



### Résumé :

Lors de la crise financière de 2008, la nouvelle régulation met en exergue un nouvel objectif, celui de se prémunir contre le risque de contrepartie. En effet, les institutions financières ont longtemps négligé ce risque du fait que les montants engagés dans les portefeuilles étaient modestes et la probabilité de défaut des agents était faible. Cependant, l'ampleur de ce risque a augmenté avec le temps et sa prise en compte dans la valorisation des instruments financiers est devenue d'une nécessité majeure.

L'ajustement de valeur qui s'effectue sur un produit financier pour que celui-ci prenne en compte le risque de contrepartie s'appelle la Credit Value Adjustment(CVA).

Notre stage au sein de la salle des marchés d'attijariwafa bank, a eu pour objectif principal d'implémenter un outil sous VBA qui permet de mesurer l'ajustement en question sur quelques produits de la salle.

## Remerciement

*C'est avec grand plaisir que nous rédigeons ces quelques lignes pour illustrer notre immense gratitude envers toute personne ayant veillé à la réussite de ce projet.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier très chaleureusement notre encadrant au sein de l'institut national de statistiques et d'économie appliquée Mr. Yassine ELQALLI pour son encadrement qui était des plus exemplaires. Ses fructueux conseils, ses précieuses directives et ses efforts considérables pour nous faciliter le travail.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance et remerciements à notre encadrant de stage Mr. Yassine MADFOUNE pour son accueil, sa confiance, son aide et sa gentillesse tout au long du stage, qui ont fait de ces quatre mois un moment très intéressant et enrichissant.*

*Nos remerciements s'adressent également à Mr.KADRANI pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Nous saisissons cette occasion pour remercier ainsi tout le corps professoral de l'institut national de statistiques et d'économie appliquée, pour la qualité de son enseignement tout au long de ces trois années de formation.*

*Enfin pour tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et de nos remerciements.*

## Dédicace

*Je dédie ce travail,*

*A mes parents,*

*D'avoir toujours cru en moi .Votre amour et vos prières N'ont toujours accompagné et donné force et confiance en moi —même. Que dieu vous procure santé, bonheur et longue vie.*

*A mes frères Badr, Hamza et Taha,*

*Je vous souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite et j'espère que vous voyez en moi le bon exemple d'une sœur aînée.*

*A ma tante Meriem et sa fille Rania,*

*Pour avoir toujours été là à me soutenir et me venir en aide.*

*A ma meilleure amie Amina,*

*Pour son amour, son amitié, sa patience et son attention.*

*A ma binôme nihal,*

*Pour les beaux moments qu'on a partagé ensemble.*

*A ma famille et tous mes am(e) s,*

*D'être toujours à mes côtés, je vous aime.*

**TMANE.**

## Dédicace

---

*A mon cher père,*

*Pour son amour, son soutien moral et tout simplement pour avoir été là pour moi dans mes moments de joie et d'échec. Tu resteras toujours mon meilleur exemple dans la vie.*

*A ma tendre mère,*

*Pour m'avoir éclairé le chemin et pour toutes ses prières, pour tous les sacrifices qu'elle a faits pour faire de moi ce que je suis maintenant, pour son soutien permanent et sa bénédiction.*

*A ma chère sœur Fatima Zahrae,*

*Pour avoir toujours été là pour me rendre la joie aux yeux et d'avoir fait preuve de persévérance et d'assiduité afin de pouvoir dupliquer l'image de sa sœur dans ce qu'elle admire.*

*A mon fiancé,*

*Zui a rendu cette période de stage la plus importante de ma vie, et pour le soutien qu'il n'a cessé de m'accorder, à sa patience, sa compréhension mutuelle et surtout sa bonne humeur .*

*A ma chère binôme Imane,*

*Pour son travail remarquable, son soutien, et surtout pour son compréhension*

*A mes très chers Nabil, Amine, Youssef, Anass,*

*Pour leur amour, leur amitié, leur soutien et leur aide tout au long de mon cursus.*

*A toute ma famille, à tous mes amis et professeurs de l'MSEA.*

*MHAL.*

## Table des matières

Résumé : .....	2
Remerciement.....	3
Dédicace .....	4
Table des matières .....	6
Liste des tableaux .....	9
Liste des figures .....	10
Liste des abréviations .....	11
Introduction générale.....	12
Chapitre préliminaire: Présentation de l'organisme d'accueil .....	13
I. Présentation du Groupe AttijariWafa Bank.....	14
1. Implantation d'AttijariWafa Bank sur le continent.....	14
2. Organigramme :.....	15
II. Présentation de la Banque de Financement et d'Investissement Groupe d'AttijariWafa Bank .....	16
1. Les métiers de la BFIG d'AttijariWafa Bank.....	16
2. Organigramme de la BFIG .....	17
Chapitre 1 : Présentation du cadre réglementaire du projet .....	21
I. Introduction .....	23
II. IFRS 13 et la valorisation à la juste valeur.....	23
III. Bale 3 en termes de valorisation des instruments financiers.....	24
Chapitre 2 : .....	27
Données de Marché.....	27
I. Données de taux : .....	29
1. Le Taux d'intérêt: .....	29
2. Interpolation des taux :.....	29
3. Actualisation d'un titre financier : .....	30
4. Courbe des taux :.....	31
5. Taux forward .....	33

# Sommaire

---

6.	Taux du marché.....	33
II.	Volatilité.....	35
	Définitions et caractéristiques .....	35
1.	Types de volatilité .....	35
2.	Utilisation de la volatilité pour la valorisation des options sur change à terme :.....	36
3.	Volatilité du cours EUR/MAD :.....	37
Chapitre 3 : .....		39
Valorisation des instruments financiers .....		39
I.	La valorisation des options de change : .....	41
1.	Définition : .....	41
2.	Déterminants de la valeur d'une option de change .....	41
3.	Le modèle Black, scholes et Merton pour valoriser une option:.....	43
3.	Le Modèle Garman Kohlhagen pour évaluer le prix d'une option: .....	45
4.	application .....	47
II.	La valorisation des swaps de taux :.....	49
1.	Définition : .....	49
2.	Caractéristiques du swap de taux : .....	49
3.	Caractéristiques de la jambe fixe du SWAP : .....	50
4.	Caractéristiques de la jambe variable du SWAP :.....	50
5.	Elaboration d'un pricer de SWAP de taux .....	51
III.	La valorisation des swaptions : .....	54
1.	Définition : .....	54
2.	Préliminaire : .....	55
3.	Valorisation des swaptions :.....	55
IV.	La valorisation d'un change à terme : .....	57
1.	Définition : .....	57
2.	Pratique.....	57
3.	Valorisation du change à terme :.....	58
4.	Application :.....	59
Chapitre 4 : .....		62
La mise en place de la CVA.....		62
I.	L'ajustement en valeur de crédit(CVA): .....	64

# Sommaire

---

1.	Définition : .....	64
2.	CVA unilatérale et CVA bilatérale .....	64
3.	Modélisation mathématique de la CVA .....	65
II.	Hypothèse de calcul de la CVA : .....	65
III.	Formule explicite de la CVA : .....	66
IV.	Estimation des paramètres de la CVA : .....	67
1.	Estimation de la perte en cas de défaut (Loss Given Default –LGD) : .....	67
2.	Estimation des Probabilités de défaut (PD) : .....	68
4.	Estimation de l'Exposition au Défaut (EAD) : .....	69
V.	Méthode de simulation .....	73
1.	Présentation de la méthode de Monte Carlo .....	74
2.	La génération des scénarios : .....	75
VI.	Méthode des sensibilités : .....	76
VII.	Définition des grecques : .....	78
VIII.	Résultats de calcul de la CVA : .....	80
1.	Résultats de calcul de la CVA pour des options de change : .....	80
2.	Résultats de calcul de la CVA pour un swap de taux: .....	84
3.	Résultats de calcul de la CVA pour un change à terme: .....	87
	Conclusion.....	89
	Bibliographie .....	90
	Annexe : .....	92

**Liste des tableaux**

**Tableau 1 : courbe EURIBOR 6M au 31/12/2015**

**Tableau2: surface de volatilité EUR USD au 31/12/2015**

**Tableau 3: Surface de strike EUR/USD pour chaque delta et maturité au 31/12/2015**

**Tableau 4: composition du panier MAD et cours de change au 31/12/2015**

**Tableau 5: Résultat de calcul de la CVA pour option de change**

**Tableau 6: Résultat de calcul de l'exposition par la méthode des swaptions.**

**Tableau 7: Résultat du calcul de la CVA pour un swap payeur du fixe**

## Liste des figures

**Figure 1 : organigramme d'AttijariWafa Bank groupe**

**Figure 2 : organigramme de la BFIG**

**Figure 3 : organigramme des exigences en fonds propres**

**Figure 4 : interface du pricer des options de change sur Excel**

**Figure 5 : interface du pricer des swaps de taux sur excel**

**Figure 6: interface du pricer du change à terme sur Excel.**

**Figure 7: Simulation (DJS) de l'exposition au défaut.**

**Figure8: Simulation (DJS) de l'exposition au défaut.**

**Figure 9: Interface de l'outil de calcul de la CVA pour option de change**

### Liste des abréviations

**ATW:** Attijari Wafa Bank

**CDS:** Credit Default Swap

**CVA:** Credit Value Adjustment

**DF:** Discount Factor

**DJS:** Direct Jump Simulation

**DVA :**Debit Value Adjustment

**EaD :** Exposition au Défaut

**FX:** Forex

**IFRS:** International Accounting Standards

**LGD:** Loss Given Default

**MtM:** Mark to Market

**PD :** Probabilité de défaut

**PDS :** Path Dependant Simulation

**VBA:** Visual Basic for Applications

**ZC:** Zéro Coupon

## Introduction générale

Depuis la crise économique et financière de 2008, les institutions financières doivent faire face au risque de contrepartie lié aux instruments financiers dérivés qui prend de plus en plus d'ampleur. Désormais, le contexte réglementaire et comptable en matière de communication financière exige la prise en compte de ce risque dans la valorisation des instruments financiers.

Les dispositifs de calcul et de modélisation interne, dont les banques devront se doter pour les nouvelles normes comptables notamment IFRS13 et les accords de bâte3, créent des besoins techniques importants.

La nouvelle réglementation recommande la mise en place d'un outil qui permet de prendre en compte le risque de contrepartie dans la réévaluation des instruments financiers en calculant la CVA comptable. La problématique de notre stage est étroitement liée à ce dernier concept.

Il s'agira dans un premier temps, de présenter le cadre réglementaire dans lequel s'effectuera le calcul de la CVA et les données de marché nécessaires à notre étude à savoir le taux d'intérêt, le taux forward et la volatilité.

Nous allons ensuite définir les modèles de valorisation des produits Vanilles retenus pour ce travail et sur lesquels la CVA sera calculée, à savoir les options de change, les swaps de taux et le change à terme, ainsi que présenter les résultats de l'implémentation de ces modèles de pricing sous le langage VBA.

Enfin nous allons entamer la CVA, sa définition, ses propriétés, les hypothèses de son calcul, les méthodes d'estimation de ses paramètres, sa modélisation et l'implémentation de ses pricers pour des dérivés vanille .

**CHAPITRE PRÉLIMINAIRE:  
PRÉSENTATION DE L'ORGANISME  
D'ACCUEIL**

### I. Présentation du Groupe AttijariWafa Bank

Situé au 1er rang des banques du Maghreb et à la 8ème place à l'échelle africaine, le Groupe Attijariwafa Bank compte aujourd'hui parmi les acteurs clés du développement économique marocain. Dotée d'une assise financière solide, d'un capital de savoir-faire diversifié et d'outils d'expertise modernes, Attijariwafa Bank a su relever le défi majeur qu'elle s'était fixé : construire un modèle de référence et disposer d'une taille lui permettant de se déployer dans tous les métiers bancaires et financiers dans les meilleures conditions d'efficacité et de rentabilité, tant sur le marché intérieur en recherchant de nouvelles voies de croissance, qu'en dehors des frontières à travers un plan de développement régional ambitieux. Une position stratégique qui l'engage constamment à se dépasser, en respectant des règles strictes particulièrement en matière de gestion des ressources humaines, de management des risques et de conformité.

#### 1. Implantation d'AttijariWafa Bank sur le continent

Née de la fusion de la Banque Commerciale du Maroc et de WafaBank en 2003, le groupe AttijariWafa Bank est présent dans 24 pays dont notamment le Maroc où il est basé, en Afrique (Tunisie, Mauritanie, zone UEMOA et CEMAC) et en Europe (Belgique, France, Allemagne, Pays Bas, Italie et Espagne). Dotée d'une assise financière solide, d'un capital de savoir-faire diversifié et d'outils d'expertises modernes, AttijariWafa Bank a réussi à assurer à ses clients des services bancaires de qualité et à occuper une position de leader national incontesté des crédits à l'économie et des crédits à la consommation, des activités de Corporate Banking et de banque d'investissement, de la gestion d'actifs et des métiers de la bourse, du leasing et de la bancassurance. Aujourd'hui, AttijariWafa Bank compte 6,8 millions de clients et 16 081 collaborateurs. Leader de la

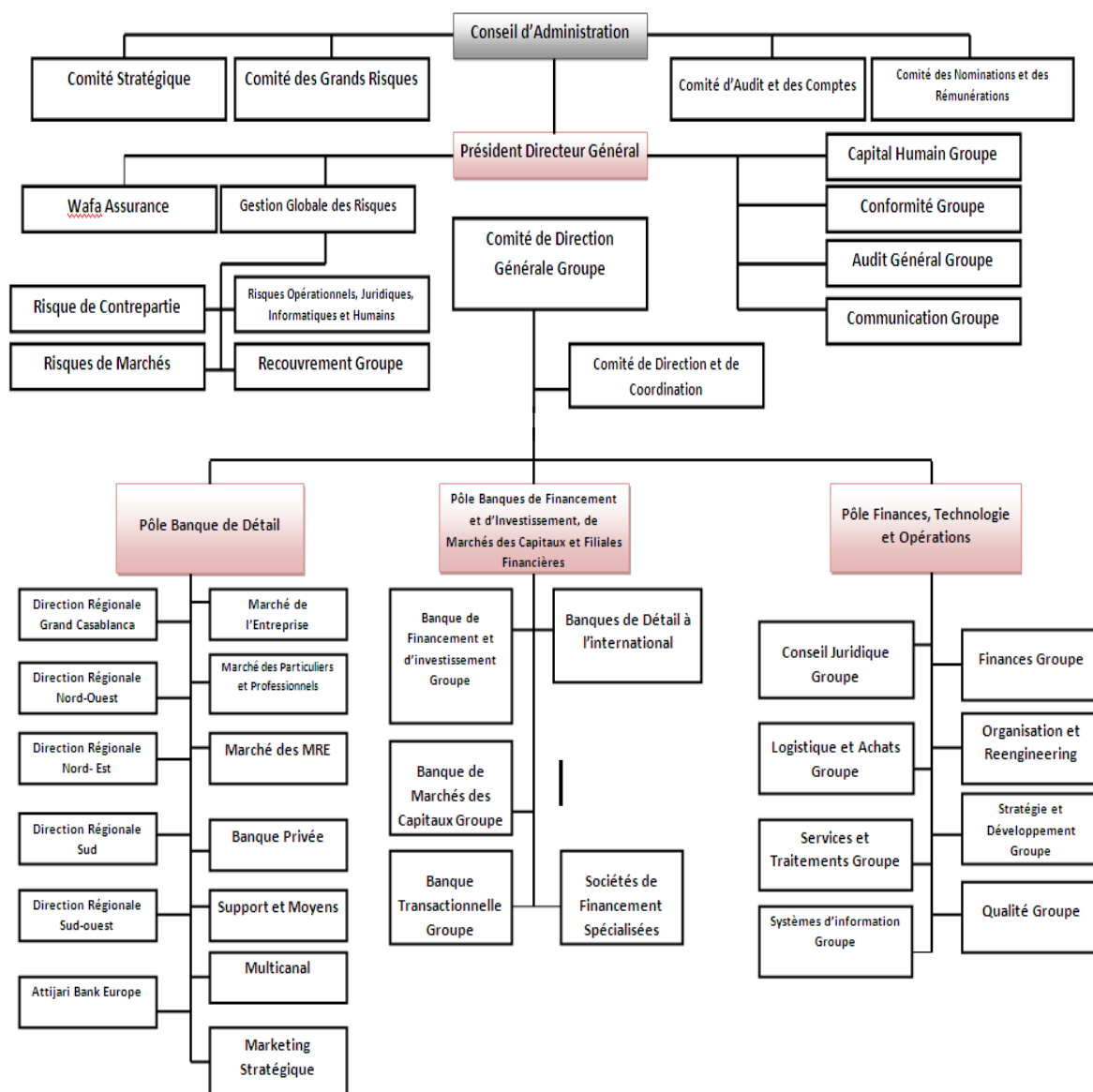


# Chapitre préliminaire : Présentation de l'organisme d'accueil

région du Maghreb le Groupe se donne pour priorité la proximité avec ses clients et les met au cœur de sa stratégie via son ambitieux programme de bancarisation et ses efforts d'innovation continus.

## 2. Organigramme :

Pour offrir une meilleure réactivité et une plus grande proximité à la clientèle. Nous retrouvons trois pôles moteurs du développement du groupe :



**Figure 1 : organigramme d'AttijariWafa Bank groupe**

### ***II. Présentation de la Banque de Financement et d'Investissement Groupe d'AttijariWafa Bank***

Depuis le démarrage du processus de libéralisation des marchés financiers au Maroc, le Groupe AttijariWafa Bank a activement accompagné sa clientèle dans l'identification des opportunités et des risques inhérents à un environnement de plus en plus globalisé. La Banque de Financement et d'Investissement groupe d'AttijariWafa Bank, qui regroupe la gestion d'actifs, l'intermédiation boursière, les marchés des capitaux et la conservation des titrés, a su bâtir un modèle de développement solide, en adéquation avec les mutations, aspirations et spécificités plurielles dans lesquelles évoluent les opérateurs économiques marocains et régionaux. Ce modèle s'appuie notamment sur une offre innovante intégrée, un engagement de tout instant de ses équipes et une grande complémentarité de ses compétences métiers. Plaçant ses valeurs d'éthique, d'engagement et de respect, au centre de son projet et de son dispositif commercial, les équipes de la Banque de Financement et d'Investissement s'attachent à servir leurs clients, au regard d'une histoire commune, avec diligence et professionnalisme.

#### **1. Les métiers de la BFIG d'AttijariWafa Bank**

##### **1.1. Capital Markets**

Reconnue pour son expertise et pour ses prestations d'excellence, l'équipe Capital Markets est le relai privilégié sur les marchés des capitaux domestiques ou internationaux. Leur vocation est d'accompagner le client, que ce soit sur le marché des changes, des taux ou des matières premières, sur tous les compartiments de marché qui conditionnent au quotidien le déploiement stratégique de ses activités.

##### **1.2 Wafa Gestion**

Adossée à deux actionnaires de référence internationale, Attijariwafa Bank (66%) et Amundi (34%), Wafa Gestion occupe une position historique de leader de la gestion d'actifs pour le compte de tiers, aussi bien par les encours sous gestion que par son approche multi-

## Chapitre préliminaire : Présentation de l'organisme d'accueil

---

expertises.

### **1.3 Attijari Intermédiation**

Forte de son appartenance au Groupe Attijariwafa Bank ; leader dans les métiers de la finance de marché, Attijari Intermédiation compte à son palmarès les principales opérations de la Bourse de Casablanca et a initié la première opération de double cotation à l'international. Ses rapports d'Analyse et Recherche sont reconnus pour leur pertinence et crédibilité.

### **1.4 Wafa Bourse**

A travers une plateforme technologique, Wafabourse.com met à la disposition de ses clients une offre complète de produits de placements et de services accessibles sur son site web [www.wafabourse.com](http://www.wafabourse.com) Leur principal objectif est de démocratiser et faciliter la gestion de l'épargne au plus grand nombre.

