



المندوبية السامية للتخطيط
HAUT-COMMISSARIAT AU PLAN



Institut National de
Statistiques d'Economie Appliquée

ROYAUME DU MAROC

*_*_*_*_*

HAUT COMMISSARIAT AU PLAN

*_*_*_*_*_*_*_*_*

Institut National de Statistique et d'Economie Appliquée

Projet de Fin d'Études

Étude et développement d'outils quantitatifs de trading ForeX

Préparé par : Radouane ABOULMAOUDA

Sous la direction de : M. Yassine EL QALLI (INSEA)

M. Nabil EL MAHYAOUI (CDG Capital)

Soutenu publiquement comme exigence partielle en vue de l'obtention du

Diplôme d'Ingénieur d'État

Option : Actuariat-Finance

Devant le jury composé de :

- M. Yassine EL QALLI (INSEA)
- M. Mohammed El HAJ TIRARI (INSEA)
- M. Nabil EL MAHYAOUI (CDG Capital)

Juin 2014

RÉSUMÉ ET MOTS CLÉS

Le présent document constitue une synthèse de mon projet de fin d'étude, effectué à la salle des marchés de la CDG Capital, l'acteur de référence de la banque d'investissement au Maroc.

En effet, la CDG Capital a décidé de passer du langage VBA-Excel vers l'environnement C# .NET de Microsoft, un langage de programmation qui offre la possibilité d'automatiser l'ensemble des applications financières d'une façon très souple et avancée.

La perspective générale de ce dernier est d'automatiser la plateforme analytique du desk change, afin de contribuer à la mise en place d'une couche infra-structurelle pour l'environnement de production au sein de l'entité.

L'objet de ce mémoire est d'étudier les différents produits de change : change au comptant, change à terme et les options de change, puis de développer des outils qui permettent de valoriser ces produits.

Mots clés

Forex, C#, POO, Spot, Forward, option, Devise, Garman Kohlhagen

ABSTRACT AND KEYWORDS

The recent research paper summarises the study I have conducted on trading floors of CDG capital.

CDG capital decided to shift from Excel VBA-language environment to C#. NET Framework, a programming language that provides the ability to automate all financial applications in a very flexible and advanced way.

The general perspective of this work is to set up an analytical infrastructural layer, to enhance and secure the production environment within the entity.

The present thesis aims at investigating different exchange products namely : exchange spot, forward exchange and currency options. It also tries to develop the necessary tools to evaluate these products.

Keywords

Forex, POO, C #, Spot, Forward, option, currency, Garman Kohlhagen

REMERCIEMENT

Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a favorisé son aboutissement.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier M. Nabil EL MAHYAOUI, polytechnicien et analyste quantitatif au sein de la salle des marchés de la CDG Capital, pour m'avoir encadré et encouragé tout au long de ce projet, et prodigué ses directives précieuses et ses conseils pertinents, qui m'ont été d'un appui considérable dans ma démarche.

Mes vifs remerciements vont aussi à mon encadrant pédagogique, M. Yassine EL QALLI, pour son encadrement, ses conseils, ses directives et sa disponibilité, afin de m'aider à élaborer ce travail.

Je tiens aussi à remercier le membre du Jury M. Mohammed El HAJ TIRARI pour avoir accepté de juger mon travail.

Je saisis aussi l'occasion pour remercier tous les autres collaborateurs de la salle des marchés CDG Capital pour leurs soutiens et plus particulièrement M. Driss MASAOUDI.

Que le corps professoral et administratif de l'INSEA trouve ici mes vifs remerciements. Je remercie particulièrement M. Fouad MARRI pour son professionnalisme, et sa disponibilité permanente.

Je remercie enfin toute personne ayant contribué dans l'élaboration de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	1
ABSTRACT	2
REMERCIEMENTS	3
LISTE DES ABRÉVIATIONS	10
INTRODUCTION GÉNÉRALE	11
1 L'environnement C# .NET et introduction au marché des changes	14
1.1 Le métier de l'analyste quantitatif (quant!)	14
1.2 C#, un langage Orienté Objet	15
1.2.1 Pourquoi l'orienté objet ?	15
1.2.2 Le choix de C#	15
1.2.3 Notions de base et motivations	16
1.2.4 Développer un Addin pour Excel 2010 avec C#	17
1.3 Le marché des changes ou "Forex"	19
1.3.1 Concepts et définitions	19
1.3.2 Les intervenants sur le marché des changes	20
1.3.3 Les compartiments du marché des changes	21
1.3.4 Régime de change applicable au Maroc	23

2	Simulation du panier MAD	25
2.1	Pourquoi déterminer le panier MAD ?	25
2.2	Composition du panier	26
2.2.1	Modélisation du panier de définition du dirham	26
2.3	Présentation des variables	27
2.3.1	Analyse descriptive	27
2.3.2	Analyse des corrélations entre les variables	29
2.4	Estimation des modèles	30
2.4.1	Régression linéaire pas à pas descendante	30
2.4.2	Illustration du panier	32
2.5	Automatisation de la régression	33
3	Valorisation et couverture de change au comptant	35
3.1	Les opérations de change au comptant	35
3.1.1	Définition du taux de change comptant	35
3.1.2	Les cours croisés	36
3.1.3	Marché clientèle et interbancaire	36
3.2	Système de cotation	38
3.2.1	Mécanismes de cotation Interbancaire	38
3.2.2	Mécanismes de cotation clientèle	39
3.3	Conception du pricer	40
3.3.1	Méthodologie de pricing	40
3.3.2	Implémentation en C#	42
3.3.3	Présentation du pricer	42
3.4	Couverture de change au comptant	44
3.4.1	Stratégies de couverture	44
3.4.2	Conception du pricer	45
3.4.3	Les caractéristiques d'une opération spot	45
3.4.4	Présentation du pricer de couverture	46

4	Valorisation du taux de change à terme	47
4.1	Le marché des change à terme	47
4.2	Contrat à terme sur devise	47
4.2.1	Exemple	48
4.3	Calcul du cours à terme	48
4.3.1	Détermination du cours de change à terme	48
4.3.2	Stratégie de réplication	49
4.4	Le modèle d'évaluation de change à terme	50
4.4.1	Capitalisation continue	50
4.4.2	Capitalisation discrète	50
4.4.3	Report/Déport	51
4.5	Mise en place d'un pricer	51
5	Valorisation et couverture des options FX	53
5.1	Aperçu sur les options de change	53
5.1.1	Définitions	53
5.1.2	Payoff des options vanilles	54
5.2	Les modèles de calculs	56
5.2.1	Le Modèle de Black & Scholes	57
5.2.2	Le modèle de Garman Kohlhagen	59
5.3	Les facteur de sensibilité (Les greeks)	59
5.4	Discussion du modèle GK	63
5.5	Présentation du pricer	63
	CONCLUSION GÉNÉRALE	64
	GLOSSAIRE	65
A	Présentation de la CDG Capital	68
B	Liste des devises avec le code ISO	70
C	Extraits de code C#	71
D	Méthodes d'interpolation entre deux taux	73

TABLE DES FIGURES

1.1	Interface Visual studio 2012	16
1.2	Création d'un nouveau projet add-in Excel 2010	18
1.3	Création d'un nouveau ribbon	18
2.1	Évolution des taux de changes EURMAD et EURUSD	28
2.2	Évolution des taux de changes CAD,GBP,JPY et CHF contre l'Euro	28
2.3	Interface d'automatisation des pondérations Euro et Dollar	34
3.1	Taux de change spot coté par BAM le 30/05/2014	36
3.2	Spread amélioré pour le marché interbancaire local	38
3.3	Spread amélioré pour la clientèle local	39
3.4	Présentation du complément Excel nommé "Forex"	42
3.5	L'interface du pricer spot, cotations interbancaires	43
3.6	L'interface du pricer spot, cotations clientèle	43
3.7	L'interface du pricer de couverture spot	46
4.1	L'achat à terme de la devise D1 contre D2	49
4.2	Interface principale du pricer de change à terme	52
5.1	long d'un call	54
5.2	Short d'un call	55
5.3	long d'un put	55
5.4	Short d'un put	56

5.5	Évolution du Delta d'un call	60
5.6	Évolution du Gamma d'un call	61
5.7	Évolution du Véga d'un call	61
5.8	Évolution du Thêta d'un call	62
5.9	Pricer des options de change vanilles(GK)	63

LISTE DES TABLEAUX

1	Expression de besoin plate-forme analytique : Desk change	13
1.1	Exemple d'implémentation du modèle de Black Scholes	17
1.2	Avantages et inconvénients des contrats à terme	22
2.1	Matrice de corrélation entre les variables étudiées	29
2.2	Résultat de la régression complète de EURMAD sur les variables étudiées	30
2.3	Résultat de la régression sans constante de EURMAD sur les variables étudiées .	31
2.4	Résultat de la régression simple de EURMAD sur l'EURUSD	31
2.5	Résultat de la régression complet de USDMAD sur les variables étudiées	32
2.6	Résultat de la régression simple de USDMAD sur l'USDEUR	32
3.1	Cotations comparatives des différente banques	37
3.2	Conception du pricer spot	41
B.1	Liste des devises par pays avec le code ISO	70

SIGLES ET ABREVIATIONS

Ci-dessous l'ensemble des sigles et abréviations utilisés dans ce mémoire, présentés par ordre alphabétique.

