-réelle}$)

Méthodologie par segmentation

De façon similaire à ce qui a été suggéré pour le calcul du SCR de spread sur les titres obligataires, en construisant des groupes d'obligations d'Entreprises selon des facteurs de risques, nous explorerons les segmentations possibles et pertinentes, pour déterminer le niveau de spread de choc S_{choc} correspondant au choc SII : par notation, par couple (notation, duration modifiée) ou par couple (notation, secteur).

La justification de ce choix de segmentation passe tout d'abord par la prise en compte des facteurs de risque utilisés pour le calcul du SCR spread avec la formule SII. Non seulement la notation est considérée dans ce calcul, mais également la duration modifiée du titre. Le couple (notation, duration modifiée) est un niveau de granularité qui nous permettra de déterminer un niveau de spread de choc à appliquer au CDS.

Par ailleurs, il est également judicieux de s'intéresser aux caractéristiques clés d'un CDS, puisque c'est lors de la valorisation de ce dernier que nous appliquerons le spread de choc. En effet, pour un CDS single-name par exemple, il représente une couverture contre un seul titre uniquement, i.e contre le défaut d'une certaine entreprise, appartenant à un certain secteur, avec une notation (si celle-ci existe sur le marché). Cette notation est un facteur de risque du CDS, et peut représenter donc une des variables de segmentation du portefeuille obligataire.

De manière similaire, pour un CDS Index, qui englobe plusieurs titres d'entreprises ayant des notations différentes, le facteur de risque de notation peut être considéré comme une variable de clusterisation des titres au sein du portefeuille. Déterminer un spread de choc selon la notation permettra d'appliquer l'écartement de spread à chacun des titres composant le CDS Index, et de le revaloriser selon les étapes présentées précédemment dans la partie 2.1.3.2.4.

Également, il serait pertinent de s'intéresser au secteur auquel appartient l'entreprise, qui pourra également être considéré comme un facteur de risque.

- **Par couple C (notation, duration modifiée)**

Nous nous intéressons dans un premier temps aux facteurs de risques utilisés dans le calcul du SCR spread sous la formule de la réglementation Solvabilité II.

La segmentation du portefeuille d'obligations d'entreprise par couple C consiste à classifier les obligations, après détermination de la notation et de la duration modifiée, à une des catégories du tableau 1. La duration modifiée finale retenue pour le couple C sera égale à la duration moyenne modifiée des titres appartenant à la catégorie du couple.

Nous pouvons déterminer alors un spread de choc par couple C en résolvant l'égalité suivante :

$$\begin{aligned} VM_C^{choc} &= VM_C \times \left[1 - \left(a_C + b_C \cdot \left(dur_C^{moyenne} - C_{dur_C^{moyenne}} \right) \right) \right] \\ &= \frac{CC_C}{(1 + r_\Delta + \Delta \cdot S_{choc}^C)^\Delta} + \sum_{j=1}^{n_C} \frac{Coupon_C}{(1 + r_j + S_{choc}^C)^j} + \frac{N_C}{(1 + r_{n_C} + S_{choc}^C)^{n_C}} \end{aligned}$$

Avant d'utiliser un solveur ou un programme pour déterminer le spread de choc S_{choc}^C , plusieurs variables devraient être définies dans cette relation, puisqu'elles dépendent du couple C .

○ **Nominal N_C :**

Nous pouvons définir le nominal pour le couple C comme suit, k étant le nombre de titres appartenant au couple C :

$$N_C = \sum_{i=1}^k N_i$$

○ **Coupon moyen $Coupon_C$ et borne n :**

Deux expressions peuvent être utilisées pour la définition du coupon moyen du couple C :

→ 1^{re} méthodologie suggérée (M1) :

Nous utilisons la duration modifiée et le nominal du titre i comme pondération :

$$Coupon_{C_1} = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times N_i \times dur_i}{\sum N_i \times dur_i}$$

Avec k le nombre de titres obligataires appartenant à la catégorie du couple C .

Et dans ce cas, nous définissons n comme suit :

$$n_C = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times dur_i \times n_i}{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times dur_i}$$

→ 2^e méthodologie suggérée (M2) :

Nous utilisons uniquement le nominal du titre i comme pondération :

$$Coupon_{C_2} = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times N_i}{\sum N_i}$$

Avec k le nombre de titres obligataires appartenant à la catégorie du couple C .

Et dans ce cas, nous définissons n , le nombre de jours jusqu'à échéance exprimée en nombre d'années, comme suit :

$$n_C = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times n_i}{\sum_{i=1}^k Coupon_i}$$

Il sera effectivement intéressant de comparer ces deux méthodologies, mais également d'évaluer l'écart avec le spread de choc moyen sur la catégorie C , calculé sur la base des résultats de la méthodologie ligne à ligne.

• **Par notation (No) uniquement**

Le facteur de risque de notation du titre est un facteur commun au calcul du SCR spread et à la valorisation du CDS.

Dans ce cas nous segmentons notre portefeuille par notation uniquement, et allons essayer de déterminer un spread de choc correspondant à chacune des catégories de notation identifiée dans le portefeuille.

Il est nécessaire de déterminer avant tout la duration moyenne de la catégorie, en la calculant sur les titres appartenant à ce dernier. Notons que cette duration moyenne modifiée est différente de celle du couple \mathcal{C} (notation, duration modifiée) présentée précédemment. En effet, la duration modifiée moyenne s'exprime comme suit :

$$dur_{No}^{moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^k VM_i \times dur_i}{VM_{No}}$$

k étant le nombre de titres appartenant à la catégorie No .

Pour chaque catégorie No , nous avons déterminé une duration moyenne modifiée associée, et nous avons donc le spread de choc correspondant qui sera appliqué, suivant le tableau 1.

Nous pouvons déterminer alors un spread de choc par notation No en résolvant l'égalité suivante :

$$\begin{aligned} VM_{No}^{choc} &= VM_{No} \times \left[1 - \left(a_{No} + b_{No} \cdot \left(dur_{No}^{moyenne} - C_{dur_{No}^{moyenne}} \right) \right) \right] \\ &= \frac{CC_{No}}{(1 + r_{\Delta} + \Delta \cdot S_{choc}^{No})^{\Delta}} + \sum_{j=1}^{n_{No}} \frac{Coupon_{No}}{(1 + r_j + S_{choc}^{No})^j} + \frac{N_{No}}{(1 + r_{n_{No}} + S_{choc}^{No})^{n_{No}}} \end{aligned}$$

De la même manière, nous devons définir certaines variables de cette expression, à savoir :

- **Le nominal N_{No} :**

Il sera défini comme suit, k étant le nombre de titres ayant la notation No :

$$N_{No} = \sum_{i=1}^k N_i$$

- **Le coupon $Coupon_{No}$:**

Nous utilisons uniquement le nominal du titre i comme pondération :

$$Coupon_{No} = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times N_i}{\sum N_i}$$

Avec k le nombre de titres obligataires appartenant à la catégorie No .

Et dans ce cas, nous définissons n , le nombre de jours jusqu'à échéance exprimée en nombre d'années, comme suit :

$$n_{No} = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times n_i}{\sum_{i=1}^k Coupon_i}$$

Remarque : Il est également possible d'utiliser la 2^e méthodologie de calcul du coupon, en rajoutant la duration modifiée du titre comme pondération, comme exposé précédemment.

Ainsi, grâce à un solveur Excel ou un programme Python, nous pouvons déterminer les spreads de chocs S_{Choc}^{No} pour chaque catégorie de notation.

- **Par couple C' (notation, secteur)**

Comme évoqué précédemment, un des facteurs de risque important dans la construction d'un CDS index est le secteur. Ce produit regroupe plusieurs titres de différents secteurs, assurant une couverture plus large et diversifiée. Il serait donc intéressant de déterminer un spread de choc propre à un secteur Se_i , couplé à la notation. Ce sera l'objet de cette sous-partie.

De manière similaire, nous construisons des catégories de couple C' (notation, secteur) sur le portefeuille d'actifs détenus, en y affectant les titres d'un même secteur et ayant la même notation. Il est également nécessaire de déterminer une duration modifiée pour le couple C' , afin d'appliquer la bonne formule d'égalisation pour le calcul du spread de choc.

Ainsi, la duration modifiée moyenne du couple C' s'exprime comme suit :

$$dur_{C'}^{moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^k VM_i \times dur_i}{VM_{C'}}$$

k étant le nombre de titre appartenant à la catégorie du couple C' .

En reprenant le même raisonnement qu'auparavant, nous pouvons déterminer un spread de choc par couple C' en résolvant l'égalité suivante :

$$\begin{aligned} VM_{C'}^{choc} &= VM_{C'} \times \left[1 - \left(a_{C'} + b_{C'} \cdot \left(dur_{C'}^{moyenne} - C_{dur_{C'}^{moyenne}} \right) \right) \right] \\ &= \frac{CC_{C'}}{(1 + r_{\Delta} + \Delta \cdot S_{choc}^{C'})^{\Delta}} + \sum_{j=1}^{n_{C'}} \frac{Coupon_{C'}}{(1 + r_j + S_{choc}^{C'})^j} + \frac{N_{C'}}{(1 + r_{n_{C'}} + S_{choc}^{C'})^{n_{C'}}} \end{aligned}$$

De la même manière, nous devons définir certaines variables de cette expression, à savoir :

- **Le nominal $N_{C'}$:**

Il sera défini comme suit, k étant le nombre de titres appartenant à la catégorie de couple C' :

$$N_{C'} = \sum_{i=1}^k N_i$$

- **Le coupon $Coupon_{C'}$:**

Nous utilisons uniquement le nominal du titre i comme pondération :

$$Coupon_{C'} = \frac{\sum_{i=1}^k Coupon_i \times N_i}{\sum N_i}$$

Avec k le nombre de titres obligataires appartenant à la catégorie du couple C' .

Et dans ce cas, nous définissons n , le nombre de jours jusqu'à échéance exprimée en nombre d'années, comme suit :

$$n_{C'} = \frac{\sum_{i=1}^k \text{Coupon}_i \times n_i}{\sum_{i=1}^k \text{Coupon}_i}$$

Remarque : Il est également possible d'utiliser 2^e méthodologie de calcul du coupon, en rajoutant la duration modifiée du titre comme pondération, comme exposé précédemment.

Ainsi, grâce à un solveur Excel ou un programme Python, nous pouvons déterminer les spreads de chocs $S_{choc}^{C'}$ pour chaque catégorie de couple C' .

Approche par sensibilité

Les méthodologies présentées jusqu'à présent reposent sur l'équation égalisant la valeur marché avec les cashflows attendus de l'obligation (ajustés du facteur de risque-neutralisation), afin de déterminer le spread de choc, et ceci à différents niveaux de granularité du portefeuille.

Ces méthodologies pourraient constituer des process et des calculs réalisés en un temps non négligeable. Afin d'apporter une base de comparaison large en termes de méthodologie, nous proposons ici l'utilisation de l'approximation de variation du prix d'obligation grâce à la sensibilité.

Rappelons que nous avons la relation, au premier ordre, pour le titre i :

$$\frac{\Delta VM_i}{VM_i} = \frac{VM_i - VM_i^{choc}}{VM_i} = -\Delta r \times S_i = -\Delta r \times dur_i$$

Avec Δr la variation du taux et S_i la sensibilité (qui est la duration modifiée, notée dur_i comme auparavant) de l'obligation.

Cette approche peut être utilisée également ligne à ligne, mais l'objectif étant de réduire le temps de process et calcul, nous allons appliquer cette méthodologie pour mesurer le spread de choc uniquement sur le portefeuille ou sous-portefeuille concernant par la couverture mise en place grâce au CDS.

Ainsi nous pouvons exprimer le spread de choc comme suit :

$$S_{choc}^{ptf-sensi} = -\frac{\Delta VM_{ptf}}{dur_{ptf} \times VM_{ptf}}$$

Et en prenant la duration modifiée du portefeuille comme présentée à la partie 2.2.2 :

$$dur_{ptf} = \frac{\sum_{i=1}^n dur_i \times VM_i}{VM_{ptf}}$$

Cette relation au premier ordre suppose une linéarité entre la variation de taux et le prix de l'obligation. Cette relation est moins précise également lorsque la variation de taux est importante, ce qui est le cas pour un choc Solvabilité II. Il est difficile donc de négliger le deuxième ordre du développement.

Une représentation plus réaliste de la corrélation fait intervenir le concept de convexité, C_i , qui est la relation au deuxième ordre suivante :

$$\frac{\Delta VM_i}{VM_i} = -\Delta r \times dur_i + (\Delta r)^2 \times C_i$$

L'estimation du spread de choc à travers cette méthodologie sera donc moins précise, avec des biais liés à :

- La variation de taux importante avec le choc SII appliqué ;
- La duration et le rendement des titres qui sont assez disparate au sein de la poche obligataire d'entreprises.

Synthèse des spreads de choc équivalents Solvabilité II

Nos réflexions et explorations concernant la détermination d'un choc spread Solvabilité II traduit en niveau d'écartement de spread nous ont menés vers les variables suivantes à déterminer :

- S_{choc}^i : Le spread de choc déterminé ligne à ligne, pour chaque titre i détenu dans le portefeuille ;
- $S_{choc}^{C_1}$: Le spread de choc déterminé par couple $C_1 = (notation, duration mod)$, avec la 1^{re} méthodologie de calcul du coupon moyen ;
- $S_{choc}^{C_2}$: Le spread de choc déterminé par couple $C_2 = (notation, duration mod)$, avec la 2^e méthodologie de calcul du coupon moyen ;
- S_{choc}^{No} : Le spread de choc déterminé par catégorie de notation No ;
- $S_{choc}^{C'}$: Le spread de choc déterminé par couple $C' = (notation, secteur)$;
- $S_{choc}^{ptf-sensi}$: Le spread de choc déterminé par approche de sensibilité sur le portefeuille obligataires (entreprises) à couvrir.

Ces spreads de chocs seront calculés sur un portefeuille fictif au chapitre 3, et nous exposerons et analyserons les différences et sensibilités sur les résultats obtenus.

2.2.2.3 Calcul du SCR spread du CDS de couverture, avec un spread de choc

Nous avons présenté en partie 1.1.2.2 le calcul du SCR pour tout risque élémentaire. Il consistait à évaluer l'élément portant le risque, avec ses deux composantes actif et passif, dans un premier temps sous environnement central, puis sous choc Solvabilité II. Nous en déduisons un besoin en fonds propres, constituant le SCR.

Il est rappelé que le produit doit être éligible pour être considéré comme technique d'atténuation de risque, prérequis essentiel, avant de mener tout calcul et considération quantitative de couverture du risque spread.

Avec un focus réalisé sur les entreprises non-vie, la composante « passif » pourra être négligée³⁴ pour le calcul du SCR spread CDS de couverture³⁵. Ainsi, le calcul élémentaire se réduit à la formule suivante :

$$SCR_{CDS-couv} = \Delta FP = FP_0 - FP_{choc} = VM_0^{CDS} - VM_{choc}^{CDS}$$

Avec VM_0^{CDS} la valeur du CDS à l'instant $t = 0$ d'évaluation, et VM_{choc}^{CDS} la valeur du CDS sous choc Solvabilité II.

L'objet des parties précédentes (2.1.3 Modèles de pricing et 2.2.2.2 Modélisation d'un spread de choc équivalent Solvabilité II) a été de mettre en exergue les éléments mathématiques nous permettant de déterminer les quantités VM_0^{CDS} et VM_{choc}^{CDS} de la formule précédente, et donc de pouvoir calculer un SCR spread de CDS couverture.

- L'évaluation de VM_0^{CDS} passe par :
 - o L'utilisation de la courbe des taux sans risque³⁶ pour l'actualisation ;
 - o La construction d'une courbe de spread (grâce au Bootstrapping sur les CDS côtés) permettant d'obtenir des probabilités de défauts ;
 - o L'évaluation des jambes de primes et de défaut, en mêlant les deux courbes précédentes aux caractéristiques contractuelles du CDS (notionnel, primes conventionnelles, dates de paiements, etc...).
- L'évaluation de VM_{choc}^{CDS} passe par :
 - o L'utilisation de la courbe des taux sans risque³⁶ pour l'actualisation ;
 - o Le choix et la détermination du spread de choc équivalent Solvabilité II à appliquer ;
 - o La réévaluation et construction de la nouvelle courbe de spread, en injectant l'écartement de spread aux probabilités de défauts ;
 - o La réévaluation des jambes de primes et de défaut, avec la nouvelle courbe de spread, et en considérant les caractéristiques contractuelles du CDS.

2.2.2.4 Méthodologie par « netting » des titres exposés

Après avoir exposé certaines méthodologies impliquant de la modélisation et valorisation de différentes composantes, nous explorons une dernière méthodologie, basée sur la compensation de risque.

La calibration du choc Solvabilité II du facteur de risque spread a été réalisée sur les niveaux des indices de spread d'obligations d'entreprises de la zone Euro (Cf. 2.2.2.1). Ce choc est

³⁴ En non-vie, et en Formule Standard et sans VA, le risque spread n'engendre pas d'impact sur le passif (BE).

³⁵ Nous précisons la notion de couverture car il y a également le calcul du SCR spread de CDS à des fins autres que couvertures (Cf. partie 1.2.1, et plus d'informations sur le règlement délégué Solvabilité II)

³⁶ Courbe des taux sans risque publiée par l'EIOPA.

appliqué aux titres obligataires d'entreprises et représente une décote. Si nous détenons un CDS sur un ou plusieurs de ces titres, structurellement le produit CDS vient « compenser » / couvrir le risque d'évènement de crédit survenant sur ce titre (écartement de spread et défaut de l'entité, dégradation de la notation...), risque qui est matérialisé entre autres par le choc de spread. Nous pouvons donc considérer que les titres détenus, pour lesquels des CDS sont présents dans le portefeuille, ne sont pas exposés au risque de spread.

Ainsi, au lieu de calculer une SCR spread de couverture, nous venons revoir l'assiette d'exposition au risque spread de notre portefeuille.

En considérant par exemple que sur n obligations d'entreprises détenues, 10 sont couvertes par des CDS single-name (toujours sous réserve que l'éligibilité ait été démontrée et documentée), alors le SCR spread du portefeuille serait calculé uniquement sur le restant des titres, comme suit (ligne à ligne) :

$$SCR_{spread} = \sum_{i=1}^{n-10} VM_i \times (a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i}))$$

Avec C_{dur_i} la constante présente dans le tableau 1, qui est fonction de la catégorie de duration modifiée du titre i , et a_i et b_i les constantes du tableau en fonction de la notation et de la duration modifiée du titre i .

Dans le cas d'un CDS index, et pour apporter plus de cohérence à l'application de cette méthodologie, nous pouvons considérer que le facteur de corrélation qui a été démontré et calculé en toute circonstance, aux fins d'éligibilité pour la technique d'atténuation de risque, s'applique sur la valeur des titres exposés, avant calcul du SCR spread.

Ainsi, en considérant que le CDS Index couvre 10 titres, avec un facteur de corrélation noté $Corr^{37}$, nous pouvons écrire le SCR spread du portefeuille détenu comme suit :

$$SCR_{spread} = \sum_{i=1}^{n-10} VM_i \times (a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i})) + (1 - Corr) \times \sum_{i=1}^{10} VM_i \times (a_i + b_i \cdot (dur_i - C_{dur_i}))$$

Cette méthodologie consiste donc à « netter » l'exposition au risque spread du portefeuille, en mettant hors périmètre du calcul du SCR spread les titres pour lesquels un CDS existe au sein du portefeuille. Cependant, il est à noter que cette méthodologie sous-estime le risque de base, puisque nous supposons une couverture parfaite des titres grâce au CDS.

Dans le chapitre 3, nous mettrons en pratique ces différentes méthodologies exposées pour le calcul du SCR spread de CDS de couverture, en calculant ces éléments sur des données marchés et de portefeuille, tout comparant et analysant les écarts quantitatifs et impacts de chacune de ces méthodologies.

³⁷ Pour toute éligibilité, ce facteur doit être supérieur à 90%, comme évoqué dans la partie 2.2.1.

2.3 Calcul du SCR de contrepartie, lié au fournisseur du CDS

En principe, les techniques d'atténuation des risques réduisent les risques des entreprises et devraient par conséquent conduire à une réduction du SCR. Comme nous l'avons évoqué précédemment, certaines techniques d'atténuation des risques peuvent créer un risque de base ou d'autres risques importants. Si c'est le cas, ils doivent être identifiés et considérés dans le calcul du SCR.

Dans notre cas, en utilisant les CDS, et lorsque cette technique d'atténuation du risque répond aux différents aspects et conditions réglementaires d'éligibilité présentés en partie 2.2.1, le nouveau risque généré serait le risque de contrepartie, lié au vendeur de la protection.

2.3.1 Rappel de la Formule Standard pour le calcul du SCR de contrepartie

Etant en Formule Standard, nous pouvons nous reposer sur le règlement Solvabilité II afin d'évaluer le risque de contrepartie (ou défaut) du fournisseur du CDS.

La section 6, article 189, nous retrouvons l'expressions globale suivante pour le calcul du SCR de contrepartie :

$$SCR_{def} = \sqrt{SCR_{def,1}^2 + 1,5 \times SCR_{def,1} \times SCR_{def,2} + SCR_{def,2}^2}$$

Avec :

$SCR_{def,1}$: l'exigence de capital pour risque de défaut de la contrepartie sur des expositions de type 1 ;

$SCR_{def,2}$: l'exigence de capital pour risque de défaut de la contrepartie sur des expositions de type 2.

C'est au sein des expositions de type 1 que nous retrouvons les techniques d'atténuation de risque et dérivés d'assurance. Le calcul de l'exigence de capital de cet élément repose sur la distribution de pertes des expositions, le total des pertes L , et l'écart-type σ de la distribution :

$$SCR_{def,1} = \begin{cases} 3 \times \sigma, & \text{si } \frac{\sigma}{L} \leq 7\% \\ 5 \times \sigma, & \text{si } 20\% \geq \frac{\sigma}{L} > 7\% \\ L, & \text{si } \frac{\sigma}{L} \geq 20\% \end{cases}$$

Avec $\sigma = \sqrt{V}$ et V calculé comme une somme de V_{intra} et V_{inter} .

Toujours suivant le règlement Solvabilité II, section 6 - article 201 :

$$V_{inter} = \sum_{j,k} \frac{PD_k(1 - PD_k) \times PD_j(1 - PD_j)}{1,25 \times (PD_k + PD_j) - PD_k PD_j} \times TLGD_j \cdot TLGD_k$$

Avec $TLGD_k$ la somme des pertes en cas de défaut sur les expositions de type 1, pour les contreparties dont la probabilité de défaut est PD_k , qui est donnée par le tableau³⁸ suivant :

Échelon de qualité de crédit	0	1	2	3	4	5	6
Probabilité de défaut PD_i	0,002 %	0,01 %	0,05 %	0,24 %	1,20 %	4,2 %	4,2 %

Tableau 2 : Probabilité de défaut pour une signature unique i

Et l'expression de V_{intra} est donnée par :

$$V_{intra} = \sum_j \frac{1,5 \times PD_j(1 - PD_j)}{2,5 - PD_j} \times \sum_{PD_j} LGD_i^2$$

Avec :

- la première somme couvrant toutes les probabilités différentes de défaut des expositions sur signature unique ;
- la seconde somme couvrant toutes les expositions sur signature unique dont la probabilité de défaut est de PD_j
- LGD_i représentant la perte en cas de défaut de l'exposition sur signature unique i .

La LGD , perte en cas de défaut, est calculée selon la typologie du contrat, et dans notre cas c'est une technique d'atténuation utilisant un produit dérivé.

2.3.2 SCR contrepartie lié au CDS

Nous avons vu en partie 2.2.1 qu'une technique financière d'atténuation de risque n'est éligible que lorsque le fournisseur détient une qualité de crédit, au moins BBB- (de 0 à 3 selon l'échelon CQS), permettant de garantir que l'assureur bénéficiera bien de la protection en cas de réalisation des événements d'écartements de spread spécifiés par le contrat CDS.

La probabilité de défaut est comprise entre 0,002% et 0,24%.

Concernant la LGD , pour un produit dérivé tel que le CDS, elle est calculée comme suit :

$$LGD = \max(90\% \cdot (V_{CDS} + RM_{fin}) - F' \cdot Collateral; 0)$$

Avec :

V_{CDS} : le prix du CDS, qui sera calculé selon le modèle présenté précédemment ;

RM_{fin} : l'effet d'atténuation qu'à le CDS sur le SCR marché ;

$Collateral$: la valeur pondérée des sûretés concernant le CDS ;

F' : facteur tenant compte de l'effet économique du contrat de sûreté en ce qui concerne le CDS, en cas d'événement de crédit concernant la contrepartie. Dans notre cas, il est égal à 90% ou 100%, selon les cas³⁹.

³⁸ Lorsque le fournisseur détient un échelon de crédit établi par un OEEC désigné.

³⁹ Article 197, alinéa 7, du règlement délégué Solvabilité II.

Il faudra donc évaluer l'impact de la technique d'atténuation sur le SCR marché, afin de pouvoir calculer le nouveau SCR défaut à prendre en compte, qui englobera le SCR défaut générée par la couverture.

Nous avons exposé dans cette partie les aspects réglementaires nécessaires pour la prise en compte de la couverture CDS en tant que technique d'atténuation de risque sous SII. L'acquisition d'un tel produit pourrait permettre de réduire le SCR spread du portefeuille/titre couvert, mais également générer d'autres risques, comme le risque de contrepartie, avec un SCR défaut additionnel à prendre en compte, selon les directives de la réglementation Solvabilité II.

Pour les besoins de calcul de SCR spread CDS de couverture, nous avons développé des méthodologies par netting de l'exposition, qui nécessite moins de modélisation, mais également en utilisant la formule de SCR pour tout risque élémentaire. Cette dernière nécessite le pricing de produit CDS, avant et après choc. Des modèles de valorisation ont donc été présentés dans cette partie.

Le calcul du prix de CDS sous choc nécessite tout de même un input de choc, le spread de choc équivalent SII. Plusieurs méthodologies de détermination des spreads de choc équivalent SII ont été développées et explorées.

Dans le prochain chapitre, nous mettons en application tous ces éléments afin d'évaluer la pertinence des modèles proposés, puis évaluer les impacts sur le portefeuille, notamment sur les grandeurs Solvabilité II (différents SCRs et Ratio de Solvabilité).

III. Application des méthodologies et analyse des résultats

Dans ce 3^e chapitre du mémoire, nous allons mettre en application les différents concepts et méthodologies présentées au chapitre 2 : valorisation de CDS (single-name et index), identification de technique d'atténuation éligibles sous SII au portefeuille détenu, détermination des spreads de chocs permettant de valoriser le CDS choqué sous environnement SII, et puis le calcul des SCR associés (spread et défaut) pour évaluer l'impact de cette atténuation sur les métriques Solvabilité II. (Impacts SCR spread, marché, global et ratio de solvabilité)

Ce chapitre mettra en exergue les bonnes pratiques et la/les méthodologie(s) de quantification des mesures de risques apportées par le CDS, en précisant si ces dernières sont acceptables et apportent une valeur ajoutée en atténuant le risque de spread.

Les données de portefeuille utilisées sont fictives et représentant le bilan d'une compagnie d'assurance non-vie, utilisant la Formule Standard pour le calcul du SCR et du besoin en fonds propres.

3.1 Présentation portefeuille et de ses caractéristiques

3.1.1 Composition du portefeuille

Le portefeuille construit est composé principalement d'obligations, à taux fixe, d'entreprises (Obligation E) et gouvernementales (Obligation G), avec également des actifs investis sur des actions (de type 1 et 2, selon le référentiel Solvabilité II) et puis d'une part en actifs immobiliers.

Les obligations détenues sont toutes émises par des institutions et/ou entreprises de l'OCDE. Il n'y aura pas de risque de change à quantifier. Également, pour les besoins de cette étude, nous n'aurons pas de risque de concentration à quantifier.