### **1.5 Custody**

Constituant l'interface commerciale privilégiée de la clientèle institutionnelle locale et étrangère sur la totalité de la chaîne des métiers titres, Le Custody assure un service personnalisé et de proximité, permettant une gestion efficace et transparente. Le Custody offre une palette diversifiée de services contribuant de manière efficiente au bon dénouement des opérations sur titres pour tous les opérateurs.

## **2. Organigramme de la BFIG**

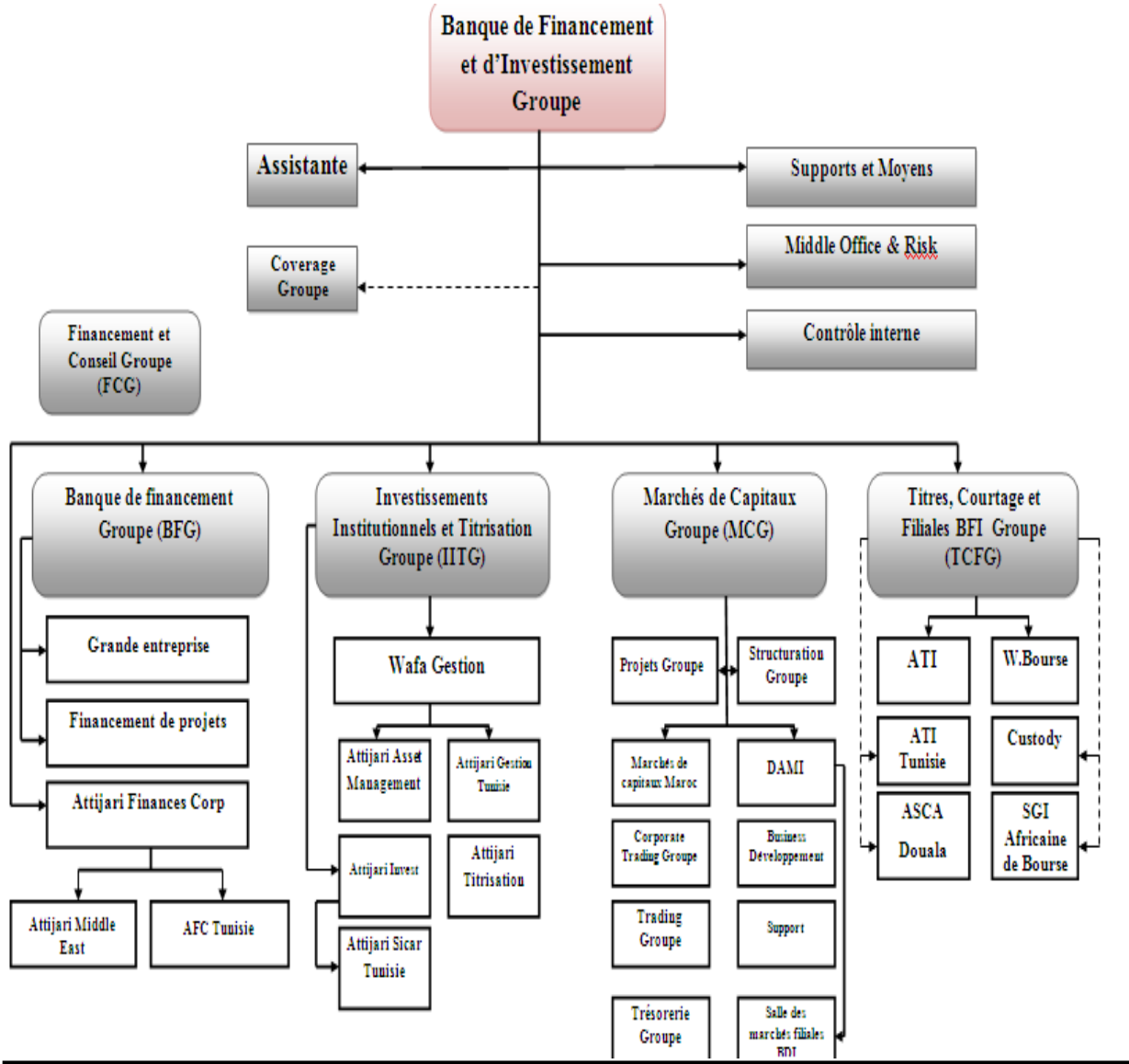


Figure 2 : organigramme de la BFIG

----- Lien fonctionnel  
 \_\_\_\_\_ Lien hiérarchique

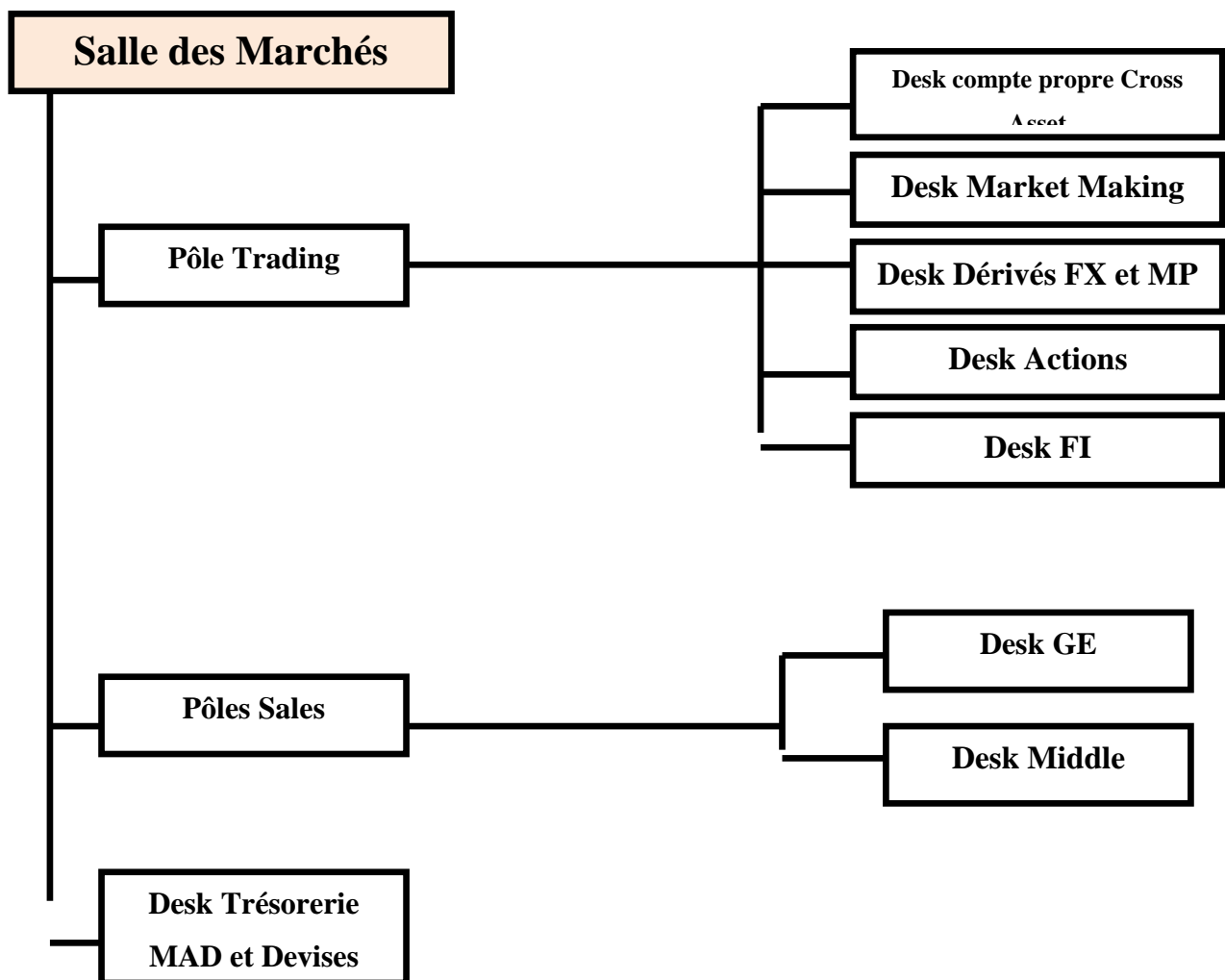
**2.1. Salle Des Marchés Capital Market (SDM) :**

La SDM, ligne de métier de la BMCG dans laquelle nous avons effectué notre stage est un lieu qui regroupe différents services spécialisés permettant à la banque d'intervenir sur les marchés de capitaux internationaux.

## Chapitre préliminaire : Présentation de l'organisme d'accueil

Elle a pour mission de trouver des ressources à coûts réduits et des emplois rémunérateurs tout en minimisant les risques du marché. Elle élabore et propose une panoplie de produits de couverture notamment des produits de change pour les devises, de taux, de matières premières et des produits structurés. Cette entité opère aussi bien pour son compte propre que pour celui de sa clientèle.

La salle des Marchés est composée de pôles Desks comme suit :



### **2.1.1 Structure et activités de la SDM :**

La salle des marchés de Attijariwafa Bank est composé de :

#### **2.1.1.1 Front Office :**

Le front office constitue littéralement l'interface de la banque avec le marché. Il centralise et traite tous les besoins de la salle des marchés et de ses clients en

## Chapitre préliminaire : Présentation de l'organisme d'accueil

---

termes de couverture et de financement, investissement, gestion de position, trading et arbitrage.

### 2.1.1.2 Middle Office :

La cellule du middle office sert d'interface entre le Front et le Back Office. Ses missions portent sur le contrôle et le suivi de l'activité et sur la gestion des risques de marchés et de contrepartie ; il assume les tâches de Contrôle de conformité des négociations par rapport à la réglementation, Contrôle du respect par les traders de leurs limites, Identification et mise à jour des bases tiers, transmission au Back-office pour procéder aux confirmations, contractualisations et règlements/livraisons et enfin rapprochements quotidiens Front/Middle/Back.

### 2.1.1.3 contrôle interne :

Le contrôle interne est un service récent qui est supervisé par le responsable du Middle Office dont le rôle principal est de garantir le respect des règlements interne, des procédures et des systèmes afin de minimiser et d'éliminer tout dysfonctionnement potentiel aboutissant à l'apparition et à l'aggravation de certains risques (crédit, marché, taux, liquidité, règlement...).

### 2.1.1.4 Back office :

A pour mission d'assurer le suivi administratif et comptable des opérations conclues au Front Office. Il enregistre les transactions, confirme aux clients les deals pré-confirmés au Front Office (entreprises ou institutions), Ensuite, il transmet aux services de traitements les tickets relatifs aux transactions traitées avec les clients afin d'effectuer le règlement et la livraison des devises, titres. Il permet également une réactivité par rapport à certaines transactions non dénouées et avertit le Front Office pour relancer le client afin de les exécuter.

**CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU  
CADRE RÉGLEMENTAIRE DU  
PROJET**

*Les règles qui régissent et contrôlent le fonctionnement du système financier et de l'activité bancaire se répartissent en deux, selon qu'elles s'agissent de dispositions fixées par le comité de Bâle ou des normes IFRS (International Financial Reporting Standards standardisant l'activité des sociétés cotées.*

*De cet abord, le présent chapitre mettra en exergue le cadre réglementaire de la prise en compte du risque de contrepartie dans la valorisation des instruments financiers, selon le comité Bâle 3 et les dispositions des normes IFRS 13.*

## ***I. Introduction***

Au cours de l'histoire, il y'a eu plein de défaut d'entreprises ou de souverains ayant des répercussions négatives sur les marchés financiers. Les faillites du « Long Term Capital Management » en 1998 et de « Lehman Brothers » en 2008 en sont un exemple concret de ce que peut engendrer une sous estimation dans la gestion des risques. Quoique le risque de crédit et de contrepartie est mesuré depuis longtemps par les institutions financières, sa gestion n'était toujours pas à même à faire face aux problèmes y afférant. En effet, la valorisation des produits financiers de gré à gré se faisait sous une probabilité risque-neutre, ne tenant pas compte du risque de défaut propre à chaque contrepartie. Chose qui ne prédisait guère la possibilité de faillite de quelques grandes institutions financières du marché de gré à gré qui s'estimaient plus importantes pour devenir insolvable « too big to fail ».

Lors de la crise récente des subprimes, suite à l'assèchement du marché interbancaire et à une difficulté à atteindre le prix de la liquidité due à une hausse de primes de risques exigées par les acteurs de ce marché, les grandes institutions financières ne pouvaient qu'affronter la chute de la valeur de marché de leurs portefeuilles de négociation, surtout ceux du marché des dérivés de gré à gré.

Depuis la faillite des institutions principales du marché financier ou la dernière crise financière, le risque de contrepartie reçoit une attention particulière de la part des régulateurs de l'industrie financière, et ceci fut accompagnée par une hausse des risques pris en compte dans la valorisation de produits dérivés, notamment le risque du marché et le risque de contrepartie qui renvoie à la possibilité et l'éventualité de défaut de la contrepartie envers l'entité.

## ***II. IFRS 13 et la valorisation à la juste valeur***

IFRS 13 décrit les circonstances témoignant de la réduction d'activité d'un marché pouvant aboutir à ce qu'il devienne inactif, comme références d'opérations conclues à conditions normales et impose la disponibilité d'un cadre complet d'informations à fournir ; ainsi que la prise en considération du risque de crédit pour déterminer la juste valeur d'un dérivé : Pour déterminer la juste valeur d'un dérivé, il arrive fréquemment que la valeur

## Chapitre 1 : Présentation du cadre réglementaire du projet

---

initiale soit fondée sur des prévisions des flux de trésorerie attendus actualisés selon un taux sans risque. Il faut donc ajuster cette valeur pour tenir compte du risque de crédit dans cette évaluation. Lorsqu'un ajustement est apporté pour refléter le risque de crédit d'une contrepartie, il s'agit d'un ajustement de la valeur du crédit CVA positif; lorsque l'ajustement vise à refléter le risque de crédit propre à l'entité, il s'agit plutôt d'un ajustement de la valeur du débit DVA ou CVA négatif. Dans la pratique, lorsque les banques fournissent des évaluations des dérivés à leurs clients, les justes valeurs sont fondées sur les taux sans risque, sans ajustement au titre du risque de crédit de la contrepartie ou propre à l'entité. Cependant, il arrive que les banques fournissent, sur demande, des évaluations des dérivés ajustées en fonction du risque de crédit à leurs clients. Par ailleurs, de plus en plus de fournisseurs de services d'évaluation offrent des évaluations qui reflètent les ajustements au titre du risque de crédit. Lorsque les justes valeurs sont fournies par des tiers, une entité doit vérifier si l'évaluation inclut ou non un ajustement au titre du risque de crédit. Il existe de nombreuses façons de déterminer l'AVC ou l'AVD. Les calculs peuvent être simples ou complexes, selon le but visé par l'évaluation et le type d'instrument. Il faut exercer son jugement pour évaluer la pertinence de la méthode utilisée pour calculer La CVA ou la DVA.

La norme IFRS13 apporte une nouvelle vision sur la valorisation des actifs. Elle apporte principalement une nouvelle définition de la juste valeur d'un actif :

« La juste valeur se définit comme le prix qui serait perçu à l'occasion de la vente d'un actif, ou le prix qui serait payé pour transférer une dette, dans le cadre d'une opération conclue à des conditions normales par des intervenants de marché à la date de l'évaluation. »

La norme IFRS 13 est applicable de manière prospective dans les comptes des exercices ouverts à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2013.

Extrait de la norme IFRS 13 « Quelle que soit la méthode retenue par l'entité, la juste valeur d'un passif doit refléter l'effet du risque de non-exécution. Le risque de non-exécution comprend notamment le risque de crédit propre à l'entité. Le risque de non-exécution est présumé être le même avant et après le transfert du passif. »

### ***III. Bale 3 en termes de valorisation des instruments financiers***

En décembre 2010, le comité Bâle sur le contrôle bancaire a publié en décembre 2010 un dispositif réglementaire : L'accord de Bâle III . Selon Bale III, les risques de corrélation défavorables et les risques de liquidation liés à l'incertitude du laps de temps entre le moment

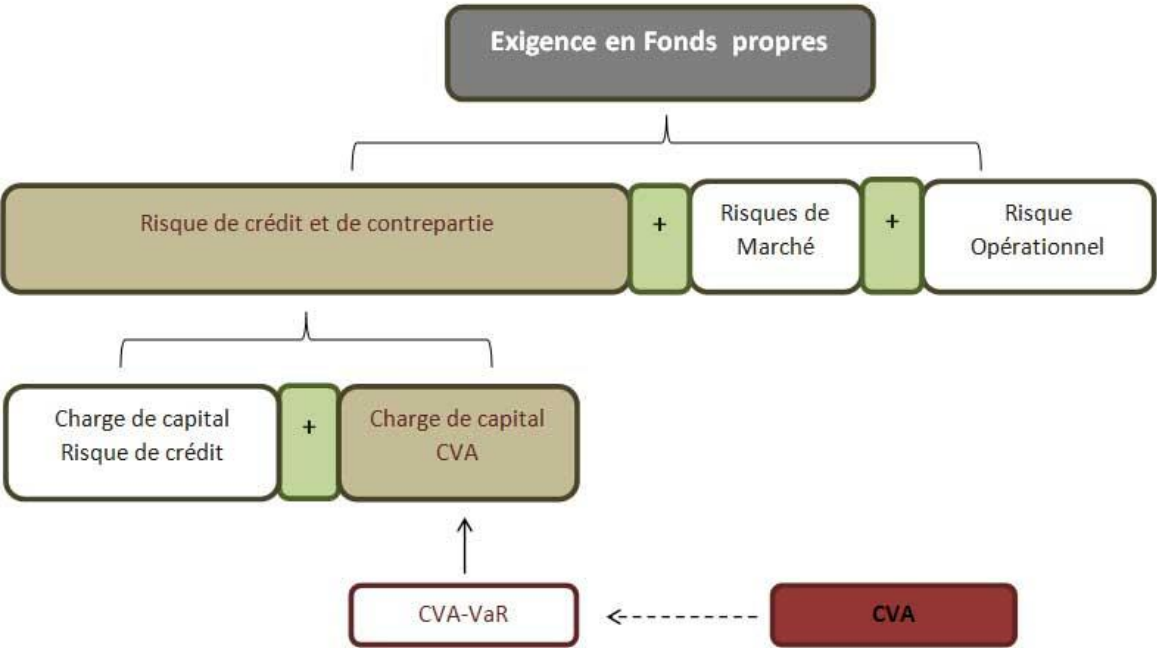
## Chapitre 1 : Présentation du cadre réglementaire du projet

---

de défaut et le moment de liquidation devront être pris en compte afin d'assurer la crédibilité de l'information sur les marchés financiers ainsi que l'interconnexion des institutions financières.

De plus, le comité de Bâle a dans le cadre de la réglementation Bâle III introduit une nouvelle charge en capital, la CVA (Credit Valuation Adjustment). Cette charge supplémentaire a été créée dans le but d'améliorer la résistance des banques à une détérioration de la valeur de marché de leurs actifs, en temps de crise majeure du crédit. L'esprit reste le même que celui des réglementations précédentes, c'est-à-dire obliger les banques à détenir des fonds propres suffisants pour faire face aux périodes de stress. Il s'agit aussi de capitaliser les pertes liées à la volatilité et le risque lié à la CVA notamment en incluant les charges relatives au risque de marché induit par le risque de contrepartie ainsi que la VAR et la stressed VAR.

Extrait de Bâle III « Outre l'exigence de fonds propres en regard du risque de contrepartie déterminée sur la base des approches standard ou notations internes (NI) du risque de crédit, une banque doit ajouter une exigence visant à couvrir le risque de pertes, en valeur de marché, résultant du risque de contrepartie attendu (de telles pertes étant dénommées ajustement de valorisation sur actifs CVA, credit value adjustment) sur les dérivés de gré à gré. »



**Figure 3 : organigramme des exigences en fonds propres**

Pour résumer, les textes de Bâle et les normes IFRS constituent le cadre réglementaire de notre étude. C’est un nouvel aperçu sur la méthode de valorisation des actifs : une valorisation, qui dorénavant, prendra en compte le risque de contrepartie.