ASK	: Cours vendeur
ATM	: At The Money
BAM	: Bank-Al-Maghrib
BID	: Cours acheteur
CDG	: Caisse de Dépôt et de Gestion
C#	: Langage de programmation C sharp
DEV	: Devise
EUR	: Monnaie unique européenne
FOREX	: Foreign Exchange
FX	: Forex
GK	: Garman Kohlhagen
ITM	: In The Money
MAD	: Dirham MArocaïn
MID	: Moyenne
OTM	: Out of The Money
POO	: Programmation orienté Objet
SPREAD	: Différentiel entre deux taux
.NET	: Dot NET

INTRODUCTION GÉNÉRALE ET PROBLÉMATIQUE

Comme toute entreprise, la CDG Capital évolue dans un contexte compétitif. Dès lors, elle a pour ambition de fidéliser sa clientèle ainsi que d'améliorer ses activités pour se préparer à une éventuelle libéralisation du secteur.

Avec la très forte expansion qu'ont connu les marchés financiers ces dernières années, le système financier a donné naissance à un nouveau type d'analystes de marchés appelés "analystes quantitatifs". Grâce à eux, le but majeur de la finance moderne demeure la valorisation des actifs financiers ou Asset Pricing.

Dans ce sens, la CDG Capital a lancé le grand projet de la mise en place d'une couche infra-structurelle pour l'environnement de production, au sein de la salle des marchés. L'objectif majeur était de centraliser l'administration et la gestion des plate-formes de trading et d'assurer une très bonne performance de calcul, grâce à la migration du langage VBA-Excel, vers le langage de programmation C# du framework .NET.

Le projet a été partitionné entre les membres d'une équipe composée de 8 personnes, supervisée par l'analyste quantitatif de la salle des marchés, de telle façon à réduire les tâches, et d'augmenter l'efficacité des travaux.

Étant un membre au sein de cette équipe, ma mission était d'automatiser la plateforme analytique du desk change et cela en élaborant des outils qui permettent au trader change¹ de valoriser les différents produits, puis une plateforme plus robuste, qui lui permettra d'effectuer les différentes opérations de change².

L'objectif de ce mémoire est double : d'abord, bien définir les outils informatiques utilisés. Ensuite, présenter le marché des changes et valoriser ses différents produits financiers. Ce travail est donc composé de cinq chapitres :

Le premier chapitre est composé de deux sections : la première est consacrée à la présentation de l'environnement du travail C#, ainsi qu'une notion sur la technique de création

1. Appelé aussi Cambiste

2. Achat et vente des produits financiers sur les devises.

des "Addin" pour Excel. La second présente une introduction au marché des changes, son fonctionnement, ses principaux opérateurs et les actifs négociés par ceux-ci.

Le deuxième chapitre s'intéresse particulièrement à l'étude, et l'implémentation de la méthode des régressions utilisée par les cambistes, dans le but de calculer les pondérations correspondantes à l'Euro et au Dollar dans le panier Dirham. Ces pondérations sont à la base de la réalisation de tous les pricers³ des différents produits de change.

Le troisième chapitre décrit de façon claire, la mise en place d'un pricer "spot" qui génère, dans un temps réel et d'une manière continue, les cotations des principales devises cotées sur le marché marocain contre le Dirham. Ces dernières, sont calculées à partir de la position donnée par Bank-Al-Maghrib sous forme de cotations publiées plusieurs fois par jours, à travers un système de multi fixing.

Ce chapitre présente également la méthode de la couverture des positions de change au comptant, afin d'éviter une éventuelle perte de la contre valeur en dirham.

Le quatrième chapitre présente le fonctionnement du marché de change à terme, dans lequel nous fixons aujourd'hui le cours de change auquel s'échangeront les devises dans le future. Puis la réalisation d'un pricer qui permet la génération des cotations à terme des taux de change.

Le dernier chapitre est consacré à la valorisation des options de change, par la modélisation sous la dynamique du modèle de Garman Kohlhagen, une présentation des facteurs de sensibilités et de la gestion en delta neutre, puis la mise en place d'un pricer d'options de change.

Problématique

La problématique de ce mémoire est l'étude et l'automatisation de la plate-forme analytique du desk change, à l'aide du langage de programmation C#. Les besoins de la plate-forme sont essentiellement, la génération automatique des pondérations euro et dollar à partir de l'historique des cours de change, la génération des cotations, en temps réel, du Dirham contre les devises cotées sur le marché marocain, la couverture des positions de change au comptant, la génération des cours de change à terme et finalement, une partie sur la valorisation et la couverture des options sur devises. Le tableau suivant récapitule le cahier des charges fonctionnel de mon projet.

3. Un pricer est un outil qui permet de calculer les prix des produits financiers à des fins de trading, d'analyse ou de valorisation

Besoin	Aspect action	Aspect Données	Aspect opérationnel
Pricing spot	Calcul des cours spot des DEV/MAD en temps réel	Bloomberg temps réel/Historique	Pricer toutes les devises à la fois
Pricing Terme	Calcul des cours à terme des DEV/MAD en temps réel	Bloomberg temps réel/ Historique/ La courbe MAD	Pricer par la ligne de demande de cotation
Couverture	<ul style="list-style-type: none"> – Enregistrer l'opération clientèle (montant, sens, devise, marge, cours, cours EURUSD au moment de l'opération – Calcul du montant, du sens et du coût de revient de la couverture EU-RUSD générée par l'opération 	Base de données locale des opérations : <ul style="list-style-type: none"> – Montant de l'opération clientèle – sens de l'opération (achat/vente) – devises EUR/MAD ou EUR/USD – cours de l'opération – les pondérations euro et dollar au moment de l'opération 	voir interface couverture spot
Options de change	Calcul des prix des options de change	Bloomberg temps réel/ Historique/ La courbe MAD/courbe USD /courbe EUS/volatilité	Pricer les options de changes/ pricer les Grecques

TABLE 1: Expression de besoin plate-forme analytique : Desk change

CHAPITRE 1

L'ENVIRONNEMENT C# .NET ET INTRODUCTION AU MARCHÉ DES CHANGES

Dans la première section de ce chapitre, nous présenterons le langage de programmation C#, ainsi que les motifs du choix de ce langage parmi d'autres (VBA, C++,C,JAVA...etc) Puis, nous expliciterons en détail la technique de manipulation et d'accès aux objets Excel à l'aide d'un projet Add-In. Puisque cette technique est à la base de la conception et la réalisation de notre plateforme de trading Forex.

La deuxième section est consacrée au marché des changes, son organisation, sa structure, son fonctionnement et son importance, et ses différents produits financiers que nous valorisons plus tard.

1.1 Le métier de l'analyste quantitatif (quant !)

Avec le développement des marchés financiers et surtout les marchés de dérivés, l'outil mathématique a connu une explosion considérable en finance pour donner place à de nouveaux types d'analystes à la fois experts en théorie des probabilité et compétents en informatique et en finance. Ce sont les analystes quantitatifs¹, ou "quants" (prononcé :courante).

Un quant est un analyste front qui développe et implémente des modèles mathématiques pour évaluer le prix des produits financiers, pour prédire les mouvements de marché et pour se couvrir contre les risques inattendus de ses mouvements. Il a pour rôle de permettre aux commerciaux (Sales) et aux traders de valoriser des instruments financiers et des stratégies sur produits dérivés. Il peut aussi valider la viabilité de nouveaux produits montés par les structureurs et fournir des outils de pricing (calcul de prix de produits à des fins de trading,

1. Pour plus de détails sur les métiers de la sale des marché : quant, trader, sales, structureur,...etc voir : L'essentiel des marchés financiers [Eric Chandoilet, Marc Salvat, Henri Tournyol du Clos]

d'analyse ou de valorisation).

La technologie de l'information, et surtout le choix des outils informatiques est donc un atout pour un analyste quantitatif.

1.2 C#, un langage Orienté Objet

1.2.1 Pourquoi l'orienté objet ?

L'orienté objet a été introduit par le langage SmallTalk (développé par la société Xerox) en 1972. C'est un ensemble de règles, de concepts et d'outils du langage de programmation pour rendre le développement plus aisé grâce au groupement d'éléments. Les objets sont donc des entités qui permettent de grouper un ensemble de fonctions et de variables en facilitant leurs gestions par groupe et en ouvrant de multiples possibilités. Définir un objet peut paraître comme ajouter un outil. Le framework .NET lui apporte un set imposant d'objets existants. Un langage Orienté objet n'est pas les objets, mais une syntaxe et des mots clés pour les manipuler et les créer. dans les chapitres qui suivent nous allons utiliser des objets du framework .NET.

L'orienté objet permet la gestion d'ensemble, le groupement, l'isolation des données et des fonctions. Cet ensemble de concepts et d'outils permet par exemple de grouper dans un coin les objets pour accéder aux données distinctement des objets qui servent à faire l'interface avec l'utilisateur et des objets qui servent à appliquer les calculs et procédures logiques de fond. De ce fait, nous pourrons disposer d'un code simple et lisible.

1.2.2 Le choix de C#

Un peu d'histoire

Le C# est un langage de programmation orienté objet (POO) récent apparu en 2001. Il s'est principalement inspiré du langage Java (1995) mais aussi de C++. Ce langage dont le nom se prononce "C-Sharp" a été créé par Microsoft et il a été normalisé par l'ECMA² l'année de sa sortie (puis par l'ISO deux ans plus tard).

C# a été créé afin que la plate-forme Microsoft .NET soit dotée d'un langage permettant d'utiliser toutes ses capacités. Il est très proche du Java dont il reprend la syntaxe générale ainsi que les concepts (la syntaxe reste cependant relativement semblable à celle de langages tels que le C++ et le C).

2. European Computer Manufacturers Association, est une organisation de standardisation active dans le domaine de l'informatique.