Avec un actif total de 2 831,37 M€, nous avons la répartition des actifs, en part de valeur marché, comme suit :

Actif	Valeur Marché (M€)	Actif	Part (%)
Obligation G	1177,75	Obligation G	41,60%
Obligation E	1310,72	Obligation E	46,29%
Actions (T1)	83,87	Actions (T1)	2,96%
Actions (T2)	49,27	Actions (T2)	1,74%
Immobilier	209,76	Immobilier	7,41%
Total	2831,37		

Tableau 3 : Composition du portefeuille par type d'actifs (VM et part en % de VM)

Les sous-modules du risque marché présents dans ce portefeuille seront le risque taux, risque spread, risque action et immobilier.

Notre étude se concentrant principalement sur le risque spread, nous allons présenter en détails la structure obligataire (d'entreprise) du portefeuille.

La répartition par notation pour les obligations d'entreprise, correspondant au 1^{er} axe de catégorisation pour le choc spread Solvabilité II, est la suivante :

Notation Obligation E	Valeur Marché (M€)	Part (%)
AA	77,53	5,9%
A	679,59	51,8%
BBB	543,89	41,5%
BB	9,71	0,7%

Tableau 4 : Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par notation

La composition du portefeuille en termes de notation est un des axes d'analyse pour étudier l'éligibilité de la couverture CDS choisie, pour éviter tout risque de base important (au sens Solvabilité II tel qu'exposé au chapitre 2) entre les titres couverts et le sous-jacent de la technique d'atténuation de risque.

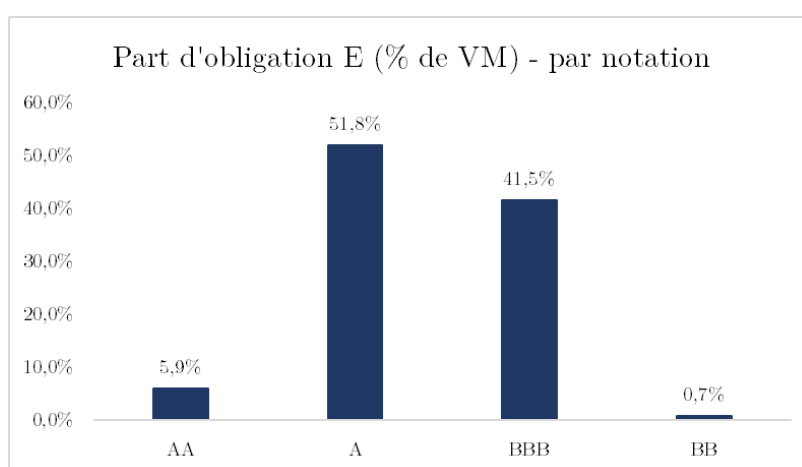


Figure 7 : Répartition (% de VM) des obligations par notation

Toujours pour les obligations d'entreprises, la répartition par tranche de durée modifiée, correspondant à l'autre axe de catégorisation pour le choc spread Solvabilité II, est la suivante :

Duration mod Obligation E	Valeur Marché (M€)	Part (%)
0-5	521,00	39,75%
5-10	771,56	58,87%
10-15	18,16	1,39%

Tableau 5 : Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par catégorie de durée modifiée

Une des variables intéressantes que nous avons exposé comme un facteur de risque permettant de déterminer un spread de choc dans un portefeuille est le secteur auquel appartient l'émetteur de l'obligation. La répartition par secteur des obligations d'entreprises détenues est la suivante :

Secteur Obligation E	Valeur Marché (M€)	Part (%)
Consumers	178,26	13,60%
Energy	111,41	8,50%
Financials	540,01	41,20%
Industry	250,35	19,10%
TMT	145,49	11,10%
Utilities	85,20	6,50%

Tableau 6 : Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par secteur

Il en est de même concernant les secteurs des obligations détenues : la composition est un autre axe d'analyse (qualitatif) pour l'étude d'éligibilité de la technique d'atténuation de risque. Un « matching » de la composition est à réaliser en choisissant les titres (et leur secteur) à couvrir, afin d'éviter la présence de risque de base matériel au sens Solvabilité II.

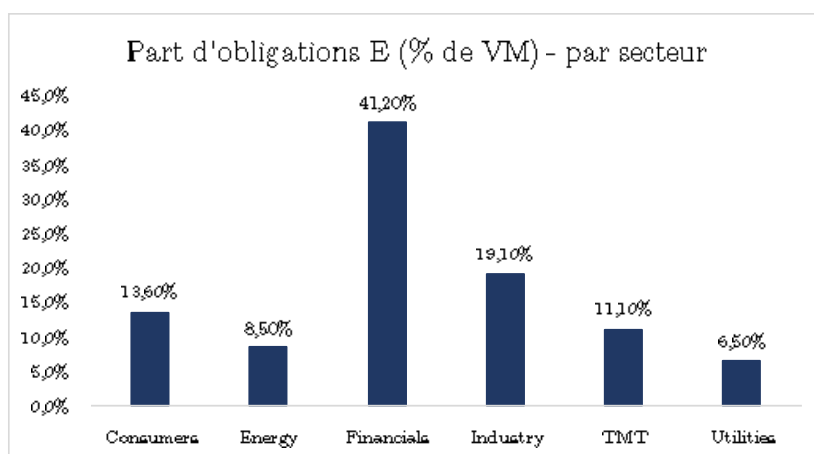


Figure 8 : Répartition (% de VM) des obligations par secteur

La figure 8, présente la part en % des obligations d'entreprises, par secteur, sur la base de la valeur de marché. Nous remarquons qu'il y a une sur-représentation du secteur financier, avec près de 42 % du portefeuille obligataire d'entreprise, suivi du secteur « Industry », puis « Consumers » et « TMT »⁴⁰.

En se basant sur le notionnel, nous sommes également sur quasiment les mêmes proportions, présentées dans la figure 9.

⁴⁰ Abréviation de « Technology, Media & Telecommunications »

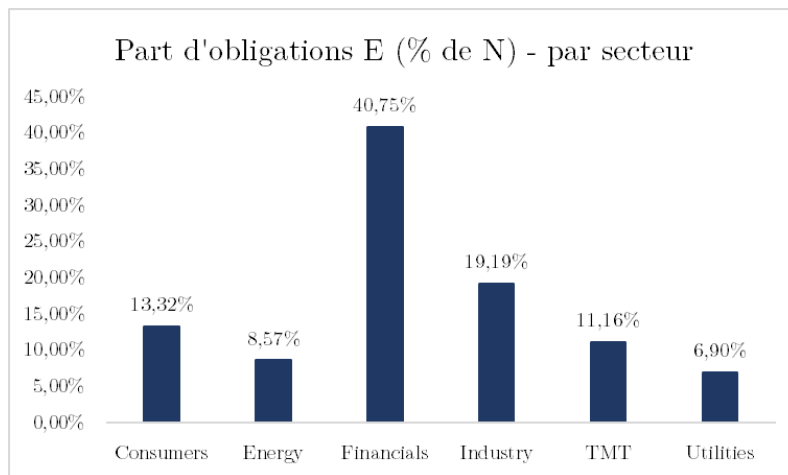


Figure 9 : Répartition (% de notionnel N) des obligations par secteur

Avant de présenter les produits CDS de couverture et d'aborder les aspects de « matching », nous présentons dans la prochaine partie les informations Solvabilité II du portefeuille.

3.1.2 Caractéristiques Solvabilité II

Nous présentons ici les différents indicateurs Solvabilité II pour le portefeuille détenu, en termes de SCR (à différents niveaux) et ratio de solvabilité.

- SCR Taux

Pour le facteur de risque taux, les instruments financiers détenus qui seront soumis à ce choc seront les obligations, gouvernementales et d'entreprises. Le choc consiste à une variation à la hausse, et à la baisse, de la structure de courbe des taux sans risque. Cette variation aura également **un impact sur le passif, que l'on n'exposera pas dans ce mémoire pour des raisons de simplicité**, et uniquement pour illustrer l'application du choc sur la partie « actifs ».

Le SCR taux correspond à la variation la plus importante entre les deux variations (à la hausse et la baisse).

La courbe des taux utilisées est celle de l'EIOPA, publiée mensuellement sur le site : https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/risk-free-interest-rate-term-structures_en

La courbe de taux utilisée est celle du 31/10/2023, et est présente en Annexe 2.

➤ Choc à la hausse :

Etant donnée la courbe des taux sans risque de l'EIOPA, avec un taux r_i défini pour chaque maturité i , le choc à la hausse correspond à la formule suivante :

$$r_i^{hausse} = \min(1\% ; r_i \times (1 + choc_i^{hausse}))$$

La structure de choc hausse est définie dans le règlement délégué article 166, et est présente en Annexe 2.

➤ Choc à la baisse :

Etant donnée la courbe des taux sans risque de l'EIOPA, avec un taux r_i défini pour chaque maturité i , le choc à la baisse correspond à la formule suivante :

$$r_i^{baisse} = \begin{cases} r_i & \text{si } r_i < 0 \\ r_i \times (1 - \text{choc}_i^{baisse}) & \text{sinon} \end{cases}$$

La structure de choc baisse est définie dans le règlement délégué article 167, et est présente en Annexe 2.

➤ Formule de SCR Taux :

Pour chaque titre d'obligation détenue, nous sommes capables de calculer les valeurs marché sous choc, à la hausse et la baisse, en reprenant les mêmes expressions de la partie 2.2 (en explicitant également le facteur de risque neutralisation F_i) :

$$VM_i^{hausse} = F_i \times \left(\frac{CC_i}{(1 + r_\Delta^{hausse})^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1 + r_j^{hausse})^j} + \frac{N_i}{(1 + r_n^{hausse})^n} \right)$$

$$VM_i^{baisse} = F_i \times \left(\frac{CC_i}{(1 + r_\Delta^{baisse})^\Delta} + \sum_{j=1}^n \frac{C_i}{(1 + r_j^{baisse})^j} + \frac{N_i}{(1 + r_n^{baisse})^n} \right)$$

En notant le Best Estimate $BE_{central}$, et en les Best Estimate pour les scénarios de chocs de hausse et de baisse, respectivement BE_{hausse} et BE_{baisse} , et VM la somme sur i des VM_i :

$$SCR_{taux}^{hausse} = (VM_{central} - VM_{hausse}) - (BE_{central} - BE_{hausse})$$

$$SCR_{taux}^{baisse} = (VM_{central} - VM_{baisse}) - (BE_{central} - BE_{baisse})$$

Notons que le SCR_{taux}^{baisse} aura une valeur négative puisque les valeurs de chocs seront supérieures à celle du scénario central (la valeur marché augmente lors d'une baisse de taux).

Ainsi, l'expression finale du SCR taux est la suivante :

$$SCR_{taux} = \max(SCR_{taux}^{hausse}; -SCR_{taux}^{baisse})$$

Les résultats obtenus sur notre portefeuille sont les suivants :

	Valeur (M€)
SCR Taux Hausse	149,08
SCR Taux Baisse	- 132,19
SCR Taux	149,08

Dans cette étude, le scénario de baisse des taux n'a pas été retenu puisque les fonds propres ne sont sensibles qu'à une hausse des taux. En effet, en cas d'augmentation des taux d'intérêt, les valeurs de l'actif et du passif de la compagnie diminuent. Si la valeur de l'actif diminue de manière plus importante que la valeur du passif, alors les fonds propres de la compagnie diminuent et inversement. Plus particulièrement, en assurance non-vie, l'actif ayant généralement une durée supérieure au passif, la compagnie est donc sensible à une hausse des taux d'intérêt.

- SCR Actions

Nous détenons en portefeuille les deux catégories d'actions, sous le référentiel Solvabilité II. Les chocs à appliquer pour chacune des catégories sont les suivants, en notant SA l'ajustement symétrique :

➤ Action de type 1 :

$$Choc_{action\ type\ 1} = 39\% + SA$$

Et donc,

$$SCR_{action\ type\ 1} = VM_{action\ type\ 1} \times Choc_{action\ type\ 1}$$

➤ Action de type 2 :

$$Choc_{action\ type\ 2} = 49\% + SA$$

Et donc,

$$SCR_{action\ type\ 2} = VM_{action\ type\ 2} \times Choc_{action\ type\ 2}$$

La valeur du SA est publié également par l'EIOPA à fréquence mensuelle, sur le site : https://www.eiopa.europa.eu/tools-and-data/symmetric-adjustment-equity-capital-charge_en

Finalement, le SCR action est calculé avec un coefficient de corrélation prédéfini par la réglementation, à un niveau de 75%.

Ainsi :

$$SCR_{action} = \sqrt{SCR_{action\ type\ 1}^2 + 2 \cdot 0,75 \cdot SCR_{action\ type\ 1} \cdot SCR_{action\ type\ 2} + SCR_{action\ type\ 2}^2}$$

Avec un SA de -3,189% (au 31/10/2023), nous avons les résultats suivants :

	Valeur (M€)
<i>SCR Action Type 1</i>	33,72
<i>SCR Action Type 2</i>	25,96
SCR Action	49,28

- SCR Spread

Sans reprendre les éléments détaillés de la partie 2.2 concernant le calcul du SCR spread, le calcul de ce dernier pour le portefeuille détenu résulte à :

	Valeur (M€)
SCR Spread	120,23

- SCR Immobilier

Le choc à appliquer en Formule Standard pour les actifs immobiliers est de 25%.

Donc,

$$SCR_{immobilier} = VM_{immobilier} \times 25\%$$

Le résultat obtenu sur notre portefeuille pour les actifs immobiliers est le suivant :

	Valeur (M€)
SCR Immobilier	65,84

- SCR Marché

Après avoir déterminé les différents SCRs des sous-modules du risque marché (pas de risque de change ni de concentration pour la présente étude), nous pouvons à présent calculer le SCR marché, en utilisant la matrice de corrélation suivante :

	Actions	Taux	Spread	Immo	Change	Conc
Actions	1	0%	75%	75%	25%	0%
Taux	0%	1	0%	0%	25%	0%
Spread	75%	0%	1	50%	25%	0%
Immo	75%	0%	50%	1	25%	0%
Change	25%	25%	25%	25%	100%	0%
Conc	0%	0%	0%	0%	0%	1

Figure 10 : Matrice de corrélation entre les sous-modules du SCR marché

Les valeurs dans les cellules en couleur ont été mises en évidence car elles peuvent prendre une autre valeur (0% ou 50%). En effet :

- Dans le cas où le scénario de hausse de taux est celui retenu pour le calcul du SCR taux (car le plus conséquent), ce qui est notre cas, alors les valeurs sont à 0%, comme dans le tableau ;
- Dans le cas où le scénario de baisse de taux est celui retenu pour le calcul du SCR taux (car le plus conséquent), alors les valeurs sont à 50%.

En reprenant les valeurs des SCR précédemment calculés, nous obtenons le SCR marché suivant (utilisant les formules présentées dans la partie 1.2.1) :

	Valeur (M€)
<i>SCR Actions</i>	49,28
<i>SCR Taux</i>	149,08
<i>SCR Spread</i>	120,23
<i>SCR Immo</i>	65,84
<i>SCR Change</i>	-
<i>SCR Conc</i>	-
SCR Marché	255,17

- SCR global

Pour le calcul du SCR global, nous avons besoin d'autres éléments quantitatifs relatifs notamment au risque de souscription, risque de défaut ainsi que le risque opérationnel. Etant donné que nous considérons une société non-vie, le SCR Souscription Vie et Santé seront nuls. Pour le reste et pour les besoins de l'étude, nous partirons sur des quantités fictives et cohérentes avec le marché au niveau solvabilité. En effet, aucun impact ou calcul détaillés ne sera nécessaire à réaliser sur ces éléments, mise à part la considération du SCR défaut généré par l'acquisition du CDS.

- En utilisant la matrice de corrélation entre les différents risques (marché, vie, non-vie, santé et défaut), présenté ci-après :

	Marché	Défaut	Vie	Santé	Non-Vie
Marché	1	25%	25%	25%	25%
Défaut	25%	1	25%	25%	50%
Vie	25%	25%	1	25%	0%
Santé	25%	25%	25%	1	0%
Non-Vie	25%	50%	0%	0%	1

Figure 11 : Matrice de corrélation entre les modules du BSCR

- Et en considérant les quantités suivantes pour le SCR défaut et le SCR Non-Vie, nous obtenons un **BSCR de 898,43 M€** :

	Valeur (M€)
<i>SCR Marché</i>	255,17
<i>SCR Non-vie</i>	800,00
<i>SCR Défaut</i>	-
BSCR	898,43

Le calcul du BSCR se base sur la formule donnée en partie 1.1.2.3.

- Puis en considérant le SCR opérationnel et l'ajustement⁴¹, nous pouvons obtenir le **SCR global**, qui est de **1 086,02 M€** :

	Valeur (M€)
<i>BSCR</i>	898,43
<i>SCR Opérationnel</i>	32,00
<i>Ajustement</i>	155,58
SCR	1.086,02

Le SCR global est une somme directe entre les 3 quantités présentées dans le tableau ci-dessus.

- Ratio de Solvabilité

Le ratio de Solvabilité représente le rapport entre les Fonds Propres détenus par l'entreprise (qui est la somme des capitaux propres, du résultat et de la réserve de réconciliation), et le SCR global calculé auparavant.

$$\text{Ratio de Solvabilité} = \frac{\text{Fonds Propres}}{\text{SCR}}$$

Dans notre situation, cela se présente quantitativement comme suit, avec **un ratio de 132%** :

<i>Fonds Propres</i>	1.437,00
<i>SCR</i>	1.086,02
Ratio de Solvabilité	132%

Dans les prochaines parties, nous aborderons en fond et de façon quantitative l'utilisation de technique d'atténuation de risque spread, au travers des CDS, en :

- mettant en exergue les produits éligibles sous Solvabilité II pour notre portefeuille (ou sous portefeuille) ;
- présentant les résultats de modélisation du spread de choc équivalent Solvabilité II ;
- mesurant les impacts sur les caractéristiques Solvabilité II, sous les différentes méthodologies de calcul de SCR spread présentées au chapitre 2.

3.2 Eligibilité du CDS en tant que couverture

Nous avons présenté au chapitre 2 les deux grandes catégories de CDS : les CDS single-name, portant sur un titre, et indices CDS, portant sur un panier de titres. Nous avons également mis en évidence les prérequis réglementaires pour la considération de ces produits en tant que technique d'atténuation de risque sous Solvabilité II.

Nous nous attarderons dans cette partie sur les éléments qualitatifs et quantitatifs permettant de déterminer et réduire la matérialité du risque de base qui pourrait exister entre le portefeuille et le produit choisi, afin de remplir les conditions d'éligibilité. Nous présenterons notamment l'indice CDS le plus utilisé sur le marché européen, et le plus liquide, qui est le CDS iTRAXX

⁴¹ Le SCR opérationnel et Ajustement ont été fixé de manière à obtenir un ratio de couverture « acceptable ».

Main Europe à maturité 5 ans. Nous verrons dans quelle mesure et proportion ce produit pourra être éligible pour notre portefeuille.

Nous supposons aussi que les autres éléments de process et gouvernance liés à la documentation de la technique d'atténuation de risque (présentés en partie 2.2.1) sont vérifiés. Nous rappelons aussi que tous ces éléments doivent être soumis à l'ACPR pour approbation.

3.2.1 Présentation et utilisation des CDS single-name

Nous rappelons ici rapidement certains éléments de la partie 2.2.1 du choix du produit CDS adéquat.

Une stratégie simple de couverture éligible au sens Solvabilité II serait l'acquisition du CDS lié au titre détenu en portefeuille. L'utilisation d'un CDS single-name présente l'avantage d'avoir un risque de base nul avec le titre détenu (avec matching de la maturité), mais ne nous épargne pas d'autres éléments qui peuvent présenter quelques contraintes et/ou limites, à savoir :

- La disponibilité et liquidité du CDS : il se peut que le CDS, pour le titre que l'on veut couvrir, ne soit pas disponible sur le marché, ou qu'il soit peu liquide. Cela viendrait s'opposer à un des critères d'éligibilité qui est la liquidité de la couverture ;
- L'impact en résultat : la somme des coûts de n CDSs single-name est par construction plus élevé que celui d'un (hypothétique) « indice » CDS portant sur les n titres. Il reste donc moins intéressant d'acquérir un tel produit si notre volonté est de couvrir une quantité assez importante de titres détenus.

Un CDS single-name se caractérise par :

- Une maturité : dans notre cas nous nous intéresserons à la maturité 5Y uniquement, car les plus liquides.
- Des niveaux de spread disponibles sur le marché (cotation) pour chacune des maturités.

En prenons l'exemple d'un CDS sur l'entreprise AXA, voici ce que nous pouvons obtenir à travers Bloomberg⁴² :

⁴² Avec la fonction CDX, pour choisir l'indice CDS iTRAXX Main Europe, dans lequel AXA SA est présent, ou en saisissant AXA SA CDS EUR SR 5Y



Figure 12 : Courbe de spread CDS 5Y du titre AXA SA

Filtres: ITRX EUR S40 Toutes régions Tous ratings Tous secteurs 90 Autres filtres												
9D Monit CDS		9D Vue actif croisé		Meneurs		Perso.		<Ajouter un titre>		09/05/23 - 11/17/23		
Nom	CDS			Créance réf			Action			Ratings d'émetteur		Dettes
	Spnd	Heure	Var	OAS	Heure	Var	Prix	Heure	Var% S&P	Mdy's	Fitch	
101) AXA SA	51.68	15:30	+0.00	72	13:00	--	29.26	15:54	+0.8A+	A1	AA-	27,256,3
102) Aegon Ltd	74.02	16:07	+0.00	160	13:00	+2	5.13	15:54	+0.6BBB+	Baa1	WD	8,784,49
103) Air Liquide SA	23.27	15:04	+0.00	-2	13:00	--	173.88	15:54	+0.9A	(P)A2	WD	8,586,70
104) Airbus SE	59.62	16:09	+0.00	3	13:00	--	136.10	15:54	-0.7A	(P)A2	A-11	17,383,9

Figure 13 : Début de liste des constituant de l'ITRAXX Main Eur 5Y, avec notation et secteur

Nous pouvons retrouver les informations concernant :

- Le secteur : Financials ;
- La notation : noté A+ selon S&P's.

La courbe de spread (en bps) à la date par exemple du 17/11/2023, est donnée comme suit :

Titre	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
AXA SA	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397

C'est cette courbe de spread qui nous permet notamment, en utilisant la méthodologie de Bootstrapping, de déterminer les intensités de défauts de l'entité AXA SA, afin de valoriser in fine le CDS single-name associé, grâce aux formules de la partie 2.1.3.2.2.

Nous exposons par la suite un des indices CDS les plus liquides sur les marchés, et qui sera pertinent pour une couverture plus large des titres détenus.

3.2.2 Présentation de l'indice CDS index iTRAXX Main Europe 5Y

Il y a plusieurs indices CDS cotés sur le marché (pour différents tenors), comme l'iTRAXX Crossover, iTRAXX Finance Senior et l'iTRAXX Main Europe à maturité 5Y.

Indices Market	Spread	Var.	Spread	Base	Roll	Données historiques						
						Bas	Fourchet...	Haut	Moy	+/-	Var 3M	
1 Amériques												
10 CDX Investment Grade	62.68	+0.32		-5.7	6.3	62.4	82.1	71.4	-8.7	-5.0		
11 CDX Rendement élevé	103.96*	-0.10		1.7	-0.4	99.0	104.0	101.5	+2.5	+1.3		
12 MCDX	80.46	+0.00		0.0	13.1	80.1	84.5	82.3	-1.9	+0.4		
2 Eu, Afr, M-O												
20 ITraxx Europe	67.60	+0.49		-3.1	7.0	67.6	89.9	78.5	-10.9	-5.5		
21 ITraxx Crossover	371.04	+1.81		-15.3	67.1	371.0	474.8	426.6	-55.5	-37.4		
22 ITraxx Finance sr	77.40	+0.41		-0.6	7.9	77.4	104.1	90.3	-12.9	-5.8		
23 ITraxx Finance sub	142.33	+0.79		1.8	19.2	142.3	192.6	167.2	-24.9	-11.5		
3 Asie												
30 ITraxx Japon	64.92	+0.58		1.1	8.4	62.7	80.9	71.2	-6.3	+0.4		
31 ITraxx Asie hors Japon IG	101.60			-0.2	8.4	96.1	140.6	127.4	-25.8	+5.5		
32 ITraxx Australie	76.60			-8.8	9.7	75.7	100.0	88.7	-12.1	-3.0		
Marchés émergents												
40 Marché émergent CDX	96.28*	-0.02		0.4	-0.8	93.9	96.3	95.1	+1.2	+0.5		
41 CDX Emerging Market IG	101.37*	-0.02		0.0								
42 CDX Emerging Market HY	90.24*	+0.00		0.6								

Figure 14 : Liste des indices CDS cotés sur le marché (Fonction CDX)

Nous nous intéressons particulièrement à ce dernier, car notre portefeuille contient que des titres de l'OCDE, et également car cet indice est le plus liquide, renforçant l'éligibilité.

Cet indice est composé de 125 titres, issus de différents secteurs, avec différentes notations. Voici une liste non-exhaustive des titres qui le constituent :

Titre	Notation	Secteur
AXA SA	A+	Financials
Assicurazioni Generali SpA	NR	Financials
Bayer AG	BBB	Industry
Bouygues SA	A-	Industry
Carrefour SA	BBB	Consumers
Credit Agricole SA	A+	Financials
Deutsche Telekom AG	BBB+	TMT
Engie SA	BBB+	Energy
Kering SA	A	Consumers
Air Liquide SA	A	Industry
NatWest Group PLC	BBB+	Financials
Orange SA	BBB+	TMT
Sanofi SA	AA	Industry
Siemens AG	A+	Industry
Societe Generale SA	A	Financials
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA-	Financials
Telefonica SA	BBB-	TMT
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials

Tableau 7 : Extrait de la liste de titres constituant le CDS Index ITRAXX Main Eur 5Y, avec notation et secteur

La liste complète des titres de cet indice, avec les secteurs, notations ainsi que les niveaux de spread CDS pour chacun des titres, pour plusieurs maturités, est présente en Annexe 3.

Il est à noter que la notation des titres n'est pas toujours disponible (NR – Not Rated - comme le 2e titre dans le tableau 7). Une notation BBB sera affectée et mis en évidence dans les tableaux en partie 3.3 et en annexes.

Les notations sont issues de l'agence S&P's. Nous utilisons le tableau présent en Annexe 1 pour obtenir la correspondance dans l'échelle CQS, qui nous permettra d'appliquer les bons spreads de choc correspondant.

La majorité des titres sont notés BBB et A. La composition de l'indice en termes de notation est présentée dans la figure 15 suivante :

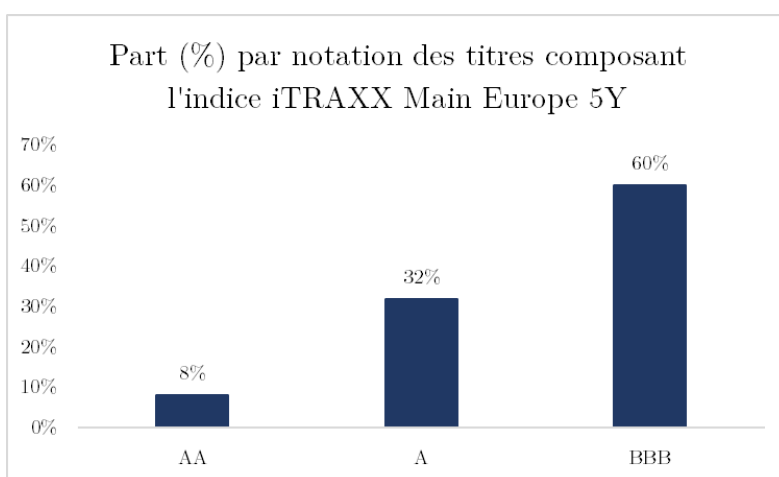


Figure 15 : Répartition par notation des titres constituant le CDS Index

Concernant les secteurs, la composition de l'indice est la suivante :

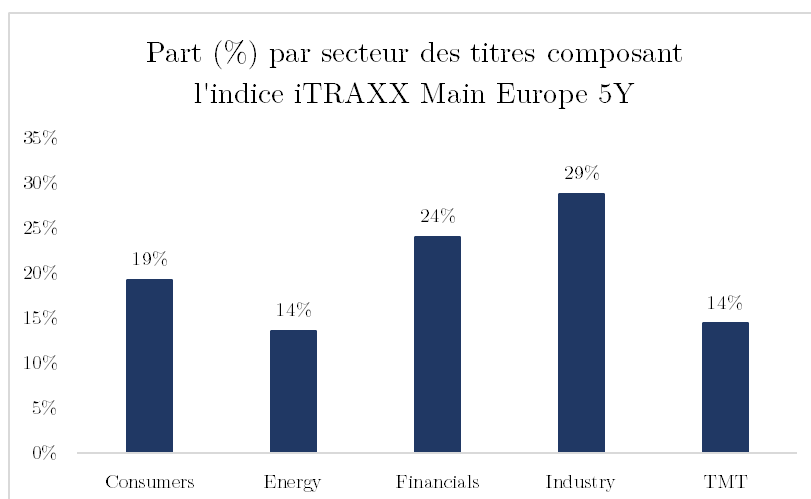


Figure 16 : Répartition par secteur des titres constituant le CDS Index

Nous remarquons d'ores et déjà des différences avec la composition de notre portefeuille, tant sur les secteurs que sur les notations de titres. Ces éléments seront donc importants pour notre étude d'éligibilité, car ce sont les deux principaux axes qualitatifs, de composition, à étudier de près, afin de déterminer le sous-portefeuille à couvrir. Nous abordons cela dans la prochaine partie.