Dans le chapitre suivant, nous allons traiter les données de marché indispensables à la valorisation des instruments financiers en question dans ce mémoire et au calcul de la CVA.

**CHAPITRE 2 :**  
**DONNÉES DE MARCHÉ**

*Avant chaque travail de valorisation d'instruments financiers, une étude exploratrice de la base de données s'avère nécessaire afin de la rendre plus exploitable et adéquate. Ces données pouvant être extraites directement du marché si ce dernier liquide, ou construites moyennant des modèles mathématiques probabilistes. Ce chapitre va nous permettre donc de bien adapter nos données aux objectifs conçus et attendus de notre projet, qui s'alignent autour de la valorisation de quelques instruments financiers prenant en compte le risque de contrepartie.*

## Chapitre 2 : Données de marché

---

### I. Données de taux :

#### 1. Le Taux d'intérêt:

Le taux d'intérêt est le pourcentage du revenu annuel par rapport à la somme prêtée. Pour l'emprunteur ou débiteur, le taux d'intérêt est le prix qu'il faut payer pour emprunter de l'argent. Pour le prêteur ou créancier, c'est la rémunération pour le service qu'il rend à l'emprunteur ainsi que pour le risque qu'il encourt de ne pas être remboursé.

Selon la durée du prêt, nous pouvons distinguer plusieurs types de taux d'intérêt :

- **Le taux monétaire** : Le taux à court terme (moins d'un 1 an) est déterminé sur le marché monétaire et résulte essentiellement de la politique conduite par la Banque centrale.

Ce taux représente le prix que les banques commerciales doivent payer pour se refinancer, c'est-à-dire obtenir la monnaie (billets notamment) dont elles ont besoin.

- **Le taux actuariel** : Le taux d'intérêt à long terme se forme selon l'offre et la demande sur le marché obligataire, les banques centrales n'intervenant pas sur ce marché.

#### 2. Interpolation des taux :

Lors de l'accès à la courbe d'intérêts, l'interpolation est utilisée pour obtenir les taux d'intérêt qui ont une date de maturité différente de celle des points nodaux d'un type de courbe d'intérêts.

- Si la période d'échéance d'un taux d'intérêt recherchée se situe avant le premier ou après le dernier point nodal, le premier ou le dernier point nodal est utilisé (extrapolation).

## Chapitre 2 : Données de marché

---

- Si une date d'intérêt située entre deux points nodaux de la courbe d'intérêts, on utilise l'interpolation linéaire. Cette dernière, calcule une valeur recherchée ( $T_r$ ), située entre les deux valeurs données  $T_{r1}$  et  $T_{r2}$  aux dates  $d_1$  et  $d_2$ .

La valeur se calcule par la forme suivante :

$$T_r = T_{r1} + (T_{r2} - T_{r1}) * \frac{d-d_1}{d_2-d_1}$$

Avec :

$T_r$  : taux d'intérêt interpolé à la date  $d$  ( $d$  en jours) ;

$T_{r1}$  : taux d'intérêt inférieur à la date  $d_1$  ( $d_1$  en jours)

$T_{r2}$  : taux d'intérêt supérieur à la date  $d_2$  ( $d_2$  en jours)

### 3. Actualisation d'un titre financier :

Pour calculer la valeur actuelle d'une somme à percevoir dans le futur, on effectue une opération d'actualisation des flux financiers.

La formule d'actualisation d'un flux est la suivante :

$$CF_0 = \frac{CF_n}{(1+T_r)^n}$$

Avec :

- $CF_0$  est la valeur actuelle du flux ;
- $CF_n$  est la valeur du flux à l'année  $n$  ;
- $T_r$  est le taux d'intérêts actuariel du placement ;
- $n$  : est le nombre d'années entre aujourd'hui et le versement du flux.

Pour calculer la valeur actualisée d'un investissement, il faut additionner l'ensemble des flux (Année 1, année 2, ..., année  $n$ ) générés par l'investissement comme le montre la formule suivante :

## Chapitre 2 : Données de marché

---

$$V = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+T_r)^t}$$

Où :

- $V$  : la valeur actuelle de l'actif financier ;
- $CF_t$  : est la valeur du flux à l'année  $t$  ;
- $T_r$  : est le taux d'intérêts actuariel du placement ;

C'est notamment le cas des investissements obligataires qui versent des intérêts tous les ans puis remboursent le principal à échéance.

### 4. Courbe des taux :

On appelle « courbe de taux » tout ensemble cohérent de taux d'intérêt, classés par maturité, et applicables à une même classe d'actifs. En anglais, elle porte le nom de « yieldcurve » ou encore « term structure of interest rates », c'est-à-dire structure par échéance des taux d'intérêt. C'est donc la fonction qui, pour une classe d'actifs donnée, à une date donnée, et pour chaque maturité en abscisse, indique le niveau du taux d'intérêt associé en ordonnée.

#### a. Courbe des taux zéro-coupon :

Il existe deux types de courbes des taux :

##### ➤ Instrument zéro coupon :

Un instrument financier « zéro-coupon » est un instrument qui ne donne lieu à aucun paiement intermédiaire d'intérêts. On dit aussi qu'il n'y a pas de détachement de coupon intermédiaire.

On ne dispose donc que de deux flux :

- Un flux initial.
- Un flux final de remboursement.

## Chapitre 2 : Données de marché

---

### ➤ Courbe des taux zéro-coupon :

La courbe des taux zéro-coupon est une fonction qui, à une date donnée, et pour chaque maturité en abscisse, indique le niveau du taux d'intérêt zéro-coupon associé en ordonnée :

$$t: T \rightarrow R_{ZC}(t, T) \text{ ou du prix zéro-coupon } t: T \rightarrow P_{ZC}(t, T).$$

Pour calculer le prix de certains produits, comme par exemple les swaps de taux, il est nécessaire de déterminer une courbe de taux particulière appelée courbe zéro-coupon.

Pour construire cette courbe, on part du principe que les taux ont la même périodicité de règlement d'intérêts (détachement de coupons) et utilisent la même convention de calcul. Ces rendements sont matérialisés par l'ordonnée de la courbe et les abscisses représentent la durée de l'investissement

### ➤ Taux zéro-coupon :

On appelle taux zéro-coupon, le taux actuariel de l'instrument zéro-coupon.

Le taux zéro-coupon à n années est le taux d'intérêt obtenu sur un investissement engendrant un seul flux au terme des n années sans flux intermédiaires. Il permet l'actualisation des flux à une date donnée, ce qui constitue le principe d'évaluation d'un actif qu'il s'agisse d'obligations, d'options ou autres.

### ➤ Prix zéro-coupon :

Le prix zéro-coupon est le prix d'un bon zéro-coupon de maturité T, il représente la valeur d'aujourd'hui (en t) d'une unité monétaire payée à T, sans paiements intermédiaires entre ces deux dates. Ce prix se calcule selon la formule suivante :

$$P(t, T) = \frac{1}{[1 + \pi(T - t) \times L(t, T)]}$$

## Chapitre 2 : Données de marché

---

$\pi(T - t)$ : différence entre les dates  $t$  et  $T$  selon la convention de décompte de jours retenue ;

$L(t, T)$ : taux de marché à la date  $t$ .

### 5. Taux forward

#### a. Définition :

Le taux forward est le taux d'emprunt ou de placement, pour des périodes futures vu du moment présent, il s'agit du taux vu en  $t$  (présent) qui capitalise un montant entre  $T$  et  $S$  (instants futurs). On le notera  $L(t, T, S)$  dans toute la suite du rapport.

#### b. Formule de calcul du taux forward :

A partir des taux zéro-coupon, nous pouvons obtenir le taux forward en  $T$  années maturant dans  $S$  années selon la formule suivante :

$$L(t, T, S) = \frac{P(t, T) - P(t, S)}{(S - T) \cdot P(t, S)}$$

### 6. Taux du marché

Le taux interbancaire est le taux d'intérêt que les banques offrent pour leurs prêts à des banques de premier rang, sur une place donnée, dans une monnaie et pour une échéance définie.

L'Euribor est le taux moyen auquel une sélection de banques européennes de premier plan s'accorde mutuellement des prêts à court terme en euros.

Le LIBOR est le taux d'intérêts interbancaire moyen auquel une sélection de banques veut s'accorder des prêts sur le marché financier londonien. Comme Euribor, les taux LIBOR existent en durées différentes, d'overnight à 12 mois. La plus grande différence est que LIBOR est calculé pour devises différentes.

**L'EURIBOR 6 mois** sert de base au marché des swaps et correspond au taux moyen offert par les banques pour rémunérer des placements à 6 mois. Il sert de référence à de nombreux produits indexés sur des taux révisables (par exemple : les swaps de couverture contre le risque de taux ou les prêts à taux variable).

## Chapitre 2 : Données de marché

---

Pour les swaps de taux dont la valorisation sera détaillée dans le chapitre suivant, nous avons effectué une interpolation linéaire simple sur la courbe Euribor 6M ci, pour avoir les taux zéro-coupon correspondants aux maturités de l'échéancier du swap.

Le tableau ci-dessous représente la courbe Euribor 6M au 31/12/2015 ; date de valorisation des instruments financiers traités dans notre projet :

Echéance	EUR	Echéance	EUR
1-Jan-16	-0,262%	30-Mar-21	0,366%
6-Jan-16	-0,284%	30-Jun-21	0,402%
1-Feb-16	-0,254%	30-Sep-21	0,438%
29-Feb-16	-0,217%	30-Dec-21	0,476%
30-Mar-16	-0,168%	30-Mar-22	0,512%
30-Jun-16	-0,037%	30-Jun-22	0,550%
30-Sep-16	-0,029%	30-Sep-22	0,588%
30-Dec-16	-0,073%	30-Dec-22	0,626%
30-Mar-17	-0,093%	30-Mar-23	0,662%
30-Jun-17	-0,106%	30-Jun-23	0,698%
2-Oct-17	-0,101%	2-Oct-23	0,734%
2-Jan-18	-0,035%	2-Jan-24	0,769%
3-Apr-18	0,007%	1-Jul-24	0,837%
2-Jul-18	0,027%	30-Dec-24	0,904%
1-Oct-18	0,040%	30-Jun-25	0,965%
31-Dec-18	0,058%	30-Dec-25	1,025%
1-Apr-19	0,084%	30-Dec-26	1,132%
1-Jul-19	0,117%	30-Dec-27	1,228%
30-Sep-19	0,153%	2-Jan-29	1,318%
30-Dec-19	0,191%	31-Dec-29	1,392%
30-Mar-20	0,227%	30-Dec-30	1,454%
30-Jun-20	0,262%	31-Dec-35	1,638%
30-Sep-20	0,296%	31-Dec-40	1,671%
30-Dec-20	0,331%	2-Jan-46	1,669%

**Tableau 1 : courbe EURIBOR 6M au 31/12/2015**

### II. Volatilité

#### *Définitions et caractéristiques*

Considérée en finance comme la base de la mesure du risque, la volatilité est par définition une mesure des amplitudes des variations du cours d'un actif financier.

Ainsi, plus la volatilité d'un actif est élevée et plus l'investissement dans cet actif sera considéré comme risqué et par conséquent plus l'espérance de gain (ou risque de perte) sera important.

A l'inverse, un actif sans risque ou très peu risqué (par exemple les Bons du Trésor) aura une volatilité très faible car son remboursement est quasiment certain. En réalité la volatilité d'une obligation correspond à l'évolution du cours suite à une variation de 1% des taux d'intérêt.

Couramment utilisée pour désigner les oscillations à court terme d'un actif financier, la notion de volatilité concerne tous les horizons (court, moyen et long terme) et ne se soucie pas du sens du mouvement (seule l'amplitude des mouvements est pris en compte).

#### 1. Types de volatilité

➤ **La volatilité historique** basée sur les variations historiques que le cours d'un titre a connu. Elle peut être calculée sur différents horizons de temps suivant l'analyse désirée. La seule limite à cette méthode et non des moindres, repose sur le fait qu'il est difficile de se baser sur des données historiques pour prédire les variations futures. Cette volatilité est la plus simple à calculer car elle ne nécessite que très peu d'outils mathématiques. Elle est déterminée par l'écart type dont on rappelle la formule dans le paragraphe suivant.

➤ **La volatilité implicite** correspondant au prix du risque d'une option. Elle représente la volatilité anticipée par les acteurs du marché pour la durée de vie de l'option et transparaît dans la prime de l'option. Ainsi plus la volatilité implicite est élevée et plus la prime de l'option sera élevée et inversement. Trois facteurs influent sur cette volatilité. Il s'agit du prix de l'option, de sa maturité et du niveau du taux

## Chapitre 2 : Données de marché

sans risque. Son calcul se base sur le modèle de Black & Scholes et sur l'algorithme de Newton-Raphson. Bien que présentant d'importantes limites, notamment celle de surestimer la volatilité, le modèle de Black & Scholes reste le modèle le plus apprécié et le plus fiable à l'heure actuelle pour déterminer cette volatilité implicite.

### 2. Utilisation de la volatilité pour la valorisation des options sur change à terme :

Pour la valorisation des options, on fait appel à la volatilité implicite qui prend la forme d'une surface de volatilité et qu'on retrouve sur Bloomberg (premier fournisseur mondial de données relatifs au marché). Cette surface (en forme de sourire **smile de volatilité**) permet d'appréhender l'évolution de la volatilité implicite d'une option par rapport à son prix d'exercice ou son delta et sa maturité.

Ci-dessous la surface de volatilité (EUR USD) au 31/12/2015, correspondant à la date de valorisation des produits traités dans ce projet :

Surface de volatilité																	
Maturité/delta	.10%	.15%	.20%	.25%	.30%	.35%	.40%	.45%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%
1	5,90%	5,59%	5,31%	5,11%	5,00%	4,97%	4,98%	5,02%	5,05%	5,06%	5,06%	5,08%	5,16%	5,33%	5,61%	5,95%	6,34%
7	7,67%	7,41%	7,18%	6,99%	6,88%	6,82%	6,80%	6,80%	6,80%	6,79%	6,77%	6,78%	6,83%	6,94%	7,13%	7,37%	7,64%
14	9,73%	9,53%	9,35%	9,19%	9,08%	8,99%	8,93%	8,88%	8,84%	8,81%	8,78%	8,76%	8,78%	8,83%	8,91%	9,03%	9,16%
21	10,32%	10,13%	9,96%	9,81%	9,69%	9,60%	9,53%	9,43%	9,43%	9,38%	9,34%	9,32%	9,33%	9,36%	9,42%	9,51%	9,61%
31	10,73%	10,54%	10,37%	10,23%	10,11%	10,01%	9,94%	9,88%	9,83%	9,78%	9,74%	9,71%	9,71%	9,73%	9,77%	9,85%	9,93%
42	10,78%	10,58%	10,39%	10,22%	10,09%	9,97%	9,88%	9,80%	9,74%	9,67%	9,62%	9,58%	9,56%	9,56%	9,60%	9,65%	9,71%
60	10,84%	10,62%	10,41%	10,22%	10,06%	9,92%	9,81%	9,71%	9,63%	9,55%	9,48%	9,42%	9,38%	9,37%	9,38%	9,40%	9,44%
91	11,49%	11,20%	10,93%	10,68%	10,48%	10,30%	10,16%	10,04%	9,93%	9,82%	9,73%	9,66%	9,61%	9,58%	9,58%	9,61%	9,64%
120	11,77%	11,44%	11,12%	10,83%	10,59%	10,39%	10,22%	10,07%	9,94%	9,82%	9,70%	9,61%	9,54%	9,50%	9,50%	9,53%	9,57%
150	11,92%	11,56%	11,22%	10,91%	10,65%	10,43%	10,25%	10,09%	9,95%	9,81%	9,68%	9,58%	9,50%	9,46%	9,46%	9,49%	9,53%
182	12,03%	11,64%	11,28%	10,96%	10,69%	10,46%	10,27%	10,10%	9,95%	9,80%	9,67%	9,56%	9,48%	9,43%	9,43%	9,46%	9,50%
273	12,28%	11,83%	11,41%	11,04%	10,74%	10,49%	10,29%	10,11%	9,95%	9,80%	9,65%	9,53%	9,44%	9,39%	9,39%	9,41%	9,45%
365	12,43%	11,98%	11,57%	11,20%	10,89%	10,63%	10,41%	10,22%	10,05%	9,89%	9,74%	9,62%	9,52%	9,45%	9,42%	9,42%	9,43%

**Tableau 2: surface de volatilité EUR USD au 31/12/2015**

En utilisant la surface de volatilité et inversant la formule du calcul du delta de l'option, nous obtenons le tableau des strikes relatifs à chaque maturité et delta :

## Chapitre 2 : Données de marché

Maturité/delta	Surface de strike																
	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%	-35%	-40%	-45%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%
1	1,0848	1,0858	1,0865	1,0871	1,0876	1,0880	1,0884	1,0887	1,0891	1,0895	1,0898	1,0902	1,0906	1,0912	1,0918	1,0926	1,0938
7	1,0742	1,0774	1,0799	1,0819	1,0835	1,0850	1,0864	1,0877	1,0890	1,0903	1,0916	1,0930	1,0944	1,0961	1,0981	1,1007	1,1040
14	1,0625	1,0679	1,0722	1,0757	1,0788	1,0815	1,0841	1,0865	1,0889	1,0913	1,0937	1,0962	1,0988	1,1018	1,1051	1,1092	1,1144
21	1,0547	1,0616	1,0671	1,0716	1,0756	1,0792	1,0825	1,0857	1,0888	1,0919	1,0951	1,0983	1,1018	1,1056	1,1099	1,1151	1,1217
31	1,0458	1,0545	1,0613	1,0670	1,0720	1,0765	1,0808	1,0848	1,0887	1,0927	1,0966	1,1008	1,1051	1,1099	1,1153	1,1218	1,1302
42	1,0386	1,0487	1,0567	1,0634	1,0692	1,0745	1,0794	1,0841	1,0886	1,0931	1,0977	1,1024	1,1074	1,1128	1,1190	1,1264	1,1358
60	1,0286	1,0407	1,0503	1,0583	1,0653	1,0716	1,0774	1,0830	1,0883	1,0936	1,0990	1,1045	1,1104	1,1167	1,1239	1,1325	1,1434
91	1,0108	1,0267	1,0391	1,0495	1,0585	1,0666	1,0741	1,0812	1,0878	1,0946	1,1013	1,1083	1,1157	1,1237	1,1328	1,1436	1,1575
120	0,9976	1,0163	1,0309	1,0431	1,0536	1,0630	1,0717	1,0799	1,0874	1,0951	1,1029	1,1108	1,1192	1,1283	1,1387	1,1511	1,1671
150	0,9861	1,0072	1,0237	1,0374	1,0492	1,0598	1,0695	1,0787	1,0870	1,0956	1,1043	1,1131	1,1224	1,1326	1,1442	1,1581	1,1761
182	0,9753	0,9986	1,0168	1,0320	1,0450	1,0567	1,0674	1,0775	1,0865	1,0960	1,1055	1,1152	1,1254	1,1366	1,1494	1,1648	1,1847
273	0,9484	0,9771	0,9997	1,0183	1,0343	1,0486	1,0616	1,0740	1,0844	1,0960	1,1076	1,1195	1,1320	1,1458	1,1615	1,1805	1,2050
365	0,9257	0,9585	0,9843	1,0058	1,0243	1,0409	1,0561	1,0704	1,0819	1,0954	1,1090	1,1228	1,1374	1,1534	1,1716	1,1935	1,2218

**Tableau 3: Surface de strike EUR/USD pour chaque delta et maturité au 31/12/2015**

A partir de la surface de volatilité dont on dispose ou de la surface de strike construite ci-dessus, on peut déterminer pour chaque maturité la volatilité correspondante, et ceci en effectuant une interpolation linéaire double sur le delta ou sur le strike et les maturités.