Le choix de C# en finance

Le choix du langage de programmation C# parmi d'autres peut être justifié par plusieurs raisons³ :

- C# est relativement facile à apprendre en comparaison avec C++, notamment pour les quants, les traders et les autres professionnels de la finance. A titre d'exemple, les gens qui disposent d'un background en VBA, peuvent trouver la transition vers C# plus facile que la transition vers C++. De plus, dans la majorité des cas, le niveau de productivité d'un développeur C# est 4 fois plus grand qu'un développeur C++.
- La plateforme C# Dot Net, offre au développeur plusieurs fonctionnalités : il peut donc les exploiter dans les applications financières. Ces fonctionnalités sont soit des caractéristiques du langage lui même, soit des bibliothèques disponibles dans le Framework. Afin d'éclairer ce point, nous allons discuter de quelques unes utilisées dans notre travail ainsi que la manière de les exploiter pour la création d'applications robustes et flexibles.
- La possibilité de mise en place des applications en combinant C#, C++ et VBA et qui communiquent avec Excel en temps réel. Autrement dit, il est possible de créer des applications .NET qui communiquent avec le code non .NET et vice versa.

1.2.3 Notions de base et motivations

Afin d'apprendre et découvrir l'environnement de développement, Microsoft propose gratuitement Visual Studio dans sa version express. C'est une version allégée de l'environnement de développement qui permet de faire plusieurs choses, mais avec des outils en moins par rapport aux versions payantes. Dans notre cas l'environnement utilisé est Microsoft Visual studio 2012⁴.

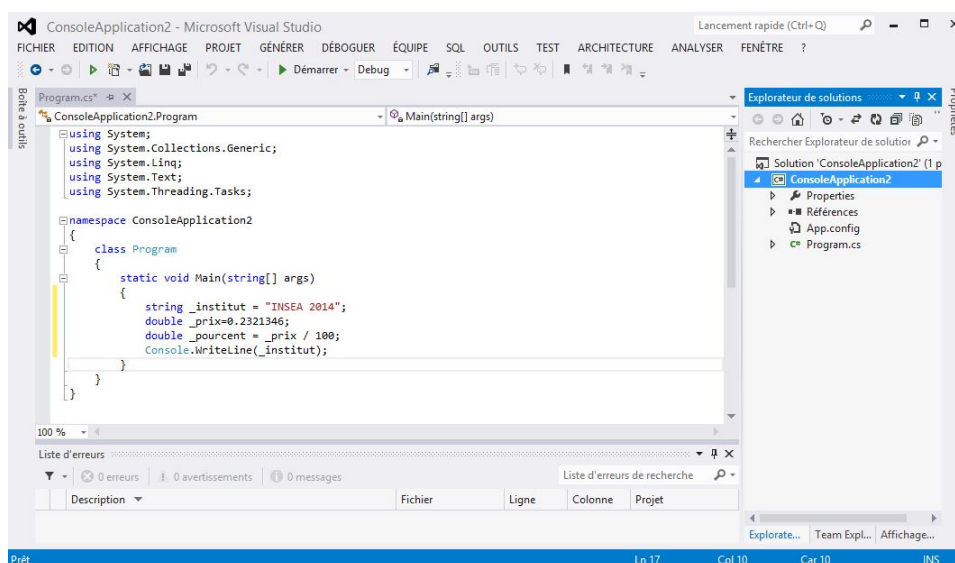


FIGURE 1.1 – Interface Visual studio 2012

3. Voir a ce propos : C# for Financial Markets [DANIEL J.DUFFY, ANDREA GERMANI]

4. Consulter MSDN le réseau de développeur Microsoft : <http://msdn.microsoft.com>

Parmi les notions les plus intéressantes nous citons quelques bases nécessaires pour apprendre à programmer en C#⁵

Notions élémentaires :

- les variables : les différents types des variables (int, float, double, string,...)
- les instructions conditionnelles : "if-else", "Switch",...
- les méthodes : création d'une méthode (fonction), paramètres et le retour d'une méthode.
- les tableaux, les listes, les énumérations,..

Notions spécifiques à la POO : les classes, les méthodes, le constructeur, instanciation d'un objet, l'héritage..etc. Par la suite, tous les types C# seront des objets.

Exemple

La formule de Black-Scholes pour la valorisation des options de change⁶ est donnée par :

```
double d1 = (Math.Log(S/K) + (r - q + v*v/2)*T)/v*Math.Sqrt(T)
double d2 = d1 - v*Math.Sqrt(T)
if (CallPut=="c")
{
dBlackScholes = S*Math.Exp(-q*T)*CumulativeNormalDistribution(d1)
-K*Math.Exp(-r*T)*CumulativeNormalDistribution(d2)
}
```

TABLE 1.1: Exemple d'implémentation du modèle de Black Scholes

1.2.4 Développer un Addin pour Excel 2010 avec C#

Cette partie a pour but d'initier tout développeur familier avec Excel et .NET au développement d'add-in pour Excel 2010 à partir de Visual Studio 2012.

En effet, Microsoft Visual Studio Tools for Office est un outil intégré "out-of-the-box" dans Visual Studio depuis la version 2008. Il permet de créer des add-ins qui viennent compléter les différents produits Office (Word, Excel,...). Toutefois, il est essentiel de signaler que les versions Express de Visual Studio ne permettent pas de développer des add-in pour la solution Office.

Pour ce faire, les pas à suivre sont les suivants :

- Pour créer un nouveau projet add-in, il suffit d'aller dans Fichier → Nouveau → Projet et de suivre l'arborescence Visual C# → Office.

5. pour plus de détails, vous pouvez consulter le site du zéro pour les débutants [Apprenez à développer en C#], et MARTIN WORNER [Applied C# in Financial Markets] pour des niveaux avancés.

6. Voir chapitre 5 sur le pricing et hedging des options sur devises

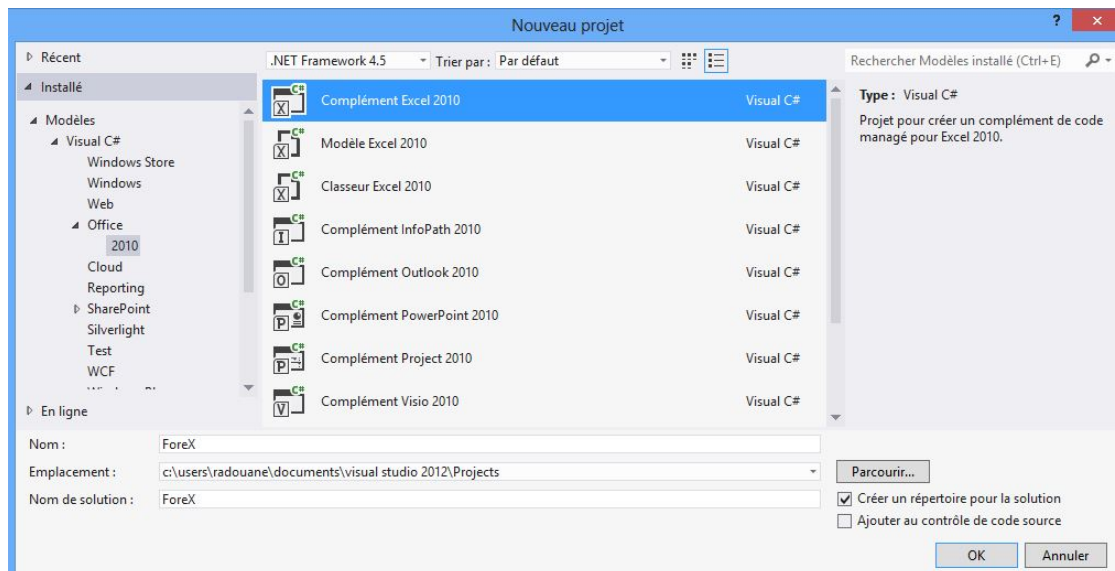


FIGURE 1.2 – Création d'un nouveau projet add-in Excel 2010

- Créer un ribbon : il s'agit ici de créer un ribbon qui apparaîtra dans Excel et de pouvoir agencer ses composants graphiques. Pour ajouter un ribbon lié à l'add-in, il faut suivre l'arborescence : Projet → ajouter un composant → Ruban(concepteur visuel).

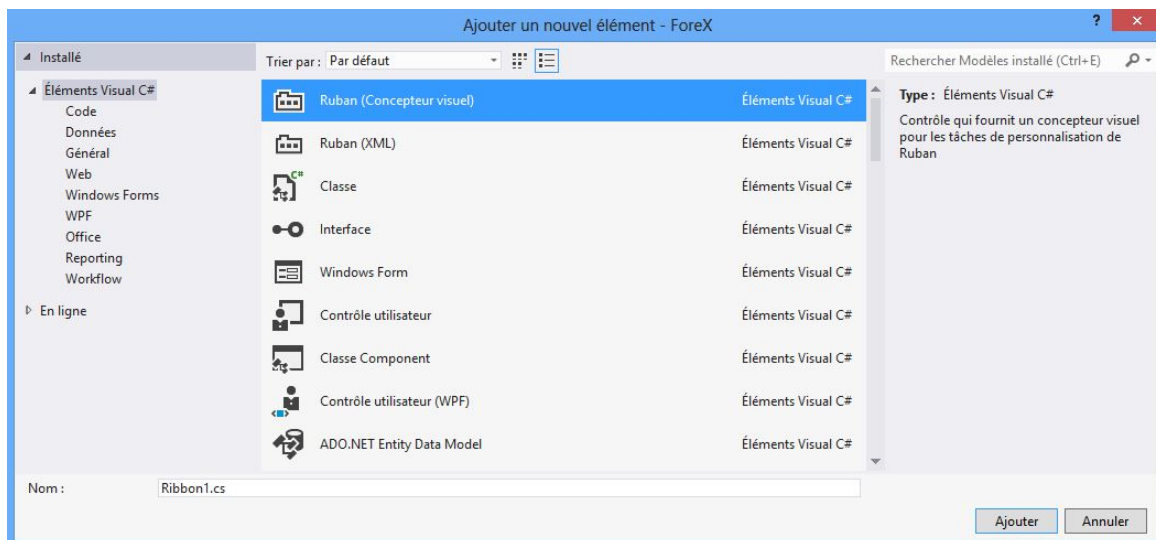


FIGURE 1.3 – Création d'un nouveau ribbon

On peut maintenant réaliser notre propre Ruban dans Excel, puis les groupes, et éventuellement des boutons, selon nos besoins.