3.2.3 Risque de base avec le portefeuille et éligibilité du CDS Index

Nous détaillons dans cette partie quelques éléments d'études qualitatives et quantitatives qui nous semble essentiels, et qui peuvent être menés pour atteindre l'éligibilité à la technique d'atténuation de risque financier selon Solvabilité II. Nous exposerons aussi les travaux menés sur le portefeuille initialement présenté, nous permettant d'obtenir le sous-portefeuille final qui serait couvert et éligible aux impacts en SCR spread.

Il est important de préciser que ces études sont nécessaires et doivent être entièrement documentées par l'acteur assurantiel, et inclus dans le dossier global de la technique d'atténuation de risque soumis à l'ACPR.

Rappelons que notre portefeuille initial en valeur de nominal et de marché est le suivant :

Actifs	Valeur Nominal (M€)	Valeur Marché (M€)
Obligation E	1513,23	1310,72

- **Tenor de la couverture et maturité des titres**

Tout d'abord, nous effectuons un matching de tenor. Notre produit indice CDS retenu aura un tenor de 5 ans (5Y) lors de l'achat de protection. Il est donc impératif d'exclure du portefeuille les titres ayant une maturité supérieure à 5 ans. Nous obtenons le sous-portefeuille SPF_1 , avec une **valeur de nominal à 747,9 M€** et **valeur de marché à 690,1 M€** (53% du portefeuille initial).

- **Notations des titres**

Afin de réduire encore le risque de base, il est utile de matcher également la part de titres par notation, facteur de risque important dans le comportement de l'indice CDS.

D'une part, dans la figure 15, nous avons la composition de l'indice CDS en notation, avec 32% de titre noté A et 60% de titres notés BBB.

D'autre part, voici la composition en notation de SPF_1 , à la suite de l'exclusion de titres de tenor inférieur à 5 :

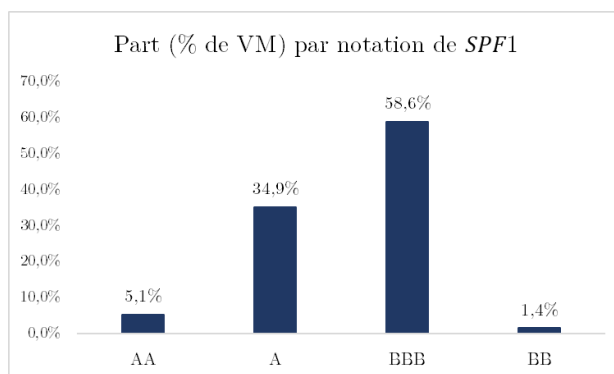


Figure 17 : Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille SPF_1

Premièrement, nous proposons d'exclure les titres notés BB de ce sous-portefeuille. Nous augmentons mécaniquement, (mais très légèrement, car VM très faible) la part pour les titres notés AA en se rapprochant de leur part dans l'indice CDS (qui est à 8%).

Ensuite, nous remarquons que le sous-portefeuille est de meilleure qualité, avec une grande part de titres notés A, par rapport à la composition de l'indice. En retravaillant la composition en notation du sous-portefeuille, nous obtenons SPF_2 avec les caractéristiques suivantes :

Actifs	Valeur Nominal (M€)	Valeur Marché (M€)
Obligation E (SPF2)	736,41	680,42

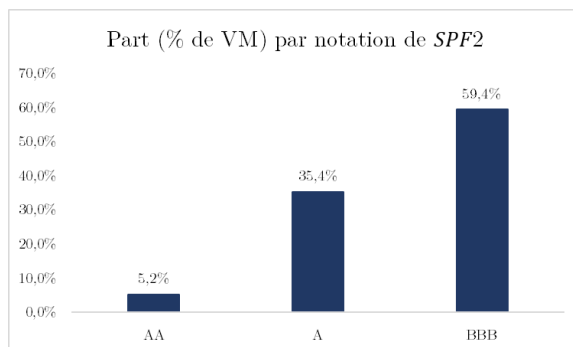


Figure 18 : Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille SPF_2

Avec ce nouveau sous-portefeuille SPF_2 , de valeur marché de 680,4 M€ (52% du portefeuille initial), nous réduisons considérablement le risque de base créé par le gap de notation existant entre les titres à couvrir et l'indice CDS. Voici les évolutions de composition en notation :

- A : de 51,8% à 35,4% ;
- BBB : de 41,5% à 59,4%.

Nous affinons l'analyse par la suite à travers les secteurs composant SPF_2 .

- **Secteurs des titres**

La composition par secteur du nouveau sous-portefeuille SPF_2 est présentée dans la figure 19 suivante :

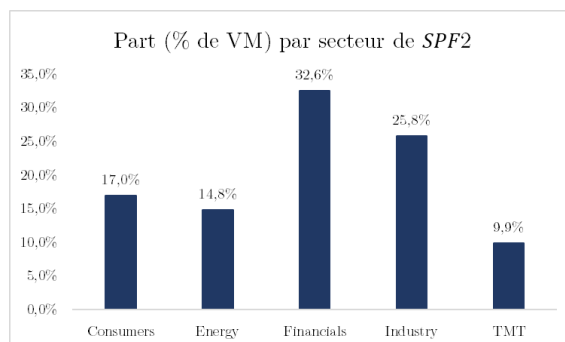


Figure 19 : Répartition (% de VM), par secteur, des obligations E du sous-portefeuille SPF_2

En comparaison par rapport à la figure 16 des secteurs constituant l'indice CDS, les principales différences sont au niveau :

- du secteur « Financials », qui est surpondéré ;
- du secteur « Industry », qui est sous-pondéré.

En réalisant des traitements, en excluant certains titres de SPF_2 avec une valeur marché importante, principalement sur le secteur « Financials », et en quelques-uns sur le secteur « Energy », nous arrivons au sous-portefeuille SPF_3 , composé comme suit :

Actifs	Valeur Nominal (M€)	Valeur Marché (M€)
Obligation E (SPF3)	672,01	622,35

Avec un total d'exposition à **622,35 M€ (47% du portefeuille d'obligation E initial)**, la répartition par secteur en % de valeur marché est la suivante :

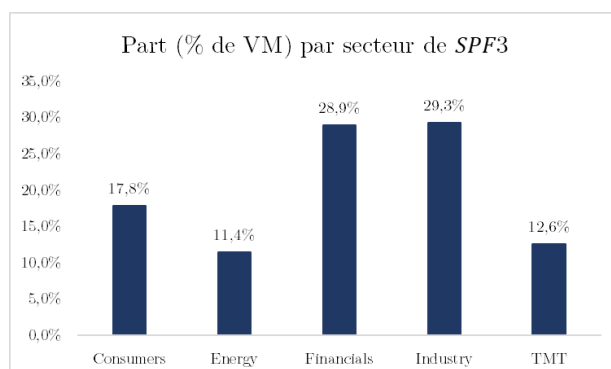


Figure 20 : Répartition (% de VM), par secteur, des obligations E du sous-portefeuille *SPF3*

Ainsi, nous réduisons le risque de base qui pourrait être généré par la différence de secteur des titres couverts avec l'indice CDS.

Nous vérifions également la variation générée sur la répartition en notation, par la sélection de ce nouveau sous-portefeuille, afin de s'assurer de la stabilité et non-déviations des parts en notation par rapport à l'indice CDS. Nous remarquons que nous restons dans le même ordre que *SPF2*, avec uniquement une réduction de 3,8% de la part en BBB.

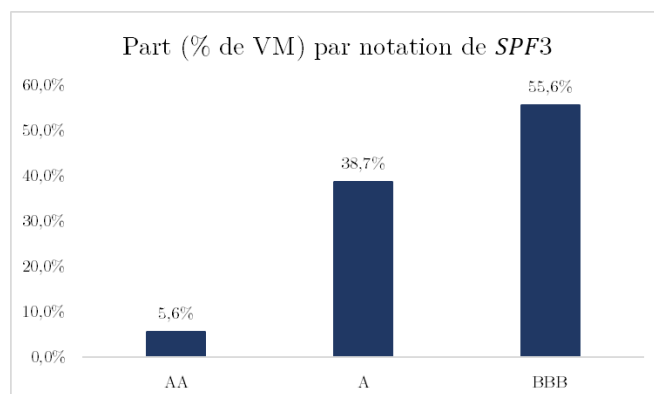


Figure 21 : Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille *SPF3*

- **Etude de corrélation entre l'indice CDS et le portefeuille**

Après avoir réduit considérablement le risque de base existant entre le portefeuille et l'indice CDS, au niveau des notations et des secteurs, nous avons abouti à un sous-portefeuille *SPF3*, représentant un peu moins de la moitié du portefeuille initial (en valeur de marché). Il reste tout de même nécessaire d'étudier la corrélation en termes de variation de cours historique entre *SPF3* et l'indice CDS, afin de renforcer l'éligibilité de la technique d'atténuation de risque.

Ayant réalisé une construction de portefeuille fictif, avec des investissements ciblés sur des titres présentant une forte corrélation avec l'indice CDS, nous avons considéré qu'il n'y avait pas d'étude conséquente à mener sur ce volet. Néanmoins, nous mettons en évidence les points d'attention à prendre en compte au cours de l'étude de corrélation :

- L'étude doit être menée sur un historique de plus de 1 an pour une bonne prise en compte des comportements historiques des titres et de l'indice CDS ;
- Les périodes de crises (Covid-19, Subprimes, bulle informatique, crise de crédit européenne) sont des périodes avec une grande volatilité de spread. Il convient d'étudier la corrélation sur ces périodes de manière indépendante par rapport aux comportements historiques ;
- Il faut prêter attention à l'effet induit par le facteur de risque de taux, et maximiser son isolation de l'effet spread sur lequel porte l'étude ;
- Une régression linéaire pourra être utilisée pour mettre en évidence et évaluer le facteur de corrélation entre l'indice CDS et SPF_3 ;
- Des « bumps » de l'indice CDS pourront apparaître (à des dates connues, à 6 mois d'intervalle) lors de l'étude de corrélation. En effet, des « rolls » peuvent survenir pour l'indice « on-the-run », lorsque certains titres sont remplacés car ne respectent plus les critères d'inclusion dans l'indice (dégradation de notation, événement de défaut, diminution de la liquidité du titre). Ces « bumps » sont illustrés dans le graphique suivant (spread en bps).

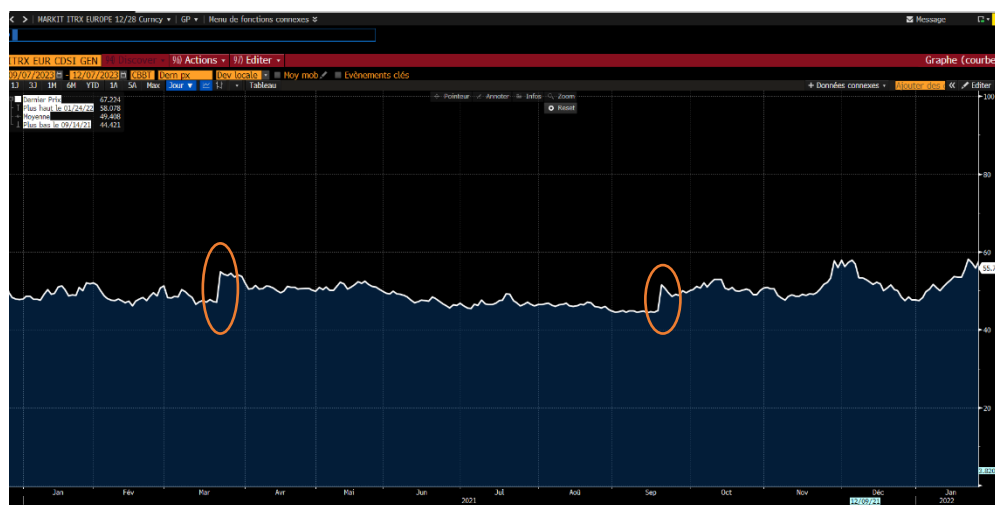


Figure 22 : Evolution du spread CDS index « on-the-run » et bumps de roll

L'année 2021 étant particulièrement stable en volatilité de spread CDS, ces bumps sont apparents. En effet, le nouvel indice « on-the-run » a une maturité plus longue, de 6 mois, que l'indice précédent. Comme les courbes de crédit ont tendance à être ascendantes, cela entraîne un élargissement du nouveau spread CDS index, toutes choses étant égales par ailleurs.

Remarquons aussi que l'évolution de l'indice, assez stable sur 2021, se situe entre 43bps et 55bps (écart de 12bps). Cette grandeur servira comme un repère d'analyse lors modélisation des spreads de choc équivalent SII dans la partie 3.3.

➤ Choix du sous-portefeuille à couvrir

Après avoir réalisé ces différentes études, nous retiendrons le sous-portefeuille SPF_3 obtenu après les différentes exclusions et matching avec les titres composant l'indice CDS iTRAXX Main Europe 5Y. Au côté des différents prérequis de documentation et constitution du dossier relatif à la technique d'atténuation de risque, nous considérons que SPF_3 sera éligible selon Solvabilité II.

Finalement, pour les besoins d'évaluation d'impact sur le SCR spread du portefeuille, notons que le SCR spread associé à SPF_3 , sous-portefeuille qui serait éligible pour l'application de la technique d'atténuation du risque à travers l'indice CDS choisi, se présente comme suit :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread SPF_3</i>	47,12
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	120,23

Avant de valoriser le CDS sous choc SII et quantifier un SCR spread CDS de couverture, il est nécessaire de modéliser le spread de choc qui sera à appliquer lors de cette valorisation de CDS choqué. C'est l'objet de la prochaine partie.

3.3 Calcul du spread de choc Solvabilité II

Dans cette partie nous allons mettre en application les différentes méthodologies de calcul exposées en partie 2.2.2.2 afin de modéliser le spread de choc Solvabilité II. Nous nous intéresserons uniquement aux notations AA, A et BBB, car représentant le sous-portefeuille SPF_3 à couvrir, mais également l'indice CDS utilisé comme couverture.

3.3.1 Méthodologie Ligne à Ligne (LaL)

En appliquant les formules présentées dans la partie 2.2.2.2, nous avons pu extraire grâce au solveur Excel le spread de choc correspondant au calcul de la valeur choqué sous Solvabilité II pour chaque obligation d'entreprise détenues dans le portefeuille. Nous présentons ci-après des indicateurs statistiques des résultats obtenus, avec tout de même une segmentation, basée sur la catégorisation Solvabilité II du choc de spread, par bucket de notation et durée modifiée :

(Notation, Duration Mod)	Min Spread de choc LaL	Max Spread de choc LaL	Moyenne Spread de choc LaL	Moyenne Pond Spread de choc LaL	Ecart type entre Spread de choc LaL
(AA, 0-5)	1,1201%	1,5449%	1,2083%	1,1547%	0,1683%
(AA, 5-10)	0,8958%	1,0889%	0,9883%	0,9932%	0,0572%
(A, 0-5)	1,4198%	2,5438%	1,4643%	1,4481%	0,1569%
(A, 5-10)	1,1102%	1,5137%	1,2411%	1,2249%	0,0897%
(A, 10-15)	1,0454%	1,1026%	1,0825%	1,0879%	0,0263%
(BBB, 0-5)	2,5501%	4,6124%	2,7167%	2,7182%	0,3298%
(BBB, 5-10)	2,2497%	2,6773%	2,4543%	2,4496%	0,1087%
(BBB, 10-15)	2,0674%	2,1641%	2,1158%	2,1069%	0,0483%

Tableau 8 : Statistiques des spreads de choc ligne à ligne, regroupés par catégorie (Notation, Duration Mod)

Nous pouvons tirer plusieurs enseignements de ce tableau :

- Le niveau des chocs de spread est très élevé : En effet, nous avons vu que l'évolution pour le spread d'indice CDS était de l'ordre de 12bps (0,12%) maximum sur une année, hors période de crise. Ici nous avons des niveaux de (variation) spreads qui sont principalement au-delà de 100bps (1%), atteignant même les 400bps. Rappelons que le choc représente des événements très rares, car l'objectif est d'identifier le choc Solvabilité II sur le spread, choc représentant une perte bicentenaire. Également, comme évoqué au chapitre 2, la calibration du choc de spread SII a été réalisée sur la base de l'évolution historique des indices de spread d'obligations d'entreprises. Nous illustrons ainsi ces propos à travers les graphiques⁴³ suivants, donnant une vision historique de l'évolution de spreads CDS 5Y de certains titres inclus dans l'indice iTRAXX Main Europe 5Y :

⇒ Remarquons les niveaux atteints des spreads CDS 5Y pendant les périodes de crises (subprimes 2008/2009, et dettes européennes 2011/2012), avec une variation de spread de plus de 100bps, jusqu'à 300bps).



Figure 23 : Courbe historique de spread CDS 5Y pour AXA SA (haut), Electricité de France SA (bas)

⁴³ Source : Bloomberg, Spread CDS 5Y pour AXA SA, Electricité de France SA. D'autres illustrations sont données en Annexe 4.

- Le spread de choc moyen est croissant en fonction de l'échelle de notation CQS (de 0 à 6, de la meilleure à la pire notation), ce qui explique bien que le risque de défaut/crédit est plus important pour les titres moins bien notés ;
- Le spread de choc moyen est décroissant en fonction de la durée modifiée : par exemple pour les titres BBB, pour une durée modifiée entre 0 et 5, le choc de spread moyen est de 2,7167 %, contre 2,1158 % pour une durée modifiée entre 10 et 15 ;
- Il y a peu de variance au sein de chacune des catégories : l'écart-type maximal est de l'ordre de 0,1% (sauf cas exceptionnel pour BBB, 0-5), ce qui explique une certaine cohérence du spread de choc au sein d'une seule même catégorie de bucket. Cette segmentation sera en effet un des niveaux de granularité pour le calcul de spread de choc par segmentation (section 3.2.2).

Dans la prochaine partie, nous aborderons le calcul du spread de choc sous ce même niveau de granularité (Notation, Durée modifiée), et nous analyserons les résultats obtenus et leurs cohérences avec les résultats obtenus en calcul LaL.

3.3.2 Méthodologie par segmentation

Dans cette section, nous présentons les résultats de spread de chocs équivalents Solvabilité II, calculés selon les différentes méthodologies par segmentation présentées à la partie 2.2.2 de ce mémoire.

➤ Par bucket – couple (Notation, Durée modifiée) :

Le tableau suivant présente les résultats obtenus en lançant le solveur sur les buckets constitués par notation et durée modifiée, en appliquant les formules présentées en partie 2.2.2, pour les deux méthodologies M1 et M2.

	M1	M2	
(Notation, Durée Mod)	Spread de choc SII	Spread de choc SII	Moyenne Pond Spread de choc LaL
(AA, 0-5)	1,0927%	1,2316%	1,1547%
(AA, 5-10)	0,9581%	0,9771%	0,9932%
(A, 0-5)	1,3430%	1,4609%	1,4481%
(A, 5-10)	1,1761%	1,2118%	1,2249%
(A, 10-15)	1,0724%	1,0725%	1,0879%
(BBB, 0-5)	2,3513%	2,7837%	2,7182%
(BBB, 5-10)	2,3614%	2,4122%	2,4496%
(BBB, 10-15)	2,0684%	2,0652%	2,1069%

Tableau 9 : Spreads de choc avec méthodologie de calcul par couple (Notation, Durée modifiée)

Avec :

- M1 : Calcul du coupon et de l'échéance avec une pondération sensibilité et nominal ;
- M2 : Calcul du coupon et de l'échéance avec une pondération nominal uniquement.

- En troisième colonne : la moyenne pondérée du spread de choc calculé LaL sur les titres appartenant au bucket (Notation, Duration Mod).

Comme évoqué lors de sa présentation en partie 2.2.2, la méthodologie M1 englobe un biais supplémentaire par rapport à la méthodologie M2, puisqu'elle fait appel à une pondération supplémentaire (calcul du coupon de la catégorie par pondération en fonction de la sensibilité et du nominal).

Nous remarquons notamment que la méthodologie M1 a tendance à sous-estimer le spread de choc par rapport à la méthodologie M2.

En se reposant sur la méthodologie M2, il apparaît que les résultats de celle-ci sont très similaires (avec une différence maximale de 0,08%) à ceux du spread de choc moyen LaL⁴⁴, prouvant une certaine cohérence dans le calcul réalisé. La méthodologie M2 peut consister en une simplification de calcul efficace par rapport au calcul ligne à ligne.

Il est important de préciser qu'une moyenne est nécessaire à calculer sur chaque deux catégories de duration consécutives pour déterminer le choc de spread à appliquer lors de la valorisation du CDS choqué. Par exemple, sur 0-5 et 5-10, la moyenne des spreads de chocs de ces 2 catégories représentera le spread de choc pour une maturité 5Y, s'appliquant au CDS à l'initiation. Mais lors de la vie de couverture, un prorata-temporis devra être appliqué sur les valeurs des deux catégories pour déterminer le spread de choc à appliquer au CDS à cet instant. Nous verrons ces éléments lors de l'application du choc pour le calcul du SCR spread CDS dans la partie 3.4.1.2.

➤ **Par notation :**

Le calcul de spread de choc par notation prend tout son sens car le niveau de risque évolue considérablement en fonction de la notation, comme constaté dans le calcul de spread de choc LaL. De plus, un CDS index contient plusieurs titres de notations différentes, et nous pouvons remarquer dans l'Annexe 3 que le spread CDS évolue également de façon croissante en fonction de l'échelle de notation CQS (0 à 6).

En utilisant les formules présentées dans la partie 2.2.2.2, nous avons pu extraire grâce au solveur Excel le spread de choc correspondant à chaque ensemble d'obligation d'entreprise ayant la même notation. Ci-après les résultats obtenus :

Notation	Spread de choc SII
AA	1,4975%
A	1,5444%
BBB	2,7288%

Tableau 10 : Spreads de choc avec méthodologie de calcul par Notation

⁴⁴ Les simulations réalisées sur la moyenne pondérée donnent le même ordre de grandeur d'écart, maximal à 0,08%. Les différences entre moyenne et moyenne pondérée sont marginales.

La granularité de notation permet certes d'extraire plus rapidement le spread de choc, mais présente des limites d'un point de vue qualitatif. En effet, nous omettons des spécificités existantes entre chaque titre obligataire (durée, secteur, solidité financière...). Nous pouvons remarquer que les spreads de chocs par notation se situent dans la fourchette haute par rapport aux spreads de chocs déterminés auparavant :

- Pour les titres AA : le spread de choc est à 1,4975% alors qu'avec la méthodologie précédente, il est entre 0,9% et 1,2% (Cf. tableau 9). Il est atteint presque le maximum du spread de choc déterminé ligne à ligne sur cette catégorie de notation (1,5449%, Cf. tableau 8) ;
- Pour les titres A et BBB, le spread de choc par notation est également plus élevé qu'avec la méthodologie par couple (Notation, Durée modifiée). (Cf. Tableau 9)

Cette méthodologie présente quelques limites, car il existe une volatilité non-négligeable du spread de choc au sein d'une même notation. En effet, les spreads de choc calculés ligne à ligne dans la partie 3.3.1 illustrent cette volatilité.

Pour les titres notés A, le spread de choc varie de près 0,50% (50 bps), ce qui correspond à un grand écart de spread (repère de 12 bps qui était la variation du spread de l'indice CDS sur 1 an, illustré dans la figure 22). Pour les titres notés BBB, il varie de près 70bps. Les deux graphiques suivants présentent ces résultats sur le portefeuille initial (totalité des titres obligations E).

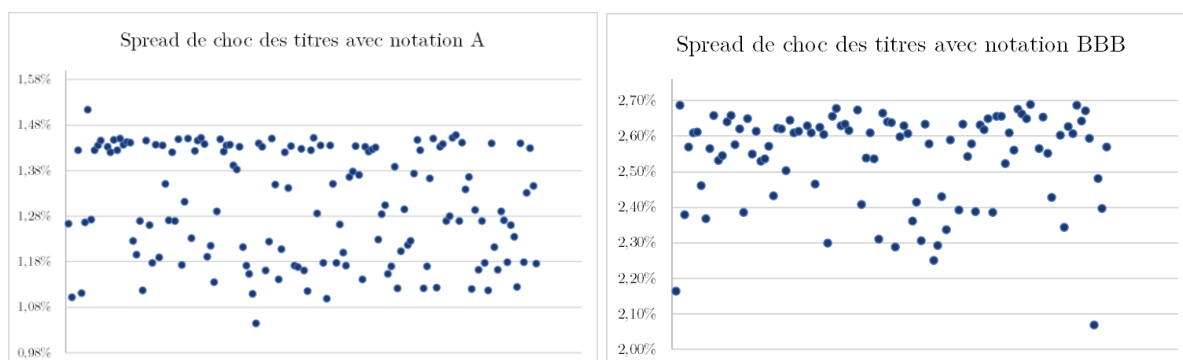


Figure 24 : Répartition des spreads de choc des titres notés A (gauche) et BBB (droite)

Cette méthodologie s'avère moins fiable pour les besoins de nos calculs de SCR de couverture. Afin de réduire cette variance générée utilisant la granularité de notation uniquement, nous examinons dans la prochaine partie les résultats de la méthodologie (notation, secteur).

➤ **Par couple (Notation, Secteur) :**

Le calcul de spread de choc par notation prend tout son sens car le niveau de risque évolue considérablement en fonction de la notation, comme constaté dans le calcul de spread de choc LaL. De plus, un CDS index contient plusieurs titres de notations différentes, et on peut remarquer que le spread CDS évolue également de façon croissante en fonction de l'échelle de notation CQS (0 à 6).

En utilisant les formules présentées dans la partie 2.2.2.2, nous avons pu extraire grâce au solveur Excel le spread de choc correspondant à chaque ensemble d'obligation d'entreprise ayant la même notation. Ci-après les résultats obtenus :

(Notation, Secteur)	Spread de choc SII
(AA, Consumers)	1,2260%
(AA, Energy)	1,0642%
(AA, Financials)	1,0067%
(AA, Industry)	0,9321%
(A, Consumers)	1,2871%
(A, Energy)	1,1948%
(A, Financials)	1,4081%
(A, Industry)	1,3040%
(A, TMT)	1,1368%
(A, Utilities)	1,3329%
(BBB, Consumers)	2,5807%
(BBB, Energy)	2,4657%
(BBB, Financials)	2,6983%
(BBB, Industry)	3,2780%
(BBB, TMT)	2,4076%
(BBB, Utilities)	2,5934%

Tableau 11 : Spreads de choc avec méthodologie de calcul par couple (Notation, Secteur)

Nous avons vu dans la partie 3.2.3 que le sous-portefeuille pouvant être éligible à la technique d'atténuation de risque est composé principalement de titres notés BBB (55%) et A (38%).

Nous allons nous attarder sur ces deux notations pour les analyses de cette partie, et également sur les secteurs principalement représentés (« Financials » et « Industry »).