Le strike EUR/USD équivalent se calcule suivant la formule suivante :

$$K_{eq} = \frac{K_{dev/MAD}}{Spot_{dev/MAD}} \times Spot_{EUR/USD}$$

### 3. Volatilité du cours EUR/MAD :

Pour le calcul de la CVA sur change à terme par la méthode des swaptions (voire chapitre 4), il faut avoir la volatilité EUR/MAD. Et ceci ne peut se faire qu'en exploitant celle relative à l'EUR/USD qui serviraient par la suite d'une base d'estimation pour nos volatilités.

En effectuant une interpolation linéaire double sur notre surface de volatilité comme explicité précédemment, nous obtenons la volatilité correspondante à notre strike EUR /USD équivalent que nous multiplions par le coefficient de pondération de l'EUR/MAD extrait du panier de change MAD :

## Chapitre 2 : Données de marché

---

	Cours	Pondération
EUR/MAD	10,783000	60,81%
USD/MAD	9,900750	39,19%
EUR/USD	1,089109	100%

**Tableau 4: composition du panier MAD et cours de change au 31/12/2015**

La volatilité EUR/MAD est calculée suivant la formule suivante :

$$\text{Volatilité (EUR/MAD)} = 0.6081 * \text{Volatilité (EUR/USD)}$$

**CHAPITRE 3 :**  
**VALORISATION DES INSTRUMENTS**  
**FINANCIERS**

*L'étude des marchés financiers ne peut se faire sans valoriser ses instruments par le biais de la transformation des données qui sont souvent soit disponibles sur le marché, soit construites par des processus et des modèles mathématiques prédéterminés.*

*De ce fait, l'objectif de ce chapitre s'inscrit dans la valorisation des instruments financiers dont nous nous intéresserons par la suite pour le calcul de la CVA.*

### *I. La valorisation des options de change :*

#### **1. Définition :**

Une **option de change** est un agrément entre deux contreparties par lequel l'acheteur de l'**option** paye une prime au vendeur pour le droit mais non l'obligation d'acheter ou de vendre une quantité spécifiée de devise avant ou à une date déterminée (appelée maturité ou expiration) à un cours de **change** déterminé (appelé prix d'exercice ou "strike".) L'acheteur choisira alors d'exercer son droit en fonction du cours de la devise.

Pour valoriser une option de change, il faut impérativement passer par définir les paramètres et les déterminants de cette dernière, et ceci ne peut avoir lieu sans voir les choses dans un cadre plus général valorisant les options.

#### **2. Déterminants de la valeur d'une option de change**

##### ➤ **Les dividendes du titre sous-jacent**

La distribution des dividendes d'un titre entraîne une baisse du cours de ce titre, une partie de sa valeur partant en liquidités reversées à l'actionnaire. C'est un point négatif pour les options d'achat qui peuvent perdre une grande partie de leur valeur.

##### ➤ **Volatilité :**

La valeur d'une option dépend de la volatilité du cours du titre de base. Les acheteurs d'options recherchent les titres volatiles car ces derniers offrent la possibilité d'un gain important pour un risque limité. En effet, prenons l'exemple d'un call :

- Si le cours du titre de base du Call augmente brutalement, l'option prend immédiatement de la valeur. Ceci peut se traduire par des gains conséquents pour son détenteur.

- Si le cours du titre de base du Call diminue brutalement, le détenteur de l'option n'exercera pas son option et perdra seulement le montant du premium.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

### ➤ **Prix d'exercice de l'option ou le strike et prix du sous jacent (devise dans le cas d'une option de change):**

La valeur d'une option peut se définir selon ce qu'elle peut rapporter à son détenteur s'il décide de l'exercer immédiatement, ou encore selon ce qu'elle peut lui apporter dans le futur, sur une période allant jusqu'à la date d'échéance. En effet, si un titre X se négocie à 350 euros, un Call dont le prix d'exercice serait de 300 aurait plus de valeur qu'un Call sur la même action avec la même date d'échéance mais de prix d'exercice supérieur à 300. Un Call peut toujours avoir de la valeur si son prix d'exercice est supérieur au prix de auquel l'action se négocie, il se peut que ce prix dépasse le prix d'exercice de l'option avant la date d'échéance.

### ➤ **Taux d'intérêt et durée de vie de l'option :**

La date d'échéance joue un rôle dans le calcul de la valeur actuelle d'une option. En effet, les variations positives du cours du titre de base jouent en faveur de l'investisseur dans le cadre d'un call. L'espérance de gain est donc infinie et dépend de la volatilité du titre de base, alors que la perte n'est limitée qu'au montant du premium. Une date d'échéance éloignée augmente les chances de variations extrêmes du titre de base d'une option, surtout s'il est volatile, la perte en cas de non-exercice de l'option reste quant à elle identique quelle que soit l'échéance de cette dernière. De plus, la valeur actualisée du prix d'exercice d'une option sera plus faible si celle-ci est exercée à une date lointaine, ce qui joue favorablement sur le montant du premium (pour les calls). Ainsi, les investisseurs seront prêts à payer plus pour une option de date d'échéance éloignée.

Il s'agit ici de déterminer la valeur intrinsèque de l'option c'est-à-dire le payoff qui pourrait être obtenu par exercice immédiat de l'option, ainsi que la valeur temporelle de celle-ci qui représente la différence entre le prix de l'option et sa valeur intrinsèque ; à maturité la valeur temps de l'option est nulle et c'est notamment le prix de l'option pour les options à la monnaie.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

### 3. Le modèle Black, scholes et Merton pour valoriser une option:

Le modèle de Black et Scholes définit la valeur d'une option à l'instant  $t$  comme étant la moyenne des valeurs intrinsèques possibles de cette dernière pondérée par leur probabilité respective d'occurrence.

Le modèle calcule les cours possibles de l'actif sous-jacent à l'échéance, ainsi que leur probabilité respective d'occurrence, en partant de l'hypothèse fondamentale qu'il s'agit d'une variable aléatoire dont la loi de distribution suit une courbe gaussienne. Il détermine la valeur actualisée au taux du marché monétaire de l'option à la date  $t$  des calculs.

Supposons que le prix du sous-jacent satisfait l'équation suivante au cours du temps **BSM** :

$$dS_t = S_t \mu dt + S_t \sigma dW_t$$

Où :

- $\mu$  est le taux de rendement espéré de l'action
- $\sigma$  est sa volatilité
- Les deux quantités sont constantes

L'actif sans risque (le cash en monétaire) satisfait l'équation suivante au cours du temps :

$$dB_t = B_t r dt$$

Où :

$r$  est le taux d'intérêt payé continuellement

#### Hypothèses de calcul

Le modèle de Black et Scholes repose sur un certain nombre d'hypothèses cumulatives :

- le prix de l'actif sous-jacent  $S_t$  suit un mouvement brownien géométrique avec une volatilité  $\sigma$  constante et une dérivée  $\mu$  constante :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$dS_t = S_t \mu dt + S_t \sigma dW_t$$

- il n'y a pas d'opportunités d'arbitrage,
- le temps est une fonction continue
- il est possible d'effectuer des ventes à découvert
- il n'y a pas de coûts de transactions
- il existe un taux sans risque, connu à l'avance et constant
- tous les sous-jacents sont parfaitement divisibles (on peut par exemple acheter 1/100<sup>e</sup> d'action)
  - le sous-jacent ne paie pas de dividendes entre le moment de l'évaluation de l'option et l'échéance de celle-ci.

### Formule de Black-Scholes

La formule de Black-Scholes permet de calculer la valeur théorique d'une option à partir des cinq données suivantes :

- $S_0$  la valeur actuelle du sous-jacent,
- $T$  le temps qui reste à l'option avant son échéance (exprimé en années)
- $K$  le prix d'exercice fixé par l'option
- $r$  le taux d'intérêt sans risque
- $\sigma$  la volatilité du prix de l'action.

➤ Le prix théorique d'un call donnant le droit mais pas l'obligation d'acheter l'actif  $S$  à la valeur  $K$  à la date  $T$ , est caractérisé par son *payoff* :

$$(S_T - K)^+ = \max(S_T - K; 0)$$

Il est donné par l'espérance sous probabilité risque neutre du *payoff* terminal actualisé :

$$C = E(\text{Payoff} \times e^{-rT})$$

Soit la formule de Black-Scholes :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$C(S_0, K, r, t, \sigma) = S_0 N(d_1) - Ke^{-rt} N(d_2)$$

➤ Le prix théorique d'un put donnant le droit mais pas l'obligation de vendre l'actif  $S$  à la valeur  $K$  à la date  $T$ , est caractérisé par son *payoff* :

$$(K - S_T)^+ = \max(K - S_T; 0)$$

Soit la formule :

$$P(S_0, K, r, t, \sigma) = -S_0 N(-d_1) + Ke^{-rt} N(-d_2)$$

Avec :

- $N$  la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite, c'est-à-dire :

$$N(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2} du$$

$$\begin{cases} d_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{t}} \left[ \ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t \right] \\ d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \end{cases}$$

### 3. Le Modèle Garman Kohlhagen pour évaluer le prix d'une option:

Le travail de Garman et Kohlhagen est la première application directe du modèle de Black, Scholes et Merton à l'évaluation d'options de change européennes. Ils supposent que les hypothèses sous-jacentes au modèle de Black, Scholes et Merton s'appliquent aux options européennes ayant comme sous-jacent un taux de change.

L'idée qui a permis d'appliquer directement le modèle de Black, Scholes et Merton est d'assimiler la devise à un actif rapportant un dividende continu égal au taux d'intérêt étranger.

A partir de ce point de départ, et en appliquant le traditionnel argument d'arbitrage et la technique élaborée par Black, Scholes et Merton consistant à former un portefeuille sans

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

risque par la combinaison de l'option et de l'actif sous-jacent, il est difficile d'obtenir une solution analytique donnant la valeur d'un call européen sur devise.

### Hypothèses de calcul

Garman et Kohlhagen font des hypothèses pour demeurer dans le cadre du modèle de Black,

Scholes et Merton:

- Les variations des cours de change sont supposées évoluer selon une distribution log-normale.
- Les taux d'intérêt sont constants pendant toute la durée de vie de l'option.
- Absence des coûts des transactions

Selon ce modèle, le cours de change suit la dynamique suivante :

$$dS_t = (r_d - r_f)S_t dt + \sigma S_t dW_t$$

Avec :

$r_d$  et  $r_f$  représentent les taux d'intérêt domestique et étranger

$S$  : le prix de l'actif

$\sigma$  : la volatilité du sous-jacent

$W$  est un processus de Wiener qui suit une normale de moyenne 0 et d'écart type  $t$ ,

Le prix d'une option d'achat (call) européenne de change s'écrit :

$$C(t, T, S_0) = e^{-r_f T} \times S_0 N(d_1) - e^{-r_d T} \times KN(d_2)$$

Et le prix d'une option de vente (put) européenne de change s'écrit :

$$P(t, T, S_0) = e^{-r_d T} \times KN(-d_2) - e^{-r_f T} \times S_0 N(-d_1)$$

Où :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$\left\{ \begin{array}{l} d_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{T}} \left[ \ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r_d - r_f + \frac{1}{2}\sigma^2\right) T \right] \\ d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \end{array} \right.$$

### 4. application

A partir du modèle de Garman Kohlhagen développé et explicité ci-dessus, nous avons pu concevoir un pricer pour les options de change qui, en exploitant les inputs entrés, calcul de la valeur marché de l'option à la date de valorisation.

Les inputs de ce pricer sont :

- La date de départ
- La date d'échéance
- Type de l'option (Call/put)
- Sens/Type de transaction (Achat/Vente)
- Strike (prix de l'exercice)
- Volatilité
- Devise de base
- Devise secondaire
- Taux domestique
- Taux étranger
- Le cours spot (cours de change à la date de valorisation)
- Montant du notionnel

La figure ci-dessous représente une capture de l'outil implémenté sur VBA-excel pour la valorisation des options de change :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

Date de départ	Date Échéance	Type Option	nom contrepartie	Sens	Devise de base	Devise Secondaire	Notionnel	Strike	FX spot	Foreign Rate	Domestic Rate	Volatility DEV/MAD	MTM
10-avr-15	06-janv-16	CALL	Contr_MAR1	Vente	USD	MAD	11 658 409,50	10,1490	9,9008	0,4433%	2,5845%	6,2%	-314,19
10-avr-15	06-janv-16	PUT	Contr_MAR1	Achat	USD	MAD	11 658 409,50	10,1490	9,9008	0,4433%	2,5845%	6,2%	2 852 087,80
13-avr-15	14-janv-16	CALL	Contr_MAR2	Vente	USD	MAD	1 294 000,00	10,1551	9,9008	0,5272%	2,5804%	6,3%	-1 475,81
13-avr-15	14-janv-16	PUT	Contr_MAR2	Achat	USD	MAD	1 294 000,00	10,1551	9,9008	0,5272%	2,5804%	6,3%	320 051,13
04-juin-15	04-mars-16	CALL	Contr_MAR1	Vente	USD	MAD	11 054 556,25	9,7060	9,9008	0,6625%	2,5549%	5,7%	-2 743 446,04
27-juil-15	21-janv-16	CALL	Contr_MAR4	Vente	USD	MAD	3 000 000,00	9,8210	9,9008	0,5566%	2,5768%	5,7%	-334 217,61
27-juil-15	21-janv-16	PUT	Contr_MAR4	Achat	USD	MAD	3 000 000,00	9,8210	9,9008	0,5566%	2,5768%	5,7%	60 355,68
13-août-15	18-mars-16	CALL	Contr_MAR2	Vente	USD	MAD	1 346 466,38	9,8250	9,9008	0,7042%	2,5478%	5,9%	-234 537,02
29-oct-15	02-mars-16	CALL	Contr_MAR4	Vente	USD	MAD	2 000 000,00	9,8845	9,9008	0,6575%	2,5559%	5,9%	-243 815,11
09-nov-15	04-août-16	PUT	Contr_MAR1	Achat	USD	MAD	10 470 900,00	10,0500	9,9008	0,7555%	2,5799%	6,4%	2 263 144,76
21-déc-15	16-sept-16	CALL	Contr_MAR1	Vente	USD	MAD	9 804 000,00	9,9590	9,9008	0,7860%	2,5966%	6,2%	-2 399 812,21
22-déc-15	31-mars-16	PUT	Contr_MAR5	Vente	EUR	MAD	6 079 000,00	10,8245	10,7830	-0,1792%	2,5412%	3,8%	-412 382,45
28-déc-15	14-sept-16	PUT	Contr_MAR1	Achat	USD	MAD	12 124 612,50	9,9310	9,9008	0,7845%	2,5958%	6,2%	1 941 056,80

MtM

**Figure 4 : interface du pricer des options de change sur Excel**

Prenons l'exemple d'une option de change marocaine qui a les caractéristiques suivantes :

**Type de l'option : Put**

**Date de départ : 9/11/2015**

**Date d'échéance : 04/08/2016**

**Date de valorisation : 31/12/2015**

**Sens de transaction : Achat**

**Devise de base : USD**

**Devise secondaire : MAD**

**Strike : 10,05**

**Cours de change spot : 9,9008**

**Montant du notionnel : 10 470 900,00 USD**

Utilisant les données relatives à l'option de change en question, l'outil procède en admettant la volatilité USD/MAD calculé pour notre produit égale à 6.4%, ainsi que le strike prédéfini 10.05 avant de faire usage de la formule de Garman Kohlhagen pour évaluer le prix de l'option selon s'il s'agit d'un call ou d'un put, et détermine le signe du MtM en fonction du sens de la transaction (positif dans le cas d'un achat et négatif dans le cas d'une vente ).

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

Pour notre exemple, cette option d'achat vaut 2.18% du notionnel.

Donc le Mark-To-Market est d'une valeur de :  
 $MtM = 2.18\% * 103\,669\,763 = 2\,263\,144.76 \text{ DH.}$

### *II. La valorisation des swaps de taux :*

#### 1. Définition :

Un swap ( du mot anglais signifiant échange ) de taux d'intérêt est un contrat de gré à gré aux termes duquel deux parties s'engagent à échanger pendant un nombre d'années et pour un montant nominal définis dans le contrat des flux d'intérêts annuels (ou pluriannuel) calculés pour une partie sur la base d'un taux variable constaté à des dates préfixés et pour l'autre partie sur la base d'un taux fixe , appelé **taux de swap**.

Lorsqu'un swap de taux d'intérêt est conclu entre deux contreparties, celles-ci s'engagent à se verser mutuellement des taux d'intérêt (fixes ou variables). Le swap est donc constitué de deux jambes : l'une est liée à ce que paie la contrepartie A à la contrepartie B, et l'autre est liée à ce que paie B à A.

#### 2. Caractéristiques du swap de taux :

Pour contracter un SWAP de taux, nous avons besoin de déterminer ses principales caractéristiques, à savoir :

**Date début** : c'est la date où le SWAP est contracté

**Date d'échéance** : c'est la date où le contrat SWAP prend fin

**Date de valorisation** : c'est la date où le SWAP est valorisé, elle est égale à la date de début.

**Nominal du SWAP** : Il s'agit du montant emprunté par chaque contrepartie du SWAP. Le nominal n'intervient pas dans l'échange, il est utile pour les calculs uniquement

**Le taux SWAP** : Il s'agit du taux fixe qui sera payé par le vendeur du SWAP. Il est déterminé de telle sorte que la valeur de la jambe fixe soit égale à celle de la jambe variable.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

### 3. Caractéristiques de la jambe fixe du SWAP :

La jambe fixe du SWAP correspond à l'emprunt à taux fixe. Elle est caractérisée par les éléments suivants :

- **Le taux fixe** : C'est le taux fixe auquel était endetté l'acheteur du SWAP.
- **La périodicité des coupons fixes** : C'est la période au bout de laquelle sont payés les coupons fixes. Généralement, les périodicités sont annuelles, semestrielles ou trimestrielles.
- **La base de calcul** : Il s'agit de la base de calcul calendaire. Nous distinguons quatre bases calendaires :
  - « 30/360 » qui considère tous les mois composés de 30 jours et l'année constituée de 360 jours.
  - « Exact/360 » qui calcule le nombre de jours exact de chaque mois et considère que l'année est constituée de 360 jours.
  - « Exact/365 » qui calcule le nombre de jours exact de chaque mois et considère que l'année est constituée de 365 jours.
  - « Exact/Exact » qui calcule le nombre de jours exact des mois et des années.
- **La devise** : Il est important de préciser la devise du SWAP pour indexer le taux variable du SWAP sur le taux de référence correspondant à la devise en question, par exemple le LIBOR US pour la devise USD, et l'EURIBOR pour la devise EURO.

### 4. Caractéristiques de la jambe variable du SWAP :

La jambe variable du SWAP correspond à l'emprunt à taux variable. Elle est caractérisée par les éléments suivants :

- **La périodicité des coupons variables** : C'est la période au bout de laquelle sont payés les coupons variables. Elle est souvent plus petite que la périodicité des coupons fixes.
- **La base de calcul** : C'est la base de calcul calendaire.
- **Le taux variable** : Il s'agit de préciser le taux de référence sur lequel est indexé le taux variable.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

### 5. Elaboration d'un pricer de SWAP de taux

Nous avons réalisé un pricer SWAP qui a pour principal objectif de déterminer le taux SWAP auquel il faudra contracter notre SWAP. Pour ce faire, nous avons besoin de valoriser le SWAP, c'est-à-dire de valoriser la jambe fixe et la jambe variable puis de soustraire ces deux jambes en fonction de notre position. Le taux SWAP sera le taux fixe qui annule la valeur du SWAP.

#### a. Valorisation du SWAP

La valorisation du SWAP consiste en la valorisation de ses deux jambes.