Ensuite, on utilisera `Globals.ThisAddIn.Application` pour accéder à l'ensemble des feuilles de calcul, cellules, etc ⁷

Une fois notre environnement de travail est prêt, la connexion C# avec Excel est réalisée. Nous passons donc au vif de notre sujet, à savoir le marché des changes, ses composantes et ses

7. Pour plus de détail consultez MSDN

produits financiers que nous valoriserons par la suite, en utilisant l'outil informatique présenté ci-dessus.

1.3 Le marché des changes ou "Forex"

Le marché des changes est un marché qualifié souvent d'immatériel où s'échangent les différentes devises internationales. Le cours d'une devise représente le prix de cette devise par rapport à une autre et cette cotation résulte en principe de l'offre et de la demande.

Le marché des changes est le plus important marché financier du monde, il fonctionne 24 heures sur 24, du lundi au vendredi. Les principaux marchés sont localisés dans trois zones géographiques distinctes : l'Europe, l'Amérique du nord et l'extrême orient. Au niveau international, le marché des changes le plus actif est celui de Londres, suivi de celui des Etats-Unis, du Japon, du Singapour, de la suisse, de Hong Kong, de l'Allemagne, de la France et ensuite de l'Australie.

Au Maroc, l'ouverture du marché des changes a démarré le 3 Juin 1996 permettant aux différents opérateurs économiques d'opérer avec une certaine marge de liberté fixée par les autorités monétaires à savoir, Bank Al Maghrib (BAM), et l'office des changes. Les cours de change sont publiés par la banque centrale tous les jours ouvrés de 8h30 à 15h30.

1.3.1 Concepts et définitions

Techniques de cotation

Les cotations fournissent un cours d'achat et un cours de vente permettant la réalisation de deux types d'opérations : la vente (Ask) de devises et l'achat (Bid) de devises. Le spread d'une cotation est la différence entre le Ask et le Bid.

Deux types de cotations existent sur le marché des changes, la cotation au certain et la cotation à l'incertain.

La cotation au certain d'une devise signifie que le prix de la devise locale est exprimé en nombre d'unités des devises étrangères pour une unité de la devise locale. Le dollar par exemple est une devise cotée au certain sous la forme $EUR/USD=\alpha$ ($1 EUR = \alpha USD$) La cotation à l'incertain signifie donc que le prix de la devise locale est exprimé en nombre d'unités pour une unité de devise étrangère.

Le dirham est une devise cotée à l'incertain sous la forme $USD/MAD=\beta$ ($1 USD=\beta MAD$).

Position courte et position longue

Un agent économique est dit être en position longue lorsque son actif est supérieur à son passif, c'est-à-dire que nous lui devons plus qu'il nous doit.

Il est dit être en position courte lorsque son actif est inférieur à son passif, c'est-à-dire qu'il nous doit plus que nous lui devons.

Illustrons cette situation par cet exemple : quand une banque vend 2 millions de dollars (contre le dirham) à un client, elle se trouve en position courte en dollars et en position longue en dirhams. Elle reçoit des dirhams et livre des dollars. Encore, lorsque nous devons rembourser une somme de 1 million de dirhams et recevoir 500 000 dirhams, alors nous sommes en position nette courte de 500 000 dirhams.

En résumé l'achat induit une position longue et la vente induit une position courte.

1.3.2 Les intervenants sur le marché des changes

Les principaux acteurs du marché des changes sont les banques centrales, les banques agréées et la clientèle privée.

Les banques centrales

Le rôle essentiel des banques centrales vise à réguler les fluctuations du marché des changes à partir des données macro-économiques et politiques.

Bank Al Maghrib (BAM) intervient sur le marché des changes dans le double but de satisfaire les ordres de sa clientèle (Trésor, banques centrales étrangères), mais surtout d'encadrer l'activité de change pour contrôler et défendre la valeur du Dirham.

L'action de BAM s'exerce sur les taux d'intérêt et sur les cours de change. De par leur statut d'institut d'émission, BAM influence directement les taux d'intérêt du marché interbancaire.

En principe, les cours ne devraient pas être fixés par BAM mais déterminés par le libre jeu de l'offre et de la demande. Il se trouve que le dirham est une monnaie adossée à un panier de devises pondérées⁸.

Les banques doivent verser mensuellement à la Banque Centrale une commission de deux pour mille (2‰) sur tous les achats et les ventes de devises effectuées avec la clientèle et les banques étrangères. Cette commission est reversée par BAM en faveur de l'Office des changes et au profit du Trésor.

8. On traitera en détail ce point dans le chapitre 2

Les banques agréées

Les banques agréées ou bien les banques commerciales, constituent le centre du marché des changes. Elles prennent en charge les opérations de change pour leur propre compte ou pour celui de leurs clients⁹.

Pour faciliter leurs opérations, les banques effectuent des dépôts auprès des institutions étrangères qui jouent le rôle de correspondants.

Les banques nationales se sont dotées de salle de marché et réalisent des opérations de change par le truchement d'agents appelé cambistes.

La clientèle privée

Formée principalement d'entreprises industrielles et commerciales et d'investisseurs, sa motivation principale est liée au commerce international. L'activité de change traditionnelle a d'ailleurs pour origine la diversité des monnaies de facturation des importations et des exportations des biens et services.

La clientèle privée n'intervient pas directement sur le marché des changes, mais elle le fait par l'intermédiaire des banques.

1.3.3 Les compartiments du marché des changes

Le change au comptant

Le marché de change au comptant est aussi appelé le marché spot. Les intermédiaires agréés sont autorisés à effectuer les opérations au comptant aussi bien pour le compte propre que pour celui de la clientèle.

Cette activité consiste tout simplement à acheter ou à vendre une devise contre une autre. La mise à disposition des devises cédées nécessite l'ordonnancement d'un virement en faveur de la contrepartie. Cette obligation implique donc un décalage dans le temps entre la transaction elle-même et sa réalisation. Ce décalage a été fixé d'un accord commun entre toutes les banques du monde à deux jours ouvrables.

Le change à terme

Le contrat à terme, appelé aussi forward, est défini comme l'engagement d'acheter ou de vendre un actif à une date ultérieure, à un prix fixe. Dans le marché à terme, les transactions ne donnent pas lieu en principe à une livraison effective des actifs. A l'échéance, les contrats donnent lieu au versement du différentiel entre le prix convenu au départ et le prix de l'actif

9. Cela est détaillé dans le circulaire numéro 1.633 du 1 avril 1996 de l'Office des Changes.

au comptant le jour du dénouement.

Les opérations à terme entre les intermédiaires agréés s'effectuent à des conditions librement déterminées. Dans ce cadre, il convient de signaler que BAM n'affiche pas de taux de change à terme et ne se porte pas contrepartie à ces opérations.

Les différentes caractéristiques du change à terme sont données dans le tableau suivant :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - le cours est garanti et connu dès la couverture. - cette technique ne nécessite aucun suivi administratif. - cette technique se caractérise par une souplesse d'utilisation (échéance sur mesure, couverture pour de nombreuses monnaies). 	<ul style="list-style-type: none"> - cette technique est peu adaptée aux risques aléatoires ou potentiels en raison du caractère irrévocable de l'engagement. - le cours garanti n'est pas négociable. - il est impossible de profiter d'une évolution favorable des cours de la devise.

TABLE 1.2: Avantages et inconvénients des contrats à terme

Les dépôts

L'activité de dépôts est un compartiment important traité par les traders change. Les intermédiaires agréés ont la possibilité d'effectuer entre eux et avec la clientèle, les opérations de dépôt à échéance fixe dont la maturité et la rémunération sont décidées d'un accord commun par les contractants. Ils peuvent aussi constituer des dépôts auprès de Bank Al-Maghrib. Les intérêts de placement en devises sont calculés en tenant compte d'une part du nombre de jours exacts, y compris le premier jour du contrat mais en excluant le jour d'échéance.

Les produits dérivés de change

Un produit dérivé peut être défini d'une manière générale comme un contrat dont la valeur dépend du prix d'un actif sous-jacent. Le sous-jacent peut être un taux d'intérêt, un indice boursier, un cours de change ou des marchandises. Les swaps, les options, les futures, sont des exemples de produits dérivés.

Swaps de devise

Un swap est un accord entre deux entreprises pour échanger des flux de trésorerie dans le futur. Cet accord définit les dates auxquelles ces cash-flows seront échangés et la façon dont ils seront calculés. Généralement, ils dépendent d'une ou plusieurs variables économiques comme un taux d'intérêt ou un cours de change. C'est ainsi qu'on parle de swap de taux

ou de devise.

Les intermédiaires agréés sont autorisés à effectuer des opérations de swap entre eux et avec leur clientèle. Il est à signaler que l'échéance des contrats swap ne doit pas dépasser un an.

le marché des swaps est essentiellement interbancaire à l'exception des sociétés qui gèrent globalement une trésorerie multi-devises importante.

Futures

Un contrat futures, comme un contrat forward, est un accord entre deux parties pour acheter ou vendre un actif donné à une date future pour un prix convenu. A l'inverse des contrats forward, les contrats futures sont négociés sur des marchés organisés ; les autorités de marché définissent des contrats standardisés pour assurer la liquidité et il existe un mécanisme qui permet d'assurer à l'acheteur et au vendeur la bonne fin des opérations. Au Maroc il n'y a pas encore de contrats futures suite à l'absence d'un marché organisé.