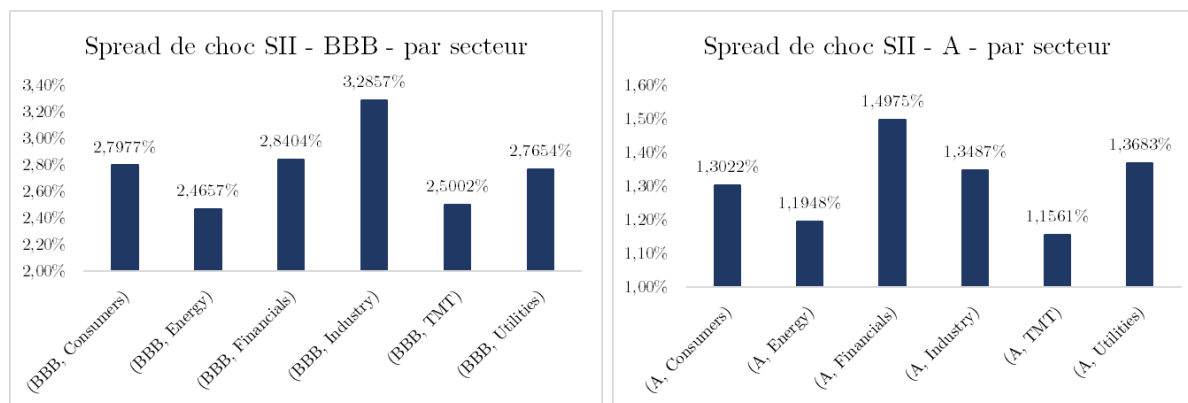


Figure 25 : Spreads de choc Equivalent SII, par secteur, pour les notations A et BBB

- Pour la notation BBB, nous remarquons l'écart existant (44 bps) entre le spread de choc du secteur « Financials », à 2,84%, et celui du secteur « Industry », à 3,28%. Plus globalement nous remarquons les différences notables du spread de choc entre secteur pour la même notation ;
- Pour la notation A, nous remarquons l'écart de 15 bps entre le spread de choc du secteur « Financials », à 1,49%, et celui du secteur « Industry », à 1,34%. L'écart est moins important que pour BBB, au vu de la meilleure qualité de crédit. Également, nous

remarquons les différences notables du spread de choc entre secteur pour la même notation.

3.3.3 Approche par sensibilité du sous-portefeuille SPF_3

Le sous-portefeuille SPF_3 présente une valeur marché de 622,35 M€, un SCR spread de 47,12 M€ et une sensibilité de 3,88.

Rappelons les formules présentées dans la partie 2.2.2.2, avec le spread de choc exprimé comme suit :

$$S_{choc}^{ptf-sensi} = -\frac{\Delta VM_{ptf}}{dur_{ptf} \times VM_{ptf}}$$

Et en prenant la duration modifiée (sensibilité) du portefeuille, dur_{ptf} , comme présentée à la partie 2.2.2 :

$$dur_{ptf} = \frac{\sum_{i=1}^n dur_i \times VM_i}{VM_{ptf}}$$

Avec dur_i la sensibilité du titre i , et n le nombre de titres appartenant au portefeuille.

En utilisant ces formules sur le sous-portefeuille SPF_3 , éligible à la couverture par le CDS Index iTRAXX Main Europe 5Y, nous obtenons donc le spread de choc équivalent SII suivant :

$$S_{choc}^{SPF_3-sensi} = 1,9511\% \quad (195bps)$$

Ce spread sera utilisé lors de la valorisation du CDS index sous choc SII, en partie 3.4.1.2.

Dans cette partie, nous avons pu déterminer les valeurs de spreads de choc à travers différentes méthodologies :

- Ligne à ligne : méthodologie privilégiée lors de l'acquisition de CDS single-name. Les résultats de cette méthodologie sont également utiles pour les analyses menées sur les résultats des autres méthodologies ;
- Par couple (Notation, Duration) ;
- Par notation uniquement ; et
- Par couple (Notation, Secteur).

Ces résultats seront utilisés lors de la valorisation du CDS en environnement choqué SII, en appliquant ce choc de spread (de manière absolue) aux courbes de spreads correspondantes, comme exposé dans la partie (2.1.3.2.5 Pricing sous environnement choqué).

Avec cette valeur de CDS sous choc et la valeur initiale avant choc, nous pourrions calculer le SCR spread de CDS de couverture (selon les différentes méthodologies), qui devrait atténuer le SCR spread du sous-portefeuille SPF_3 .

3.4 Calcul du SCR de CDS couverture et des impacts sur les indicateurs SII

Comme évoqué dans le chapitre II, l'acquisition d'un CDS au sein du portefeuille, éligible à la technique d'atténuation de risque financier, conduit au calcul de deux SCR supplémentaires :

- Le SCR spread CDS : réduisant le SCR spread du portefeuille ;
- Le SCR de contrepartie, lié au fournisseur de la protection.

Nous évaluerons par la suite les impacts sur le SCR spread, SCR marché et SCR global, ainsi que sur le ratio de solvabilité, suite à la mise en place de cette technique d'atténuation.

3.4.1 SCR spread CDS de couverture

Rappelons les différentes méthodologies présentées pour le calcul du SCR spread CDS de couverture éligible sous Solvabilité II (dont certaines nécessitent la détermination du spread de choc équivalent SII) :

- Méthodologie par netting de l'exposition ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé LaL (utile lors de l'utilisation de CDS single-name) ;
- Méthodologie⁴⁵ avec spread de choc SII calculé par couple (Notation, Duration modifiée) ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par secteur ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par couple (Notation, Secteur) ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par approche de sensibilité.

Nous explorerons deux cas de couverture grâce aux CDSs : le CDS single-name et indice CDS.

3.4.1.1 Couverture avec un CDS single-name

Nous présentons un cas simple d'une couverture d'une seule obligation d'entreprise, AXA SA, au travers d'un CDS single-name, 5Y portant sur AXA SA.

L'obligation détenue, émise⁴⁶ par AXA SA, présente les caractéristiques suivantes :

Nominal (k€)	Coupon	Maturité	Valeur Marché (k€)	Secteur	Notation	SCR Spread (k€)
5.800,0	1%	02/02/2027	5.138,9	Financials	A	283,4

Avec une duration autour de 5 ans, et un CDS single-name 5Y portant sur le même titre, nous avons un risque de base quasiment nul. Sous condition que toute la documentation nécessaire ait été réalisée, ce produit de couverture serait éligible comme technique d'atténuation de risque.

Les méthodologies utilisées pour le calcul du SCR spread CDS seront les suivantes :

- Méthodologie par netting de l'exposition ;
- Méthodologie avec spread de choc calculé sur le titre AXA SA (Méthode LaL).

⁴⁵ Nous présenterons en détails uniquement les résultats de la méthodologie M2, plus fiable que la méthodologie M1, pour le calcul du spread de choc par (Notation, Duration modifiée)

⁴⁶ Cette obligation est purement fictive. L'utilisation de l'entité AXA SA est à titre indicatif pour la correspondance avec la courbe de spread CDS disponible sur Bloomberg.

- Netting de l'exposition

La méthodologie consiste simplement à soustraire le montant de la valeur marché du titre à couvrir, du montant global de la valeur marché du portefeuille soumis au choc spread Solvabilité II, pour le calcul du SCR spread.

Cela est équivalent à soustraire le SCR spread du titre couvert, du SCR Spread global.

Nous pouvons donc considérer que l'effet d'atténuation apporté par le CDS single-name se matérialise par la diminution du SCR spread global par le montant du SCR spread du titre.

Ainsi, nous passons de la situation suivante, **sans le CDS AXA SA 5Y** :

	Valeur (k€)
<i>SCR spread AXA SA</i>	0,28
<i>SCR spread (reste)</i>	119,95
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, **avec le CDS AXA SA 5Y** :

	Valeur (k€)
<i>SCR spread AXA SA</i>	-
<i>SCR spread (reste)</i>	119,95
SCR Spread	119,95

- Méthodologie avec spread de choc calculé sur le titre AXA SA :

Grâce à l'application des formules de la partie 2.2.2.2, nous avons obtenus les résultats de spread de choc équivalent SII pour chacun des titres en portefeuille. Pour le titre AXA SA avec les caractéristiques présentées précédemment, nous obtenons :

$$S_{choc}^{AXA SA} = 1,43\% \text{ (143bps)}$$

Afin de calculer le SCR spread CDS single-name portant sur le titre AXA SA, nous devons valoriser le CDS avant et après choc SII.

➤ Valorisation du CDS single-name, avant et après choc SII

Rappelons la courbe de spread (en bps) CDS AXA SA 5Y qui est la suivante (obtenue à travers Bloomberg) :

Titre	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
AXA SA	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397

Pour les principes de valorisation, nous choisissons un spread conventionnel de 25 bps (S_{conv}).

Nous utilisons le spread de choc calculé précédemment pour définir une nouvelle courbe de spread CDS (en bps), en le rajoutant de manière absolue à la courbe précédente (translation uniforme) :

Titre	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
AXA SA	163,300	166,926	172,988	181,150	193,265	205,380	215,514	228,397

Remarquons que ces nouveaux spreads CDS sont légèrement en dessous des pics de spread constatés sur le cours historique CDS AXA SA 5Y (illustré dans la figure 23), ce qui est cohérent avec l'objectif d'avoir un stress important équivalent à la VaR à 99,5%.

En utilisant les formules de la partie 2.1.3.2.2 pour la valorisation du CDS single-name, et pour le nominal du titre d'AXA SA (5,8 M€), nous obtenons les résultats suivants :

	Valeur avant choc (k€)	Valeur après choc (k€)
CDS single-name	102,01	461,24

Le SCR spread CDS de couverture serait donc égal à la différence, soit **359,24 k€**.

Ainsi, le SCR spread global se présente comme suit :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread CDS</i>	<i>0,36</i>
<i>SCR spread AXA SA</i>	<i>0,28</i>
SCR spread atténué AXA SA	-
SCR spread (reste)	119,95
SCR Spread	119,95

En effet, le SCR spread CDS apporte une atténuation uniquement au titre couvert, en d'autres termes :

$$SCR_{spread\ atténué} = \max(SCR_{spread-titre\ couvert} - SCR_{CDS-couverture}; 0)$$

N.B : Des simulations ont également été réalisées pour modéliser plusieurs CDS single-name couvrant des titres, sous les mêmes conditions d'éligibilité que présentés précédemment. Les résultats et conclusions sont similaires et mènent à une atténuation complète à 100% du SCR spread des titres couverts, ligne à ligne.

Dans cet exemple, nous avons pris un titre coté dont le CDS single-name existe (afin de réduire le risque de base et de se conformer à l'exemple donné dans la réglementation SII). Mais comme évoqué précédemment, cette situation n'est pas toujours vérifiée, car plusieurs obligations d'entreprise n'ont pas de CDS correspondant. Le cas de couverture grâce un CDS single-name est moins probable. De plus, la liquidité offerte n'est pas aussi élevée que celle des CDS index. Ces derniers offriront une couverture plus large du portefeuille également. Ils représentent les premiers produits d'intérêt pour l'atténuation du risque spread. Nous étudions ces éléments dans la prochaine partie.

3.4.1.2 Couverture avec l'indice CDS iTRAXX Main Europe 5Y

Nous présentons ici les résultats avec l'utilisation de CDS d'indice iTRAXX Main Europe 5Y, pour couvrir le sous-portefeuille SPF_3 .

Nous rappelons que le sous-portefeuille SPF_3 détenu présente les caractéristiques suivantes :

Actifs	Valeur Nominal (M€)	Valeur Marché (M€)	SCR spread (M€)
Obligation E (SPF3)	672,01	622,35	47,12

Nous avons démontré dans la partie 3.2.3, et avec toute la documentation nécessaire à réaliser, que le produit indice CDS iTRAXX Main Europe 5Y serait éligible comme technique d'atténuation de risque sur SPF_3 .

Les méthodologies utilisées pour le calcul du SCR spread CDS seront les suivantes :

- Méthodologie par netting de l'exposition ;
- Méthodologie⁴⁷ avec spread de choc SII calculé par couple (Notation, Duration modifiée) avec la méthodologie M2 ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par secteur ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par couple (Notation, Secteur) ;
- Méthodologie avec spread de choc SII calculé par approche de sensibilité.

- Netting de l'exposition

Nous avons vu qu'avec cette méthodologie, l'effet d'atténuation apporté par le CDS sur indice se matérialise avec la diminution du SCR spread global par le montant du SCR spread des titres couverts, et donc de SPF_3 , au prorata du facteur de corrélation (supposé égal à 1 ici).

Ainsi, nous passons de la situation suivante, **sans le produit CDS** :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, **avec le produit CDS** :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread SPF3</i>	-
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	73,11

- Méthodologie M2 avec spread de choc par (Notation, Duration) :

Pour cette méthodologie, nous avons fait mention qu'une moyenne sera calculée sur chaque deux catégories de duration consécutives pour déterminer le choc de spread à appliquer lors de la valorisation du CDS choqué. Puisque notre indice CDS est de maturité 5 ans⁴⁸, nous ferons

⁴⁷ Nous présenterons uniquement les résultats de la méthodologie M2, plus fiable que la méthodologie M1, pour le calcul du spread de choc par (Notation, Duration modifiée)

⁴⁸ Cela est valable à l'initiation. A chaque instant d'évaluation, le spread de choc appliqué doit correspondre à la maturité résiduelle du produit CDS. Une pondération sur le spread de choc pourra être réalisée.

la moyenne, par notation, sur les catégories 0-5 et 5-10, représentant ainsi le spread de choc pour une maturité 5Y à appliquer aux différents constituants du CDS (selon la notation).

Les résultats obtenus des calculs de spreads de chocs équivalent SII, sont résumés ci-après :

Notation (utilisant la durée)	Spread de choc SII	Moyenne Pond Spread de choc LaL
AA	1,1044%	1,0740%
A	1,3364%	1,3365%
BBB	2,5979%	2,5839%

Nous remarquons qu'il y a très peu d'écart (< 2bps, sur les notations les plus représentées) avec le spread de choc calculé par moyenne pondérée sur les titres appartenant à la catégorie.

Afin de calculer le SCR spread CDS de couverture, nous devons valoriser le CDS index avant et après choc SII.

➤ Valorisation du CDS index, avant et après choc SII

Les différentes courbes de spread avant choc des différents constituants du CDS index ont été récupérés à travers Bloomberg (et sont présents en Annexe 3).

Pour les principes de valorisation, nous avons considéré un spread conventionnel de 25 bps (S_{conv}), qui sera le même pour les autres méthodologies.

Nous utilisons les spreads de choc calculés précédemment par catégorie, pour définir de nouvelles courbes de spread CDS (en bps), en les rajoutant de manière absolue aux courbes sans choc. Les résultats de ces calculs sont présents dans l'Annexe 5. En voici un extrait pour certains titres précédemment cités :

➔ Avant choc :

Titre	Notatio	Secteu	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	34,200	39,916	47,800	60,189	73,400	85,086	100,239	114,717
AXA SA	A	Financials	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397
Bayer AG	BBB	Industry	25,400	34,818	45,892	57,369	75,623	93,876	118,487	144,487
Bouygues SA	A	Industry	6,900	11,840	19,133	25,384	32,748	39,339	59,976	74,132
Carrefour SA	BBB	Consumers	13,359	16,458	25,715	35,964	50,710	64,989	106,468	134,670
Credit Agricole SA	A	Financials	20,718	22,780	28,382	34,471	42,977	51,491	61,307	71,380
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	13,050	15,529	20,995	25,902	32,711	39,547	57,558	72,520
Engie SA	BBB	Energy	14,634	15,646	19,796	25,131	34,231	43,598	59,847	77,484
Kering SA	A	Consumers	7,500	9,672	15,522	20,817	27,266	33,715	48,028	57,999
Air Liquide SA	A	Industry	8,000	9,425	12,170	15,194	19,829	24,465	36,960	45,256

→ Après choc :

Titre	Notatio	Secteu	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	293,993	299,709	307,593	319,982	333,193	344,879	360,032	374,510
AXA SA	A	Financials	153,936	157,562	163,624	171,786	183,901	196,016	206,150	219,033
Bayer AG	BBB	Industry	285,193	294,611	305,685	317,162	335,416	353,669	378,280	404,280
Bouygues SA	A	Industry	140,536	145,476	152,769	159,020	166,384	172,975	193,612	207,768
Carrefour SA	BBB	Consumers	273,152	276,251	285,508	295,757	310,503	324,782	366,261	394,463
Credit Agricole SA	A	Financials	154,354	156,416	162,018	168,107	176,613	185,127	194,943	205,016
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	272,843	275,322	280,788	285,695	292,504	299,340	317,351	332,313
Engie SA	BBB	Energy	274,427	275,439	279,589	284,924	294,024	303,391	319,640	337,277
Kering SA	A	Consumers	141,136	143,308	149,158	154,452	160,902	167,351	181,664	191,635
Air Liquide SA	A	Industry	141,636	143,061	145,806	148,830	153,465	158,101	170,596	178,892

En utilisant les formules de la partie 2.1.3.2.2 pour la valorisation du CDS index, avec et sans choc, et pour un nominal de SPF_3 couvert (672,01 M€), nous obtenons les résultats suivants :

	Valeur avant choc (M€)	Valeur après choc (M€)
CDS iTRAXX Main Eur 5Y	15,43	72,98

Le SCR spread CDS de couverture serait donc égal à la différence, soit **57,55 M€**.

N.B : Sans présenter en détails les résultats liés à la méthodologie M1, nous obtenons un SCR spread CDS de couverture de **53,12 M€**, moins élevé que celui avec la méthodologie M2, ce qui est attendu au vu des spreads de choc plus important pour cette dernière.

Ainsi, nous passons de la situation suivante, **sans le produit CDS index** :

	Valeur (M€)
SCR spread SPF_3	47,12
SCR spread (reste)	73,11
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, **avec le produit CDS index** :

	Valeur (M€)
SCR spread CDS index	57,55
SCR spread SPF_3	47,12
SCR spread atténué SPF_3	-
SCR spread (reste)	73,11
SCR Spread	73,11

En effet, le SCR spread CDS apporte une atténuation uniquement au portefeuille couvert, SPF_3 , éligible à la technique d'atténuation, en d'autres termes :

$$SCR_{spread\ atténué} = \max(SCR_{SPF_3} - SCR_{CDS-couverture}; 0)$$

- **Méthodologie avec spread de choc par Notation :**

Les résultats, présentés dans la partie 3.3, et obtenus des calculs de spreads de chocs équivalent SII pour cette méthodologie sont résumés ci-après :

Notation	Spread de choc SII
AA	1,4975%
A	1,5444%
BBB	2,7288%

Nous remarquons que ces spreads de choc sont plus élevés que ceux présentés dans la partie précédente (par notation également), dû à un effet de granularité de calcul, plus global dans ce cas. Nous pourrions nous attendre à une valeur de CDS sous choc qui sera plus élevée.

Afin de calculer le SCR spread CDS de couverture, nous devons valoriser le CDS index avant et après choc SII.

➤ Valorisation du CDS index, avant et après choc SII

De la même manière que précédemment, nous considérons un spread conventionnel de 25 bps (S_{conv}). Nous utilisons les spreads de choc calculés précédemment par catégorie de notation, pour définir de nouvelles courbes de spread CDS (en bps), en les rajoutant de manière absolue aux courbes sans choc. Les résultats de ces calculs sont présents dans l'Annexe 6. En voici un extrait pour certains titres précédemment cités :

➔ Avant choc :

Titre	Notatio	Secteu	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	34,200	39,916	47,800	60,189	73,400	85,086	100,239	114,717
AXA SA	A	Financials	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397
Bayer AG	BBB	Industry	25,400	34,818	45,892	57,369	75,623	93,876	118,487	144,487
Bouygues SA	A	Industry	6,900	11,840	19,133	25,384	32,748	39,339	59,976	74,132
Carrefour SA	BBB	Consumers	13,359	16,458	25,715	35,964	50,710	64,989	106,468	134,670
Credit Agricole SA	A	Financials	20,718	22,780	28,382	34,471	42,977	51,491	61,307	71,380
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	13,050	15,529	20,995	25,902	32,711	39,547	57,558	72,520
Engie SA	BBB	Energy	14,634	15,646	19,796	25,131	34,231	43,598	59,847	77,484
Kering SA	A	Consumers	7,500	9,672	15,522	20,817	27,266	33,715	48,028	57,999
Air Liquide SA	A	Industry	8,000	9,425	12,170	15,194	19,829	24,465	36,960	45,256

➔ Après choc :

Titre	Notatio	Secteu	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	327,389	333,105	340,989	353,379	366,589	378,276	393,428	407,907
AXA SA	A	Financials	180,514	184,140	190,202	198,363	210,479	222,594	232,728	245,611
Bayer AG	BBB	Industry	318,589	328,007	339,082	350,559	368,812	387,066	411,676	437,677
Bouygues SA	A	Industry	167,114	172,053	179,347	185,598	192,962	199,552	220,190	234,346
Carrefour SA	BBB	Consumers	306,548	309,647	318,904	329,153	343,899	358,178	399,657	427,859
Credit Agricole SA	A	Financials	180,932	182,994	188,596	194,685	203,191	211,705	221,521	231,594
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	306,239	308,718	314,184	319,091	325,901	332,737	350,748	365,709
Engie SA	BBB	Energy	307,823	308,836	312,985	318,320	327,420	336,787	353,037	370,673
Kering SA	A	Consumers	167,714	169,886	175,736	181,030	187,479	193,929	208,242	218,213
Air Liquide SA	A	Industry	168,214	169,639	172,384	175,408	180,043	184,678	197,174	205,470

En utilisant les formules de la partie 2.1.3.2.2 pour la valorisation du CDS index, avec et sans choc, et pour un nominal de SPF_3 couvert (672,01 M€), nous obtenons les résultats suivants :

	Valeur avant choc (M€)	Valeur après choc (M€)
CDS iTRAXX Main Eur 5Y	15,43	81,19

Le SCR spread CDS de couverture serait donc égal à **65,76 M€**.

Ainsi, nous passons de la situation suivante, **sans le produit CDS index** :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, **avec le produit CDS index** :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread CDS index</i>	65,76
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
SCR spread atténué SPF3	-
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	73,11

Le SCR spread CDS apporte une atténuation uniquement au portefeuille couvert, *SPF3*, éligible à la technique d'atténuation, en d'autres termes :

$$SCR_{spread\ atténué} = \max(SCR_{SPF_3} - SCR_{CDS-couverture}; 0)$$

- **Méthodologie avec spread de choc par (Notation, Secteur) :**

Les résultats, présentés dans la partie 3.3, et obtenus des calculs de spreads de chocs équivalent SII pour cette méthodologie sont résumés ci-après :

(Notation, Secteur)	Spread de choc SII (VM et SCR recalculés)
(AA, Consumers)	1,2446%
(AA, Energy)	1,1187%
(AA, Financials)	1,0151%
(AA, Industry)	0,9321%
(A, Consumers)	1,3022%
(A, Energy)	1,1948%
(A, Financials)	1,4975%
(A, Industry)	1,3487%
(A, TMT)	1,1561%
(A, Utilities)	1,3683%
(BBB, Consumers)	2,7977%
(BBB, Energy)	2,4657%
(BBB, Financials)	2,8404%
(BBB, Industry)	3,2857%
(BBB, TMT)	2,5002%
(BBB, Utilities)	2,7654%

➤ Valorisation du CDS index, avant et après choc SII

Également, nous considérons pour le pricing du CDS un spread conventionnel de 25 bps (S_{conv}). Nous utilisons les spreads de choc calculés précédemment par couple de (Notation, Secteur), pour définir de nouvelles courbes de spread CDS (en bps), en les rajoutant de manière absolue aux courbes sans choc. Les résultats de ces calculs sont présents dans l'Annexe 7. En voici un extrait pour certains titres précédemment cités :

➔ Avant choc :

Titre	Notatio	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	34,200	39,916	47,800	60,189	73,400	85,086	100,239	114,717
AXA SA	A	Financials	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397
Bayer AG	BBB	Industry	25,400	34,818	45,892	57,369	75,623	93,876	118,487	144,487
Bouygues SA	A	Industry	6,900	11,840	19,133	25,384	32,748	39,339	59,976	74,132
Carrefour SA	BBB	Consumers	13,359	16,458	25,715	35,964	50,710	64,989	106,468	134,670
Credit Agricole SA	A	Financials	20,718	22,780	28,382	34,471	42,977	51,491	61,307	71,380
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	13,050	15,529	20,995	25,902	32,711	39,547	57,558	72,520
Engie SA	BBB	Energy	14,634	15,646	19,796	25,131	34,231	43,598	59,847	77,484
Kering SA	A	Consumers	7,500	9,672	15,522	20,817	27,266	33,715	48,028	57,999
Air Liquide SA	A	Industry	8,000	9,425	12,170	15,194	19,829	24,465	36,960	45,256

➔ Après choc :

Titre	Notatio	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	318,238	323,954	331,838	344,227	357,438	369,125	384,277	398,756
AXA SA	A	Financials	170,046	173,673	179,734	187,896	200,011	212,127	222,260	235,143
Bayer AG	BBB	Industry	353,966	363,384	374,458	385,935	404,189	422,442	447,053	473,053
Bouygues SA	A	Industry	141,774	146,713	154,007	160,257	167,622	174,212	194,850	209,006
Carrefour SA	BBB	Consumers	293,125	296,225	305,482	315,731	330,477	344,756	386,235	414,437
Credit Agricole SA	A	Financials	170,465	172,526	178,128	184,218	192,723	201,238	211,054	221,127
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	263,068	265,547	271,013	275,920	282,730	289,565	307,577	322,538
Engie SA	BBB	Energy	261,207	262,219	266,368	271,703	280,803	290,170	306,420	324,057
Kering SA	A	Consumers	137,723	139,895	145,745	151,039	157,489	163,938	178,251	188,222
Air Liquide SA	A	Industry	142,874	144,299	147,044	150,067	154,703	159,338	171,834	180,130

En utilisant les formules de la partie 2.1.3.2.2 pour la valorisation du CDS index, avec et sans choc, et pour un nominal de SPF_3 couvert (672,01 M€), nous obtenons les résultats suivants :

	Valeur avant choc (M€)	Valeur après choc (M€)
CDS iTRAXX Main Eur 5Y	15,43	76,51

Le SCR spread CDS de couverture serait donc égal à **61,08 M€**.

Ainsi, nous passons de la situation suivante, **sans le produit CDS index** :

	Valeur (M€)
SCR spread SPF_3	47,12
SCR spread (reste)	73,11
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, avec le produit CDS index :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread CDS index</i>	61,08
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
SCR spread atténué SPF3	-
SCR spread (reste)	73,11
SCR Spread	73,11

Le SCR spread CDS apporte une atténuation uniquement au portefeuille couvert, SPF_3 , éligible à la technique d'atténuation, en d'autres termes :

$$SCR_{spread\ atténué} = \max(SCR_{SPF_3} - SCR_{CDS-couverture}; 0)$$

- Méthodologie avec spread de choc calculé par approche de sensibilité :

Le sous-portefeuille SPF_3 présente une valeur marché de 622,35 M€, un SCR spread de 47,12 M€ et une sensibilité de 3,88. En utilisant la formule de sensibilité (2.2.2.2) pour déduire la variation de taux (ici représentée par une variation de spread uniquement), nous obtenons donc le spread de choc équivalent SII suivant :

$$S_{choc}^{SPF_3-sensi} = 1,9511\% \quad (195bps)$$

Afin de calculer le SCR spread CDS index pour SPF_3 , nous devons valoriser le CDS avant et après choc SII, avec ce nouveau spread de choc évalué.

- Valorisation du CDS index, avant et après choc SII

Nous considérons un spread conventionnel de 25 bps (S_{conv}) pour le pricing du CDS index. Nous rajoutant de manière absolue le spread de choc $S_{choc}^{SPF_3-sensi}$ aux courbes sans choc. Les résultats de ces calculs sont présents dans l'Annexe 8.

En utilisant les formules de la partie 2.1.3.2.2 pour la valorisation du CDS index, avec et sans choc, et pour un nominal de SPF_3 couvert (672,01 M€), nous obtenons les résultats suivants :

	Valeur avant choc	Valeur après choc
CDS iTRAXX Main Eur 5Y	15,43	70,46

Le SCR spread CDS de couverture serait donc égal à **55,03 M€**.