➤ Valorisation de la jambe fixe :

La jambe fixe sera assimilée à une obligation à taux fixe. Sa valorisation revient donc à valoriser une obligation à taux fixe dont le taux facial est le taux fixe, et dont les taux d'actualisation sont récupérés à partir de la courbe de taux de référence, correspondante à la devise du SWAP.

$$P_{\text{fixe}} = \sum_{i=k}^M \frac{F_{f_i}}{(1 + r_i)^{D_{Cf} - D_{val}}}$$

$P_{\text{fixe}}$  est la valeur de la jambe fixe.

$D_{Cf}$  est la date du  $i^{\text{ème}}$  coupon fixe.

$D_{val}$  est la date de valorisation.

$F_{f_i}$  est le flux fixe versé à  $D_{Cf}$

$r_i$  est le taux zéro-coupon de référence correspondant à la période entre la date de valorisation et la date du  $i^{\text{ème}}$  coupon fixe.

–  $M$  est le nombre de coupons de la jambe fixe.

–  $k$  est l'indice de la date du prochain coupon fixe après la date de valorisation.

➤ Valorisation de la jambe variable :

La jambe variable sera assimilée à une obligation à taux variable indexé sur le taux de marché correspondant à la devise du SWAP. Elle est alors valorisée de la même façon que l'obligation à taux variable.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$P_{var} = \sum_{j=1}^{M'} \frac{F_{V_j}}{(1 + r_j)^{D_{Cvj} - D_{val}}}$$

Où :

-  $P_{var}$  est la valeur de la jambe variable.

-  $D_{Cvj}$  est la date du j<sup>ème</sup> coupon variable.

-  $D_{val}$  est la date de valorisation.

-  $F_{V_j}$  est le flux variable versé à  $D_{Cvj}$

-  $r_j$  est le taux zéro-coupon de référence correspondant à la période entre la date de valorisation et la date du j<sup>ème</sup> coupon variable.

-  $M'$  est le nombre de coupons de la jambe variable.

-  $1$  est l'indice de la date du prochain coupon variable après la date de valorisation.

### ➤ Valeur du SWAP :

Maintenant que nous disposons des valeurs des deux jambes, il suffira de calculer leur différence, en fonction de notre position, pour retrouver la valeur du SWAP.

- Si je suis vendeur de SWAP, alors je suis payeur du variable et receveur du fixe. Ainsi, la valeur de mon SWAP sera la différence entre la jambe fixe et la jambe variable.

$$P_{swap} = P_{fixe} - P_{var}$$

$$\Rightarrow P_{swap} = \sum_{i=k}^M \frac{F_{f_i}}{(1 + r_i)^{D_{Cfi} - D_{val}}} - \sum_{j=1}^M \frac{F_{V_j}}{(1 + r_j)^{D_{Cvj} - D_{val}}}$$

- Si parcontre je suis acheteur de SWAP, alors je suis payeur du fixe et receveur du variable. La valeur de mon SWAP sera donc la différence entre la jambe variable et la jambe fixe.

$$P_{swap} = P_{var} - P_{fixe}$$

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$\Rightarrow P_{\text{swap}} = \sum_{j=1}^M \frac{F_{V_j}}{(1+r_j)^{D_{Cvj}-D_{val}}} - \sum_{i=k}^M \frac{F_{f_i}}{(1+r_i)^{D_{Cf}-D_{val}}}$$

Afin de contracter un SWAP, nous devons déterminer le taux SWAP. C'est le taux d'intérêt fixe qui sera versé par le vendeur du SWAP. Il est exigé par l'acheteur du SWAP en échange de l'incertitude liée aux variations du taux variable qu'il sera amené à payer.

Le taux SWAP est déterminé en égalisant les flux d'intérêts fixes actualisés et les flux d'intérêts variables actualisés à la date de valorisation du SWAP.

Le taux SWAP est le taux fixe, intervenant dans le calcul de  $F_{f_i}$ , solution de l'équation suivante:

$$\sum_{j=1}^M \frac{F_{V_j}}{(1+r_j)^{D_{Cvj}-D_{val}}} = \sum_{i=k}^M \frac{F_{f_i}}{(1+r_i)^{D_{Cf}-D_{val}}}$$

### b. Application

Prenons l'exemple d'un swap de taux, dans lequel nous échangeons un taux fixe 1.065% contre un Euribor 6M sur un notionnel de 13000000 EUR.

Le swap a été conclu le 29 juin 2015, a pris effet le 01 juillet 2015 et atteindra sa maturité le 19 juin 2024.

La jambe fixe a une fréquence annuelle et une base de comptage exact/exact tandis que la jambe variable a une fréquence semestrielle et une base de comptage exact/360.

Nous nous plaçons dans le cas d'un swap payeur de fixe et nous le valorisons au 31 décembre 2015.

### Interface du pricer :

L'interface suivante, représente le pricer de SWAP réalisé. Nous introduisons manuellement les valeurs correspondantes aux caractéristiques du SWAP, puis via des fonctions programmées, nous calculons les valeurs des jambes fixe et variable et la valeur du SWAP. En cliquant ensuite sur le bouton «

# Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

Calcul du Taux SWAP », nous calculons le taux SWAP qui nous permet d'annuler la valeur du SWAP.

Devise	EUR	jambe fixe	payeur
		jambe variab	receveur
Date d'opération	29-juin-15	Paie	Paie
Date de valeur	01-juil-15	Base de c:	Frequence
Date de valorisati	31/12/2015	1,0650%	1,0650% Act/Act Annuel
Maturité	19/06/2024	EURIBOR 6	EURIBOR 6M Act/360 semestriel
Montant notionnel	13 000 000,00	2 jours avant la periode	
Taux fixe	1,0650%		
Taux initial	0,0400%	MTM	-438064,8297
Variable	EURIBOR 6M	swap de taux	0,37276%
		écheancier	swap taux

date début	date fin	notionnel	taux	durée résiduelle F	durée résiduelle V	DF fixe	DF Var	FWD	Jbe Fixe	PV Jbe fixe	Jbe Var	PV Jbe Var
01/07/2015	20/06/2016	13000000	-0,05238%	0,4699	0,4778	1,0002	1,0003	0,0400%	134288,93	134322,00	5127,7778	5129,0614
20/06/2016	19/12/2016	13000000	-0,06782%		0,9833		1,0007	-0,000211			-1384,6802	-1385,6043
19/12/2016	19/06/2017	13000000	-0,10477%	1,4672	1,4889	1,0015	1,0016	-0,000452	69035,34	69141,60	-2967,9473	-2972,5833
19/06/2017	19/12/2017	13000000	-0,04483%		1,9972		1,0009	0,000338			2235,5231	2237,5260
19/12/2017	19/06/2018	13000000	0,02433%	2,4668	2,5028	0,9994	0,9994	0,000761	69035,34	68993,93	5001,8549	4998,8110
19/06/2018	19/12/2018	13000000	0,05525%		3,0111		0,9983	0,000536			3543,4770	3537,5889
19/12/2018	19/06/2019	13000000	0,11215%	3,4666	3,5167	0,9961	0,9961	0,001153	69035,34	68767,62	7579,7058	7549,8878
19/06/2019	19/12/2019	13000000	0,18671%		4,0250		0,9925	0,001816			12001,2959	11911,5284
19/12/2019	19/06/2020	13000000	0,25736%	4,4672	4,5333	0,9886	0,9884	0,002111	69225,00	68434,70	13950,2436	13788,6368
19/06/2020	21/12/2020	13000000	0,32641%		5,0472		0,9837	0,00247			16502,6046	16233,3966
21/12/2020	21/06/2021	13000000	0,39726%	5,4724	5,5528	0,9785	0,9782	0,002822	69035,34	67553,65	18550,0642	18146,1467
21/06/2021	20/12/2021	13000000	0,47097%		6,0583		0,9719	0,003272			21502,7282	20899,2662
20/12/2021	20/06/2022	13000000	0,54568%	6,4695	6,5639	0,9654	0,9649	0,003681	69035,34	66647,10	24192,3275	23343,4178
20/06/2022	19/12/2022	13000000	0,62153%		7,0694		0,9571	0,004103			26963,2658	25807,6930
19/12/2022	19/06/2023	13000000	0,69398%	7,4667	7,5750	0,9497	0,9490	0,004359	69035,34	65560,93	28647,1953	27185,0680
19/06/2023	19/12/2023	13000000	0,76394%		8,0833		0,9403	0,004662			30809,3224	28971,1325
19/12/2023	19/06/2024	13000000	0,83242%	8,4670	8,5917	0,9322	0,9313	0,004957	69225,00	64532,75	32760,6328	30508,4899

**Figure 5 : interface du pricer des swaps de taux sur excel**

## III. La valorisation des swaptions :

### 1. Définition :

Une swaption est un contrat destiné à se protéger contre un risque basé sur un swap de taux d'intérêt. Une swaption est une option qui confère à son détenteur le droit, mais non l'obligation de conclure un swap, il existe deux types de swaptions.

- Une swaption payeur donne le droit de rentrer dans un swap et de payer un taux fixe en échange d'un taux flottant.
- Une swaption receveur donne le droit de rentrer dans un swap et de recevoir un taux fixe en échange d'un taux flottant.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

### 2. Préliminaire :

Le swap market model considère que le taux swap est distribué suivant la loi log normale de sorte à ce que la swaption correspondante puisse être valorisé via la formule de **black**.

Pour évaluer les swaptions un numéraire doit être déterminé. Il s'agit du numéraire annuité défini par :

$$P(t, T'i, T'j) = \sum_{k=i}^{j-1} (T'_k - T'_{k-1}) \cdot P(t, T'_k)$$

Qui est une martingale sous la probabilité forward neutre. Ce qui permet de conclure sur la martingalité du taux swap sous la probabilité associée au numéraire annuité.

Le taux swap d'un swap débutant en  $i$  et qui atteint sa maturité en  $j$ , s'écrit par :

$$S(t, Ti, Tj) = \frac{P(t, Ti) - P(t, Tj)}{P(t, T'i, T'j)}$$

Où les  $T_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ , sont les dates de paiement de coupons variables et les  $T'_j$ ,  $1 \leq j \leq N'$ , sont les dates de paiement des coupons fixes.

### 3. Valorisation des swaptions :

Comme nous l'avons annoncé précédemment le modèle que nous allons utiliser est le modèle de Black. On parle de swaptions européennes lorsqu'elles ne peuvent être exercées qu'à une date précise à la signature du contrat.

Déterminons le prix d'une swaption européenne, donnant le droit d'entrer au moment  $T_0$  (maturité de la swaption) un swap venant à échéance à  $T_N$  (Ténon) et de strike  $K$ .

Le payoff du swap à maturité, c'est-à-dire en  $T_0$  est :

$$\begin{aligned} \text{Payoff}(T_0) &= (\text{swap}(T_0))_+ \\ &= \sum_{i=1}^N (T_i - T_{i-1}) \cdot P(T_0, T_i) \cdot L(T_0, T_{i-1}, T_i) K \cdot \sum_{j=1}^{N'} (T'_j - T'_{j-1}) \cdot P(T'_0, T'_j) \Big)_+ \\ &= P(t, T'i, T'j) \left( \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - T_{i-1}) \cdot P(T_0, T_i) \cdot L(T_0, T_{i-1}, T_i)}{P(t, T'i, T'j)} - K \right)_+ \end{aligned}$$

Où  $L(T_0, T_{i-1}, T_i)$  est le taux forward

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

Le prix à l'instant  $t$  de cette swaption est l'espérance du payoff sous la probabilité annuité :

$$\begin{aligned}
 & \text{Prix Swaption}(t, \text{Maturité} = T_0, \text{Ténon} = T, \text{strike} = K) \\
 &= E_t^{Q^{T_0}} (\text{DF}(t, T_0) \cdot \text{Payoff}(T_0)) \\
 &= P(t, T_0) \cdot E_t^{Q^{T_0}} \left( \sum_{j=1}^{N'} (T'_j - T'_{j-1}) \cdot P(T'_0, T'_j) \right) \cdot (S(T_0, T_0, T) - K)_+ \\
 &= P(t, T'_1, T'_{N'}) \cdot E_t^{Q^{LVL}} ((S(T_0, T_0, T_N) - K)_+)
 \end{aligned}$$

Le changement de mesure effectué correspond à la dérivée de Radon-Nikodym suivante :

$$\frac{dQ^{LVL}}{dQ^T} = \frac{P(t, T'_1, T'_{N'})}{P(T_0, T'_1, T'_{N'})} \cdot \frac{1}{P(t, T_0)}$$

En appliquant la formule de Black on obtient :

$$\text{Prix Swaption}(t, T_0, T_N) = P(t, T'_1, T'_{N'}) \cdot (S(t, T_0, T_N) \cdot N(d_1) - K \cdot N(d_2))$$

Où  $N$  est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite et :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S(t, T_0, T_N)}{K}\right) + \frac{\sigma^2}{2} T}{\sigma \sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{T}$$

$\sigma$  est la volatilité du prix de l'actif sous jacent, soit, le swap.

Pour valoriser les swaptions, il est nécessaire de retenir la volatilité implicite qu'il faut intégrer dans la formule de Black (les swaptions européennes sont cotées en volatilité implicite).

Le calcul de la volatilité implicite de la swaption s'effectue en inversant l'équation de Black.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

Cette volatilité est cotée sur le marché financier sous forme d'une surface qui fait correspondre à chaque maturité et ténor, une valeur pour la volatilité.

Nous avons eu recours à une interpolation linéaire double pour couvrir toutes les combinaisons de ténor et maturité correspondant aux contrats de notre portefeuille.

**NB :** La valorisation des swaptions permettra par la suite de calculer la CVA sur swap.

### IV. *La valorisation d'un change à terme :*

#### 1. Définition :

Pour se couvrir contre le risque de change, les agents économiques utilisant des devises étrangères (notamment importateurs et exportateurs ) ont souvent recours au change à terme ou forward.

Un contrat de change à terme est un accord d'échange à une date future, d'un montant dans une devise donnée contre un autre libellé dans une autre devise, à un cours de change fixé d'avance.

Au Maroc, l'échéance est définie dans le cadre de la circulaire de l'office des changes pour un contrat forward : elle est d'un an aussi bien pour les transactions commerciales que les transactions financières.

L'achat ou la vente à terme de devise donne lieu à un contrat entre l'entreprise et la banque où sont précisés les points suivants :

- le montant de l'opération.
- les devises échangées à terme.
- le cours à terme retenu pour l'échange.
- l'échéance du contrat.

#### 2. Pratique

Les principes de base sont les mêmes que pour une opération de Spot. La différence essentielle provient du fait que la date de valeur est différente de J+2.

Ce décalage dans le temps va générer ce que l'on nomme des points de swap ou Report/Déport qui serviront à calculer le prix à terme.

- La devise est dite en report si le taux d'intérêt en Dirham est supérieur au taux d'intérêt en devise, ce report vient s'ajouter au cours comptant de la devise cotée.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

- Inversement, si le taux d'intérêt en Dirham est inférieur au taux d'intérêt en devise, la devise est dite en déport. Ce dernier est alors retranché du cours comptant de la devise cotée.

- Si les taux sont égaux, le cours à terme est égal au cours au comptant, on parle alors de cours au pair.

Pour fixer le cours à terme, la banque a recourt à une technique financière consistant à utiliser le taux de change spot courant et les deux taux d'intérêt dans chaque devise correspondant à la maturité du contrat.

$\text{Cours à terme} = \text{cours au comptant} \pm \text{Report/Déport}$
----------------------------------------------------------------------------

Ceci peut être résumé dans le mécanisme suivant :

-Dans le cas d'un achat à terme d'une devise 1 contre une devise 2 est équivalent à :

- Un emprunt en devise 2 ;
- Un achat spot de la devise 1 contre la devise 2 ;
- Un placement de la devise 1.

-Pour une vente à terme d'une devise 1 contre une devise 2 est équivalent à :

- Un emprunt en devise 1 ;
- Une vente spot de la devise 1 contre la devise 2 ;
- Un placement de la devise 2.

### 3. Valorisation du change à terme :

Soit  $c_1$  le taux de change comptant à la date  $t_1$  entre la devise de base A et la devise secondaire B :

En  $t_1$ , un montant  $A_1$  de A sera donc égal à un montant  $B_1$  de B avec :

$$A_1 * c_1 = B_1$$

Si  $r_A$  est le taux d'intérêt applicable sur le marché monétaire de la devise A entre la date  $t_1$  et une date ultérieure  $t_2$ , la valeur  $A_2$  à la date  $t_2$  du montant  $A_1$  sera donc :

$$A_2 = A_1 * \left(1 + r_A \cdot \frac{t_2 - t_1}{360}\right)$$

Si  $r_B$  est le taux d'intérêt applicable sur le marché monétaire de la devise B entre la date  $t_1$  et une date ultérieure  $t_2$ , la valeur  $B_2$  à la date  $t_2$  du montant  $B_1$  sera donc :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

$$B_2 = B_1 * \left(1 + r_B \cdot \frac{t_2 - t_1}{360}\right)$$

En partant de ce raisonnement, nous pouvons construire un cours de change synthétique  $c_2$  entre la devise A et B à la date  $t_2$ , tel que :

$$A_2 * c_2 = B_2$$

Le cours résultant  $c_2$  est appelé le cours à terme. Il correspond au cours de change fixé en  $t_1$  pour une transaction en  $t_2$ .

Ainsi, nous pouvons calculer la valeur du cours à terme en fonction du cours au comptant et des taux d'intérêt des devises impliquées entre la date de calcul et la maturité.

$$c_2 = c_1 * \frac{1 + r_B \cdot \frac{t_2 - t_1}{360}}{1 + r_A \cdot \frac{t_2 - t_1}{360}}$$

Afin d'évaluer le mark-to-market du contrat à la date de valorisation, nous avons :

- Dans le cas d'un contrat d'achat à terme :

$$MtM = (\text{cours à terme résiduel} - \text{cours à terme initial}) * \text{notionnel}$$

- Dans le cas d'une vente à terme :

$$MtM = (\text{cours à terme initial} - \text{cours à terme résiduel}) * \text{notionnel}$$

Le cours à terme initial correspond à la valeur du cours à terme évaluée à la date de conclusion du contrat.

Le cours à terme résiduel correspond au cours à terme évalué à la date de valorisation du contrat.

### 4. Application :

Nous avons implémenté un pricer pour les contrats du change à terme qui permet de calculer le cours à terme et la valeur marché MtM du contrat.

Ci-dessous l'interface du pricer :

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

TRADE_NB	TRADE_DATE	MATURITY_DATE	COUNTERPART	BUYSELL	CCY1	CCY2	CCY1AMOUNT	Cours à terme initial	CCY2AMOUNT	spot date de valorisation	cours à terme durée résiduelle	MTM
1555770	01 juil 2015	06 janv 2016	Contr_MAR1	Buy	USD	MAD	400 000,00	9,148525	-3 659 409,81	9,9007500	9,897726154	299680,654
1555787	01 juil 2015	03 févr 2016	Contr_MAR1	Buy	USD	MAD	400 000,00	8,887817	-3 555 126,66	9,9007500	9,883649028	398332,955
1565977	09 juil 2015	17 mars 2016	Contr_MAR1	Buy	USD	MAD	2 500 000,00	8,944353	-22 360 881,38	9,9007500	9,862139517	2294467,42
1565983	09 juil 2015	31 mars 2016	Contr_MAR1	Buy	USD	MAD	1 500 000,00	8,932852	-13 399 278,38	9,9007500	9,855164722	1383468,71
1565990	09 juil 2015	28 avr 2016	Contr_MAR1	Buy	USD	MAD	500 000,00	8,885749	-4 442 874,30	9,9007500	9,841256588	477753,999
1617945	24 août 2015	29 févr 2016	Contr_MAR2	Buy	EUR	MAD	1 800 000,00	11,021183	-19 838 129,91	10,7830000	10,75019337	-487781,83
1645798	14 sept 2015	12 janv 2016	Contr_MAR3	Buy	EUR	USD	603 500,00	1,114600	-672 661,10	1,0891094	1,088444433	-15784,8847
1645954	14 sept 2015	12 janv 2016	Contr_MAR3	Buy	EUR	USD	33 414,58	1,138900	-38 055,87	1,0891094	1,088444433	-1685,95158
1648226	15 sept 2015	14 janv 2016	Contr_MAR3	Sell	USD	MAD	-1 278 258,28	9,714831	12 418 062,74	9,9007500	9,893698384	-228639,136
1648232	15 sept 2015	25 janv 2016	Contr_MAR3	Sell	USD	MAD	-1 618 521,85	9,718331	15 729 330,53	9,9007500	9,888167695	-274884,935
1657816	22 sept 2015	04 janv 2016	Contr_MAR3	Sell	USD	MAD	-3 207 459,29	9,830261	31 530 161,13	9,9007500	9,898733815	-219624,601

**Figure 6: interface du pricer du change à terme sur Excel.**

Nous allons prendre pour exemple le contrat à terme de caractéristiques suivantes

<b>Type du contrat</b>	Achat à terme
<b>Date de départ</b>	24 /08/2015
<b>Date d'échéance</b>	29/02/2016
<b>Date de valorisation</b>	31/12/2015
<b>Devise de base</b>	EUR
<b>Devise secondaire</b>	MAD
<b>Cours à terme initial</b>	11 ,021103
<b>Cours de change spot</b>	10,783
<b>Montant du notionnel</b>	1 800 000 EUR

L'outil implémenté pour la valorisation de notre change à terme calcule le taux d'intérêt domestique et le taux étranger en effectuant une interpolation linéaire aux courbes des taux zéro coupon (voire annexe) compté tenu de la maturité résiduelle du contrat, qui est égale à la différence entre la date de maturité et la date de valorisation.