Les options de change

Avec l'ouverture progressive de l'économie marocaine sur le marché extérieur, le dirham devient de moins en moins prévisible ; l'utilisation des contrats à terme ne répondant plus entièrement aux besoins de couverture, les options de change commencent à prendre place.

Une option est le droit mais non l'obligation, d'acheter ou de vendre un actif à un cours et pour une période préalablement fixés. Ce droit justifie le paiement d'une prime au vendeur de l'option.

L'actif sur lequel porte l'achat ou la vente est appelé sous-jacent et peut être une valeur mobilière, un indice boursier, une matière première, ou un taux d'intérêt. L'option de change est le terme utilisé pour désigner une option dont l'actif sous-jacent est une devise. Les options de change se distinguent par la nature de la devise sous-jacente, le sens de l'opération (achat/put ou vente/call) et les conditions d'exercice de ce droit (à une échéance fixe ou à tout moment).

1.3.4 Régime de change applicable au Maroc

Les différents régimes de change, classés par ordre de rigidité croissant sont :

1. **Régime de change flottant** : dans ce cas, le taux de change fluctue librement en fonction de l'offre et de la demande sur les marchés des changes. Le flottement est dit pur "ou parfait" lorsqu'aucune intervention des autorités monétaires n'est envisagée.

2. **Régime de change intermédiaire** : les taux de change sont flottants, mais des interventions ponctuelles ou coordonnées des banques centrales permettent d'influencer les mouvements du taux de change, et cela sans spécifier ou pré-annoncer une trajectoire pour le taux de change.
3. **Régime de change fixe** : définit une parité fixe qui peut toutefois être modifiée de manière exceptionnelle pour restaurer l'équilibre.

Parmi ces différents régimes, le choix du Maroc s'est porté sur un régime de change intermédiaire de parité fixe avec un rattachement de la monnaie nationale, dans des marges de fluctuations inférieures à $\pm 6\%$ de part et d'autre du taux central, à un panier de monnaie¹⁰.

Le but du chapitre suivant est d'étudier les particularités de ce régime, puis d'effectuer une simulation du panier Dirham afin d'estimer les pondérations de l'Euro et du dollar dans ce panier.

10. Voir à ce propos : <http://www.bkam.ma>

CHAPITRE 2

SIMULATION DU PANIER MAD

Le Maroc a choisi de préserver un certain degré d'autonomie de sa politique monétaire et a opté pour un régime de change intermédiaire de parité fixe, définissant le Dirham en fonction d'un panier composé des monnaies de ses principaux partenaires commerciaux et financiers. Cela veut dire que l'évolution du Dirham est une fonction de l'évolution de plusieurs devises majeures, seule la banque centrale connaît la combinaison et les pondérations exactes.

L'objectif de ce chapitre est de modéliser le dirham dans le cadre de ce régime, et d'estimer ses pondérations, à partir des cotations affichées par BAM.

2.1 Pourquoi déterminer le panier MAD ?

La position en devise d'une banque intervenant sur le marché des changes devrait être claquée sur la composition du panier MAD. Ceci permet à cette dernière d'éviter une perte de la contre valeur en dirham.

Autrement dit, l'intérêt de cette approche est qu'en trouvant la combinaison parfaite et en appliquant les pondérations à notre position de change en devises, la contre valeur en MAD de notre portefeuille demeurerait inchangée suite aux différentes fluctuations des devises.

Étant donnés les rapports commerciaux du Maroc avec l'union européenne et les États-Unis, nous pouvons anticiper l'importance du poids des deux devises EUR et USD dans le panier MAD. Dans ce cas, une forte dépréciation de la devise européenne par rapport à la monnaie américaine donnerait le résultat suivant :

- Une perte de valeur sur les avoirs libellés en euro.
- Une appréciation de la position en dollar de la banque.

Il s'en suit que si la banque détient les dollars et les euros dans des proportions identiques à celles du panier, sa position en MAD restera inchangée.

2.2 Composition du panier

Le panier MAD se compose en général de 16 devises¹ : EUR, USD, CAD, GBP, CHF, JPY, SAR, KWD, UAE, DDK, NOK, SEK, DZD, LYD, TND et MRO.

Les principales devises échangées contre le dirham marocain pour le règlement des recettes et des dépenses sont l'EUR, l'USD, le CAD, le GBP, le CHF, le JPY et le AUD. Alors, les variations du dirham peuvent être vues comme une combinaison des variations de ces devises.

2.2.1 Modélisation du panier de définition du dirham

Le Dirham peut être vu comme étant une combinaison des principales devises citées précédemment, on peut donc écrire :

$$\text{MAD} = q_{eur} \text{ EUR} + q_{usd} \text{ USD} + q_{cad} \text{ CAD} + q_{gbp} \text{ GBP} + q_{chf} \text{ CHF} + q_{jpy} \text{ JPY} + q_{aud} \text{ AUD}$$

Où q_i représente la quantité de la monnaie i dans le panier de définition.

$$\text{Avec : } \quad i = eur, usd, \dots, jpy, aud$$

Cette définition donne une illustration de la composition du Dirham en fonction d'un panier de 7 principales devises cotées sur le marché. Cependant, elle n'a pas d'interprétation économique au sens strict.

Une définition alternative, utilisée par les professionnels du domaine, stipule que les variations du dirham peuvent être vues comme une combinaison des variations des 7 principales devises.

Alors, pour déterminer la pondération du Dollar dans le panier MAD, il suffit de procéder à une régression linéaire sur les rendements logarithmiques ou arithmétiques du cours de la variable dépendante EURMAD, sur les rendements des variables explicatives suivantes² : EURUSD, EURCAD, EURGBP, EURCHF, EURJPY, EURAUD.

$$\Delta \log(\text{EURMAD}) = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log(\text{EURUSD}) + \beta_2 \Delta \log(\text{EURCAD}) + \beta_3 \Delta \log(\text{EURGBP}) + \beta_4 \Delta \log(\text{EURCHF}) + \beta_5 \Delta \log(\text{EURJPY}) + \beta_6 \Delta \log(\text{EURAUD}) + \varepsilon$$

avec :

- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5$ les coefficients de la régression.

1. Voir ANNEXE B : Liste des devises avec le code ISO
 2. Plusieurs études des professionnels faites sur les mêmes variables montrent qu'elles ne sont pas stationnaires, et qu'elles sont intégrées d'ordre 1, ce qui justifie l'utilisation des rendements logarithmiques comme variables de la régression.

– $\Delta \log(X)$ est l'opérateur variation tel que :

$$\Delta \log(X_t) = \log(X_t) - \log(X_{t-1}) = \log\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right)$$

– ε_t est l'erreur de la régression, avec $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

De même, pour trouver la pondération de l'Euro, on fait une régression où la variable dépendante est le rendement du cours de l'USDMAD, et les variables explicatives sont les rendements des cours : USDEUR, USDCAD, USDGBP, USDCHF, USDJPY, USDAUD.

$$\Delta \log(\text{USDMAD}) = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log(\text{USDEUR}) + \beta_2 \Delta \log(\text{USDCAD}) + \beta_3 \Delta \log(\text{USDGBP}) + \beta_4 \Delta \log(\text{USDCHF}) + \beta_5 \Delta \log(\text{USDJPY}) + \beta_6 \Delta \log(\text{USDAUD}) + \varepsilon$$

Remarques :

1. Pour travailler sur les rendements logarithmiques, on peut utiliser l'opérateur Δ de la manière suivante :

$$\Delta X_t = \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}}$$

2. les rendements sont calculés à partir du Mid de chaque cours, tel que :

$$\text{Mid}(X_t) = \frac{\text{Bid}(X_t) + \text{Ask}(X_t)}{2}$$

3. On utilisera par la suite la notation $d\text{EURMAD}$ pour designer le rendement $\Delta \log(\text{EURMAD})$, et cela pour tous les cours de devises constituant le modèle.

2.3 Présentation des variables

Avant d'exploiter la base de données, une analyse descriptive³ de celle-ci s'avère nécessaire. Elle a comme objectif de connaître les caractéristiques des variables et leurs évolutions dans le temps. En effet, l'étude a été effectuée sur les cotations BAM des devises qui constituent notre panier, étalées sur 10 ans du 31 Mars 2004 au 31 Mars 2014.

2.3.1 Analyse descriptive

Les taux de changes EURMAD et EURUSD

La figure ci-après, présente l'évolution des cours de change des deux devises : L'Euro contre le Dirham et le Dollar contre le Dirham.

3. L'étude statistique ainsi que les régressions linéaires seront effectuées sur le langage R : un langage pour les calculs statistiques et graphiques.