Ainsi, nous passons de la situation suivante, sans le produit CDS index :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
<i>SCR spread (reste)</i>	73,11
SCR Spread	120,23

A la situation suivante, avec le produit CDS index :

	Valeur (M€)
<i>SCR spread CDS index</i>	55,03
<i>SCR spread SPF3</i>	47,12
SCR spread atténué SPF3	-
SCR spread (reste)	73,11
SCR Spread	73,11

Le SCR spread CDS apporte une atténuation uniquement au portefeuille couvert, *SPF3*, éligible à la technique d'atténuation, en d'autres termes :

$$SCR_{spread\ atténué} = \max (SCR_{SPF_3} - SCR_{CDS-couverture}; 0)$$

- Synthèse des valorisations de CDS index et SCR spread CDS couverture

La valorisation du CDS index avant choc repose sur l'utilisation des courbes de spread des titres constituants, permettant de modéliser les intensités de défauts. Avec la courbe de taux sans risque de l'EIOPA, et un spread conventionnel S_{conv} de 25bps, nous obtenons un *par spread* de 68 bps, très proche du niveau constaté sur Bloomberg à la fermeture au 17/11, en *par spread* « mid » à 69,84bps. Rappelons que les courbes de taux d'actualisation utilisées sont différentes, justifiant principalement cet écart.

Ceci aboutit à une valeur du CDS index (pour 1€ de nominal couvert) de **0,0229614 €**. Ainsi, pour 672,01 M€ de nominal couvert, la valeur du CDS index avant choc portant sur *SPF3* est de **15,43 M€**.

Notons que si le spread conventionnel est plus élevé, ce qui peut être le cas dans un contrat établi en fonction des besoins de l'acheteur de protection, et pour éviter un *Upfront fee* déséquilibré, la valeur du CDS Index aura tendance à diminuer (le spread conventionnel se rapprochant du niveau du *par spread* initial).

A titre indicatif, pour un spread conventionnel de 50bps, nous aboutissons à une valeur de **0,0115073 €** pour 1€ de nominal couvert, soit **7,73 M€** pour un CDS index couvrant *SPF3*. Les évaluations du SCR spread CDS Index avec ces caractéristiques sont très similaires de celle du CDS Index avec un $S_{conv} = 25bps$, présentés ultérieurement. Notons aussi qu'avec cette valorisation, les impacts sur les fonds propres et le ratio de solvabilité seront différents, selon le spread conventionnel choisi.

Nous retrouvons ci-après les résultats de valorisation du CDS index, sous choc SII, selon les différentes méthodologies de calcul de spread de choc équivalent SII :

Valeur CDS index après choc (sur SPF3)					
	(Not, Dur) - M1	(Not, Dur) - M2	Notation	(Not,Sect)	Sensibilité
Valeur (M€)	68,55	72,98	81,19	76,51	70,46

Le résultat de la méthodologie (Not, Dur) – M1 est donné à titre de comparaison avec la méthodologie (Not, Dur) – M2.

- Nous remarquons que la méthodologie par Notation aboutit à la plus grande valorisation, car la granularité de choc n'est pas aussi fine, et ne prend en compte qu'un seul facteur.
- Également nous remarquons que les écarts les plus faibles sont relevés entre les méthodologies (Not, Dur) – M2 et (Not, Sect), ainsi qu'avec l'approche de sensibilité.

Ci-après, nous résumons le SCR spread CDS calculé sous différentes méthodologies :

	Valeur SCR spread CDS couverture (sur SPF3)			
	(Not, Dur) - M2	Notation	(Not,Sect)	Sensibilité
Valeur (M€) - 25bps	57,55	65,76	61,08	55,03
Valeur (M€) - 50bps	50,48	58,77	54,04	47,92

Toutes ces valeurs sont (légèrement) supérieures au SCR spread du portefeuille couvert *SPF₃*, évalué à 47,12 M€. Le CDS index, éligible à la couverture, permet **donc d'atténuer complètement le SCR spread de *SPF₃***.

Nous résumons dans le tableau suivant les avantages et limites des différentes approches :

Calcul de spread de choc équivalent SII			Avantages	Limites	
Ligne à Ligne	Notation-Duration		<ul style="list-style-type: none"> - Rigueur de modélisation - Pratique et pertinent dans le cas de CDS single-name 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu pertinent si CDS Index utilisé - Proposition de formule, ce qui sort du cadre de l'approche en FS 	
		Par facteur de risque	Notation	<ul style="list-style-type: none"> - Rigueur de modélisation - Gain en temps de process et calcul par rapport à l'approche à 2 facteurs - Représentativité (d'un seul facteur) des chocs spread SII 	<ul style="list-style-type: none"> - Un seul facteur de modélisation (moins précis) - Proposition de formule, ce qui sort du cadre de l'approche en FS
			Notation-Secteur	<ul style="list-style-type: none"> - Rigueur de modélisation - Prise en compte de 2 facteurs de risque - Représentativité (d'un seul facteur) des chocs spread SII - Représentativité des 2 facteurs de risque du CDS 	<ul style="list-style-type: none"> - Proposition de formule, ce qui sort du cadre de l'approche en FS
Approche par sensibilité sur le portefeuille couvert		<ul style="list-style-type: none"> - Calcul simple et rapide - Praticité lors de la valorisation du CDS choqué (un seul choc uniforme) - Matching avec les titres concernés par la couverture 	<ul style="list-style-type: none"> - Convexité des titres non prise en compte dans le calcul du spread de choc - Choc identique pour des titres de nature (secteur, notation, risque) différentes - Formule sortant du cadre de l'approche modulaire SII 		
Netting de l'exposition			<ul style="list-style-type: none"> - Approche simplificatrice, convergente et appuyée par les résultats des autres méthodologies 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de modélisation du SCR spread CDS - Sous-estimation du risque de base - Proposition sortant du cadre de l'approche modulaire SII 	

Tableau 12 : Avantages et limites des différentes méthodologies

Ci-après nous présentons les résultats du calcul du SCR CDS couverture (index, 25bps), ainsi que d'autres indicateurs sur le sous-module SCR spread du sous-portefeuille SPF_3 :

			SCR CDS couverture	SCR CDS / SCR spread SPF3	Atténuation sur SCR spread SPF3	Atténuation sur SCR spread total
Calcul de spread de choc équivalent SHH	Par facteur de risque	<i>Notation-Duration</i>	57,55	122%	100%	-39,2%
		<i>Notation</i>	65,76	140%	100%	-39,2%
		<i>Notation-Secteur</i>	61,08	130%	100%	-39,2%
	Approche par sensibilité sur le portefeuille couvert		55,03	117%	100%	-39,2%
Netting de l'exposition			47,12	100%	100%	-39,2%

Tableau 13 : Synthèse des résultats de calcul des SCRs et des atténuations grâce au CDS

Remarques :

- Les SCR spread CDS doivent être vu avec un signe « négatif », car viennent atténuer le SCR spread SPF3, et donc seront soustraits du montant de ce dernier.
- Pour la méthodologie « Netting de l'exposition », nous avons mentionné seulement à titre indicatif que le SCR spread CDS est égal au SCR spread SPF3, mais ce résultat n'est pas le fruit d'un calcul.

3.4.2 Impact sur les indicateurs Solvabilité II

Le CDS single-name portant sur un seul titre, comme l'exemple donné auparavant, présente très peu d'impact sur le SCR spread du portefeuille (réduction de 0,2% sur le SCR spread). Les impacts sur le reste des indicateurs Solvabilité II seraient très marginaux.

Nous adresserons donc dans cette partie les impacts de la couverture CDS d'indice iTRAXX 5Y présentée auparavant, sur les caractéristiques et grandeurs Solvabilité II.

3.4.2.1 Impacts sur le SCR spread et marché

- **SCR Spread**

En reprenant les résultats établis dans la partie précédente pour le CDS index, voici les impacts sur le SCR spread global pour chacune des méthodologies utilisées :

	SCR Spread avec CDS					
	SCR spread initial	Netting	(Not, Dur)	Notation	(Not,Sect)	Sensibilité
Valeur (M€)	120,23	73,11	73,11	73,11	73,11	73,11
Impact		-39,2%	-39,2%	-39,2%	-39,2%	-39,2%

Le SCR spread CDS index étant supérieur, pour toutes les méthodologies, à celui de portefeuille couvert SPF_3 (SCR spread de 47,12 M€), le SCR spread total est donc égal à celui du portefeuille non couvert, soit 73,11 M€.

L'atténuation de la couverture sur le **SCR spread global** est de l'ordre de **39,2%**, et elle est de **100%** sur le **SCR spread du portefeuille couvert**.

Notons que si nous avons un portefeuille entièrement éligible à la couverture par le CDS Index, nous pourrions avoir une atténuation de 100% du SCR spread global.

- **SCR Marché**

Avec ces résultats de SCR spread, et toute chose égale par ailleurs pour le calcul du SCR marché, nous obtenons les impacts suivants :

	SCR Marché avec CDS					
	SCR Marché initial	Netting	(Not, Dur)	Notation	(Not,Sect)	Sensibilité
Valeur (M€)	255,17	222,3	222,3	222,3	222,3	222,3
Impact		-12,9%	-12,9%	-12,9%	-12,9%	-12,9%

L'impact sur le SCR spread étant le même pour toutes les méthodologies, nous obtenons un **SCR marché avec CDS index**, identique pour toutes les approches, de **222,30 M€**, une **diminution de 12,9%**, équivalent à **32,87 M€ (après diversification)**.

Notons que si nous avons un portefeuille entièrement éligible à la couverture par le CDS Index, nous pourrions avoir une atténuation de 27,9% du SCR marché global, qui serait à 184 M€.

3.4.2.2 Calcul du SCR défaut CDS

Nous avons vu que dans le cadre de l'éligibilité du CDS à la technique d'atténuation de risque selon Solvabilité, il est nécessaire d'identifier et prendre en compte les risques émanant de l'acquisition du CDS. Dans ce cas nous avons notamment le SCR de contrepartie fournissant la protection. Nous considérons dans nos calculs que l'institution fournissant la protection peut être notée A ou BBB, qui un des critères d'éligibilité également (note minimum à BBB).

Les résultats des deux cas seront exposés.

- **Fournisseur de protection noté A :**

Dans ce présent cas, la probabilité de défaut est **de 0,05%**, et est donnée par le tableau réglementaire (Tableau 2).

En reprenant les formules présentées en 2.3.2, nous constatons que la LGD (Loss Given Default) est calculée en prenant compte l'impact de la protection sur le SCR marché. Dans le cadre de ce mémoire, nous considérons également qu'il n'y a pas de montant de collatéral.

Puisque l'atténuation de la protection sur le risque marché est la même pour chacune des méthodologies de calcul de SCR spread, le calcul de LGD aboutit à un seul même résultat (en utilisant la formule présentée en 2.3) :

	LGD
Valeur (M€)	43,47

Les résultats de calculs pour les différents paramètres de calculs de SCR défaut sont les mêmes pour toutes les méthodologies et se présentent comme suit :

Vinter	0,38
Vintra	0,57
Sigma	0,97

Avec la quantité $\frac{\sigma}{LGD} = 2,24\%$ qui est inférieure à 7% dans chacun des cas, le SCR défaut CDS est égal donc à $3 \times \sigma$, soit **2,92 M€**.

- **Fournisseur de protection noté BBB :**

Dans ce présent cas, la probabilité de défaut est **de 0,24%**, et est donnée par le tableau réglementaire (Tableau 2).

En reprenant les formules de calcul de LGD en 2.3.2, nous remarquons que son calcul ne dépend pas de la notation

Le calcul de LGD ne dépendant pas de la notation du fournisseur, et puisque l'atténuation de la protection sur le risque marché est toujours la même, nous avons le même résultat que précédemment :

	LGD
Valeur (M€)	43,47

Néanmoins, les paramètres de calculs de SCR défaut diffèrent pour un fournisseur noté BBB, et se présentent comme suit :

Vinter	1,81
Vintra	2,72
Sigma	2,13

Avec la quantité $\frac{\sigma}{LGD} = 4,89\%$ qui est inférieure à 7% dans chacun des cas, le SCR défaut CDS est égal donc à $3 \times \sigma$, soit **6,38 M€**, soit **2,4 fois plus** que celui d'un fournisseur **noté A**.

Le SCR défaut généré par l'acquisition du CDS index, quelle que soit la notation du fournisseur, (2,92 ou 6,38 M€) reste dans des proportions faibles (5 à 10 fois moins) par rapport au gain réalisé sur le SCR marché (32,87 M€).

3.4.2.3 Impacts sur le SCR global et ratio de solvabilité II

Ayant calculé toutes les quantités impactées par l'acquisition du CDS Index, nous présentons dans cette partie les impacts sur le SCR global et le ratio de solvabilité, toute chose égale par ailleurs.

- **Fournisseur de CDS noté A :**

En prenant compte du SCR défaut calculé pour un fournisseur noté A, l'impact sur le SCR global est évalué à une diminution de **1,35%** :

	SCR global initial	SCR global avec CDS
Valeur (M€)	1.086,02	1.071,33
Impact		-1,35%

Après diversification, le SCR global atteint un niveau de 1071,33 M€, (-14 M€ par rapport au SCR global initial). Cette diminution représente une atténuation de 1,35%, un peu moins de la moitié que ce qu'on aurait obtenu si notre couverture était éligible à l'ensemble des obligations détenues (*atténuation de 2,9% du SCR marché global dans ce cas*).

Dans le cadre de ce mémoire, nous n'abordons pas en détails les aspects de comptabilisation de produit de couverture dans un bilan assurantiel, sous les différents référentiels. Néanmoins, pour pouvoir quantifier convenablement les impacts sur le ratio de solvabilité, il est tout de même nécessaire de réaliser un traitement des Fonds Propres, en constatant directement une diminution de ce dernier par le montant de la prime du CDS Index.

- Pour le CDS Index à 25bps : les Fonds Propres sont diminués de la valeur marché du CDS index, à savoir 15,47 M€ ;
- Pour le CDS Index à 50bps : es Fonds Propres sont diminués de la valeur marché du CDS index, à savoir 7,73 M€.

Ci-après, le tableau synthétisant les impacts (en absolu) par l'application de la couverture CDS index sur le portefeuille SPF_3 , au niveau du ratio de solvabilité :

	Initial	Avec CDS - 25bps	Avec CDS - 50bps
Ratio de Solvabilité	132,3%	133,51%	132,88%
<i>Impact</i>		1,19%	0,56%

L'utilisation de CDS index avec un **spread conventionnel de 25bps, couvrant 47%** du portefeuille obligataires d'entreprise, éligible à la technique d'atténuation de risque, a pour effet **d'augmenter le ratio de solvabilité de 1,19pts.**

L'impact de l'utilisation d'un CDS index avec spread conventionnel (négocié) à 50bps, et qui est peu commun sur le marché, serait une augmentation de 0,56pts sur le ratio de solvabilité (près de la moitié du CDS index avec $S_{conv}=25bps$).

- **Fournisseur de CDS noté BBB :**

En prenant compte du SCR défaut calculé pour un fournisseur noté BBB, l'impact sur le SCR global est évalué à une diminution de ce dernier de **1,19%** :

	SCR global initial	SCR global avec CDS
Valeur (M€)	1.086,02	1.073,13
<i>Impact</i>		-1,19%

Après diversification, le SCR global atteint un niveau de 1073,13 M€, (-12 M€ par rapport au SCR global initial). Cette diminution représente une atténuation de 1,19%, moins importante que celle d'un fournisseur noté A.

Pour ce qui est du ratio de solvabilité, de même nous réalisons le traitement suivant sur les Fonds Propres :

- Pour le CDS Index à 25bps : les Fonds Propres sont diminués de la valeur marché du CDS index, à savoir 15,47 M€ ;
- Pour le CDS Index à 50bps : es Fonds Propres sont diminués de la valeur marché du CDS index, à savoir 7,73 M€.

Ci-après, le tableau synthétisant les impacts par l'application de la couverture CDS index sur le portefeuille SPF_3 , au niveau du ratio de solvabilité :

	Initial	Avec CDS - 25bps	Avec CDS - 50bps
Ratio de Solvabilité	132%	133,3%	132,7%
<i>Impact</i>		0,96%	0,34%

L'utilisation de CDS index avec un **spread conventionnel de 25bps, couvrant 47%** du portefeuille obligataires d'entreprise, éligible à la technique d'atténuation de risque, a pour effet **d'augmenter le ratio de solvabilité de 0,96pts**, un peu moins que le gain généré par un fournisseur de protection noté A.

L'impact de l'utilisation d'un CDS index avec spread conventionnel (négocié) à 50bps, et qui est peu commun sur le marché, serait une augmentation de 0,34pts sur le ratio de solvabilité.

Ci-après une synthèse sous forme de tableau des résultats précédents pour un CDS index 25bps sur SPF3, selon la note du fournisseur de protection :

			Atténuation SCR marché	SCR défaut		Atténuation SCR global		Impact Ratio	
				A	BBB	A	BBB	A	BBB
Calcul de spread de choc équivalent SII	Par facteur de risque	<i>Notation-Duration</i>	-12,9%	2,92	6,38	-1,35%	-1,19%	+1,19 pts	+0,96 pts
		<i>Notation</i>							
		<i>Notation-Secteur</i>							
	Approche par sensibilité sur le portefeuille couvert								
Netting de l'exposition									

Tableau 14 : Impact sur le SCR global et sur le ratio de couverture avec l'utilisation du CDS

Synthèse des résultats

Ce chapitre et les résultats obtenus ont permis de mettre en avant les points suivants :

- Avant de s'attaquer aux calculs de SCR spread CDS de couverture et des impacts sur les indicateurs solvabilité II, il est nécessaire d'étudier minutieusement le caractère d'éligibilité du produit, pour être considéré comme technique d'atténuation de risque :
 - Pour les CDS single-name, il doit porter sur le même titre à couvrir, de même tenor ;
 - Pour les CDS index, une étude détaillée doit être menée (notation, secteur, corrélation du spread de l'indice et du portefeuille à couvrir).
- Les différentes méthodologies de calcul du spread de choc équivalent Solvabilité II aboutissent à des résultats comparables, sans aberration. Néanmoins, la méthodologie reposant sur la Notation des titres uniquement (un seul facteur de risque) présente plus d'écart par rapport aux autres méthodologies, qui reposent sur deux facteurs de risque ;
- Le calcul du SCR spread CDS repose sur la valorisation du CDS sous choc SII, et fait appel aux spreads de chocs calculés précédemment :
 - Les niveaux de SCR spread CDS sont tous plus élevés que le SCR spread des titres couverts. Le SCR CDS permet une atténuation totale à 100% du SCR spread généré par le portefeuille couvert.
 - La méthodologie de netting de l'exposition (des titres couverts) pour le calcul du SCR spread global peut s'avérer justifiée, pratique, sans développements et modélisations supplémentaires ;
- L'atténuation du SCR spread du portefeuille est à hauteur du SCR spread des titres couverts : plus il y a de titres éligibles à la couverture CDS, plus l'atténuation du SCR spread est importante. L'éligibilité reste donc un facteur décisif ;
- L'acquisition d'un CDS génère un risque de défaut lié au fournisseur de cette protection. Ce nouveau risque ne déforme que légèrement la structure du SCR global, et l'atténuation de ce dernier par le SCR spread CDS reste relativement importante. Néanmoins, la notation du fournisseur est un facteur important à considérer lors de l'acquisition de la couverture ;
- L'impact sur le SCR marché, après diversification, peut s'avérer important dans le cadre de l'acquisition d'un CDS Index ($\approx -13\%$ dans notre cas). L'atténuation est d'autant plus importante que la quantité de nominal éligible à la couverture par le CDS Index ; De plus, nous notons que la notation du fournisseur influant sur le niveau SCR défaut, générant plus de gain ;
- L'impact sur le ratio de solvabilité en instantané, avec une couverture de 44% du nominal des obligations d'entreprises dans notre cas, est de $\approx +1\%$ (en absolu), pour

un ratio de solvabilité initial de 132%, et un CDS conclu avec un spread conventionnel de 25bps.

Il convient également de rappeler certaines considérations et limites de ces éléments :

- La couverture CDS index évoluant dans le temps (maturité, composition, etc...), il s'avère nécessaire de documenter en continu l'éligibilité du produit, a minima chaque 6 mois, qui correspond à la période de roll du « on-the-run » index ;
- Du côté investissement, une supervision plus accrue est nécessaire pour les achats et ventes de titres obligataires d'entreprise, pour éviter toute déviation du risque de base entre le portefeuille couvert et les titres constituant le CDS Index, si tel est le souhait ;
- Des propositions de formules et modèles pour le calcul d'un spread de choc équivalent SII ont été réalisées : en Formule Standard, la proposition de formule supplémentaire pourrait basculer l'approche à un modèle interne partiel, et nécessitant donc d'autres prérequis réglementaires à remplir. De plus, ces éléments de calculs ne sont possibles que sous présentation et approbation de l'Autorité de Contrôle ;
- Le calcul des spreads de chocs équivalent SII, ainsi que la valorisation d'un produit tel que le CDS, font appel à des modélisations et développements qui nécessitent, des processus, expertises et analyses détaillées. Il est important de mesurer la capacité à faire et réaliser ces travaux, et de prendre en compte ces éléments avant la mise en place de couverture et l'acquisition de tels produits dans un portefeuille ;
- Les différents impacts et gains sur les SCRs, sur les fonds propres et le ratio de solvabilité sont mesurés en « instantané ». La décision d'investir sur un produit CDS dans le cadre d'une atténuation de risque ne doit se limiter uniquement à ces éléments. De plus, outre la variation de prix du CDS à la suite de changements de facteurs exogènes (environnement économique et financier), le CDS « on-the-run » index est « rollé » chaque 6 mois. La compagnie d'assurance devra vendre l'ancien contrat CDS et acheter le nouveau, et s'assurer de son éligibilité. Cela engendre forcément une volatilité additionnelle sur les résultats futurs.
Ainsi, l'analyse de l'évolution de ces indicateurs dans le temps, sous différents scénarios de projection (par exemple dans le cadre de l'ORSA), serait nécessaire avant toute action du corps décisionnaire de la compagnie d'assurance.
- Le manque d'information concernant les modalités de calculs du SCR spread associé à un CDS constitue un frein pour les assureurs souhaitant mettre en œuvre de telle technique d'atténuation de risque. Ces impacts sont certes intéressants mais sont propres au profil de risque de chaque compagnie, qui devra s'octroyer les moyens techniques d'étude et d'évaluation de la mise en place de CDS à des fins de couverture. Sans oublier que tous ces éléments devront être présentés et justifiés devant l'ACPR, pour obtenir une approbation d'application de telle technique.

Conclusion

Pour un assureur non-vie, le risque de marché représente le deuxième risque (en SCR) le plus important au sein de son activité, après le risque de souscription. En volume, il est le premier. À travers une analyse comparative des acteurs du marché (à travers les rapports SFCR), nous avons constaté que le risque de marché est principalement porté par le risque de taux et le risque de spread. Ce mémoire s'est principalement concentré sur le risque de spread. Plusieurs méthodes de gestion de ce risque peuvent être envisagées, notamment en faisant appel aux produits de couverture en tant que technique d'atténuation du risque financier. Nous avons abordé dans ce mémoire l'utilisation des CDS, de type single-name ou index, en tant que produit de couverture et d'atténuation du risque de spread.

La réglementation Solvabilité II ne précise que certains principes qualitatifs de prise en compte des CDS comme technique d'atténuation du risque, sans aucune indication sur les modalités d'application de choc et de calcul de SCR spread couverture associé. Nous avons exploré les divers textes, consultations et rapports afin de fournir une vision globale et exhaustive à ce sujet, et d'apporter des propositions de calculs de « SCR spread CDS couverture ».

Tout d'abord, la documentation et la justification de l'éligibilité du produit à la technique d'atténuation sont des éléments essentiels avant toute considération d'acquisition du produit. Le risque de base entre le portefeuille et le sous-jacent du CDS (notamment CDS index) doit être faible en toutes circonstances. Passant par des analyses de composition par secteur, par notation et également des études de corrélations entre le portefeuille/sous-portefeuille à couvrir et les titres constituant le CDS index. De plus, toute génération d'autres risques doit être prise en compte et quantifiée. D'autres prérequis, comme un matching de maturité ou l'absence de rolling dynamique, doivent également être remplis. Tous ces prérequis devront être inclus dans un dossier soumis à l'ACPR pour approbation, avant de considérer les effets de couverture.

Après avoir rempli les critères d'éligibilité, nous avons examiné les éléments et considérations techniques pour la quantification des SCRs correspondants au produit de couverture : le SCR spread CDS, et le SCR défaut lié au fournisseur de la protection.

Le calcul du SCR spread présente la particularité, sous la Formule Standard, d'appliquer des facteurs de chocs sur la valeur marché des obligations, plutôt que l'application d'un choc directement sur le spread des titres. Par ailleurs, aucune indication et modalités réglementaires de calcul de SCR spread CDS couverture ne sont précisées dans la réglementation. Ces éléments peuvent représenter un frein pour les assureurs souhaitant mettre en place de tels produits, dont l'objectif principal est la couverture et atténuation de risque.

L'évaluation du SCR spread CDS de couverture selon les indications de Solvabilité II nécessite l'évaluation du produit sous choc SII. Ainsi, après présentation des éléments de définitions et valorisations du produit CDS, avant et après choc (notamment SII), nous avons exploré des approches de modélisation des spreads de choc équivalent SII.

Plusieurs méthodologies ont été développées et présentées dans ce mémoire : un calcul ligne à ligne du spread de choc, suivi des calculs basés sur un facteur de risque (notation), ou deux facteurs de risque (notation et duration modifiée - notation et secteur). L'approche par sensibilité en déterminant la variation de taux (de spread) suite au choc SII a également été

explorée, tout en notant la limite de non-considération de la convexité. Ces méthodologies ont pu être mises à l'épreuve et analysées, montrant que les calculs menés avec deux facteurs de risques offrent plus de convergence pour les spreads de choc.

Concernant le calcul du SCR spread CDS couverture, toutes ces méthodologies ont conduit à un seul même constat : une atténuation totale à 100% du SCR spread des titres/du portefeuille couvert. Ainsi, la mise en place d'un CDS porte tout son intérêt pour les acteurs souhaitant neutraliser, dans certaines proportions, le SCR spread de leur portefeuille. Une dernière approche, simplificatrice, sans calcul de SCR spread CDS, a donc été suggérée : considérer que le SCR spread du portefeuille est diminué du SCR spread des titres couverts (éligibles à la couverture par le CDS). L'acquisition d'un CDS permettrait donc d'éliminer tout risque de spread généré par les titres pour lesquels cette technique d'atténuation est éligible. Il convient de noter que ces éléments sont valables dans le cadre des chocs présentés sous la Formule Standard, qui met en avant le scénario d'écartement de spread pour les obligations. D'un autre côté, le CDS génère tout de même un risque de défaut par le fournisseur, qui reste négligeable (6M€ vs 47M€, 13% en montant) devant l'atténuation apportée sur le risque spread.

Ensuite, nous avons évalué les impacts de mise en place d'une telle couverture sur les autres grandeurs Solvabilité II, tels que le SCR marché, le SCR global ainsi que le ratio de solvabilité. Ces impacts sont étroitement liés à la quantité de nominal éligible à la couverture par le CDS index : plus le sous-portefeuille couvert est important, plus l'impact sur les indicateurs SII est conséquent.

Toutefois, ces gains ont été mesurés de façon instantanée. Ils sont certes bénéfiques pour la compagnie d'assurance, mais reste sous un angle « risque » uniquement, et avec une vision « spot ». Des études plus détaillées, notamment dans le cadre de l'ORSA et différents scénarios de projection, pourraient s'avérer utiles pour plus d'appréhension et maîtrise des effets apportés par cette couverture. Dans ce même cadre, le scénario de resserrement de spread (scénario dévaluant le CDS mais augmentant la valeur des titres obligataires) pourra être abordé, tout en analysant les déclinaisons de ce dernier lors de l'application de la Formule Standard pour le calcul du SCR spread.