## Chapitre 3 : Valorisation des instruments financiers

---

Puis, il calcule à partir des valeurs du taux d'intérêt des deux devises et du cours de change au comptant le cours à terme résiduel, ensuite donne la valeur marché du contrat en fonction de son type (Achat/Vente).

Pour notre exemple, le cours à terme résiduel est estimé à 10.75019.

Donc le Mark-to-Market du contrat est d'une valeur de :

$$\text{MtM} = (10.75019 - 11.021103) * 1\,800\,000 \text{ USD} = -487781.83 \text{ EUR}$$

**CHAPITRE 4 :**  
**LA MISE EN PLACE DE LA CVA**

*La CVA est l'ajustement des valeurs des instruments financiers en incluant le risque de contrepartie.*

*Cet ajustement, étant l'objet de notre exposé, sera effectué éventuellement dans ce chapitre pour les produits valorisés précédemment, options de change, swaps de taux, change à terme.*

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

### I. *L'ajustement en valeur de crédit(CVA):*

#### 1. Définition :

La CVA, de l'anglais (Credit Value Adjustment) est la valeur de marché du risque de défaut d'une contrepartie. On la mesure par la différence entre la valeur sans risque d'un portefeuille et la valeur de celui-ci en tenant compte du défaut potentiel des contreparties. Elle permet de déterminer la «fair value» de certains produits dérivés et de mettre en place des réserves pour se prémunir du défaut d'une contrepartie.

En pratique la CVA est calculée indépendamment pour chaque contrepartie puis agrégée pour obtenir une CVA globale par portefeuille.

#### 2. CVA unilatérale et CVA bilatérale

Le risque de crédit supporté par les contreparties dans un contrat de produits dérivés peut être de nature bilatérale dans la mesure où le contrat peut prendre une valeur de marché positive pour une des parties, ce qui implique que le même contrat aura une valeur de marché négative pour l'autre partie. Cette valeur de marché peut, en cours de vie du contrat, changer de signe pour l'une (respectivement l'autre) contrepartie, ce qui signifie que le risque de crédit est présent de part et d'autre. C'est le cas par exemple d'un swap de taux.

La **DVA (Debit Valuation Adjustment)** représente le risque de contrepartie vu de la perspective de la contrepartie. Elle est de signe opposé à la CVA unilatérale.

Les méthodologies de calcul de la CVA présentées par la suite, sont généralement applicables par symétrie à la DVA.

La CVA résulte de trois composantes :

$$\mathbf{CVA=LGD.PD.EAD}$$

- La probabilité de défaut de la contrepartie (PD)
- Le taux de perte en cas de défaut (LGD)
- L'exposition au moment de défaut (EAD)

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

Chacune de ces trois composantes résultant d'une estimation, nous vous présentons ci-après les différentes approches possibles pour estimer chacune d'elles.

### 3. Modélisation mathématique de la CVA

Il se peut que la contrepartie ne soit en mesure de rembourser qu'une partie de la valeur du contrat. La proportion remboursée est appelée le taux de recouvrement que l'on notera  $R$ , qui peut être nul si l'entreprise n'a plus d'argent après liquidation. Ainsi si le MtM est positif au moment de défaut, la contrepartie nous rembourse  $R \cdot \text{MtM}$ , sinon nous serons dans l'obligation de verser la valeur du MtM à la contrepartie. La perte financière au moment de défaut est :

$$\text{Perte}(t = \tau \text{ défaut}) = \text{LGD} \cdot (\text{MtM}(\tau)) \cdot \mathbf{1}_{\tau \text{ défaut} \leq T}$$

Où  $T$  est la maturité du contrat.

Plaçons-nous sous la probabilité risque-neutre sous laquelle un actif échangeable est une martingale, de ce fait calculer la CVA revient à appliquer la formule suivante :

Formule de calcul de la CVA :

$$\text{CVA}(t) = E_t^Q(\text{LGD} \cdot \text{DF}(t, \tau_{\text{défaut}}) \cdot \text{MtM}^+(\tau_{\text{défaut}}) \cdot \mathbf{1}_{\tau_{\text{défaut}} \leq T})$$

#### II. Hypothèse de calcul de la CVA :

➤ La LGD est constante dans toute la suite ; ainsi il serait possible de faire sortir la grandeur LGD de l'espérance de l'équation précédente :

$$\text{CVA}(t) = \text{LGD} \cdot E_t^Q(\text{DF}(t, \tau_{\text{défaut}}) \cdot \text{MtM}^+(\tau_{\text{défaut}}) \cdot \mathbf{1}_{\tau_{\text{défaut}} \leq T})$$

➤ La corrélation entre la probabilité de défaut et l'exposition n'est pas prise en considération. En effet la formule explicitée précédemment présente un défi majeur celui d'estimer le paramètre de la corrélation entre la qualité de crédit de la contrepartie et l'EAD.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

En effet  $EAD = MtM^+(t = \tau_{dé})$ .

On appelle cet effet lorsque la corrélation est négative le « wrong way risk ».

Nous allons considérer que le défaut de la contrepartie est indépendant de l'exposition au défaut étant donné la complexité du problème lié au calcul de la CVA.

Dans la majorité des cas, si la valeur du Mark-to-Market du dérivé est corrélée au défaut de la contrepartie la méthode qui consiste à calculer le risque de contrepartie par sans tenir compte de la corrélation entre la densité du temps de défaut et le MtM sous-estime le risque réel.

Nous pouvons donner l'exemple de l'achat d'un Put à une contrepartie, le Put portant sur les actions de cette même contrepartie. En effet, si la probabilité de défaut de la contrepartie devient grande, la valeur de ses actions risquent de chuter et la valeur en MtM du Put est très positive, d'où un risque plus grand d'exposition et de perte en cas de défaut. Il existe une grande corrélation entre la valeur en MtM du produit et la probabilité de défaut de la contrepartie.

### III. Formule explicite de la CVA :

En considérant les hypothèses précédentes, à savoir la constance de la LGD et la non corrélation entre la probabilité de défaut et l'exposition, nous apportons des simplifications à la formule de calcul de la CVA :

$$\begin{aligned} CVA(t) &= LGD \cdot E_t^Q(DF(t, \tau_{défait}) \cdot MtM^+(\tau_{défait}) \cdot \mathbf{1}_{\tau_{défait} \leq T}) \\ &= LGD \cdot E_t^Q[E_t^Q(DF(t, s) \cdot MtM^+(s) \cdot \mathbf{1}_{s \leq T / \tau_{défait} = s})] \\ &= LGD \cdot \int_{s=t}^T E_t^Q(DF(t, s) \cdot MtM^+(s)) \cdot p_{\tau_{défait}}(s) ds \end{aligned}$$

Où  $p_{\tau_{défait}}(s)$  la densité de la variable du temps de défaut

Afin de pouvoir procéder à un calcul numérique, une discrétisation de l'intégrale précédente s'impose.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

On suppose que la variable stochastique qui modélise le temps de défaut est une variable aléatoire discrète, on suppose donc que le défaut ne peut intervenir qu'à des dates prédéfinies.

$$CVA(t) = LGD \cdot \sum_{i=1}^N E_t^Q(DF(t, T_i) \cdot MtM^+(T_i) \cdot (P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i - 1)))$$

Où  $T_0 = t$  et  $T_N = T$

La discrétisation de l'intervalle permet de dégager deux termes principaux :

- Une exposition positive actualisée :  $DF(t, T_i) \cdot MtM^+(T_i)$
- Une variation des probabilités de défaut entre deux instants:

$$P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i - 1)$$

Nous pouvons maintenant traiter indépendamment la valorisation de l'exposition au défaut et des probabilités de défaut.

### IV. Estimation des paramètres de la CVA :

#### 1. Estimation de la perte en cas de défaut (Loss Given Default –LGD) :

La LGD est une variable aléatoire qui va modéliser le pourcentage de perte sur l'exposition au moment du défaut. Nous considérerons que cette variable aléatoire est constante et indépendante de toutes les autres variables. Nous observons deux pratiques diverses d'estimation de ce paramètre:

- les probabilités « de marché » consensus utilisées lors de la valorisation des CDS, aboutissant à une LGD de l'ordre de 60% ;

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

- ou des études historiques, aboutissant à une LGD plus faible, de l'ordre de 40%.

Nous avons utilisé la LGD calculée à base de modèles de notation interne du client, étant donné que notre calcul de la CVA s'effectue dans un contexte marocain.

### 2. Estimation des Probabilités de défaut (PD) :

La Probabilité de Défaut  $PD$  est une notion orientée "emprunteur", exprimée en pourcentage, elle correspond à la probabilité qu'une contrepartie soit défaillante sur un horizon d'un an.

Pour calculer ce paramètre de la CVA, il est possible d'utiliser l'une des deux méthodologies principales pour la calibration des probabilités de défaut, l'une fondée sur des données historiques, l'autre fondée des anticipations du marché.

Par ailleurs, la revue des éléments bibliographiques disponibles ainsi que l'analyse des forces et faiblesses de ces deux approches conduisent à envisager un troisième type de méthodes, mixtes, mêlant les deux approches suivantes :

#### ➤ **Utilisation des ratings**

Pour la calibration des probabilités de défaut, une première méthodologie fondée sur les données historiques consiste à utiliser les notations d'agences (S&P, Moody's et Fitch) et leurs matrices de taux de défaut historiquement observées permettant de modéliser la probabilité de défaut.

Cette approche induit la notion de notation externe et interne :

➤ **Notation externe** : qui est fondée principalement sur l'évaluation des agences de notation.

➤ **Notation interne** : Pour estimer la probabilité de défaut de leurs contreparties, certaines entreprises recourent à des modèles de notation interne comme le modèle CreditMonitor de la firme KMV-Moody's, la méthode CreditMetrics de la firme JP Morgan, le logiciel CreditRisk+ de la Credit Suisse et le modèle à intensité.

#### ➤ **Utilisation des spreads CDS**

Cette méthode consiste à estimer les probabilités de défaut à partir des prix de CDS cotés sur le marché. Les CDS cotés en continu permettent ainsi d'aligner les valorisations du risque de contrepartie sur les risques tels qu'ils sont marqués par le marché. Cette

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

méthodologie permet de suivre instantanément les variations des anticipations du marché et la perception du risque.

Le tableau ci-dessous récapitule les différents avantages et inconvénients de l'estimation des probabilités de défaut en utilisant les spreads CDS cotés :

### ➤ **Approches mixtes**

Il va sans dire que les méthodes d'estimation des probabilités de défaut utilisant les ratings ou les spreads CDS présentent chacune des limitations. Par conséquent, il s'avère utile de joindre les deux approches pour construire une approche mixte tirant avantage des spécificités de chaque approche et limitant la portée de leurs inconvénients.

### **4. Estimation de l'Exposition au Défaut (EAD) :**

L'EAD est l'exposition en date de défaut. Il est question de la valorisation positive des produits au moment de défaut probable c'est-à-dire celui qui inclut la probabilité de défaut de la contrepartie. Pour calculer la CVA, on ne considère que la partie positive de la valorisation car le risque de contrepartie ne peut avoir lieu que si cette condition est vérifiée ;

Il s'agit d'une exposition potentielle : la valeur moyenne attendue de la valorisation positive des produits au moment du défaut probable de la contrepartie. Seule la partie positive de la valorisation est considérée pour la détermination de la CVA, du fait de l'asymétrie suivante :

- Si au défaut la valorisation est négative, alors le liquidateur de la contrepartie en défaut va demander à l'entité de solder la position en transférant la somme due ;
- Si au défaut la valorisation est positive, alors l'entité adressera au liquidateur de la contrepartie en défaut une réclamation portant sur un montant correspondant à la valorisation du produit, mais seule une part sera effectivement touchée.

### **Méthode des add-ons forfaitaires :**

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

Cette méthode est un résultat direct des réglementations définies par le comité de Bâle, il est question donc d'une méthode réglementaire qui lie l'exposition potentielle à la somme « **MTM+add-on** », de manière plus simple et facile à appliquer sans avoir recours à des calibrations. L'exposition au défaut dans cette méthode est nommée CEM (Current Exposure Method). L'add-on ajoutée à la valeur du produit correspond à une dérive forfaitaire qui varie selon la fonction du type de sous-jacent et de la maturité afin de pouvoir incorporer les différents mouvements du marché effectifs et probables.

Selon cette approche, l'exposition potentielle est définie comme suit :

$$EaD = \max(MtM + add - on, 0)$$

Avec :

- Le MtM correspond au mark-to-market ou la valeur marché du dérivé.
- Le add-on extrait du tableau suivant (extrait de l'Annexe 4, article

92i du texte de Bâle II) :

Échéance résiduelle	Contrats sur :				
	taux d'intérêt	devises et or	actions	métaux précieux (sauf or)	autres produits de base
≤ 1 an	0,0 %	1,0 %	6,0 %	7,0 %	10,0 %
> 1 an et ≤ 5 ans	0,5 %	5,0 %	8,0 %	7,0 %	12,0 %
> 5 ans	1,5 %	7,5 %	10,0 %	8,0 %	15,0 %

Il va sans dire que cette méthode ne sera utilisée que si l'entité ne dispose pas d'outils de valorisation suffisamment développés leur permettant de déterminer l'assiette du risque de contrepartie. Dotée de la simplicité et de la transparence, néanmoins celle-ci reste limitée et insuffisante pour faire face aux transformations du marché.

### Méthode des add-ons calibrés :

Cette méthode se différencie de la précédente par le niveau de la dérive ajoutée à la valorisation du produit. Loin d'être forfaitaire, ce add-on est calibré en prenant en compte les conditions de marché à la date d'estimation.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

Cette calibration permet de garder une méthodologie relativement simple tout en reflétant mieux les mouvements de marché, d'où l'utilité de cette méthode.

La méthodologie consiste à déterminer un tableau à partir d'une méthode de calcul plus avancée de la CVA.

Ce tableau peut être construit de manière à donner une valeur d'exposition en fonction de la maturité et du taux de swap. Cette grille mise à jour régulièrement assurera la cohérence entre les expositions calculées et les conditions de marché.

### Méthode dite « des swaptions » (pour les swaps)

La méthode des swaptions est une méthode de calcul de CVA utilisée pour les swaps de taux d'intérêt. Elle peut être utilisée pour calibrer des add-ons aux conditions de marché. La méthode des swaptions stipule que l'exposition potentielle est la moyenne des valorisations positives attendues à la date du défaut.

Rappelons la formule de la CVA obtenue précédemment :

$$CVA(t) = LGD \cdot \sum_{i=1}^N E_t^Q(DF(t, T_i) \cdot MtM^+(T_i) \cdot (P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - P(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i - 1)))$$

Le terme de l'espérance dans la somme, correspondant à l'espérance de la partie positive du MtM au temps « s » actualisée, est la valeur d'une option sur le swap résiduel. C'est-à-dire la valeur d'une swaption.

Par conséquent, le calcul de la CVA dans le cadre d'un swap de taux d'intérêt nous ramène au calcul des prix de swaptions sur le swap considéré sur toutes les maturités s'étalant de l'instant t à la maturité T. En d'autres termes, pour estimer l'exposition au défaut d'un swap de taux d'intérêt à une date de défaut probable, il convient de valoriser la swaption dont la maturité est la date de

défaut probable et qui porte sur le « swap résiduel ».

Ces prix de swaptions sont pondérés par la variation de la probabilité de défaut entre les deux

instants consécutifs de la discrétisation.

Ainsi, la formule de calcul de la CVA sur un swap de taux est :

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

$$\text{CVA}(t) = \text{LGD} \cdot \sum_{i=1}^N \text{swaption}(t, T_i, T_N) \cdot (\mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - \mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i - 1))$$

Les intervalles de discrétisation retenus pour le calcul de la CVA sur les swaps de taux sont définis par les instants de tombée de coupon de la jambe la plus fréquente.

Cette méthode peut être étendue à d'autres produits notamment le change à terme. En effet,

en raisonnant par analogie et compte tenu de l'expression du mark-to-market du contrat forward

FX explicitée dans le chapitre précédent, nous avons :

➤ Dans le cas d'un contrat d'achat à terme :

La valeur marché du contrat est :

MtM = (cours à terme résiduel – cours à terme initial) \* Notionnel.

Et l'exposition potentielle à l'instant de défaut est :

EaD = max ( MtM, 0)

Ainsi l'exposition potentielle au temps de défaut est égale au payoff d'une option d'achat de strike

égal au cours à terme initial K et de sous-jacent égal au cours à terme résiduel R.

D'où :

$$\text{CVA}(t) = \text{LGD} \cdot \sum_{i=1}^N \text{call}(t, T_i, R, K) \cdot (\mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - \mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i - 1))$$

Avec  $T_i$  la maturité de l'option.

➤ Dans le cas d'une vente à terme :

La valeur marché du contrat est :

MtM = (cours à terme initial – cours à terme résiduel) \* Notionnel.

Et l'exposition potentielle à l'instant du défaut est : EaD = max (MtM, 0)

Donc, l'exposition potentielle au temps de défaut est égale au payoff d'une option de vente de

strike égal au cours à terme initial K et de sous-jacent égal au cours à terme résiduel R.

D'où :

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

$$\text{CVA}(t) = \text{LGD} \cdot \sum_{i=1}^N \text{put}(t, T_i, R, K) \cdot (\mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_i) - \mathbf{P}(\tau_{\text{défaut}} \leq T_{i-1}))$$

Avec  $T_i$  la maturité du put.

Contrairement aux swaps de taux, un contrat de change à terme ne connaît qu'un seul échange de flux et ce, à la maturité du contrat.

Ainsi, la discrétisation se fait selon une fréquence classique de tombées de flux, par exemple, une fréquence mensuelle, trimestrielle, semestrielle ou annuelle.

Dans notre cas, nous avons utilisé une discrétisation suivant une fréquence mensuelle.

### V. *Méthode de simulation*

Cette méthode consiste à simuler différentes conditions de marché futures et étudier pour chacune d'elles l'exposition au défaut.

Les méthodes précédentes estiment la CVA à partir de mesures d'expositions déterministes sans recourir à des simulations. Elles peuvent capter les dérives futures potentielles dans des cas simples. Pour les cas plus complexes (produits présentant plusieurs facteurs de risques, marges payées en action, etc.), il faut avoir recours à des méthodes stochastiques.