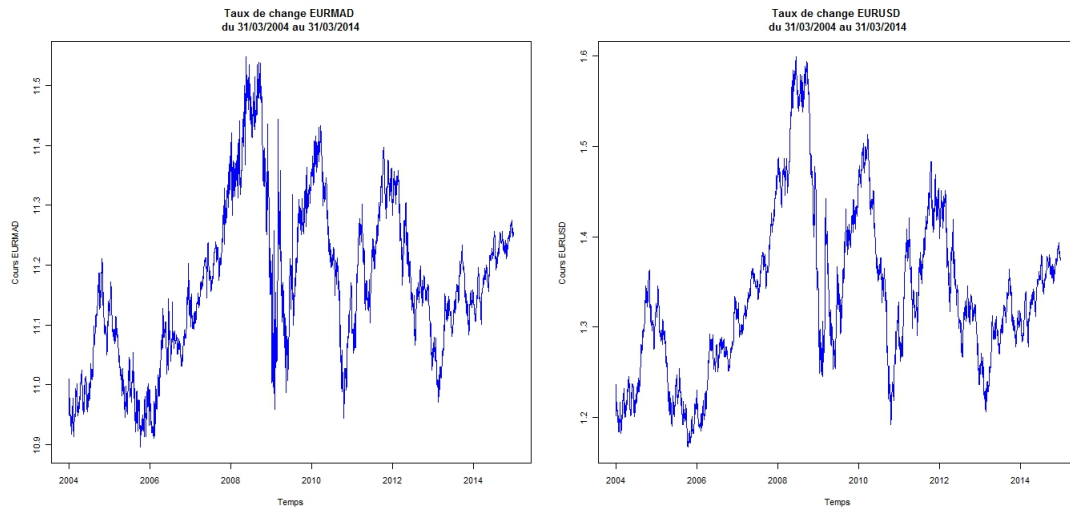


FIGURE 2.1 – Évolution des taux de changes EURMAD et EURUSD

Nous remarquons que le cours de l'euro par rapport au dirham conserve une certaine stabilité. Toutefois, notre monnaie reste assez volatile relativement au dollar qui constitue la principale monnaie de facturation des importations marocaines.

Le taux de change EURUSD continue à augmenter jusqu'à l'année 2007, puis la hausse du dollar contre toute devise durant la période de crise a engendré la baisse de l'EURUSD jusqu'à 2009 avec une grande fluctuation des cours puisque la volatilité a atteint 1.31% en 2008.

Il est à noter que les deux parités de change EURUSD et EURMAD ont globalement la même tendance.

Les taux de changes EURCAD, EURGBP, EURJPY et EURCHF

Dans la figure ci-après nous présentons l'évolution des cours de change des monnaies suivantes : CAD, GBP, JPY, et CHF contre l'Euro.

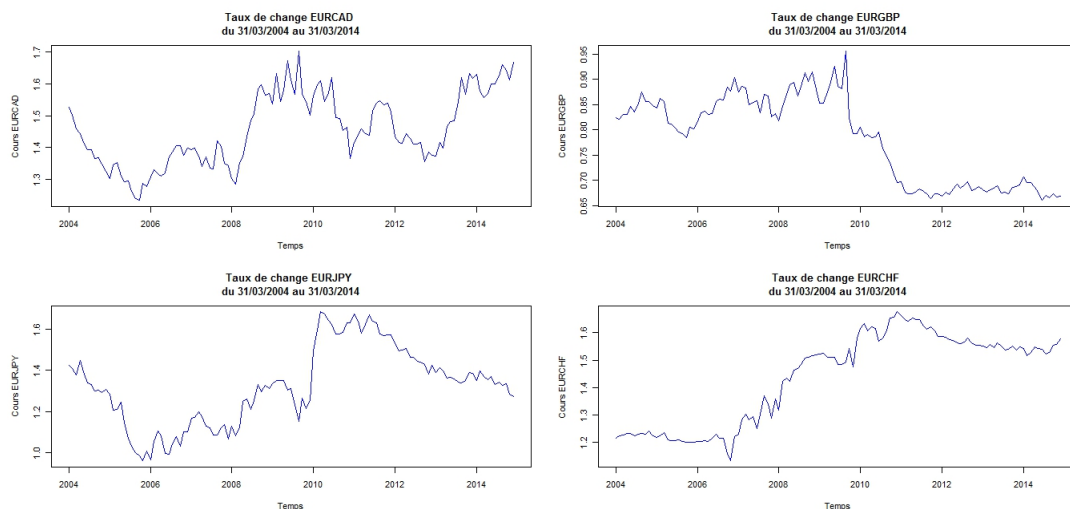


FIGURE 2.2 – Évolution des taux de changes CAD,GBP,JPY et CHF contre l'Euro

Concernant l'EURCAD, cette série reste très volatile durant toute la période étudiée. Elle est aussi caractérisée par une baisse remarquable des cours durant 2008.

L'EURGBP exprime une tendance haussière avec une accentuation de la volatilité(1.08%) des cours entre 2007 et 2008.

L'EURJPY exprime une tendance haussière jusqu'à 2006, puis chute remarquablement en 2007 alors que le taux de change EURCHF reste en baisse depuis l'année 2006.

Les quatre variables EURCAD, EURGBP, EURJPY et EURCHF n'ont pas la même tendance que l'EURMAD ou l'EURUSD. Ceci laisse penser que ces variables n'expliquent pas forcément l'EURMAD. L'étude de la corrélation entre ces variables permettra de clarifier cette hypothèse.

2.3.2 Analyse des corrélations entre les variables

Dans une matrice de corrélation, le coefficient de corrélation met en évidence la similitude des mouvements entre les différentes parités du marché des changes. Donc, afin de tester une éventuelle relation entre les variables, nous avons calculé la matrice de corrélation suivante :

	EURMAD	EURUSD	EURCAD	EURGBP	EURCHF	EURJPY
EURMAD	1.00000	0.964732	0.024006	0.39607	-0.16680	0.47348
EURUSD	0.96473	1.000000	-0.005412	0.42553	-0.15076	0.47624
EURCAD	0.02400	-0.005412	1.000000	-0.03651	0.14300	0.06404
EURGBP	0.39607	0.425537	-0.036513	1.00000	0.16212	0.40617
EURCHF	-0.16680	-0.150769	0.143007	0.16212	1.00000	-0.17125
EURJPY	0.47348	0.476242	0.064042	0.40617	-0.17125	1.00000
EURAUD	0.07610	0.072083	-0.092526	0.44825	-0.00281	0.56457

TABLE 2.1: Matrice de corrélation entre les variables étudiées

Nous remarquons que la variable EURMAD est fortement corrélée avec EURUSD avec un coefficient de corrélation égal à 0.96. Les deux parités se déplacent alors de la même manière. La corrélation positive entre l'EURMAD, l'EURGBP d'une part, et l'EURMAD ,l'EURJPY d'autre part pourrait expliquer une même tendance haussière ou baissière pour ces taux.

Puisque la faible corrélation entre l'EURMAD et l'EURCAD explique que ces monnaies ne se déplacent pas de la même manière, cette dernière variable sera donc, moins pertinente dans l'explication de l'EURMAD.

Certaines de ces variables ne seraient donc pas significatives dans la définition du panier. Quel est donc le modèle adéquat pour l'estimation de ce panier ?

2.4 Estimation des modèles

2.4.1 Régression linéaire pas à pas descendante

Pour l'estimation des deux modèles présentés ci-dessus, nous procédons par la méthode de la régression linéaire pas à pas descendante. On commence tout d'abord par retenir le modèle avec constante, puis on retire les variables non significatives pour obtenir un modèle final.

Estimation du premier Modèle

On commence donc par l'estimation du modèle suivant :

$$\Delta \log(\text{EURMAD}) = \beta_0 + \beta_1 \Delta \log(\text{EURUSD}) + \beta_2 \Delta \log(\text{EURCAD}) + \beta_3 \Delta \log(\text{EURGBP}) + \beta_4 \Delta \log(\text{EURCHF}) + \beta_5 \Delta \log(\text{EURJPY}) + \beta_6 \Delta \log(\text{EURAUD}) + \varepsilon$$

Les résultats après l'estimation sur le langage R, sont les suivants :

	Estimate	Std. Error	t value	$Pr(> t)$
(Intercept)	-9.036e-07	1.632e-05	-0.055	0.956
dEURUSD	1.944e-01	7.020e-03	27.694	<2e-16 ***
dEURCAD	5.207e-03	4.452e-03	1.170	0.245
dEURGBP	-5.418e-03	9.706e-03	-0.558	0.578
dEURCHF	-1.046e-02	1.417e-02	-0.738	0.462
dEURJPY	1.670e-03	7.601e-03	0.220	0.827
dEURAUD	2.683e-03	7.492e-03	0.358	0.721

Residual standard error : 0.0001636 on 95 degrees of freedom
Multiple R-squared : 0.9326, Adjusted R-squared : 0.9283
F-statistic : 219.1 on 6 and 95 DF, p-value : <2.2e-16
Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 2.2: Résultat de la régression complète de EURMAD sur les variables étudiées

Toutefois, nous remarquons que la constante n'est pas significative au seuil de 5%, puisque la p-value(=0.956) est supérieure à 0.05.

En estimant alors le modèle sans constante, les résultats sont les suivants :

	Estimate	Std. Error	t value	$Pr(> t)$
dEURUSD	0.194403	0.006982	27.843	<2e-16 ***
dEURCAD	0.005209	0.004429	1.176	0.242
dEURGBP	-0.005382	0.009634	-0.559	0.578
dEURCHF	-0.010419	0.014074	-0.740	0.461
dEURJPY	0.001694	0.007548	0.224	0.823
dEURAUD	0.002650	0.007429	0.357	0.722

Residual standard error : 0.0001628 on 96 degrees of freedom
Multiple R-squared : 0.9327, Adjusted R-squared : 0.9285
F-statistic : 221.7 on 6 and 96 DF, p-value : <2.2e-16

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 2.3: Résultat de la régression sans constante de EURMAD sur les variables étudiées

Bien que le R^2 du modèle atteigne les 93%, les variables dEURCAD, dEURJPY, dEURGBP, dEURCHF et dEURAUD ne sont pas significatives puisque la p-value de chacune d'elles est supérieure au seuil de 5%. Nous retirons donc ces variables et nous estimons le modèle simple avec constante. Concernant la constante de la régression, la p-value(=0.99) est toujours supérieure au seuil de 5%. Par conséquent, elle n'est pas significative. Nous retenons alors le modèle final suivant :

	Estimate	Std. Error	t value	$Pr(> t)$
dEURUSD	0.194382	0.005274	36.86	<2e-16 ***

Residual standard error : 0.0001609 on 101 degrees of freedom
Multiple R-squared : 0.9308, Adjusted R-squared : 0.9301
F-statistic : 1359 on 1 and 101 DF, p-value : <2.2e-16

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 2.4: Résultat de la régression simple de EURMAD sur l'EURUSD

Le modèle obtenu par la méthode de la régression pas à pas descendante est le suivant :

$$dEURMAD = 0.194382 dEURUSD$$

Nous remarquons que la variable dEURUSD est significative dans le modèle et qu'elle explique plus que 93% de la variable dépendante dEURMAD. On notons également le poids du dollar dans le panier dirham qui est de **19.44%**.