Également, la couverture grâce au CDS présente un coût, qui peut s'avérer significatif et créant une certaine volatilité au niveau du résultat de la compagnie d'assurance. De tels produits sont très sensibles aux variations du marché. En plus d'étude dans le cadre de l'ORSA, permettant d'évaluer les impacts sur le résultat des valorisations sous différents scénarios, ainsi que ceux du roll du « on-the-run » index, il est important d'étudier la comptabilisation d'un tel produit sous les référentiels et normes comptables (FGAAP, IFRS) auxquels sont soumis les acteurs du marché. En effet, les aspects comptables liés aux couvertures représentent des limites pour les assureurs, sachant que les CDS sont des produits dont l'objectif principal est le hedging. Des contraintes liées au poste de comptabilisation, « Juste Valeur » ou « OCI (Other Comprehensive Income) », impose à regrouper le produit dérivé (CDS) et le sous-jacent couvert (les obligations d'entreprise) au sein du même poste. Cela pourrait générer une volatilité au niveau du résultat selon les différents cas.

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1	Fonction de choc pour le calcul du SCR spread des obligations notées par un OEEC
Tableau 2	Probabilité de défaut pour une signature unique i
Tableau 3	Composition du portefeuille par type d'actifs (VM et part en % de VM)
Tableau 4	Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par notation
Tableau 5	Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par catégorie de durée modifiée
Tableau 6	Exposition en valeur de marché des obligations d'entreprises, par secteur
Tableau 7	Extrait de la liste de titres constituant le CDS Index iTRAXX Main Eur 5Y, avec notation et secteur
Tableau 8	Statistiques des spreads de choc ligne à ligne, regroupés par catégorie (Notation, Duration Mod)
Tableau 9	Spreads de choc avec méthodologie de calcul par couple (Notation, Duration modifiée)
Tableau 10	Spreads de choc avec méthodologie de calcul par Notation
Tableau 11	Spreads de choc avec méthodologie de calcul par couple (Notation, Secteur)
Tableau 12	Avantages et limites des différentes méthodologies
Tableau 13	Synthèse des résultats de calcul des SCR et des atténuations grâce au CDS
Tableau 14	Impact sur le SCR global et sur le ratio de couverture avec l'utilisation du CDS

Figure 1	Les 3 piliers de Solvabilité II (Gorrand, 2009)
Figure 2	Bilan économique sous Solvabilité II
Figure 3	Bilan simplifié sous Solvabilité II
Figure 4	Distribution de pertes, SCR et Quantile à 99,5%
Figure 5	Structure modulaire du SCR sous la Formule Standard
Figure 6	Encours total du nominal des CDS échangés sur le marché
Figure 7	Répartition (% de VM) des obligations par notation
Figure 8	Répartition (% de VM) des obligations par secteur
Figure 9	Répartition (% de notionnel N) des obligations par secteur
Figure 10	Matrice de corrélation entre les sous-modules du SCR marché
Figure 11	Matrice de corrélation entre les modules du BSCR
Figure 12	Courbe de spread CDS 5Y du titre AXA SA
Figure 13	Début de liste des constituant de l'iTRAXX Main Eur 5Y, avec notation et secteur
Figure 14	Liste des indices CDS cotés sur le marché (Fonction CDX)
Figure 15	Répartition par notation des titres constituant le CDS Index
Figure 16	Répartition par secteur des titres constituant le CDS Index
Figure 17	Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille SPF1
Figure 18	Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille SPF2
Figure 19	Répartition (% de VM), par secteur, des obligations E du sous-portefeuille SPF2
Figure 20	Répartition (% de VM), par secteur, des obligations E du sous-portefeuille SPF3
Figure 21	Répartition (% de VM), par notation, des obligations E du sous-portefeuille SPF3
Figure 22	Evolution du spread CDS index "on-the-run" et bumps de roll
Figure 23	Courbe historique de spread CDS 5Y pour AXA SA (haut), Electricité de France SA (bas)
Figure 24	Répartition des spreads de choc des titres notés A (gauche) et BBB (droite)
Figure 25	Spreads de choc Equivalent SII, par secteur, pour les notations A et BBB

Bibliographie

Sites Internet, publications et articles

Site de l'EIOPA : <https://www.eiopa.europa.eu/>

- Consultations Papers (CP 31) : Allowance of Financial Risk Mitigation Techniques
- Consultations Papers (CP 47) : SCR Standard Formula Article 109 - Structure and Design of Market Risk Module
- Consultations Papers (CP 70) : Calibration of Market Risk Module
- Opinion on the use of risk mitigation techniques by insurance and reinsurance undertakings (July 2021)
- Rapport final et orientation sur le risque de base (2014)
- Courbe des taux sans risque et Ajustement symétrique au 31/10/2023

Solvency II Calibration Paper (CEIOPS – April 2010)

Summary of Comments on CEIOPS-CP-47/09 - Consultation Paper on the Draft L2 Advice on SCR Standard Formula - Market risk

CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II : SCR Standard Formula Article 109 - Structure and Design of Market Risk Module (CP 47) – October 2009

CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II (Article 111b Calibration of Market Risk Module – CP 70) – January 2010

CEIOPS' Advice for Level 2 Implementing Measures on Solvency II : SCR standard formula - Allowance of Financial Risk Mitigation Techniques (CP 31) – October 2009

RÈGLEMENT DÉLÉGUÉ (UE) 2015/35 DE LA COMMISSION du 10 octobre 2014 complétant la directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (solvabilité II)

DIRECTIVE 2009/138/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 novembre 2009 sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (solvabilité II)

QIS 4 Technical Specifications, March, 2008

Lignes directrices sur la gestion des placements, Autorité des Marchés Financiers (Mars, 2019)

Ouvrages

[Damiano B., Fabio M.] Interest rate models – Theory and practice, with smile, inflation and credit.

[Dominic O'Kane, 2008] Modelling single-name and multi-name credit derivatives.

[Olivier T, 2019] An introduction to Credit Risk Management, Pricing and Risks.

Mémoires d'actuariat

PUEL ALEXANDRE (2020) Tarification des CDS et des options sur iTraxx : théorie et pratique dans le cadre d'une mission d'audit. Impacts de la crise de la Covid-19 sur les spreads de crédit.

ZAKARIA ZOUAQ (2019) Optimisation de la stratégie de couverture des risques financiers sous solvabilité 2.

ISABELLE CHAUMIEN-HETROY (2016) Modélisation du risque de spread et du risque souverain dans le cadre de l'ORSA.

Annexes

Annexe 1 : Correspondance entre le rating de différentes agences de notations et l'échelon de qualité de crédit d'une obligation (CQS)

S&P	Moody's	Fitch	Rating composite	CQS
AAA	Aaa	AAA	AAA	0
AA+	Aa1	AA+	AA	1
AA	Aa2	AA	AA	1
AA-	Aa3	AA-	AA	1
A+	A1	A+	A	2
A	A2	A	A	2
A-	A3	A-	A	2
BBB+	Baa1	BBB+	BBB	3
BBB	Baa2	BBB	BBB	3
BBB-	Baa3	BBB-	BBB	3
BB+	Ba1	BB+	BB	4
BB	Ba2	BB	BB	4
BB-	Ba3	BB-	BB	4
B+	B1	B+	B	5
B	B2	B	B	5
B-	B3	B-	B	5
CCC+	Caa1	CCC	CCC	6
CCC	Caa2	CCC	CCC	6
CCC-	Caa3	CCC	CCC	6

Annexe 2 : Courbe des taux sans risque, et structure des chocs hausse et baisse de la courbe des taux sous Solvabilité II

➤ Courbe des taux sans risque EIOPA – FR – 31/10/2023 (30 ans) :

Maturité	Taux
1	3,91%
2	3,49%
3	3,26%
4	3,18%
5	3,15%
6	3,15%
7	3,17%
8	3,19%
9	3,22%
10	3,25%
11	3,33%
12	3,31%
13	3,30%
14	3,33%
15	3,35%
16	3,35%
17	3,33%
18	3,31%
19	3,28%
20	3,25%
21	3,23%
22	3,22%
23	3,20%
24	3,19%
25	3,19%
26	3,18%
27	3,18%
28	3,18%
29	3,18%
30	3,18%

➤ Choc Hausse :

Échéance (en années)	Augmentation
1	70 %
2	70 %
3	64 %
4	59 %
5	55 %
6	52 %
7	49 %
8	47 %
9	44 %
10	42 %
11	39 %
12	37 %
13	35 %
14	34 %
15	33 %
16	31 %
17	30 %
18	29 %
19	27 %
20	26 %
90	20 %

Pour les échéances non mentionnées dans le tableau ci-dessus, la valeur de l'augmentation est interpolée de manière linéaire. Pour les échéances inférieures à un an, l'augmentation est de 70 %. Pour les échéances supérieures à 90 ans, l'augmentation est de 20 %.

➤ Choc Baisse :

Échéance (en années)	Diminution
1	75 %
2	65 %
3	56 %
4	50 %
5	46 %
6	42 %
7	39 %
8	36 %
9	33 %
10	31 %
11	30 %
12	29 %
13	28 %
14	28 %
15	27 %
16	28 %
17	28 %
18	28 %
19	29 %
20	29 %
90	20 %

Pour les échéances non mentionnées dans le tableau ci-dessus, la valeur de la diminution est interpolée de manière linéaire. Pour les échéances inférieures à un an, la diminution est de 75 %. Pour les échéances supérieures à 90 ans, la diminution est de 20 %.

Annexe 3 : Courbe de spread des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS⁴⁹

Titre	Notation	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Aegon Ltd	BBB	Financials	22,868	29,319	39,060	50,018	62,277	74,150	91,803	105,405
Airbus SE	A	Industry	20,200	25,920	34,750	42,383	51,542	60,829	87,405	108,680
Electrolux AB	BBB	Consumers	35,300	52,100	84,700	113,100	144,600	184,400	200,000	213,500
Volvo AB	A	Industry	11,700	17,470	26,025	33,895	46,094	58,292	83,838	106,077
Akzo Nobel NV	BBB	Industry	19,700	27,188	34,016	47,051	63,333	79,615	97,669	112,439
Allianz SE	AA	Financials	11,585	12,406	16,723	21,733	27,920	34,809	45,787	54,642
Alstom SA	BBB	Industry	47,000	86,730	116,404	142,405	179,228	216,051	245,271	271,754
Anglo American PLC	BBB	Industry	26,964	32,969	56,347	80,113	117,364	153,976	210,389	233,969
Anheuser-Busch InBev SA/NV	A	Consumers	17,800	20,100	26,300	28,400	36,100	45,400	65,400	80,600
ArcelorMittal SA	BBB	Industry	31,806	49,650	83,370	115,368	158,145	201,982	265,836	282,199
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	34,200	39,916	47,800	60,189	73,400	85,086	100,239	114,717
AstraZeneca PLC	A	Industry	12,939	15,836	22,053	23,768	29,120	33,854	49,342	61,137
Aviva PLC	A	Financials	22,447	28,077	39,235	50,376	62,101	73,533	90,460	104,844
AXA SA	A	Financials	20,300	23,926	29,988	38,150	50,265	62,380	72,514	85,397
BAE Systems PLC	BBB	Industry	6,500	9,545	15,680	21,201	28,076	34,952	57,195	73,089
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	A	Financials	29,855	35,214	43,316	49,432	57,698	66,325	80,324	90,939
Banco Santander SA	A	Financials	27,306	29,464	38,467	47,860	57,094	65,978	80,467	90,598
Barclays PLC	BBB	Financials	60,700	66,914	78,191	86,468	103,162	119,856	133,571	151,684
BASF SE	A	Industry	14,300	20,370	27,443	33,807	48,658	63,508	88,121	110,819
Bayer AG	BBB	Industry	25,400	34,818	45,892	57,369	75,623	93,876	118,487	144,487
Bayerische Motoren Werke AG	A	Industry	15,923	20,626	28,224	37,179	51,020	64,565	92,109	112,984
Bertelsmann SE & Co KGaA	BBB	TMT	10,300	13,713	22,382	31,582	40,410	49,237	63,721	76,505
BNP Paribas SA	A	Financials	26,026	30,460	36,026	43,114	50,541	56,305	67,490	77,781
Bouygues SA	A	Industry	6,900	11,840	19,133	25,384	32,748	39,339	59,976	74,132
BP PLC	A	Energy	18,694	24,372	33,477	42,421	57,427	71,487	101,041	129,918
British American Tobacco PLC	BBB	Consumers	15,873	23,548	39,765	51,835	67,478	82,521	117,006	140,254
British Telecommunications PLC	BBB	TMT	18,801	21,902	34,136	48,213	68,444	87,601	131,402	161,515
Carlsberg Breweries AS	BBB	Consumers	6,800	9,116	13,850	19,637	26,235	32,832	44,079	57,149
Carrefour SA	BBB	Consumers	13,359	16,458	25,715	35,964	50,710	64,989	106,468	134,670
Centrica PLC	BBB	Energy	17,687	20,394	31,093	39,812	53,998	66,761	99,136	120,518
CNH Industrial NV	BBB	Industry	36,700	44,800	61,100	80,900	103,200	132,500	165,100	194,300
Commerzbank AG	A	Financials	46,400	57,300	76,700	91,400	106,700	122,700	149,900	169,800
Cie de Saint-Gobain SA	BBB	Industry	13,550	18,869	28,310	39,328	50,887	63,000	84,654	100,312
Compass Group PLC	A	Consumers	4,600	7,432	11,987	16,119	22,490	28,862	40,741	50,668
Continental AG	BBB	Industry	23,800	28,900	44,400	65,900	92,000	116,100	148,200	165,600
Cooperative Rabobank UA	A	Financials	18,800	23,000	29,800	37,500	46,200	56,000	73,900	94,600
Credit Agricole SA	A	Financials	20,718	22,780	28,382	34,471	42,977	51,491	61,307	71,380
Danone SA	BBB	Consumers	11,100	13,400	19,900	25,600	33,400	42,200	54,700	64,900
Danske Bank A/S	A	Financials	26,100	33,200	48,500	60,900	78,100	82,200	110,500	134,600
Deutsche Bank AG	A	Financials	55,899	63,218	73,505	88,169	98,496	108,571	133,090	153,634
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	13,050	15,529	20,995	25,902	32,711	39,547	57,558	72,520
Diageo PLC	A	Consumers	10,400	11,730	15,937	20,465	26,482	32,500	46,196	56,969
DSM BV	A	Industry	7,600	8,655	12,177	15,914	20,866	25,817	36,229	47,076
E.ON SE	BBB	Energy	14,003	16,415	24,017	31,174	42,278	55,040	74,745	91,597
EDP - Energias de Portugal SA	BBB	Energy	30,941	33,541	39,727	46,722	57,888	68,863	93,705	119,907
Electricite de France SA	BBB	Energy	36,868	44,179	53,917	60,721	76,058	95,300	125,107	158,095
ELO SACA	BBB	Consumers	36,500	50,129	86,114	130,122	176,527	222,932	272,195	291,104
Enel SpA	BBB	Energy	25,090	29,371	35,923	48,120	65,164	82,561	116,733	139,396
Engie SA	BBB	Energy	14,634	15,646	19,796	25,131	34,231	43,598	59,847	77,484
Eni SpA	A	Energy	18,429	23,261	30,040	39,002	50,459	61,285	86,810	107,832
Equinor ASA	AA	Energy	4,300	7,202	11,361	15,834	20,841	25,274	37,659	49,336
Fortum Oyj	BBB	Energy	25,800	26,773	30,412	38,977	51,880	64,784	80,546	95,401
Glencore International AG	BBB	Industry	44,525	46,721	65,628	83,707	120,613	155,770	211,071	228,185
GSK PLC	A	Industry	7,300	8,521	13,684	17,223	22,837	28,450	39,043	46,116
Hamover Rueck SE	AA	Financials	10,800	14,700	20,200	26,300	34,600	40,800	52,800	61,500
Heidelberg Materials AG	BBB	Industry	26,080	35,070	53,242	73,392	97,623	123,054	164,061	180,553
Heineken NV	BBB	Consumers	9,600	10,972	15,501	20,280	25,840	31,401	44,337	54,429
Henkel AG & Co KGaA	A	Consumers	7,400	11,002	12,548	16,263	20,652	25,041	33,815	43,888
Holcim AG	BBB	Industry	17,681	24,916	38,343	55,041	73,868	93,400	136,856	150,697
HSBC Holdings PLC	A	Financials	31,000	35,891	43,705	52,550	67,642	82,735	101,004	120,510
Iberdrola SA	BBB	Energy	13,220	15,785	22,082	30,383	40,530	50,351	72,199	89,563
Imperial Brands PLC	BBB	Consumers	14,500	22,100	40,500	54,800	71,000	87,100	127,300	160,300
ING Groep NV	A	Financials	21,200	27,692	36,348	45,444	57,881	70,318	86,034	106,428
Intesa Sanpaolo SpA	BBB	Financials	57,300	66,900	84,900	107,100	123,100	135,800	160,100	175,100
ITV PLC	BBB	TMT	27,600	34,696	51,227	68,647	106,606	144,566	180,970	200,303
Kering SA	A	Consumers	7,500	9,672	15,522	20,817	27,266	33,715	48,028	57,999
Koninklijke Ahold Delhaize NV	BBB	Consumers	6,100	7,807	13,149	18,340	25,094	31,848	44,433	56,442
Koninklijke KPN NV	BBB	TMT	9,000	11,586	19,500	28,818	40,078	51,338	81,932	100,804
Koninklijke Philips NV	BBB	Consumers	14,600	17,970	28,200	41,107	54,460	67,813	85,175	94,871
Air Liquide SA	A	Industry	8,000	9,425	12,170	15,194	19,829	24,465	36,960	45,256
LANXESS AG	BBB	Industry	50,400	69,771	103,739	145,821	178,076	210,330	248,632	267,530
Leonardo SpA	BBB	Industry	19,338	27,256	36,666	53,899	75,158	96,079	142,112	180,648
Lloyds Banking Group PLC	BBB	Financials	26,500	34,388	45,397	54,554	73,238	91,922	102,411	121,250
Louis Dreyfus Co BV	BBB	Consumers	41,684	44,475	63,523	81,634	107,845	138,979	169,852	190,351

⁴⁹ Remplacement des NR par BBB, mise en évidence en couleur jaune

LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	AA	Consumers	8,600	10,031	13,121	17,450	23,258	29,066	41,039	50,673
Mediobanca Banca di Credito Finanziario SpA	BBB	Financials	38,176	44,997	55,945	65,392	78,983	90,394	108,416	120,119
Mercedes-Benz Group AG	A	Industry	17,352	21,878	29,501	38,268	51,313	64,438	90,173	111,004
Muenchener Rueckversicherungs-Gesellschaft AG in Muenchen	AA	Financials	12,800	15,384	19,714	26,460	33,613	40,766	51,136	61,285
National Grid PLC	BBB	Energy	10,800	17,070	28,474	41,731	54,164	66,597	87,386	104,070
Naturgy Energy Group SA	BBB	Energy	37,200	37,866	40,092	43,535	54,505	65,475	86,163	101,045
NatWest Group PLC	BBB	Financials	30,500	39,700	53,700	62,300	78,500	90,800	111,500	132,800
Nestle SA	AA	Consumers	11,404	13,483	18,600	22,062	27,330	31,545	42,107	51,142
Next PLC	BBB	Consumers	15,300	20,484	30,661	43,617	66,914	90,211	124,551	152,547
Orange SA	BBB	TMT	4,700	7,116	12,027	17,875	25,214	32,553	50,665	64,826
Pearson PLC	BBB	TMT	7,829	13,908	24,556	35,299	48,720	61,676	96,222	122,787
Pernod Ricard SA	BBB	Consumers	8,800	10,900	16,000	20,500	26,900	31,300	46,900	54,800
PostNL NV	BBB	Industry	37,300	47,000	68,200	86,400	110,200	138,800	163,600	178,800
Prudential PLC	A	Financials	23,500	29,555	41,220	52,332	61,162	69,992	94,702	112,602
Publicis Groupe SA	BBB	TMT	8,600	13,100	22,000	35,000	46,700	61,400	87,900	109,600
Rentokil Initial PLC	BBB	Industry	15,800	20,200	33,000	46,300	60,000	74,700	101,400	119,400
Repsol SA	BBB	Energy	15,468	21,699	33,544	46,638	59,015	71,655	99,219	123,288
Sanofi SA	AA	Industry	9,300	13,911	20,830	25,407	32,125	38,843	50,222	59,974
SES SA	BBB	TMT	23,800	29,733	43,243	58,913	86,204	113,496	150,423	162,545
Shell PLC	A	Energy	8,584	12,693	18,851	23,741	32,182	39,026	56,052	74,193
Siemens AG	A	Industry	11,039	12,967	21,217	28,948	35,681	42,408	57,901	70,205
Sky Ltd	A	TMT	3,493	4,680	7,398	7,503	11,870	14,519	26,186	38,315
Smurfit Kappa Acquisitions ULC	BBB	Industry	12,100	23,400	34,200	42,600	57,000	70,200	102,400	123,100
Societe Generale SA	A	Financials	29,909	34,903	42,536	48,522	56,373	65,667	79,152	92,628
Sodexo SA	BBB	Consumers	5,100	7,701	12,720	16,460	22,086	27,712	42,169	56,048
Solvay SA	BBB	Industry	19,700	26,259	36,161	47,052	60,536	74,020	94,053	107,429
Standard Chartered PLC	BBB	Financials	33,100	37,644	48,437	61,566	73,102	84,637	109,407	131,408
Stellantis NV	BBB	Industry	26,500	33,755	51,917	77,723	108,549	139,374	190,551	221,186
STMicroelectronics NV	BBB	TMT	7,393	9,978	14,978	21,818	28,072	34,535	51,039	71,533
Stora Enso Oyj	BBB	Industry	21,000	29,900	42,300	53,800	70,200	87,600	118,100	137,700
Suedzucker AG	BBB	Consumers	17,800	22,822	34,144	47,463	64,886	82,309	118,524	141,929
Svenska Handelsbanken AB	AA	Financials	47,000	53,500	58,900	63,900	79,000	91,100	107,700	122,800
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA	Financials	20,700	23,073	28,670	36,642	49,276	61,911	67,138	78,764
Telefonica SA	BBB	TMT	24,000	28,469	35,456	44,230	61,960	79,691	116,746	141,800
Telekom Austria AG	A	TMT	5,078	5,997	8,216	12,676	19,226	25,048	42,047	54,754
Telenor ASA	A	TMT	7,600	7,486	12,222	17,289	23,955	30,621	42,611	51,106
Telia Co AB	BBB	TMT	8,800	9,759	16,197	23,019	28,600	44,229	53,885	65,200
Tesco PLC	BBB	Consumers	9,000	14,798	28,021	42,317	55,743	69,397	105,301	133,322
TotalEnergies SE	A	Energy	8,252	10,062	15,344	19,105	25,747	31,140	47,516	62,982
Unibail-Rodamco-Westfield SE	BBB	Industry	44,353	55,089	86,008	121,354	153,299	184,786	246,459	273,218
UniCredit SpA	BBB	Financials	38,521	45,226	57,156	71,015	83,422	94,534	113,279	126,465
Unilever PLC	A	Consumers	9,100	12,000	15,100	21,000	25,000	29,400	41,000	50,600
Veolia Environnement SA	BBB	Energy	7,200	12,127	20,012	26,861	37,424	47,988	64,184	79,579
Vinci SA	A	Industry	9,500	12,921	19,817	25,861	33,130	40,399	59,562	74,764
Vivendi SE	BBB	TMT	12,700	19,400	34,100	48,500	65,900	89,600	119,400	134,400
Vodafone Group PLC	BBB	TMT	15,700	19,184	29,522	40,584	54,666	68,747	94,507	117,855
Volkswagen AG	BBB	Industry	45,664	51,011	62,506	74,360	96,479	116,867	156,260	183,722
Wendel SE	BBB	Industry	23,000	31,666	50,347	66,642	88,313	109,985	135,711	152,029
WPP 2005 Ltd	BBB	TMT	16,600	24,329	40,783	54,775	72,183	89,590	111,012	132,036
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials	18,766	22,561	28,649	37,149	46,802	54,846	66,625	76,719
UBS Group AG	A	Financials	35,400	40,800	49,700	60,200	70,800	80,500	98,800	110,100

Annexe 4 : Historique d'évolution de spread CDS 5Y pour certains constituants de l'iTRAXX Main Europe 5Y



Carrefour SA CDS 5Y

Pic à près de 250 bps vs. un niveau avant crise de 25bps (+225 bps)



Sanofi SA CDS 5Y

Pic à près de 120bps vs. un niveau avant crise de 20bps (+100 bps)



Allianz CDS 5Y

Pic à près de 150bps vs. un niveau avant crise de 20bps (+130 bps)



EDF SA CDS 5Y

Pic à près de 160bps vs. un niveau avant crise de 20bps (+140 bps)

Annexe 5 : Courbes de spread choquées par (Notation, Duration), des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS⁴⁹