Les méthodes avancées consistent à diffuser les variations de valorisations au cours du temps et de modéliser le comportement du collatéral de façon dynamique. De cette manière, la variation des paramètres de marché et leurs interactions (comme les corrélations entre taux de différentes maturités) sont mieux prises en compte.

Toutefois, les méthodes de diffusion ne consistent pas en de simples Monte Carlo qui permettent uniquement de valoriser à une date donnée le produit car nous avons ici besoin de toutes les évolutions futures de la valorisation probables du produit.

La technique dite de l'American Monte Carlo permet de pallier cette lacune. Au moyen de régressions pertinentes, la méthode numérique va estimer les valorisations pour toutes les dates de projections et sur les différentes simulations générées par l'algorithme de Monte Carlo.

Il sera alors possible, pour un horizon de temps donné, de déterminer la distribution des valorisations et d'en déduire la valeur positive moyenne nécessaire et l'exposition au

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

défaut. Et ceci en utilisant les méthodes Monte Carlo et American Monte Carlo, comme la 1<sup>ère</sup> permet de valoriser l'ensemble des produits financiers (hors produits de type callable) ; et de valoriser dans le futur et pour chaque scénario les produits pour lesquels il existe une formule ferme de valorisation (produits simples : swaps, call, etc.), et la deuxième permet de valoriser l'ensemble des produits financiers ; et de valoriser dans le futur l'ensemble des produits financiers.

Contrairement aux autres méthodologies plus simples, les méthodes par diffusion s'appliquent à tous les types de produits, y compris les portefeuilles. Ces méthodologies, qui simulent les évolutions futures du produit en se calibrant sur les paramètres de marché, sont donc les plus fines et les plus précises pour la valorisation des risques de contrepartie.

### 1. Présentation de la méthode de Monte Carlo

Cette méthode est une méthode numérique qui nécessite de savoir simuler l'EDS du sous-jacent.

La méthode de Monte Carlo est une méthode algorithmique qui vise à calculer une valeur numérique approchée en utilisant des techniques probabilistes.

L'appellation de ces méthodes, qui revient aux jeux de hasard pratiqués à Monte Carlo a été inventée en 1947. La méthode de Monte Carlo est fondée principalement sur la loi forte des grands nombres qui approche la somme de variables aléatoires identiquement distribuées à espérances finies à l'espérance de l'une d'entre elles. Chose qui permet de calculer n'importe quelle espérance en utilisant des algorithmes probabilistes.

#### **Théorème (Loi forte des grands nombres) :**

Soit  $(X_i, i \geq 1)$  une suite de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d)

Telles que  $E(|X_1|) < \infty$ , alors :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right) = E(X_1)$$

### 2. La génération des scénarios :

Un scénario est un ensemble de valeurs que l'on attribue aux variables indépendantes du modèle financier choisi pour modéliser le prix d'un instrument. Ce dernier est lié éventuellement à une équation stochastique à dérivées partielles qui le définit. Cette équation ayant une solution explicite, peut être assimilée à l'équation décrivant la dynamique du taux de change dans le cas des produits de change, en effet :

$$dX(t) = \mu X(t)dt + \sigma X(t)dWt$$

Avec :

$\mu(t) = (rd - rf)$ : Le drift.

$rd$  et  $rf$  : les taux d'intérêt domestique et étranger.

$X$  : le taux de change.

$\sigma$  : la volatilité du taux de change.

$W$  est un mouvement brownien

Dans une simulation de Monte Carlo, la génération de scénarios peut être effectuée suivant deux approches :

➤ **Path dependant simulation** : cette méthode consiste à définir un chemin d'évolution de l'exposition au défaut dans le temps suivant des intervalles prédéfinis  $\{t_k\}_0^n$

Selon cette approche, la solution de l'équation différentielle décrivant la dynamique du taux de change s'écrit :

$$X(t_k) = X(t_{k-1}) \cdot \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(t_k - t_{k-1}) + \sigma\sqrt{t_k - t_{k-1}} \cdot Z\right)$$

où  $Z$  suit une loi normale de moyenne 0 et d'écart type 1.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

➤ **Direct Jump Simulation** : cette méthode consiste à simuler, à partir des valeurs des paramètres à  $t=0$ , un scénario pour l'exposition au défaut à maturité sans prendre en compte les évolutions intermédiaires de ces paramètres.

Selon cette approche, la solution de l'équation différentielle décrivant la dynamique du taux de change s'écrit :

$$X(t_k) = X(t_0) \cdot \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(t_n - t_0) + \sigma\sqrt{t_n - t_0} \cdot Z\right)$$

où  $Z$  suit une loi normale de moyenne 0 et d'écart type 1.

Nous allons nous servir des résultats des deux approches pour la simulation de l'exposition au défaut des options de change et du change à terme sous hypothèse que le paramètre qui impacte considérablement sa valeur est le taux de change.

### VI. Méthode des sensibilités :

Celle-ci est une méthode alternative utile pour calculer la CVA sur un portefeuille quelconque de produits vanilles.

Sans passer par la détermination de l'exposition future, cette méthode permet de modéliser directement la valeur future du produit financier, et ceci en supposant que le MTM future peut s'écrire au 1<sup>er</sup> ordre à l'instant  $t$  pour un instant future  $t_f$  à travers l'équation suivante :

$$\mathbf{MTM}(t_f) = \mathbf{E}_t(\mathbf{M}t\mathbf{M}(t_f)) + \sum_i \delta_{S_i}(t_f) \Delta_{t \rightarrow t_f} S_i \quad (*)$$

Où :

- Les  $S_i$  renvoient aux paramètres auxquels est sensible la  $MtM$ , c'est-à-dire ceux dont une variation d'une seule unité peut impacter la variation du MTM
- $\Delta_{t \rightarrow t_f} S_i$  correspondent aux variations des paramètres entre les instants  $t$  et  $t_f$
- $\delta_{S_i}(t_f)$  sont éventuellement les sensibilités futures du MTM à ces paramètres

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

➤ Les paramètres considérés sont supposés suivre des lois lognormales, et pour convertir les volatilités lognormales en volatilités normales afin d'obtenir un modèle gaussien équivalent au modèle log-normal :

$$\begin{aligned}\Delta S_t &= \sigma S_t \Delta W_t \\ &= \sigma_N \Delta W_t\end{aligned}$$

Où :  $W_t$  est un processus de Wiener et où l'on pose :  $\sigma_N = \sigma S_t$

D'où le fait que  $\Delta t \rightarrow u$  Si la variation des paramètres de sensibilité entre  $t$  et  $t_f$  est une gaussienne d'espérance nulle.

De la relation (\*), on peut déduire que le MTM peut s'écrire comme une somme de variables gaussiennes, donc il est lui-même une gaussienne. Chose qui facilite le calcul de l'espérance de sa partie positive, utilisant la formule de Bachelier, et qui peut induire le fait que le MTM prendre des valeurs positives aussi bien que des valeurs négatives.

Comme le MTM suit une loi normale, caractériser sa loi est équivalent à déterminer son espérance et sa variance.

Mise en exergue avant, l'expression du MTM future :

$$\text{MTM}(t_f) = E_t(\text{MTM}(t_f)) + \sum_i \delta_{S_i}(t_f) \Delta_{t \rightarrow t_f} S_i$$

Et négligeant les corrélations entre les différents paramètres, l'expression devient :

$$\text{var}(\text{MTM}(t_f)) = \sum_i \delta_{S_i}(t_f) \cdot \text{var}(\Delta_{t \rightarrow t_f} S_i)$$

Et comme :

$$\begin{aligned}\Delta S_t &= \sigma S_t \Delta W_t \\ &= \sigma_N \Delta W_t\end{aligned}$$

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

D'après les hypothèses ci-dessus, on obtient :

$$\begin{aligned} \text{Var}_t(\text{MtM}(t_f)) &= \sum_i \delta_{S_i}(t_f) \sigma_i S_i(t) \text{Var}_t(\Delta_{t \rightarrow t_f} \mathbf{W}_i) \\ &= \sum_i \delta_{S_i}(t_f) \sigma_i S_i(t) (t_f - t) \end{aligned}$$

Ainsi, la variance du MTM future peut être déduite automatiquement des sensibilités futures du MTM aux paramètres du marché (les grecques  $\delta_{S_i}(t_f)$ ), qui résultent des MTM futures après choc et variation de ces paramètres auxquels ils sont sensibles.

D'où le calcul de l'exposition au défaut qui est égale à l'espérance de la partie positive du MTM future.

**Formule de Bachelier :**

$$E(G^+) = \mu N\left(\frac{\mu}{\sigma}\right) + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

Avec  $G$  suit une loi normale d'espérance  $\mu$  et de variance  $\sigma^2$ .

### VII. Définition des grecques :

En remarquant la formule de Black and Scholes pour les options, il va sans dire que ces prix dépendent des paramètres suivants :

- $S_t$  valeur du sous jacent
- $T$  temps à la maturité
- $\sigma$  la Volatilité du sous jacent
- $R$  le taux d'intérêt

De ce fait, il s'avère nécessaire de chercher l'effet de la variation de chaque variable sur la valeur de l'option, d'où l'utilité des sensibilités identifiées éventuellement par les lettres grecques.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

Les grecques sont ainsi des indicateurs pour la gestion de risque lié aux options qui calculent l'impact sur le prix de l'option d'une variation des paramètres dont elle dépend.

Dans cette partie, nous allons présenter les grecques et décrire leurs caractéristiques dans le cadre d'une option d'achat et de vente, dans un contexte de Black and Scholes et en particulier dans le contexte de Garman Kolhagen des options de change, le cas le plus utilisé dans notre projet.

De cet abord, les expressions des Grecques se présentent comme suit:

➤ **Le Delta** : Le delta d'une option représente la variation du prix de l'option par rapport à une variation unitaire du prix de l'actif sous-jacent, c'est-à-dire :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{\text{Call}} = \frac{\partial C}{\partial S} \\ \Delta_{\text{Put}} = \frac{\partial P}{\partial S} \end{array} \right.$$

Le Delta d'une option d'achat varie entre 0 et 1 tandis que celui de l'option de vente varie entre 0 et -1. L'option d'achat dont le sous-jacent ne verse pas de dividende verra son Delta évoluer avec sa valeur. Ainsi Delta tendra vers 0 lorsque que l'option sera hors de la monnaie et tendra vers 1 lorsque l'option sera dans la monnaie.

➤ **Le Thêta** : Le thêta d'une option exprime la sensibilité du prix de l'option au temps.

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{\text{Call}} = r_f S_0 N(-d_1) e^{-r_f T} - r_d K e^{-r_d T} N(d_2) - \sigma S_0 \frac{e^{-r_f T} N(d_1)}{2\sqrt{T}} \\ \theta_{\text{Put}} = -r_f S_0 N(-d_1) e^{-r_f T} + r_d K e^{-r_d T} N(d_2) - \sigma S_0 \frac{e^{-r_f T} N(d_1)}{2\sqrt{T}} \end{array} \right.$$

Ce dernier fournit une indication sur la vitesse à laquelle le prix de l'option décroît plus la date d'échéance approche.

Pour une option d'achat, Theta est proche de 0 lorsque l'option est hors de la monnaie et large et négatif lorsque l'option est à la monnaie.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

➤ **Le Véga** : Le Véga d'une option mesure la sensibilité de la prime de l'option à la volatilité.

$$\text{Véga}_{\text{Call}} = \text{Véga}_{\text{Put}} = \frac{\partial C}{\partial \sigma} = \frac{\partial P}{\partial \sigma} = S_0 \sqrt{T} \kappa(d_1) e^{-r_f T}$$

➤ **Le Rhô** : Le Rhô d'une option permet de mesurer la variabilité d'une option par rapport au niveau des taux d'intérêt sans risque. On distingue le Rhô foreign et le Rhô domestique : Le Rhô foreign correspond à la sensibilité de la prime au taux étranger. Quant au Rhô domestique, il correspond à la sensibilité de la prime de l'option au taux domestique.

Un Changement dans les taux d'intérêt va entraîner une variation du facteur d'actualisation et ainsi de la valeur de l'option. Cependant, il a un impact relativement faible sur la valeur de l'option comparé aux autres dérivées partielles.

$$\text{Rhô}_{\text{foreignCall}} = \frac{\partial C}{\partial r_f} = -TS_0 N(d_1) e^{-r_f T}$$

$$\text{Rhô}_{\text{foreignPut}} = \frac{\partial P}{\partial r_f} = TS_0 N(-d_1) e^{-r_f T}$$

$$\text{Rhô}_{\text{domestiqueCall}} = \frac{\partial C}{\partial r_d} = TKN(d_2) e^{-r_d T}$$

$$\text{Rhô}_{\text{domestiquePut}} = \frac{\partial P}{\partial r_d} = -TKN(-d_2) e^{-r_d T}$$

### VIII. Résultats de calcul de la CVA :

#### 1. Résultats de calcul de la CVA pour des options de change :

Pour le calcul de la CVA pour une option de change nous avons opté pour la méthode de diffusion moyennant une simulation PDS et DJS.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

Nous allons considérer une option FX USD/MAD de caractéristiques suivantes :

caractéristiques du contrat	
Date de valeur	09/11/2015
Date de valorisation	31/12/2015
Date d'échéance	04/08/2016
Sens du contrat	Achat
Type de l'option	PUT
Devise de base	USD
Devise secondaire	MAD
Notionnel en ddb	10 470 900,00
Strike	10,0500
Spot date valo	9,9008
Volatilité	6,4%
Taux domestique	2,5799%
Taux foreign	0,7555%

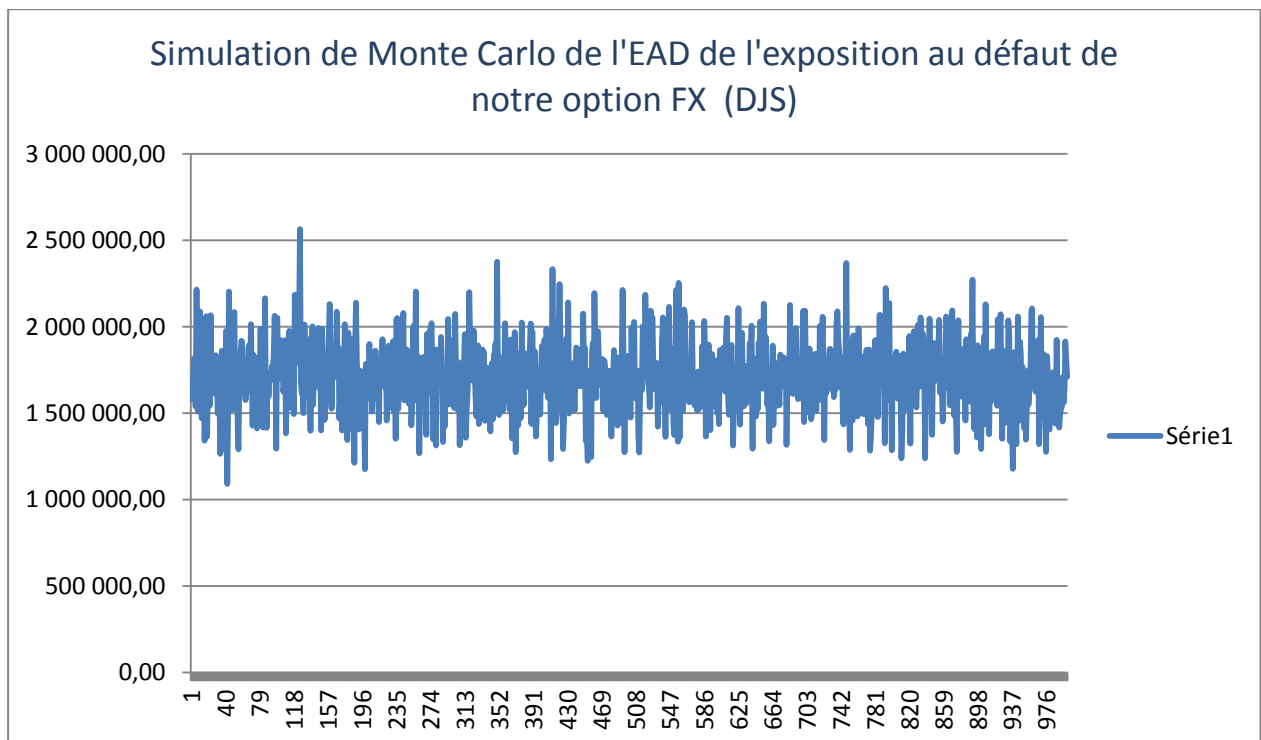
Ce contrat a été conclu avec une contrepartie dont la LGD et la probabilité de défaut émanant des modèles de notation interne à la banque sont présentés comme suit :

LGD	60%
DF Contr_MAR1	2,1%

Le taux de change (sous-jacent) est le paramètre qui impacte le plus la valeur marché d'une option de change d'où le choix de la méthode de diffusion. La méthode consiste à simuler des trajectoires aléatoires du taux FX et prendre le scénario moyen. Nous arrivons à obtenir une estimation de l'exposition au défaut et donc la valeur de la CVA.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

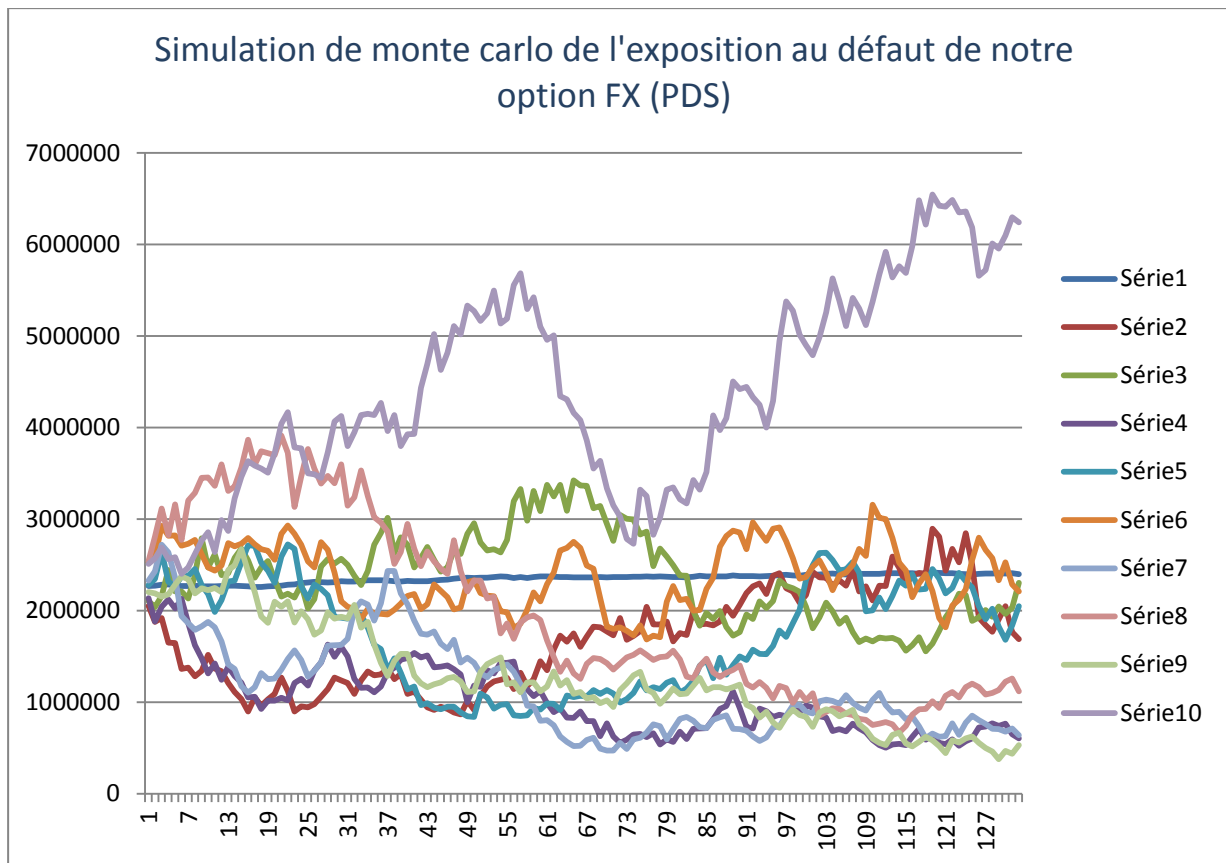
Les graphes ci-dessous illustrent la simulation de Monte carlo (PDS) et (DJS) de l'exposition au défaut de notre option :



**Figure 7: Simulation (DJS) de l'exposition au défaut.**

D'après le graphique ci-dessus, les 1000 scénarios prévus pour la valeur de l'exposition au défaut à la maturité du contrat oscillent autour d'une valeur moyenne de 1 708 281 MAD.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA



**Figure 8: Simulation (DJS) de l'exposition au défaut.**

Par soucis de lisibilité nous avons choisi d'illustrer seulement 10 scénarios, pris aléatoirement, parmi les 1000 scénarios simulés pour l'exposition au défaut moyennant une simulation PDS.