Estimation du deuxième Modèle

Une régression linéaire multiple similaire à la première, nous donne le poids important de de l'USDEUR dans l'explication de la variable USD MAD.

	Estimate	Std. Error	t value	$Pr(> t)$
(Intercept)	5.204e-06	4.493e-05	0.116	0.9080
dIUSDEUR	8.612e-01	5.353e-02	16.087	<2e-16 ***
dIUSDCAD	2.322e-03	1.225e-02	0.189	0.8501
dIUSDGBP	2.806e-02	2.682e-02	1.046	0.2981
dIUSDCHF	-5.644e-02	4.585e-02	-1.231	0.2214
dIUSDJPY	3.761e-02	2.073e-02	1.815	0.0727 .
dIUSDAUD	-3.682e-02	2.118e-02	-1.738	0.0854 .

Residual standard error : 0.0004503 on 95 degrees of freedom
Multiple R-squared : 0.9682, Adjusted R-squared : 0.9662
F-statistic : 482.2 on 6 and 95 DF, p-value : <2.2e-16
Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 2.5: Résultat de la régression complet de USDMAD sur les variables étudiées

Comme en témoigne ce résultat, la qualité de l'ajustement est bonne ($R^2 = 96\%$), quand à la contribution de l'USDEUR dans la variation de l'USDMAD, nous notons le poids important de l'Euro dans le panier dirham.

En éliminant, les variables non significatives dans notre modèle, de la même manière suivie dans l'estimation du premier modèle, nous arrivons au résultat suivant :

	Estimate	Std. Error	t value	$Pr(> t)$
dIEURUSD	0.80261	0.01492	53.78	<2e-16 ***

Residual standard error : 0.0004501 on 101 degrees of freedom
Multiple R-squared : 0.9663, Adjusted R-squared : 0.9659
F-statistic : 2893 on 1 and 101 DF, p-value : <2.2e-16
Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

TABLE 2.6: Résultat de la régression simple de USDMAD sur l'USDEUR

Grâce à ce modèle, nous obtenons la pondération de l'Euro dans le panier MAD. Nous notons que le poids de ce dernier est de **80.26%**.

2.4.2 Illustration du panier

Dans la décomposition actuelle du panier MAD, l'Euro et le Dollar représentent approximativement plus de 99.7%. Les autres devises se contentent du reliquat de 0.03%.

Ainsi, le panier du dirham est illustré de la manière suivante.

$$\text{MAD} = 80.26\% \text{ EUR} + 19.44\% \text{ USD}$$

Tout d'abord les pondérations semblent plus logiques, du moment que nous sommes tombés sur des pondérations de type 20/80 pour l'USD et L'EUR respectivement.

De manière générale, nous supposons que le panier MAD est constitué de 80.26% d'EUR et 19.44% de USD. Cependant, le panier devise et les pondérations ne sont pas constants et par suite notre valeur en MAD ne sera pas fixe et sera sujette aux changements de cotations de BAM, ce qui peut constituer un risque non négligeable que l'intervenant sur le marché de change doit gérer.

2.5 Automatisation de la régression

Pour automatiser la régression présentée précédemment, deux méthodes se présentent :

- La première est de régresser les rendements du cours de l'EURMAD sur les rendements de l'EURUSD, telle qu'elle est présentée ci-dessus. Cette régression affecte la pondération correspondante au Dollar, et puisque la somme des deux pondérations est de 100%, nous déduisons également la pondération correspondante de l'Euro.

- La deuxième méthode se base sur la définition du Dirham :

$$\text{MAD} = q_{eur} \text{ EUR} + q_{usd} \text{ USD}$$

ce qui est équivalent à :

$$\text{EUR}/\text{MAD} = \frac{1}{q_{eur}} - \frac{q_{usd}}{q_{eur}} \text{USD}/\text{MAD}$$

NB : $q_{eur} + q_{usd}$ n'est pas nécessairement égale à 1.

Alors si nous considérons le modèle de régression suivant :

$$\text{EUR}/\text{MAD} = \frac{1}{q_{eur}} + \frac{q_{usd}}{q_{eur}} \text{USD}/\text{MAD} + \varepsilon$$

On trouve q_{eur} et q_{usd} puis les pondérations qui sont données par les formules suivantes :

$$Pnd_{usd} = \frac{1}{q_{usd} + q_{eur} \text{EUR}/\text{USD}} \quad \text{et} \quad Pnd_{eur} = \frac{q_{eur} \text{EUR}/\text{USD}}{q_{usd} + q_{eur} \text{EUR}/\text{USD}}$$

En C#, et afin d'automatiser cette régression, nous intégrons le framework Accord.NET⁴ dans notre projet.

Dans ce framework⁵, nous trouvons plusieurs méthodes qui permettent d'avoir les différentes distributions des probabilités, les tests d'hypothèses, les modèles statistiques etc.

Dans notre projet Addin, nous avons créé un bouton "Regresse". En cliquant sur ce bouton, nous obtenons les valeurs des pondérations actualisées à chaque instant.

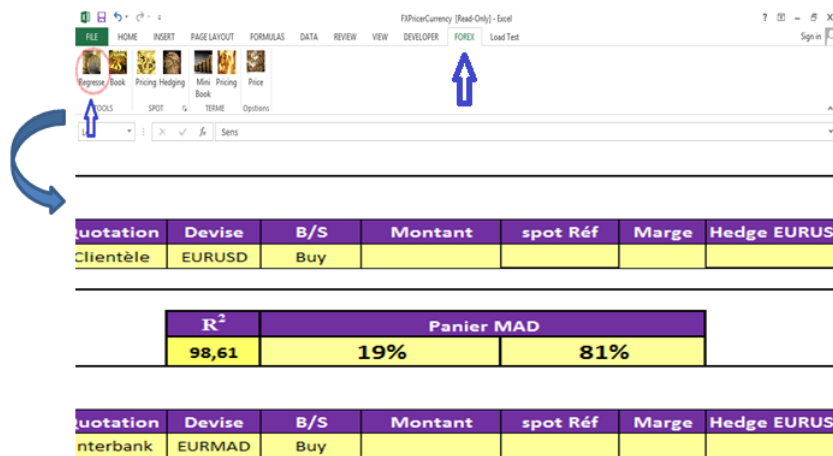


FIGURE 2.3 – Interface d'automatisation des pondérations Euro et Dollar

Il est à noter que ces pondérations interviennent dans presque toutes les opérations de change, donc elles sont à la base de la réalisation de tous les pricers présentés dans les chapitres qui suivent.

4. Pour plus d'informations consultez : <http://accord-framework.net/docs/Index.html>

5. MathNumerics.NET, IMSL.NET, Algib.NET et R.NET sont d'autres exemples de bibliothèques très intéressantes. R.NET permet d'effectuer une connexion entre C# et le langage R.

CHAPITRE 3

VALORISATION ET COUVERTURE DE CHANGE AU COMPTANT

La connaissance de la position du Dirham par rapport aux autres devises est nécessaire pour la tarification d'une opération de change. Certes, cette position est donnée par BAM sous forme de cotations publiées plusieurs fois par jours, alors que chaque banque est dans le besoin de connaître la cotation du dirham contre les autres devises en temps réel et de manière continue.

Dans cette section est présentée la méthode de génération des cotations du Dirham en fonction d'autres devises. Cette méthode se base essentiellement sur le calcul de pondérations correspondantes à l'Euro et au Dollar, non publié par BAM.

3.1 Les opérations de change au comptant

3.1.1 Définition du taux de change comptant

Le taux de change comptant "ou bien le taux de change "spot" de la monnaie DEV_1 par rapport à la monnaie DEV_2 exprime le nombre d'unité de DEV_2 qu'une unité de DEV_1 peut acheter au comptant.

Les cotations sur le marché au comptant sont données sous la forme de deux prix : un cours acheteur et un cours vendeur. Le cours acheteur est le prix auquel la banque propose d'acheter les devises, le cours vendeur est le prix auquel la banque se propose de les vendre.

Exemple

Le 02 Mai 2014 à 10 heures du matin, la CDG Capital cotait le Dollar Américain : USD/MAD = 9.6864/9.7446. Cela signifie qu'elle était prête à acheter du Dollar à 9.6864 et à vendre sur

la base de 1 Dirham à 9.7446.

Ci-dessous un exemple d’affichage des cours spot de BAM le 30 Mai 2014 à l’ouverture du marché.