Titre	Notation	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Aegon Ltd	BBB	Financials	282.661	289.112	298.853	309.811	322.070	333.943	351.596	365.198
Airbus SE	A	Industry	153.836	159.556	168.386	176.019	185.178	194.465	221.041	242.316
Electrolux AB	BBB	Consumers	295.093	311.893	344.493	372.893	404.393	444.193	459.793	473.293
Volvo AB	A	Industry	145.336	151.106	159.661	167.531	179.730	191.928	217.474	239.713
Akzo Nobel NV	BBB	Industry	279.493	286.980	293.809	306.844	323.126	339.408	357.462	372.232
Allianz SE	AA	Financials	122.023	122.844	127.161	132.170	138.358	145.247	156.225	165.080
Alstom SA	BBB	Industry	306.793	346.523	376.197	402.198	439.021	475.844	505.064	531.547
Anglo American PLC	BBB	Industry	286.757	292.762	316.140	339.906	377.157	413.769	470.182	493.762
Anheuser-Busch InBev SA/NV	A	Consumers	151.436	153.736	159.936	162.036	169.736	179.036	199.036	214.236
ArcelorMittal SA	BBB	Industry	291.599	309.443	343.163	375.160	417.938	461.775	525.629	541.992
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	293.993	299.709	307.593	319.982	333.193	344.879	360.032	374.510
AstraZeneca PLC	A	Industry	146.575	149.472	155.689	157.404	162.756	167.490	182.978	194.773
Aviva PLC	A	Financials	156.083	161.713	172.871	184.012	195.737	207.169	224.096	238.480
AXA SA	A	Financials	153.936	157.562	163.624	171.786	183.901	196.016	206.150	219.033
BAE Systems PLC	BBB	Industry	266.293	269.338	275.473	280.994	287.869	294.744	316.988	332.882
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	A	Financials	163.491	168.850	176.952	183.068	191.334	199.961	213.960	224.575
Banco Santander SA	A	Financials	160.942	163.100	172.103	181.496	190.730	199.614	214.103	224.234
Barclays PLC	BBB	Financials	320.493	326.707	337.984	346.261	362.955	379.649	393.364	411.477
BASF SE	A	Industry	147.936	154.006	161.079	167.443	182.294	197.144	221.757	244.455
Bayer AG	BBB	Industry	285.193	294.611	305.685	317.162	335.416	353.669	378.280	404.280
Bayerische Motoren Werke AG	A	Industry	149.559	154.262	161.860	170.815	184.656	198.200	225.745	246.620
Bertelsmann SE & Co KGaA	BBB	TMT	270.093	273.506	282.175	291.375	300.203	309.030	323.514	336.298
BNP Paribas SA	A	Financials	159.662	164.096	169.662	176.750	184.177	189.941	201.126	211.417
Bouygues SA	A	Industry	140.536	145.476	152.769	159.020	166.384	172.975	193.612	207.768
BP PLC	A	Energy	152.330	158.008	167.113	176.057	191.063	205.123	234.677	263.554
British American Tobacco PLC	BBB	Consumers	275.666	283.341	299.558	311.628	327.271	342.314	376.799	400.447
British Telecommunications PLC	BBB	TMT	278.594	281.695	293.929	308.006	328.237	347.394	391.195	421.308
Carlsberg Breweries AS	BBB	Consumers	266.593	268.909	273.643	279.430	286.028	292.625	303.872	316.942
Carrefour SA	BBB	Consumers	273.152	276.251	285.508	295.757	310.503	324.782	366.261	394.463
Centrica PLC	BBB	Energy	277.480	280.187	290.886	299.605	313.791	326.554	358.929	380.311
CNH Industrial NV	BBB	Industry	296.493	304.593	320.893	340.693	362.993	392.293	424.893	454.093
Commerzbank AG	A	Financials	180.036	190.936	210.336	225.036	240.336	256.336	283.536	303.436
Cie de Saint-Gobain SA	BBB	Industry	273.343	278.662	288.102	299.121	310.680	322.793	344.447	360.105
Compass Group PLC	A	Consumers	138.236	141.068	145.622	149.755	156.126	162.498	174.377	184.304
Continental AG	BBB	Industry	283.593	288.693	304.193	325.693	351.793	375.893	407.993	425.393
Cooperatieve Rabobank UA	A	Financials	152.436	156.636	163.436	171.136	179.836	189.636	207.536	228.236
Credit Agricole SA	A	Financials	154.354	156.416	162.018	168.107	176.613	185.127	194.943	205.016
Danone SA	BBB	Consumers	270.893	273.193	279.693	285.393	293.193	301.993	314.493	324.693
Danske Bank A/S	A	Financials	159.736	166.836	182.136	194.536	211.736	215.836	244.136	268.236
Deutsche Bank AG	A	Financials	189.535	196.854	207.141	221.805	232.132	242.207	266.725	287.269
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	272.843	275.322	280.788	285.695	292.504	299.340	317.351	332.313
Diageo PLC	A	Consumers	144.036	145.366	149.573	154.101	160.118	166.136	179.832	190.605
DSM BV	A	Industry	141.236	142.291	145.813	149.550	154.502	159.453	169.864	180.712
E.ON SE	BBB	Energy	273.796	276.208	283.810	290.967	302.071	314.833	334.538	351.390
EDP - Energias de Portugal SA	BBB	Energy	290.734	293.334	299.520	306.515	317.681	328.656	353.498	379.700
Electricite de France SA	BBB	Energy	296.661	303.972	313.710	320.514	335.851	355.093	384.900	417.888
ELO SACA	BBB	Consumers	296.293	309.922	345.907	389.915	436.320	482.725	531.988	550.897
Enel SpA	BBB	Energy	284.883	289.164	295.716	307.913	324.957	342.354	376.526	399.189
Engie SA	BBB	Energy	274.427	275.439	279.589	284.924	294.024	303.391	319.640	337.277
Eni SpA	A	Energy	152.065	156.897	163.676	172.638	184.095	194.921	220.446	241.468
Equinor ASA	AA	Energy	114.738	117.640	121.799	126.272	131.279	135.712	148.097	159.774
Fortum Oyj	BBB	Energy	285.593	286.566	290.205	298.770	311.673	324.577	340.339	355.194
Glencore International AG	BBB	Industry	304.318	306.514	325.421	343.500	380.406	415.563	470.864	487.978
GSK PLC	A	Industry	140.936	142.157	147.320	150.859	156.473	162.086	172.679	179.752
Hannover Rueck SE	AA	Financials	121.238	125.138	130.638	136.738	145.038	151.238	163.238	171.938
Heidelberg Materials AG	BBB	Industry	285.873	294.863	313.035	333.185	357.416	382.847	423.854	440.346
Heineken NV	BBB	Consumers	269.393	270.765	275.294	280.073	285.633	291.194	304.130	314.222
Henkel AG & Co KGaA	A	Consumers	141.036	144.638	146.184	149.899	154.288	158.677	167.451	177.524
Holcim AG	BBB	Industry	277.474	284.709	298.136	314.834	333.661	353.193	396.649	410.490
HSBC Holdings PLC	A	Financials	164.636	169.527	177.341	186.186	201.278	216.371	234.640	254.146
Iberdrola SA	BBB	Energy	273.013	275.578	281.875	290.176	300.323	310.144	331.992	349.356
Imperial Brands PLC	BBB	Consumers	274.293	281.893	300.293	314.593	330.793	346.893	387.093	420.093
ING Groep NV	A	Financials	154.836	161.328	169.984	179.080	191.517	203.954	219.670	240.064
Intesa Sanpaolo SpA	BBB	Financials	317.093	326.693	344.693	366.893	382.893	395.993	419.893	434.893
ITV PLC	BBB	TMT	287.393	294.489	311.020	328.440	366.399	404.359	440.763	460.096
Kering SA	A	Consumers	141.136	143.308	149.158	154.452	160.902	167.351	181.664	191.635
Koninklijke Ahold Delhaize NV	BBB	Consumers	265.893	267.600	272.942	278.133	284.887	291.641	304.226	316.235
Koninklijke KPN NV	BBB	TMT	268.793	271.379	279.293	288.611	299.871	311.131	341.725	360.597
Koninklijke Philips NV	BBB	Consumers	274.393	277.763	287.993	300.900	314.253	327.606	344.968	354.664
Air Liquide SA	A	Industry	141.636	143.061	145.806	148.830	153.465	158.101	170.596	178.892
LANXESS AG	BBB	Industry	310.193	329.564	363.532	405.614	437.869	470.123	508.425	527.323
Leonardo SpA	BBB	Industry	279.131	287.049	296.459	313.692	334.951	355.872	401.905	440.440
Lloyds Banking Group PLC	BBB	Financials	286.293	294.181	305.190	314.347	333.031	351.715	362.204	381.043
Louis Dreyfus Co BV	BBB	Consumers	301.477	304.268	323.316	341.427	367.638	398.772	429.645	450.144

LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	AA	Consumers	119,038	120,469	123,559	127,888	133,696	139,504	151,477	161,111
Mediobanca Banca di Credito Finanziario SpA	BBB	Financials	297,969	304,790	315,738	325,185	338,776	350,187	368,209	379,911
Mercedes-Benz Group AG	A	Industry	150,988	155,514	163,136	171,904	184,949	198,074	223,809	244,639
Muenchener Rueckversicherungs-Gesellschaft AG in Muenchen	AA	Financials	123,238	125,822	130,152	136,897	144,051	151,204	161,574	171,723
National Grid PLC	BBB	Energy	270,593	276,863	288,267	301,524	313,957	326,390	347,179	363,863
Naturgy Energy Group SA	BBB	Energy	296,993	297,659	299,885	303,328	314,298	325,267	345,956	360,838
NatWest Group PLC	BBB	Financials	290,293	299,493	313,493	322,093	338,293	350,593	371,293	392,593
Nestle SA	AA	Consumers	121,842	123,921	129,038	132,499	137,768	141,983	152,545	161,580
Next PLC	BBB	Consumers	275,093	280,277	290,454	303,410	326,707	350,004	384,344	412,340
Orange SA	BBB	TMT	264,493	266,909	271,820	277,668	285,007	292,346	310,458	324,619
Pearson PLC	BBB	TMT	267,622	273,701	284,349	295,092	308,513	321,469	356,015	382,580
Pernod Ricard SA	BBB	Consumers	268,593	270,693	275,793	280,293	286,693	291,093	306,693	314,593
PostNL NV	BBB	Industry	297,093	306,793	327,993	346,193	369,993	398,593	423,393	438,593
Prudential PLC	A	Financials	157,136	163,191	174,856	185,968	194,798	203,628	228,338	246,238
Publicis Groupe SA	BBB	TMT	268,393	272,893	281,793	294,793	306,493	321,593	347,693	369,393
Rentokil Initial PLC	BBB	Industry	275,593	279,993	292,793	306,093	319,793	334,493	361,193	379,193
Repsol SA	BBB	Energy	275,261	281,492	293,337	306,431	318,808	331,448	359,012	383,081
Sanofi SA	AA	Industry	119,738	124,349	131,268	135,845	142,563	149,281	160,660	170,412
SES SA	BBB	TMT	283,593	289,526	303,036	318,706	345,997	373,289	410,216	422,338
Shell PLC	A	Energy	142,220	146,329	152,486	157,376	165,818	172,662	189,688	207,829
Siemens AG	A	Industry	144,675	146,603	154,853	162,584	169,317	176,044	191,537	203,841
Sky Ltd	A	TMT	137,129	138,316	141,034	141,139	145,506	148,155	159,822	171,951
Smurfit Kappa Acquisitions ULC	BBB	Industry	271,893	283,193	293,993	302,393	316,793	329,993	362,193	382,893
Societe Generale SA	A	Financials	163,545	168,539	176,172	182,158	190,009	199,303	212,788	226,264
Sodexo SA	BBB	Consumers	264,893	267,494	272,513	276,253	281,879	287,505	301,962	315,841
Solvay SA	BBB	Industry	279,493	286,052	295,954	306,845	320,329	333,813	353,846	367,222
Standard Chartered PLC	BBB	Financials	292,893	297,437	308,230	321,359	332,895	344,430	369,199	391,201
Stellantis NV	BBB	Industry	286,293	293,548	311,710	337,516	368,342	399,167	450,344	480,979
STMicroelectronics NV	BBB	TMT	267,186	269,771	274,771	281,611	287,865	294,328	310,832	331,326
Stora Enso Oyj	BBB	Industry	280,793	289,693	302,093	313,593	329,993	347,393	377,893	397,493
Suedzucker AG	BBB	Consumers	277,593	282,615	293,937	307,256	324,679	342,102	378,317	401,722
Svenska Handelsbanken AB	AA	Financials	157,438	163,938	169,338	174,338	189,438	201,538	218,138	233,238
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA	Financials	131,138	133,511	139,108	147,080	159,714	172,349	177,576	189,202
Telefonica SA	BBB	TMT	283,793	288,262	295,249	304,023	321,753	339,484	376,539	401,593
Telekom Austria AG	A	TMT	138,714	139,632	141,852	146,311	152,862	158,684	175,683	188,390
Telenor ASA	A	TMT	141,236	141,122	145,857	150,925	157,591	164,257	176,247	184,742
Telia Co AB	BBB	TMT	268,593	269,552	275,990	282,812	288,393	304,022	313,678	324,993
Tesco PLC	BBB	Consumers	268,793	274,591	287,814	302,110	315,536	329,190	365,094	393,115
TotalEnergies SE	A	Energy	141,888	143,698	148,980	152,741	159,383	164,776	181,152	196,618
Unibail-Rodamco-Westfield SE	BBB	Industry	304,146	314,882	345,801	381,147	413,092	444,579	506,252	533,011
UniCredit SpA	BBB	Financials	298,314	305,019	316,949	330,808	343,215	354,327	373,072	386,258
Unilever PLC	A	Consumers	142,736	145,636	148,736	154,636	158,636	163,036	174,636	184,236
Veolia Environnement SA	BBB	Energy	266,993	271,920	279,805	286,654	297,217	307,781	323,977	339,372
Vinci SA	A	Industry	143,136	146,557	153,453	159,497	166,765	174,034	193,198	208,400
Vivendi SE	BBB	TMT	272,493	279,193	293,893	308,293	325,693	349,393	379,193	394,193
Vodafone Group PLC	BBB	TMT	275,493	278,977	289,315	300,377	314,459	328,540	354,300	377,648
Volkswagen AG	BBB	Industry	305,457	310,804	322,299	334,153	356,272	376,659	416,053	443,514
Wendel SE	BBB	Industry	282,793	291,459	310,140	326,435	348,106	369,778	395,504	411,822
WPP 2005 Ltd	BBB	TMT	276,393	284,122	300,576	314,568	331,976	349,383	370,805	391,829
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials	129,204	132,999	139,087	147,587	157,240	165,284	177,063	187,157
UBS Group AG	A	Financials	169,036	174,436	183,336	193,836	204,436	214,136	232,436	243,736

Annexe 6 : Courbes de spread choquées par Notation, des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS⁴⁹

Titre	Notation	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Aegon Ltd	BBB	Financials	316.057	322.508	332.249	343.207	355.466	367.339	384.993	398.594
Airbus SE	A	Industry	180.414	186.134	194.964	202.597	211.756	221.043	247.619	268.894
Electrolux AB	BBB	Consumers	328.489	345.289	377.889	406.289	437.789	477.589	493.189	506.689
Volvo AB	A	Industry	171.914	177.684	186.239	194.109	206.307	218.506	244.052	266.291
Akzo Nobel NV	BBB	Industry	312.889	320.377	327.206	340.240	356.522	372.804	390.859	405.628
Allianz SE	AA	Financials	169.759	170.580	174.896	179.906	186.094	192.983	203.960	212.816
Alstom SA	BBB	Industry	340.189	379.920	409.593	435.594	472.417	509.240	538.460	564.944
Anglo American PLC	BBB	Industry	320.153	326.159	349.537	373.302	410.553	447.166	503.579	527.158
Anheuser-Busch InBev SA/NV	A	Consumers	178.014	180.314	186.514	188.614	196.314	205.614	225.614	240.814
ArcelorMittal SA	BBB	Industry	324.995	342.840	376.560	408.557	451.334	495.172	559.025	575.389
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	327.389	333.105	340.989	353.379	366.589	378.276	393.428	407.907
AstraZeneca PLC	A	Industry	173.152	176.050	182.267	183.982	189.334	194.068	209.556	221.350
Aviva PLC	A	Financials	182.661	188.291	199.449	210.590	222.315	233.747	250.674	265.058
AXA SA	A	Financials	180.514	184.140	190.202	198.363	210.479	222.594	232.728	245.611
BAE Systems PLC	BBB	Industry	299.689	302.734	308.870	314.390	321.266	328.141	350.384	366.278
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	A	Financials	190.669	195.428	203.530	209.646	217.912	226.539	240.537	251.153
Banco Santander SA	A	Financials	187.520	189.678	198.680	208.074	217.307	226.192	240.681	250.812
Barclays PLC	BBB	Financials	353.889	360.103	371.381	379.657	396.351	413.045	426.700	444.873
BASF SE	A	Industry	174.514	180.583	187.657	194.021	208.872	223.722	248.335	271.033
Bayer AG	BBB	Industry	318.589	328.007	339.082	350.559	368.812	387.066	411.676	437.677
Bayerische Motoren Werke AG	A	Industry	176.137	180.840	188.438	197.393	211.234	224.778	252.323	273.198
Bertelsmann SE & Co KGaA	BBB	TMT	303.489	306.903	315.572	324.771	333.599	342.427	356.911	369.694
BNP Paribas SA	A	Financials	186.240	190.673	196.240	203.328	210.755	216.518	227.704	237.995
Bouygues SA	A	Industry	167.114	172.053	179.347	185.598	192.962	199.552	220.190	234.346
BP PLC	A	Energy	178.908	184.586	193.691	202.635	217.640	231.701	261.255	290.132
British American Tobacco PLC	BBB	Consumers	309.062	316.737	332.954	345.025	360.667	375.711	410.196	433.444
British Telecommunications PLC	BBB	TMT	311.991	315.091	327.325	341.402	361.634	380.791	424.591	454.704
Carlsberg Breweries AS	BBB	Consumers	299.989	302.306	307.039	312.826	319.424	326.022	337.269	350.339
Carrefour SA	BBB	Consumers	306.548	309.647	318.904	329.153	343.899	358.178	399.657	427.859
Centrica PLC	BBB	Energy	310.876	313.583	324.282	333.001	347.188	359.951	392.326	413.707
CNH Industrial NV	BBB	Industry	329.889	337.989	354.289	374.089	396.389	425.689	458.289	487.489
Commerzbank AG	A	Financials	206.614	217.514	236.914	251.614	266.914	282.914	310.114	330.014
Cie de Saint-Gobain SA	BBB	Industry	306.739	312.059	321.499	332.518	344.076	356.190	377.843	393.501
Compass Group PLC	A	Consumers	164.814	167.646	172.200	176.333	182.704	189.075	200.955	210.882
Continental AG	BBB	Industry	316.989	322.089	337.589	359.089	385.189	409.289	441.389	458.789
Cooperatieve Rabobank UA	A	Financials	179.014	183.214	190.014	197.714	206.414	216.214	234.114	254.814
Credit Agricole SA	A	Financials	180.932	182.994	188.596	194.685	203.191	211.705	221.521	231.594
Danone SA	BBB	Consumers	304.289	306.589	313.089	318.789	326.589	335.389	347.889	358.089
Danske Bank A/S	A	Financials	186.314	193.414	208.714	221.114	238.314	242.414	270.714	294.814
Deutsche Bank AG	A	Financials	216.113	223.431	233.718	248.383	258.710	268.785	293.303	313.847
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	306.239	308.718	314.184	319.091	325.901	332.737	350.748	365.709
Diageo PLC	A	Consumers	170.614	171.944	176.151	180.679	186.696	192.714	206.410	217.183
DSM BV	A	Industry	167.814	168.869	172.391	176.128	181.080	186.031	196.442	207.290
E.ON SE	BBB	Energy	307.193	309.604	317.206	324.363	335.468	348.230	367.934	384.787
EDP - Energias de Portugal SA	BBB	Energy	324.131	326.730	332.917	339.911	351.077	362.052	386.894	413.096
Electricite de France SA	BBB	Energy	330.057	337.369	347.106	353.910	369.247	388.489	418.296	451.285
ELO SACA	BBB	Consumers	329.689	343.318	379.303	423.312	469.716	516.121	565.384	584.294
Enel SpA	BBB	Energy	318.279	322.561	329.113	341.309	358.354	375.750	409.922	432.585
Engie SA	BBB	Energy	307.823	308.836	312.985	318.320	327.420	336.787	353.037	370.673
Eni SpA	A	Energy	178.643	183.475	190.254	199.216	210.673	221.499	247.024	268.046
Equinor ASA	AA	Energy	162.474	165.376	169.535	174.008	179.015	183.448	195.833	207.509
Fortum Oyj	BBB	Energy	318.989	319.962	323.602	332.166	345.070	357.973	373.735	388.590
Glencore International AG	BBB	Industry	337.714	339.910	358.817	376.896	413.803	448.960	504.261	521.374
GSK PLC	A	Industry	167.514	168.735	173.897	177.437	183.051	188.664	199.257	206.329
Hannover Rueck SE	AA	Financials	168.974	172.874	178.374	184.474	192.774	198.974	210.974	219.674
Heidelberg Materials AG	BBB	Industry	319.270	328.259	346.431	366.582	390.813	416.243	457.251	473.743
Heineken NV	BBB	Consumers	302.789	304.161	308.691	313.469	319.030	324.590	337.526	347.619
Henkel AG & Co KGaA	A	Consumers	167.614	171.216	172.762	176.477	180.866	185.255	194.029	204.102
Holcim AG	BBB	Industry	310.870	318.106	331.532	348.230	367.058	386.589	430.045	443.886
HSBC Holdings PLC	A	Financials	191.214	196.105	203.919	212.764	227.856	242.949	261.218	280.724
Iberdrola SA	BBB	Energy	306.410	308.974	315.271	323.572	333.720	343.540	365.388	382.753
Imperial Brands PLC	BBB	Consumers	307.689	315.289	333.689	347.989	364.189	380.289	420.489	453.489
ING Groep NV	A	Financials	181.414	187.906	196.562	205.658	218.095	230.532	246.248	266.641
Intesa Sanpaolo SpA	BBB	Financials	350.489	360.089	378.089	400.289	416.289	428.989	453.289	468.289
ITV PLC	BBB	TMT	320.789	327.885	344.416	361.836	399.796	437.755	474.159	493.492
Kering SA	A	Consumers	167.714	169.886	175.736	181.030	187.479	193.929	208.242	218.213
Koninklijke Ahold Delhaize NV	BBB	Consumers	299.289	300.996	306.339	311.529	318.283	325.037	337.623	349.631
Koninklijke KPN NV	BBB	TMT	302.189	304.775	312.689	322.008	333.268	344.528	375.122	393.993
Koninklijke Philips NV	BBB	Consumers	307.789	311.159	321.389	334.296	347.649	361.002	378.364	388.060
Air Liquide SA	A	Industry	168.214	169.639	172.384	175.408	180.043	184.678	197.174	205.470
LANXESS AG	BBB	Industry	343.589	362.960	396.928	439.011	471.265	503.520	541.821	560.719
Leonardo SpA	BBB	Industry	312.527	320.445	329.855	347.089	368.347	389.269	435.302	473.837
Lloyds Banking Group PLC	BBB	Financials	319.689	327.578	338.586	347.743	366.428	385.112	395.600	414.440
Louis Dreyfus Co BV	BBB	Consumers	334.873	337.664	356.712	374.823	401.035	432.168	463.041	483.541

LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	AA	Consumers	166,774	168,205	171,295	175,624	181,432	187,240	199,213	208,847
Mediobanca Banca di Credito Finanziario SpA	BBB	Financials	331,366	338,186	349,134	358,582	372,173	383,583	401,605	413,308
Mercedes-Benz Group AG	A	Industry	177,566	182,092	189,714	198,482	211,527	224,652	250,387	271,217
Muenchener Rueckversicherungs-Gesellschaft AG in Muenchen	AA	Financials	170,974	173,558	177,888	184,633	191,786	198,940	209,309	219,459
National Grid PLC	BBB	Energy	303,989	310,259	321,663	334,920	347,353	359,786	380,575	397,259
Naturgy Energy Group SA	BBB	Energy	330,389	331,055	333,281	336,724	347,694	358,664	379,352	394,235
NatWest Group PLC	BBB	Financials	323,689	332,889	346,889	355,489	371,689	383,989	404,689	425,989
Nestle SA	AA	Consumers	169,578	171,657	176,774	180,235	185,504	189,718	200,281	209,316
Next PLC	BBB	Consumers	308,489	313,674	323,851	336,807	360,103	383,400	417,740	445,736
Orange SA	BBB	TMT	297,889	300,305	305,217	311,064	318,403	325,742	343,854	358,015
Pearson PLC	BBB	TMT	301,019	307,097	317,745	328,489	341,910	354,865	389,411	415,977
Pernod Ricard SA	BBB	Consumers	301,989	304,089	309,189	313,689	320,089	324,489	340,089	347,989
PostNL NV	BBB	Industry	330,489	340,189	361,389	379,589	403,389	431,989	456,789	471,989
Prudential PLC	A	Financials	183,714	189,769	201,434	212,546	221,376	230,206	254,916	272,816
Publicis Groupe SA	BBB	TMT	301,789	306,289	315,189	328,189	339,889	354,589	381,089	402,789
Rentokil Initial PLC	BBB	Industry	308,989	313,389	326,189	339,489	353,189	367,889	394,589	412,589
Repsol SA	BBB	Energy	308,657	314,888	326,734	339,827	352,204	364,844	392,409	416,477
Sanofi SA	AA	Industry	167,474	172,085	179,004	183,581	190,299	197,016	208,396	218,148
SES SA	BBB	TMT	316,989	322,923	336,433	352,102	379,394	406,686	443,612	455,734
Shell PLC	A	Energy	168,798	172,907	179,064	183,954	192,396	199,240	216,266	234,407
Siemens AG	A	Industry	171,253	173,181	181,430	189,162	195,895	202,622	218,115	230,419
Sky Ltd	A	TMT	163,706	164,894	167,612	167,717	172,084	174,733	186,400	198,529
Smurfit Kappa Acquisitions ULC	BBB	Industry	305,289	316,589	327,389	335,789	350,189	363,389	395,589	416,289
Societe Generale SA	A	Financials	190,123	195,117	202,750	208,736	216,587	225,881	239,366	252,842
Sodexo SA	BBB	Consumers	298,289	300,891	305,909	309,650	315,276	320,902	335,358	349,237
Solvay SA	BBB	Industry	312,889	319,448	329,350	340,242	353,726	367,210	387,242	400,618
Standard Chartered PLC	BBB	Financials	326,289	330,833	341,626	354,755	366,291	377,826	402,596	424,598
Stellantis NV	BBB	Industry	319,689	326,945	345,106	370,912	401,738	432,563	483,741	514,375
STMicroelectronics NV	BBB	TMT	300,583	303,168	308,167	315,007	321,262	327,725	344,229	364,722
Stora Enso Oyj	BBB	Industry	314,189	323,089	335,489	346,989	363,389	380,789	411,289	430,889
Suedzucker AG	BBB	Consumers	310,989	316,011	327,333	340,652	358,075	375,499	411,713	435,118
Svenska Handelsbanken AB	AA	Financials	205,174	211,674	217,074	222,074	237,174	249,274	265,874	280,974
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA	Financials	178,874	181,246	186,844	194,815	207,450	220,085	225,312	236,937
Telefonica SA	BBB	TMT	317,189	321,659	328,645	337,419	355,150	372,880	409,935	434,989
Telekom Austria AG	A	TMT	165,292	166,210	168,430	172,889	179,440	185,262	202,261	214,967
Telenor ASA	A	TMT	167,814	167,700	172,435	177,503	184,169	190,835	202,825	211,319
Telia Co AB	BBB	TMT	301,989	302,948	309,386	316,209	321,789	337,419	347,075	358,389
Tesco PLC	BBB	Consumers	302,189	307,987	321,210	335,506	348,932	362,587	398,490	426,511
TotalEnergies SE	A	Energy	168,466	170,276	175,558	179,319	185,961	191,353	207,730	223,196
Unibail-Rodamco-Westfield SE	BBB	Industry	337,542	348,279	379,197	414,543	446,489	477,976	539,648	566,407
UniCredit Spa	BBB	Financials	331,711	338,416	350,345	364,204	376,611	387,724	406,469	419,654
Unilever PLC	A	Consumers	169,314	172,214	175,314	181,214	185,214	189,614	201,214	210,814
Veolia Environnement SA	BBB	Energy	300,389	305,316	313,201	320,050	330,614	341,177	357,374	372,768
Vinci SA	A	Industry	169,714	173,135	180,031	186,074	193,343	200,612	219,776	234,978
Vivendi SE	BBB	TMT	305,889	312,589	327,289	341,689	359,089	382,789	412,589	427,589
Vodafone Group PLC	BBB	TMT	308,889	312,373	322,711	333,774	347,855	361,936	387,696	411,045
Volkswagen AG	BBB	Industry	338,854	344,200	355,695	367,549	389,669	410,056	449,449	476,911
Wendel SE	BBB	Industry	316,189	324,855	343,536	359,831	381,503	403,174	428,900	445,218
WPP 2005 Ltd	BBB	TMT	309,789	317,518	333,972	347,965	365,372	382,780	404,202	425,225
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials	176,940	180,735	186,823	195,323	204,976	213,020	224,798	234,893
UBS Group AG	A	Financials	195,614	201,014	209,914	220,414	231,014	240,714	259,014	270,314

Annexe 7 : Courbes de spread choquées par (Notation, Secteur) des titres de l'iTRAXX Main Europe, avec secteur et notation équivalente CQS⁴⁹