Nous constatons que l'exposition au défaut peut suivre des scénarios différents avec une tendance tantôt baissière tantôt haussière convergeant vers un scénario moyen (présenté en bleu).

Les résultats de calcul de la CVA pour les deux types de simulations sont présentés dans le tableau suivant :

	Méthode de diffusion PDS	Méthode de diffusion DJS
Valeur de la CVA	23984.73 MAD	21415.47 MAD
CVA en % du nominal	0.023%	0.021%
CVA en % du MtM	1.0598%	0.9463%

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

**Tableau 5: Résultat de calcul de la CVA pour option de change**

L'écart entre les deux valeurs n'est pas considérable, donc les deux méthodes convergent. Ceci est dû au fait que les options européennes ne sont exerçables qu'à maturité et ne génèrent pas des flux intermédiaires qui peuvent donner lieu à des écarts considérables entre les valeurs de l'exposition et donc de la CVA.

La figure ci-dessous présente l'interface de l'outil implémenté sous VBA-Excel pour le calcul de la CVA pour notre option de change:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

calcul de la CVA pour option	
caractéristiques du contrat	
Date de valeur	09/11/2015
Date de valorisation	31/12/2015
Date d'échéance	04/08/2016
Sens du contrat	Achat
Type de l'option	PUT
Devise de base	USD
Devise secondaire	MAD
Notionnel en ddb	10 470 900,00
Strike	10,0500
Spot date valo	9,9008
Volatilité	6,4%
Taux domestique	2,5799%
Taux foreign	0,7555%
MtM de l'option	2263144,75 MAD
sensibilité du MtM au temps	72,17%
sensibilité du MtM au taux forex	47,09%
sensibilité du MtM à la volatilité	0,20%
sensibilité du MtM au taux domestique	0,20%
sensibilité du MtM au taux foreign	0,20%

CVA (Monte Carlo PDS)	
valeur de la CVA en MAD	24960,81109
CVA en % du nominal	0,02408%
CVA en % du MtM	1,1029%

caractéristiques de la contrepartie	
LGD	60%
DF Contr_MAR1	2,1%

CVA (Monte Carlo DIS)	
valeur de la CVA en MAD	21415,47482
CVA en % du nominal	0,02066%
CVA en % du MtM	0,9463%

**Figure 9: Interface de l'outil de calcul de la CVA pour option de change**

### 2. Résultats de calcul de la CVA pour un swap de taux:

Pour le calcul de la CVA pour un swap de taux nous allons opter pour la méthode des swaptions qui s'avère être la plus approprié.

Nous avons pris comme exemple un swap de taux d'intérêt conclu entre deux parties le 29 juin 2015, entrant en vigueur 01 juillet 2015 et arrivant à échéance le 19 juin 2024.

La première partie paye un taux fixe de 1.065% sur un notionnel de 13.000.000 EUR avec une fréquence annuelle et une base de comptage exact/exact.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

La deuxième partie, quant à elle, paye un Euribor 6M sur le même montant du notionnel avec une fréquence semestrielle et une base de comptage exact/360.

La date de valorisation est le 31 décembre 2015 avec les taux de marché de l'époque et en considérant un univers monocourbe .Ce qui implique que la courbe utilisée pour l'actualisation des cash-flows est l'Euribor 6 mois.

➤ Swap payeur de taux fixe :

Pour le calcul de l'exposition au défaut, il faut valoriser des swaptions de maturité  $T_i$ , de strike  $K=1.065\%$  (le taux fixe) et de sous-jacent égal au taux de swap, avec  $i$  la date de tombée de coupons de la jambe la plus fréquente soit la semestrielle.

Ci-dessous l'interface du calcul des prix des swaptions :

date de valorisation		31/12/2015					
swaption							
maturité	ténor	annuité	strike	taux swap	volatilité	prix de l'option	EAD
20/06/2016	19/06/2024	8,003	1,065%	0,4554209%	89,65273059	3,64461%	473799,9478
19/12/2016	19/06/2024	7,504	1,065%	0,4581555%	88,05590771	3,43805%	446946,3692
19/06/2017	19/06/2024	7,005	1,065%	0,5322131%	87,22937872	3,72841%	484693,0084
19/12/2017	19/06/2024	6,504	1,065%	0,5271482%	86,17384282	3,19774%	415706,8422
19/06/2018	19/06/2024	6,005	1,065%	0,6044746%	85,26776919	-2,76568%	-359537,8444
19/12/2018	19/06/2024	5,504	1,065%	0,5950909%	84,0834095	-2,58643%	-336236,0545
19/06/2019	19/06/2024	5,005	1,065%	0,6939171%	82,95783757	-1,85745%	-241468,219
19/12/2019	19/06/2024	4,504	1,065%	0,6557907%	82,64432111	-1,84312%	-239606,084
19/06/2020	19/06/2024	4,003	1,065%	0,7700342%	82,35690726	-1,18067%	-153487,2569
21/12/2020	19/06/2024	3,496	1,065%	0,7046202%	81,80622188	-1,25985%	-163780,2833
21/06/2021	19/06/2024	2,997	1,065%	0,8483322%	81,18612903	-0,64941%	-84423,25876
20/12/2021	19/06/2024	2,499	1,065%	0,7352000%	79,68124962	-0,82405%	-107126,2588
20/06/2022	19/06/2024	2,000	1,065%	0,9207449%	78,22167123	-0,28851%	-37506,33651
19/12/2022	19/06/2024	1,501	1,065%	0,7094725%	73,29725464	-0,53378%	-69391,16669
19/06/2023	19/06/2024	1,003	1,065%	0,9816070%	68,30303824	-0,08362%	-10870,7929
19/12/2023	19/06/2024	0,501	1,065%	0,5034892%	68,36506849	-0,28152%	-36598,1977

**Tableau 6: Résultat de calcul de l'exposition par la méthode des swaptions.**

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

La probabilité de défaut lu sur Bloomberg issue de la méthode des spreads CDS, ainsi que la valeur de la perte en cas de défaut (LGD) de la contrepartie dans notre exemple sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

PD	7%
LGD	60%

**Tableau 7 : PD et LGD de la contrepartie**

Ainsi, nous pouvons déduire la valeur de la CVA, la PD et LGD étant connus:

maturité	ténor	notionnel	EAD	PD	LGD	CVA
20/06/2016	19/06/2024	13000000,00	473799,9478	7%	60%	19899,59781
19/12/2016	19/06/2024	13000000,00	446946,3692	7%	60%	18771,74751
19/06/2017	19/06/2024	13000000,00	484693,0084	7%	60%	20357,10635
19/12/2017	19/06/2024	13000000,00	415706,8422	7%	60%	17459,68737
19/06/2018	19/06/2024	13000000,00	-359537,8444	7%	60%	0
19/12/2018	19/06/2024	13000000,00	-336236,0545	7%	60%	0
19/06/2019	19/06/2024	13000000,00	-241468,219	7%	60%	0
19/12/2019	19/06/2024	13000000,00	-239606,084	7%	60%	0
19/06/2020	19/06/2024	13000000,00	-153487,2569	7%	60%	0
21/12/2020	19/06/2024	13000000,00	-163780,2833	7%	60%	0
21/06/2021	19/06/2024	13000000,00	-84423,25876	7%	60%	0
20/12/2021	19/06/2024	13000000,00	-107126,2588	7%	60%	0
20/06/2022	19/06/2024	13000000,00	-37506,33651	7%	60%	0
19/12/2022	19/06/2024	13000000,00	-69391,16669	7%	60%	0
19/06/2023	19/06/2024	13000000,00	-10870,7929	7%	60%	0
19/12/2023	19/06/2024	13000000,00	-36598,1977	7%	60%	0
valeur de la CVA						76488,13904
CVA en % du nominal						0,59%

**Tableau 8: Résultat du calcul de la CVA pour un swap payeur du fixe**

Ainsi, la valeur de la CVA est de 76488.14 soit 0.59 % du nominal.

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

---

### 3. Résultats de calcul de la CVA pour un change à terme:

La méthode que nous allons utiliser pour le calcul de la CVA pour les forwards FX est la méthode des swaptions adaptée au change à terme.

Soit le contrat d'achat à terme que nous avons valorisé dans le troisième chapitre :

le type du contrat	achat à terme
la date de départ	09/07/2015
la date d'échéance	31/12/2015
la date de valorisation	17/03/2016
la devise de base	USD
la devise secondaire	MAD
le cours à terme initial	8,944353
le cours de change spot	9,90075
montant du notionnel	2500000 USD

## Chapitre 4 : La mise en place de la CVA

Ci-dessous l'interface du pricer de CVA pour le change à terme.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	caractéristiques du contrat														
2	date de valeur	24/08/2015													
3	date de valorisation	31/12/2015													
4	date d'échéance	29/02/2016													
5	typt du contrat	achat à terme													
6	devise de base	EUR													
7	devise secondaire	MAD													
8	notionnel en ddb(USD)	1800000 EUR													
9	cours à terme initial	11,021183													
10	MTM du CAT	-487781,83													
11															
12															
13															
14															
15	type de l'option	CALL													
16															
17	date de valorisation	date d'échéance	durée résiduelle	strike	strike equivalent	CAT(cours à terme résiduelle)	spot date valo	taux ddb	taux devise secondaire	volatilité EUR USD	volatilité	call	PD	LGD	CVA
18		31/12/2015													
19	31/12/2015	15/01/2016	15	11,021183	1,113167	10,75019337	10,78300	-0,31%	2,58%	9,173%	5,578%	21 719,84	2,1%	60%	273,67
20	31/12/2015	30/01/2016	30	11,021183	1,113167	10,75019337	10,78300	-0,28%	2,57%	9,502%	5,778%	3 542,63	2,1%	60%	44,6370941
21	31/12/2015	14/02/2016	45	11,021183	1,113167	10,75019337	10,78300	-0,25%	2,56%	9,554%	5,810%	536,48	2,1%	60%	6,75967239
22	31/12/2015	29/02/2016	60	11,021183	1,113167	10,75019337	10,78300	-0,23%	2,56%	9,377%	5,703%	60,57	2,1%	60%	0,76324483
23															

	Cours	Pondération
EUR/MAD	10,783000	60,81%
USD/MAD	9,900750	39,19%
EUR/USD	1,089109	100%

résultat CVA par la méthode de swaption	
valeur de la CVA	325,83003
CVA en % du nominal	0,0181%
CVA en % DU MtM	0,0000%

Figure 9: interface de l'outil de calcul de la CVA pour change à terme

Ainsi, la valeur de la CVA est de 325.83 soit 0.0181 % du nominal.

# Conclusion

---

## Conclusion

L'objectif de notre projet de fin d'étude était de réaliser un pricer sur VBA-Excel pour des produits dérivés vanilles à savoir, les options de change, les swaps de taux et le change à terme.

Ce travail, pour arriver au résultat final, a nécessité plusieurs étapes. Nous rappelons qu'il s'agissait dans un premier temps de présenter les nouvelles dispositions réglementaires. Ces normes introduisent l'ajustement en valeur crédit (CVA) à la valorisation des instruments dérivés.

Ensuite, avant d'implémenter des pricers calculant la valeur de la CVA des produits dérivés cités ci-dessus, nous avons calculé la valeur marché de ces mêmes produits.

Pour le calcul de la CVA, nous avons essayé de diversifier les méthodes entre des méthodes déterministes et stochastiques.

Cependant, cette problématique étant très complexe, elle a été traitée en considérant un ensemble d'hypothèses fortes et de simplifications. Afin de permettre un calcul plus précis, certaines de ces hypothèses sont à revoir : comment estimer la LGD d'une entreprise ? Comment intégrer la corrélation entre le temps de défaut et d'autres variables telle que la LGD ? Ceci dit de nombreuses améliorations peuvent être apportées, et les perspectives sont nombreuses.

Globalement, l'objectif a été atteint. Néanmoins, l'ajustement en valeur de crédit concerne aussi bien des instruments financiers qui n'ont pas été traités dans le présent rapport qu'il serait utile d'envisager dans un cadre plus profond.

## Bibliographie

### ❖ Ouvrages :

- [1] D. Brigo and M. Masetti, Risk Neutral Pricing of Counterparty Risk, version 08/11/2005.
- [2] D. Brigo and M. Masetti, A Formula for Interest Rate Swaps Valuation under Counterparty Risk in presence of Netting Agreements, version 4/05/05.
- [3] J.Hull, options, futures and other derivatives, version 2005.

### ❖ Documents :

- [1] M. Nordine CHOUKAR, CVA-DVA Tour d'horizon des methodologies de calcul, juin 2013, [Document électronique] , [www.mazars.fr/Accueil/News/Publications/Enquetes-et-Etudes](http://www.mazars.fr/Accueil/News/Publications/Enquetes-et-Etudes).
- [2] Banque des Réglements et Etudes, Bâle III – Risque de contrepartie – Questions fréquemment posées, Novembre 2011. [Document électronique], <http://www.bis.org/publ/bcbs209>.

### ❖ Mémoires :

- [1] H.BENKHALDOUN, Risque de contrepartie et ajustement en valeur de crédit. Université Paris Dauphine, Master Ingénierie statistique et financière. Septembre 2012.
- [2] H.SALIH, La modélisation du risque de contrepartie lié aux instruments financiers et l'ajustement en valeur crédit(CVA) selon la norme IFRS 13, Institut National de Statistique Et d'Economie Appliquée, Diplôme d'Ingénieur d'Etat.2013-2014.
- [3] I.BELLAMINE, Risque de contrepartie et ajustement en valeur de crédit(CVA), Institut National de Statistique Et d'Economie Appliquée, Diplôme d'Ingénieur d'Etat.2013-2014.
- [4] B.LANGE, Méthodes de calcul de la CVA, Université Paris-Diderot, Master2 Modélisation Aléatoire, Octobre 2012.

# Webographie

---

❖ Webographie :

[1] <http://www.fimarkets.com/>

[2] [http:// www.defaultrisk.free.fr/](http://www.defaultrisk.free.fr/)

[3] <http://www.iotafinance.com/>

[4] <http://www.financedemarche.fr/>

[5] <http://www.boursorama.com/>

## Annexe

### Annexe :

Les courbes zéros coupons pour les différentes devises au 31/12/2015 :

MAD			EUR		
Maturité		MID	Maturité		MID
04/01/2016	1d	2,5855%	04/01/2016	O/N	-0,3549%
31/03/2016	13w	2,5412%	05/01/2016	T/N	-0,3356%
30/06/2016	26w	2,5662%	12/01/2016	1W	-0,3143%
29/12/2016	52w	2,6370%	05/02/2016	1M	-0,2649%
02/01/2017	1Y	2,6166%	07/03/2016	2M	-0,2174%
02/01/2018	2Y	2,7849%	05/04/2016	3M	-0,1713%
31/12/2018	3Y	2,9154%	17/06/2016	mars-16	-0,1810%
31/12/2019	4Y	3,0232%	23/09/2016	juin-16	-0,1834%
31/12/2020	5Y	3,1065%	23/12/2016	sept-16	-0,1851%
31/12/2021	6Y	3,1851%	17/03/2017	DEC 16	-0,1846%
02/01/2023	7Y	3,2629%	23/06/2017	mars-17	-0,1801%
02/01/2024	8Y	3,3444%	05/01/2018	2Y	-0,0345%
31/12/2024	9Y	3,4292%	07/01/2019	3Y	0,0572%
31/12/2025	10Y	3,5959%	06/01/2020	4Y	0,1875%
31/12/2026	11Y	3,7329%	05/01/2021	5Y	0,3270%
31/12/2027	12Y	3,7933%	05/01/2022	6Y	0,4764%
02/01/2029	13Y	3,8544%	05/01/2023	7Y	0,6238%
31/12/2029	14Y	3,9547%	05/01/2024	8Y	0,7630%
			06/01/2025	9Y	0,8959%
			05/01/2026	10Y	1,0145%
			05/01/2027	11Y	1,1167%
			05/01/2028	12Y	1,2168%
			05/01/2029	13Y	1,2983%

## Annexe

### La surface de volatilité des swaps de taux du 31/12/2015 récupérée de Bloomberg

Expir.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
0,08	30,19	44,9	54,71	60,94	66,41	67,13	67,62	68,03	67,97	68,02	68,19	68,37	69,12	70,4	71,78
0,25	42,44	56,83	66,52	71,39	75,46	76,46	77,29	77,75	77,94	78,07	78,39	78,78	79,9	81,34	82,86
0,49	48,52	61,94	70,04	74,52	78,4	79,4	80,26	80,75	81,09	81,31	81,57	81,89	82,74	84,21	85,73
0,74	54,19	65,11	72,14	76,44	79,97	80,89	81,56	82,18	82,55	82,68	82,79	82,9	83,2	84,49	85,9
1	59,72	68,35	74,57	78,24	81,47	82,21	82,78	83,13	83,46	83,75	83,75	83,7	83,88	85,2	86,55
2	76,27	79,73	81,63	83,27	84,79	85,14	85,39	85,57	85,75	85,89	85,59	85,04	84,6	85,82	87,08
3	86,33	86,47	86,81	87,08	87,24	87,2	87,2	87,26	87,28	87,23	86,67	85,75	84,81	85,86	86,88
4	90,3	89,83	89,63	89,31	88,82	88,57	88,39	88,2	87,97	87,89	86,82	85,19	84,25	85,03	86,2
5	92,29	91,82	91,42	90,8	90,13	89,67	89,31	89,06	88,71	88,5	87,15	85,12	83,73	84,4	85,68
6	92,15	91,75	91,06	90,34	89,67	89,21	88,77	88,41	88	87,76	86,36	84,23	82,89	83,68	84,87
7	92,04	91,39	90,65	89,92	89,28	88,71	88,26	87,79	87,34	87,02	85,57	83,34	82,03	82,94	84,03
8	90,13	89,68	89,21	88,73	88,19	87,7	87,23	86,79	86,31	86	84,55	82,27	80,96	81,89	82,97
9	88,66	88,38	88,1	87,67	87,25	86,8	86,34	85,83	85,38	85,05	83,54	81,23	79,89	80,84	81,9
10	87,58	87,34	86,99	86,66	86,37	85,98	85,43	84,91	84,46	84,15	82,55	80,18	78,81	79,76	80,81
12	85,34	84,83	84,67	84,24	83,98	83,66	83,23	82,92	82,55	82,2	80,66	78,33	77,05	77,8	78,74
15	81,94	80,82	80,7	80,42	80,41	80,12	79,8	79,76	79,6	79,27	77,78	75,55	74,4	74,85	75,62
20	76,92	75,98	75,85	75,84	75,88	75,79	75,62	75,62	75,58	75,52	74,28	72,44	71,9	72,22	72,86
25	75,13	74,85	74,83	74,78	75	75,22	75,51	75,76	75,97	76,12	74,8	72,84	73,64	74,37	75,09
30	75	75,45	75,77	76,23	76,47	76,81	77,15	77,44	78,04	78,61	77,62	76,18	77,37	78,08	78,46