Titre	Notation	Secteur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Aegon Ltd	BBB	Financials	306,906	313,357	323,098	334,056	346,315	358,188	375,841	389,443
Airbus SE	A	Industry	155,074	160,793	169,624	177,257	186,416	195,703	222,279	243,554
Electrolux AB	BBB	Consumers	315,067	331,867	364,467	392,867	424,367	464,167	479,767	493,267
Volvo AB	A	Industry	146,574	152,344	160,898	168,769	180,967	193,166	218,712	240,951
Akzo Nobel NV	BBB	Industry	348,266	355,754	362,582	375,617	391,899	408,181	426,235	441,005
Allianz SE	AA	Financials	113,092	113,912	118,229	123,239	129,427	136,315	147,293	156,148
Alstom SA	BBB	Industry	375,566	415,297	444,970	470,971	507,794	544,617	573,837	600,321
Anglo American PLC	BBB	Industry	355,530	361,536	384,914	408,679	445,930	482,543	538,955	562,535
Anheuser-Busch InBev SA/NV	A	Consumers	148,023	150,323	156,523	158,623	166,323	175,623	195,623	210,823
ArcelorMittal SA	BBB	Industry	360,372	378,216	411,936	443,934	486,711	530,549	594,402	610,765
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	318,238	323,954	331,838	344,227	357,438	369,125	384,277	398,756
AstraZeneca PLC	A	Industry	147,812	150,710	156,927	158,641	163,994	168,728	184,216	196,010
Aviva PLC	A	Financials	172,194	177,824	188,982	200,123	211,847	223,280	240,207	254,591
AXA SA	A	Financials	170,046	173,673	179,734	187,896	200,011	212,127	222,260	235,143
BAE Systems PLC	BBB	Industry	335,066	338,111	344,246	349,767	356,642	363,518	385,761	401,655
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	A	Financials	179,601	184,961	193,062	199,179	207,445	216,072	230,070	240,686
Banco Santander SA	A	Financials	177,053	179,211	188,213	197,606	206,840	215,725	230,214	240,345
Barclays PLC	BBB	Financials	344,738	350,952	362,229	370,506	387,200	403,894	417,609	435,722
BASF SE	A	Industry	149,174	155,243	162,317	168,681	183,531	198,382	222,995	245,693
Bayer AG	BBB	Industry	353,966	363,384	374,458	385,935	404,189	422,442	447,053	473,053
Bayerische Motoren Werke AG	A	Industry	150,797	155,500	163,098	172,053	185,894	199,438	226,983	247,858
Bertelsmann SE & Co KGaA	BBB	TMT	260,318	263,732	272,401	281,600	290,428	299,256	313,740	326,523
BNP Paribas SA	A	Financials	175,773	180,206	185,772	192,860	200,287	206,051	217,236	227,528
Bouygues SA	A	Industry	141,774	146,713	154,007	160,257	167,622	174,212	194,850	209,006
BP PLC	A	Energy	138,177	143,855	152,960	161,904	176,909	190,970	220,524	249,401
British American Tobacco PLC	BBB	Consumers	295,640	303,315	319,532	331,602	347,245	362,288	396,773	420,021
British Telecommunications PLC	BBB	TMT	268,819	271,920	284,154	298,231	318,462	337,620	381,420	411,533
Carlsberg Breweries AS	BBB	Consumers	286,567	288,883	293,617	299,404	306,002	312,599	323,846	336,916
Carrefour SA	BBB	Consumers	293,125	296,225	305,482	315,731	330,477	344,756	386,235	414,437
Centrica PLC	BBB	Energy	264,259	266,966	277,665	286,384	300,571	313,334	345,709	367,090
CNH Industrial NV	BBB	Industry	365,266	373,366	389,666	409,466	431,766	461,066	493,666	528,866
Commerzbank AG	A	Financials	196,146	207,046	226,446	241,146	256,446	272,446	299,646	319,546
Cie de Saint-Gobain SA	BBB	Industry	342,116	347,435	356,876	367,894	379,453	391,566	413,220	428,878
Compass Group PLC	A	Consumers	134,823	137,655	142,209	146,342	152,713	159,085	170,964	180,891
Continental AG	BBB	Industry	352,366	357,466	372,966	394,466	420,566	444,666	476,766	494,166
Cooperatieve Rabobank UA	A	Financials	168,546	172,746	179,546	187,246	195,946	205,746	223,646	244,346
Credit Agricole SA	A	Financials	170,465	172,526	178,128	184,218	192,723	201,238	211,054	221,127
Danone SA	BBB	Consumers	290,867	293,167	299,667	305,367	313,167	321,967	334,467	344,667
Danske Bank A/S	A	Financials	175,846	182,946	198,246	210,646	227,846	231,946	260,246	284,346
Deutsche Bank AG	A	Financials	205,645	212,964	223,251	237,915	248,243	258,318	282,836	303,380
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	263,068	265,547	271,013	275,920	282,730	289,565	307,577	322,538
Diageo PLC	A	Consumers	140,623	141,953	146,160	150,688	156,705	162,723	176,419	187,192
DSM BV	A	Industry	142,474	143,529	147,051	150,788	155,740	160,691	171,102	181,950
E.ON SE	BBB	Energy	260,576	262,987	270,589	277,746	288,851	301,613	321,317	338,170
EDP - Energias de Portugal SA	BBB	Energy	277,514	280,113	286,300	293,294	304,460	315,435	340,277	366,479
Electricite de France SA	BBB	Energy	283,440	290,752	300,490	307,293	322,631	341,872	371,680	404,668
ELO SACA	BBB	Consumers	316,267	329,896	365,881	409,889	456,294	502,699	551,962	570,871
Enel SpA	BBB	Energy	271,662	275,944	282,496	294,692	311,737	329,133	363,306	385,969
Engie SA	BBB	Energy	261,207	262,219	266,368	271,703	280,803	290,170	306,420	324,057
Eni SpA	A	Energy	137,912	142,744	149,523	158,485	169,942	180,768	206,293	227,315
Equinor ASA	AA	Energy	116,170	119,072	123,231	127,704	132,711	137,144	149,529	161,206
Fortum Oyj	BBB	Energy	272,373	273,345	276,985	285,550	298,453	311,356	327,118	341,974
Glencore International AG	BBB	Industry	373,091	375,287	394,194	412,273	449,179	484,336	539,637	556,751
GSK PLC	A	Industry	142,174	143,395	148,557	152,097	157,711	163,324	173,917	180,989
Hammer Ruck SE	AA	Financials	112,306	116,206	121,706	127,806	136,106	142,306	154,306	163,006
Heidelberg Materials AG	BBB	Industry	354,646	363,636	381,808	401,959	426,189	451,620	492,627	509,119
Heineken NV	BBB	Consumers	289,367	290,739	295,268	300,047	305,607	311,168	324,104	334,196
Henkel AG & Co KGaA	A	Consumers	137,623	141,225	142,771	146,486	150,875	155,264	164,038	174,111
Holcim AG	BBB	Industry	346,247	353,483	366,909	383,607	402,434	421,966	465,422	479,263
HSBC Holdings PLC	A	Financials	180,746	185,637	193,451	202,296	217,389	232,481	250,751	270,257
Iberdrola SA	BBB	Energy	259,793	262,357	268,654	276,955	287,103	296,923	318,771	336,136
Imperial Brands PLC	BBB	Consumers	294,267	301,867	320,267	334,567	350,767	366,867	407,067	440,067
ING Groep NV	A	Financials	170,946	177,438	186,094	195,190	207,627	220,064	235,781	256,174
Intesa Sanpaolo SpA	BBB	Financials	341,338	350,938	368,938	391,138	407,138	419,838	444,138	459,138
ITV PLC	BBB	TMT	277,618	284,714	301,245	318,665	356,624	394,584	430,988	450,321
Kering SA	A	Consumers	137,723	139,895	145,745	151,039	157,489	163,938	178,251	188,222
Koninklijke Ahold Delhaize NV	BBB	Consumers	285,867	287,574	292,916	298,107	304,861	311,615	324,200	336,209
Koninklijke KPN NV	BBB	TMT	259,018	261,604	269,518	278,836	290,096	301,356	331,950	350,822
Koninklijke Philips NV	BBB	Consumers	294,367	297,737	307,967	320,874	334,227	347,580	364,942	374,638
Air Liquide SA	A	Industry	142,874	144,299	147,044	150,067	154,703	159,338	171,834	180,130
LANXESS AG	BBB	Industry	378,966	398,337	432,305	474,387	506,642	538,896	577,198	596,096
Leonardo SpA	BBB	Industry	347,904	355,822	365,232	382,465	403,724	424,645	470,678	509,214
Lloyds Banking Group PLC	BBB	Financials	310,538	318,427	329,435	338,592	357,276	375,961	386,449	405,289
Louis Dreyfus Co BV	BBB	Consumers	321,451	324,242	343,290	361,401	387,612	418,746	449,619	470,118

LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton SE	AA	Consumers	133,063	134,494	137,584	141,913	147,721	153,529	165,502	175,136
Mediobanca Banca di Credito Finanziario SpA	BBB	Financials	322,214	329,035	339,983	349,431	363,021	374,432	392,454	404,157
Mercedes-Benz Group AG	A	Industry	152,226	156,752	164,374	173,142	186,187	199,312	225,047	245,877
Muenchener Rueckversicherungs-Gesellschaft AG in Muenchen	AA	Financials	114,306	116,890	121,220	127,966	135,119	142,272	152,642	162,792
National Grid PLC	BBB	Energy	257,373	263,643	275,046	288,304	300,737	313,170	333,959	350,642
Naturgy Energy Group SA	BBB	Energy	283,773	284,438	286,665	290,108	301,077	312,047	332,735	347,618
NatWest Group PLC	BBB	Financials	314,538	323,738	337,738	346,338	362,538	374,838	395,538	416,838
Nestle SA	AA	Consumers	135,867	137,946	143,063	146,524	151,793	156,008	166,570	175,605
Next PLC	BBB	Consumers	295,067	300,251	310,428	323,384	346,681	369,978	404,318	432,314
Orange SA	BBB	TMT	254,718	257,134	262,045	267,893	275,232	282,571	300,683	314,844
Pearson PLC	BBB	TMT	257,847	263,926	274,574	285,318	298,738	311,694	346,240	372,805
Pernod Ricard SA	BBB	Consumers	288,567	290,667	295,767	300,267	306,667	311,067	326,667	334,567
PostNL NV	BBB	Industry	365,866	375,566	396,766	414,966	438,766	467,366	492,166	507,366
Prudential PLC	A	Financials	173,246	179,301	190,966	202,078	210,908	219,738	244,448	262,349
Publicis Groupe SA	BBB	TMT	258,618	263,118	272,018	285,018	296,718	311,418	337,918	359,618
Rentokil Initial PLC	BBB	Industry	344,366	348,766	361,566	374,866	388,566	403,266	429,966	447,966
Repsol SA	BBB	Energy	262,040	268,272	280,117	293,211	305,587	318,228	345,792	369,861
Sanofi SA	AA	Industry	102,511	107,121	114,041	118,617	125,335	132,053	143,433	153,185
SES SA	BBB	TMT	273,818	279,751	293,262	308,931	336,222	363,514	400,441	412,563
Shell PLC	A	Energy	128,067	132,176	138,333	143,223	151,665	158,509	175,535	193,676
Siemens AG	A	Industry	145,913	147,841	156,090	163,822	170,555	177,282	192,775	205,079
Sky Ltd	A	TMT	119,103	120,290	123,008	123,113	127,480	130,129	141,796	153,925
Smurfit Kappa Acquisitions ULC	BBB	Industry	340,666	351,966	362,766	371,166	385,566	398,766	430,966	451,666
Societe Generale SA	A	Financials	179,655	184,650	192,282	198,269	206,119	215,413	228,898	242,375
Sodexo SA	BBB	Consumers	284,867	287,468	292,487	296,227	301,853	307,479	321,936	335,815
Solvay SA	BBB	Industry	348,266	354,825	364,727	375,619	389,103	402,587	422,619	435,995
Standard Chartered PLC	BBB	Financials	317,138	321,682	332,475	345,604	357,140	368,675	393,445	415,447
Stellantis NV	BBB	Industry	355,066	362,322	380,483	406,289	437,115	467,940	519,117	549,752
STMicroelectronics NV	BBB	TMT	257,411	259,996	264,996	271,836	278,091	284,553	301,057	321,551
Stora Enso Oyj	BBB	Industry	349,566	358,466	370,866	382,366	398,766	416,166	446,666	466,266
Suedzucker AG	BBB	Consumers	297,567	302,589	313,911	327,229	344,653	362,076	398,291	421,696
Svenska Handelsbanken AB	AA	Financials	148,506	155,006	160,406	165,406	180,506	192,606	209,206	224,306
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA	Financials	122,206	124,579	130,176	138,148	150,782	163,417	168,644	180,270
Telefonica SA	BBB	TMT	274,018	278,488	285,474	294,248	311,978	329,709	366,764	391,818
Telekom Austria AG	A	TMT	120,688	121,607	123,826	128,286	134,836	140,658	157,657	170,364
Telenor ASA	A	TMT	123,210	123,096	127,832	132,899	139,565	146,231	158,221	166,716
Telia Co AB	BBB	TMT	258,818	259,777	266,215	273,037	278,618	294,248	303,903	315,218
Tesco PLC	BBB	Consumers	288,767	294,565	307,788	322,084	335,510	349,164	385,068	413,089
TotalEnergies SE	A	Energy	127,735	129,545	134,827	138,588	145,230	150,622	166,999	182,465
Unibail-Rodamco-Westfield SE	BBB	Industry	372,919	383,655	414,574	449,920	481,865	513,353	575,025	601,784
UniCredit SpA	BBB	Financials	322,560	329,265	341,194	355,053	367,460	378,573	397,317	410,503
Unilever PLC	A	Consumers	139,323	142,223	145,323	151,223	155,223	159,623	171,223	180,823
Veolia Environnement SA	BBB	Energy	253,773	258,699	266,585	273,434	283,997	294,560	310,757	326,151
Vinci SA	A	Industry	144,374	147,795	154,691	160,734	168,003	175,272	194,436	209,638
Vivendi SE	BBB	TMT	262,718	269,418	284,118	298,518	315,918	339,618	369,418	384,418
Vodafone Group PLC	BBB	TMT	265,718	269,202	279,540	290,602	304,684	318,765	344,525	367,873
Volkswagen AG	BBB	Industry	374,231	379,577	391,072	402,926	425,046	445,433	484,826	512,288
Wendel SE	BBB	Industry	351,566	360,232	378,913	395,208	416,879	438,551	464,277	480,595
WPP 2005 Ltd	BBB	TMT	266,618	274,347	290,801	304,793	322,201	339,608	361,030	382,054
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials	120,273	124,068	130,155	138,656	148,308	156,352	168,131	178,225
UBS Group AG	A	Financials	185,146	190,546	199,446	209,946	220,546	230,246	248,546	259,846

Annexe 8 : Courbes de spread des titres de l'iTRAXX Main Europe choquées par approche de sensibilité des titres, avec notation équivalente CQS⁴⁹

Titre	Notatio	Secueur	6M	1Y	2Y	3Y	4Y	5Y	7Y	10Y
Aegon Ltd	BBB	Financials	217.976	224.427	234.168	245.126	257.385	269.258	286.911	300.513
Airbus SE	A	Industry	215.308	221.028	229.859	237.491	246.650	255.938	282.513	303.788
Electrolux AB	BBB	Consumers	230.408	247.208	279.808	308.208	339.708	379.508	395.108	408.608
Volvo AB	A	Industry	206.808	212.578	221.133	229.003	241.202	253.400	278.946	301.185
Akzo Nobel NV	BBB	Industry	214.808	222.296	229.124	242.159	258.441	274.723	292.777	307.547
Allianz SE	AA	Financials	206.694	207.514	211.831	216.841	223.028	229.917	240.895	249.750
Alstom SA	BBB	Industry	242.108	281.839	311.512	337.513	374.336	411.159	440.379	466.863
Anglo American PLC	BBB	Industry	222.072	228.078	251.456	275.221	312.472	349.085	405.497	429.077
Anheuser-Busch InBev SA/NV	A	Consumers	212.908	215.208	221.408	223.508	231.208	240.508	260.508	275.708
ArcelorMittal SA	BBB	Industry	226.914	244.758	278.478	310.476	353.253	397.091	460.944	477.307
Assicurazioni Generali SpA	BBB	Financials	229.308	235.024	242.908	255.297	268.508	280.194	295.347	309.826
AstraZeneca PLC	A	Industry	208.047	210.944	217.161	218.876	224.228	228.962	244.450	256.245
Aviva PLC	A	Financials	217.556	223.186	234.343	245.484	257.209	268.641	285.568	299.952
AXA SA	A	Financials	215.408	219.034	225.096	233.258	245.373	257.488	267.622	280.505
BAE Systems PLC	BBB	Industry	201.608	204.653	210.788	216.309	223.184	230.060	252.303	268.197
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	A	Financials	224.963	230.322	238.424	244.540	252.806	261.434	275.432	286.047
Banco Santander SA	A	Financials	222.414	224.572	233.575	242.968	252.202	261.086	275.575	285.707
Barclays PLC	BBB	Financials	255.808	262.022	273.299	281.576	298.270	314.964	328.679	346.792
BASF SE	A	Industry	209.408	215.478	222.551	228.915	243.766	258.616	283.229	305.927
Bayer AG	BBB	Industry	220.508	229.926	241.000	252.477	270.731	288.984	313.595	339.595
Bayerische Motoren Werke AG	A	Industry	211.031	215.734	223.332	232.287	246.128	259.673	287.217	308.092
Bertelsmann SE & Co KGaA	BBB	TMT	205.408	208.822	217.491	226.690	235.518	244.346	258.830	271.613
BNP Paribas SA	A	Financials	221.134	225.568	231.134	238.222	245.649	251.413	262.598	272.889
Bouygues SA	A	Industry	202.008	206.948	214.241	220.492	227.856	234.447	255.085	269.240
BP PLC	A	Energy	213.802	219.481	228.586	237.530	252.535	266.595	296.149	325.026
British American Tobacco PLC	BBB	Consumers	210.981	218.656	234.873	246.944	262.586	277.630	312.114	335.363
British Telecommunications PLC	BBB	TMT	213.909	217.010	229.244	243.321	263.553	282.710	326.510	356.623
Carlsberg Breweries AS	BBB	Consumers	201.908	204.224	208.958	214.745	221.343	227.941	239.188	252.258
Carrefour SA	BBB	Consumers	208.467	211.566	220.823	231.072	245.818	260.097	301.576	329.778
Centrica PLC	BBB	Energy	212.795	215.502	226.201	234.920	249.106	261.869	294.245	315.626
CNH Industrial NV	BBB	Industry	231.808	239.908	256.208	276.008	298.308	327.608	360.208	389.408
Commerzbank AG	A	Financials	241.508	252.408	271.808	286.508	301.808	317.808	345.008	364.908
Cie de Saint-Gobain SA	BBB	Industry	208.658	213.977	223.418	234.436	245.995	258.108	279.762	295.420
Compass Group PLC	A	Consumers	199.708	202.540	207.095	211.227	217.598	223.970	235.849	245.776
Continental AG	BBB	Industry	218.908	224.008	239.508	261.008	287.108	311.208	343.308	360.708
Cooperative Rabobank UA	A	Financials	213.908	218.108	224.908	232.608	241.308	251.108	269.008	289.708
Credit Agricole SA	A	Financials	215.826	217.888	223.490	229.579	238.085	246.599	266.416	266.488
Danone SA	BBB	Consumers	206.208	208.508	215.008	220.708	228.508	237.308	249.808	260.008
Danske Bank A/S	A	Financials	221.208	228.308	243.608	256.008	273.208	277.308	305.608	329.708
Deutsche Bank AG	A	Financials	251.007	258.326	268.613	283.277	293.604	303.679	328.198	348.742
Deutsche Telekom AG	BBB	TMT	208.158	210.637	216.103	221.010	227.820	234.655	252.667	267.628
Diageo PLC	A	Consumers	205.508	206.838	211.045	215.573	221.591	227.608	241.304	252.077
DSM BV	A	Industry	202.708	203.764	207.285	211.022	215.974	220.926	231.337	242.184
E.ON SE	BBB	Energy	209.111	211.523	219.125	226.282	237.386	250.148	269.853	286.705
EDP - Energias de Portugal SA	BBB	Energy	226.049	228.649	234.836	241.830	252.996	263.971	288.813	315.015
Electricite de France SA	BBB	Energy	231.976	239.288	249.025	255.829	271.166	290.408	320.215	353.204
ELO SACA	BBB	Consumers	231.608	245.237	281.222	325.230	371.635	418.040	467.303	486.213
Enel SpA	BBB	Energy	220.198	224.479	231.032	243.228	260.272	277.669	311.841	334.504
Engie SA	BBB	Energy	209.742	210.754	214.904	220.239	229.339	238.706	254.955	272.592
Eni SpA	A	Energy	213.537	218.369	225.148	234.110	245.567	256.393	281.918	302.940
Equinor ASA	AA	Energy	199.408	202.310	206.469	210.942	215.949	220.382	232.767	244.444
Fortum Oyj	BBB	Energy	220.908	221.881	225.521	234.085	246.989	259.892	275.654	290.509
Glencore International AG	BBB	Industry	229.633	241.829	260.736	278.815	315.721	350.878	406.179	423.293
GSK PLC	A	Industry	202.408	203.630	208.792	212.331	217.945	223.558	234.151	241.224
Hannover Rueck SE	AA	Financials	205.908	209.808	215.308	221.408	229.708	235.908	247.908	256.608
Heidelberg Materials AG	BBB	Industry	221.188	230.178	248.350	268.501	292.731	318.162	359.169	375.661
Heineken NV	BBB	Consumers	204.708	206.080	210.609	215.388	220.948	226.509	239.445	249.537
Henkel AG & Co KGaA	A	Consumers	202.508	206.110	207.656	211.371	215.760	220.149	228.924	238.996
Holcim AG	BBB	Industry	212.789	220.025	233.451	250.149	268.977	288.508	331.964	345.805
HSBC Holdings PLC	A	Financials	226.108	230.999	238.813	247.658	262.751	277.843	296.112	315.618
Iberdrola SA	BBB	Energy	208.328	210.893	217.190	225.491	235.639	245.459	267.307	284.671
Imperial Brands PLC	BBB	Consumers	209.608	217.208	235.608	249.908	266.108	282.208	322.408	355.408
ING Groep NV	A	Financials	216.308	222.800	231.456	240.552	252.989	265.426	281.142	301.536
Intesa Sanpaolo SpA	BBB	Financials	252.408	262.008	280.008	302.208	318.208	330.908	355.208	370.208
ITV PLC	BBB	TMT	222.708	229.804	246.335	263.755	301.714	339.674	376.078	395.411
Kering SA	A	Consumers	202.608	204.780	210.631	215.925	222.374	228.823	243.136	253.107
Koninklijke Ahold Delhaize NV	BBB	Consumers	201.208	202.915	208.257	213.448	220.202	226.956	239.542	251.550
Koninklijke KPN NV	BBB	TMT	204.108	206.694	214.608	223.927	235.186	246.446	277.040	295.912
Koninklijke Philips NV	BBB	Consumers	209.708	213.078	223.308	236.215	249.568	262.921	280.283	289.979
Air Liquide SA	A	Industry	203.108	204.533	207.278	210.302	214.937	219.573	232.068	240.365
LANXESS AG	BBB	Industry	245.508	264.879	298.847	340.929	373.184	405.438	443.740	462.638
Leonardo SpA	BBB	Industry	214.446	222.364	231.774	249.007	270.266	291.187	337.220	375.756
Lloyds Banking Group PLC	BBB	Financials	221.608	229.497	240.505	249.662	268.346	287.031	297.519	316.359

Louis Dreyfus Co BV	BBB	Consumers	236,792	239,583	258,631	276,742	302,953	334,087	364,960	385,459
LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SE	AA	Consumers	203,708	205,139	208,229	212,558	218,366	224,175	236,147	245,781
Mediobanca Banca di Credito Finanziario SpA	BBB	Financials	233,284	240,105	251,053	260,501	274,091	285,502	303,524	315,227
Mercedes-Benz Group AG	A	Industry	212,460	216,986	224,609	233,376	246,421	259,546	285,281	306,112
Muenchener Rueckversicherungs-Gesellschaft AG in Muenchen	AA	Financials	207,908	210,492	214,822	221,568	228,721	235,874	246,244	256,394
National Grid PLC	BBB	Energy	205,908	212,178	223,582	236,839	249,272	261,705	282,494	299,178
Naturgy Energy Group SA	BBB	Energy	232,308	232,974	235,200	238,643	249,613	260,583	281,271	296,153
NatWest Group PLC	BBB	Financials	225,608	234,808	248,808	257,408	273,608	285,908	306,608	327,908
Nestle SA	AA	Consumers	206,512	208,591	213,708	217,170	222,438	226,653	237,216	246,250
Next PLC	BBB	Consumers	210,408	215,593	225,769	238,726	262,022	285,319	319,659	347,655
Orange SA	BBB	TMT	199,808	202,224	207,136	212,983	220,322	227,661	245,773	259,934
Pearson PLC	BBB	TMT	202,937	209,016	219,664	230,408	243,828	256,784	291,330	317,896
Pernod Ricard SA	BBB	Consumers	203,908	206,008	211,108	215,608	222,008	226,408	242,008	249,908
PostNL NV	BBB	Industry	232,408	242,108	263,308	281,508	305,308	333,908	358,708	373,908
Prudential PLC	A	Financials	218,608	224,663	236,328	247,440	256,270	265,100	289,810	307,711
Publicis Groupe SA	BBB	TMT	203,708	208,208	217,108	230,108	241,808	256,508	283,008	304,708
Rentokil Initial PLC	BBB	Industry	210,908	215,308	228,108	241,408	255,108	269,808	296,508	314,508
Repsol SA	BBB	Energy	210,576	216,807	228,652	241,746	254,123	266,763	294,328	318,396
Sanofi SA	AA	Industry	204,408	209,019	215,938	220,515	227,233	233,951	245,330	259,892
SES SA	BBB	TMT	218,908	224,842	238,352	254,021	281,313	308,604	345,531	357,653
Shell PLC	A	Energy	203,692	207,801	213,959	218,849	227,290	234,134	251,160	269,301
Siemens AG	A	Industry	206,148	208,075	216,325	224,056	230,789	237,517	253,009	265,313
Sky Ltd	A	TMT	198,601	199,788	202,506	202,611	206,978	209,627	221,294	233,424
Smurfit Kappa Acquisitions ULC	BBB	Industry	207,208	218,508	229,308	237,708	252,108	265,308	297,508	318,208
Societe Generale SA	A	Financials	225,017	230,011	237,644	243,630	251,481	260,775	274,260	287,737
Sodexo SA	BBB	Consumers	200,208	202,809	207,828	211,569	217,195	222,820	237,277	251,156
Solvay SA	BBB	Industry	214,808	221,367	231,269	242,161	255,645	269,129	289,161	302,537
Standard Chartered PLC	BBB	Financials	228,208	232,752	243,545	256,674	268,210	279,745	304,515	326,517
Stellantis NV	BBB	Industry	221,608	228,864	247,025	272,831	303,657	334,482	385,659	416,294
STMicroelectronics NV	BBB	TMT	202,501	205,086	210,086	216,926	223,181	229,643	246,148	266,641
Stora Enso Oyj	BBB	Industry	216,108	225,008	237,408	248,908	265,308	282,708	313,208	332,808
Suedzucker AG	BBB	Consumers	212,908	217,930	229,252	242,571	259,994	277,417	313,632	337,037
Svenska Handelsbanken AB	AA	Financials	242,108	248,608	254,008	259,008	274,108	286,208	302,808	317,908
Swiss Reinsurance Co Ltd	AA	Financials	215,808	218,181	223,778	231,750	244,384	257,019	262,246	273,872
Telefonica SA	BBB	TMT	219,108	223,578	230,564	239,338	257,069	274,799	311,854	336,908
Telekom Austria AG	A	TMT	200,186	201,105	203,325	207,784	214,334	220,156	237,156	249,862
Telenor ASA	A	TMT	202,708	202,594	207,330	212,397	219,063	225,729	237,719	246,214
Telia Co AB	BBB	TMT	203,908	204,867	211,305	218,127	223,708	239,338	248,993	260,308
Tesco PLC	BBB	Consumers	204,108	209,906	223,129	237,425	250,851	264,506	300,409	328,430
TotalEnergies SE	A	Energy	203,360	205,171	210,453	214,213	220,855	226,248	242,625	258,090
Unibail-Rodamco-Westfield SE	BBB	Industry	239,461	250,198	281,116	316,462	348,407	379,895	441,567	468,326
UniCredit SpA	BBB	Financials	233,630	240,335	252,264	266,123	278,530	289,642	308,387	321,573
Unilever PLC	A	Consumers	204,208	207,108	210,208	216,108	220,108	224,508	236,108	245,708
Veolia Environnement SA	BBB	Energy	202,308	207,235	215,120	221,969	232,532	243,096	259,293	274,687
Vinci SA	A	Industry	204,608	208,029	214,926	220,969	228,238	235,507	254,671	269,872
Vivendi SE	BBB	TMT	207,808	214,508	229,208	243,608	261,008	284,708	314,508	329,508
Vodafone Group PLC	BBB	TMT	210,808	214,292	224,630	235,692	249,774	263,855	289,615	312,964
Volkswagen AG	BBB	Industry	240,773	246,119	257,614	269,468	291,588	311,975	351,368	378,830
Wendel SE	BBB	Industry	218,108	226,774	245,455	261,750	283,421	305,093	330,819	347,137
WPP 2005 Ltd	BBB	TMT	211,708	219,437	235,891	249,883	267,291	284,698	306,121	327,144
Zurich Insurance Co Ltd	AA	Financials	213,875	217,669	223,757	232,258	241,910	249,954	261,733	271,827
UBS Group AG	A	Financials	230,508	235,908	244,808	255,308	265,908	275,608	293,908	305,208