Devises	30/05/2014		29/05/2014	
	Achat	Vente	Achat	Vente
1 EURO	11.174	11.241	11.172	11.239
1 DOLLAR U.S.A.	8.2057	8.2551	8.2127	8.2620
1 DOLLAR CANADIEN	7.5580	7.6034	7.5616	7.6071
1 LIVRE STERLING	13.741	13.823	13.726	13.808
1 FRANC SUISSE	9.1562	9.2112	9.1486	9.2036
100 COURONNES DANOISES	149.70	150.60	149.70	150.60
100 COURONNES SUEDOISES	123.01	123.75	123.76	124.50
100 COURONNES NORVEGIENNES	137.13	137.95	137.77	138.60
1 RIYAL SAOUDIEN	2.1878	2.2010	2.1897	2.2029
1 DINAR KOWEITTIEN	29.098	29.273	29.123	29.298
1 DIRHAM E.A.U.	2.2341	2.2475	2.2359	2.2493
100 YENS JAPONAIS	8.0686	8.1171	8.0707	8.1191
10 DINARS ALGERIENS	1.0368	1.0430	1.0371	1.0434
1 DINAR TUNISIEN	5.0325	5.0627	5.0309	5.0611
1 DINAR LIBYEN	6.5291	6.5683	6.5346	6.5739
100 OUGUIYAS MAURITANIENNES	2.7304	2.7468	2.7328	2.7492

FIGURE 3.1 – Taux de change spot coté par BAM le 30/05/2014

Le cours de change est présenté sous une double forme :

Le cours acheteur (BID rate), le moins élevé, est celui auquel le cambiste interrogé est prêt à acheter la devise directrice.

Le cours vendeur (ASK ou offer rate), le plus élevé, est celui auquel le cambiste interrogé s’engage à vendre la devise directrice.

L’écart entre les deux dépend de l’état du marché, de l’offre et de la demande mais aussi de l’habilité de l’opérateur.

La différence maximale entre le cours d’achat(Bid)et le cours de vente (Ask) est de 0.6%. C’est le spread à l’intérieur duquel les banques sont autorisées à déterminer leur cotation.

3.1.2 Les cours croisés

Les cours diffusés sur le marché correspondent aux transactions les plus répandues : tous les jours, des cours de l’Euro ou du Dollar contre toutes les autres devises sont affichés en permanence. Pour les couples de devises qui ne sont pas habituellement cotées sur le marché, nous passons par l’intermédiaire de l’une de ces 2 devises, afin d’établir un cours croisé ou ”cross”. Par exemple pour coter le couple EUR/MAD, le trader utilisera les cours EUR/USD et USD/MAD.

$$\text{Le cours EUR/MAD} = \frac{EUR/USD}{USD/MAD}$$

3.1.3 Marché clientèle et interbancaire

Pour expliquer par la suite les mécanismes du système de cotation des devises contre le Dirham, il faut d’abord distinguer entre le marché interbancaire et le marché clientèle, vue que

les cotations sont données sous deux formes : interbancaire et clientèle.

La circulaire 1633 de l'Office des Changes précise que :

”Les intermédiaires agréés sont autorisés à effectuer entre eux et avec la clientèle des opérations d'achat et de vente de devises et à constituer des positions de change dans les conditions fixées par les autorités monétaires”

Contacts interbancaires

Les contacts sont pris de part et d'autre avec les confrères soit au téléphone soit par ”Reuter dealing”. Généralement, les cambistes dévoilent le sens de la transaction et ceci dans le but de simplifier les choses.

Voici quelques exemples de transactions traitées entre banques :

- Achat de CAD 4000000 à la banque B au cours de 7.9754, soit une contrevaletur de MAD 31901600.
- Vente de GBP 350000 à la banque B au cours de 13.4600, soit une contrevaletur de MAD 4711000.
- Vente de USD 200000000 à la banque C au cours de 8.2989, soit une contrevaletur de MAD 1659780000.
- Achat de CHF 65000000 à la banque A au cours de 9.1183, soit une contrevaletur de MAD 592689500

Contacts clientèles

La négociation cambiste-clientèle, peut être expliquée par un exemple simplifié :

Soit un importateur marocain. Le paiement de l'importation en EUR interviendra le 15 mars 2014, ce dernier a la possibilité de faire le tour des salles de marchés pour exploiter la concurrence. Afin de respecter l'échéance initiale, il doit négocier avec les cambistes des différentes salles de marchés le cours EURMAD le 13 mars 2014 en raison des délais de 48 heures pour les opérations spot.

Le résultat des négociations doit faire l'objet d'un tableau comparatif des différentes cotations obtenues :

Banque A	Banque B	Banque C	Banque D	Banque E	Banque F
11.2362	11.2366	11.2359	11.2368	11.2370	11.2361

TABLE 3.1: Cotations comparatives des différentes banques

Dans ce tableau, on remarque que la banque C propose un cours compétitif par rapport aux autres banques. Dans ce cas, l'importateur peut donner l'ordre (par téléphone, confirmé par fax) à la banque C qui va acheter le montant en EUR et doit livrer la contrevaletur en MAD.

3.2 Système de cotation

A partir des cotations des devises internationales, BAM communique plusieurs fois par jour des cotations pour les 16 devises¹, cotées sur le marché marocain, contre le Dirham.

Le spread de ces cotations est de **6 ‰**. Cela veut dire que pour toutes les devises cotées par BAM, nous trouvons que :

$$\frac{Spread}{Bid} = \frac{Ask - Bid}{Bid} = 6 \text{ ‰}$$

Pour le marché interbancaire local, ce spread reste inchangé. Cependant, pour le marché clientèle, il faut rajouter la commission de **1 ‰** de l'Office des Changes. A partir de cette, étape le desk change de la salle des marchés améliore son propre Spread appelé "Spread réel".

3.2.1 Mécanismes de cotation Interbancaire

Selon le système de multi-fixing, BAM communique aux établissements de crédit tout au long de la journée les cotations des différentes devises contre le MAD, à partir des cotations de devises internationales avec un spread de 6 ‰. A partir de ceux-ci, le desk change améliore son propre spread, c'est le "spread réel".

La figure ci-dessous explique le mécanisme d'amélioration du spread dans le marché interbancaire.

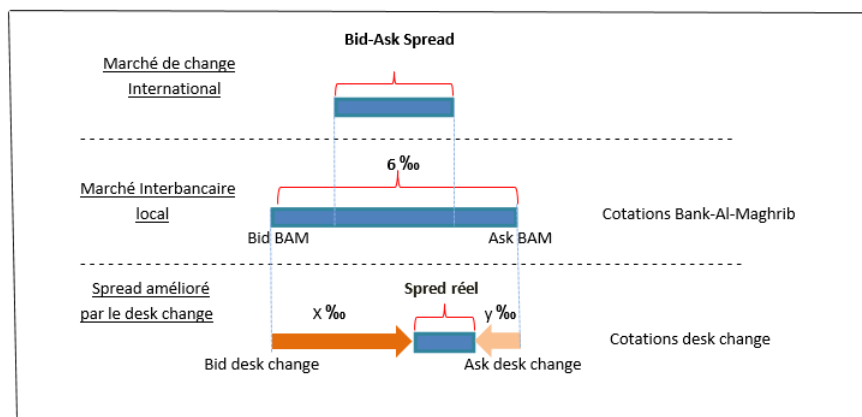


FIGURE 3.2 – Spread amélioré pour le marché interbancaire local

En fait, la banque acheteuse de devises contre MAD est cotée à l'Ask BAM amélioré de $x \text{ ‰}$, alors que la banque vendeuse de devise contre MAD est cotée au Bid BAM amélioré de $y \text{ ‰}$.

Le desk change cote les deux sens Bid-Ask selon plusieurs paramètres à savoir :

1. Les devises cotées sont : EUR, USD, GBP, CAD, JPY, CHF, DKK, SEK, NOK, AED, KWD, LYD, SAR, TND, DZD, MRO

- le type de la banque (fidèle, ...)
- la nature des flux
- le montant
- ...

Il est à signaler que le marché est situé généralement dans le spread de 5‰ pour le Bid, et 0‰ pour l'Ask, c-à-dire que : $x \geq 5‰$ et $y \geq 0‰$.

3.2.2 Mécanismes de cotation clientèle

Le mécanisme de cotations pour la clientèle est semblable à celui utilisé sur le marché interbancaire. La seule différence c'est qu'il faut ajouter d'abord la taxe de 1‰ (de l'Office des changes) aux cotations communiquées par BAM et ensuite, le desk change améliore son propre spread.

C'est ce qui est expliqué ci-dessous.

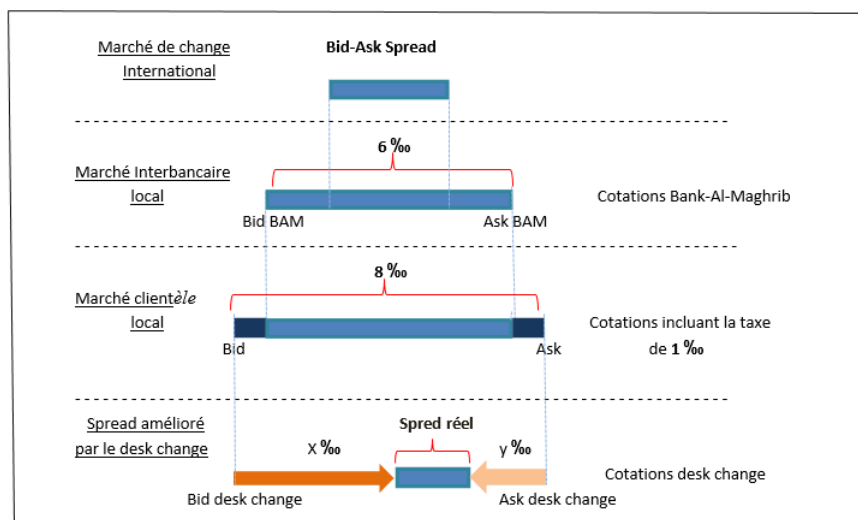


FIGURE 3.3 – Spread amélioré pour la clientèle local

Après la mise en évidence de la commission clientèle à BAM, deux cas de figure se présentent :

1. Cotation à l'export

Dans ce cas le client est vendeur de devises contre le Dirham, il est donc coté au Bid BAM, moins 1‰, puis amélioré de $x‰$.

2. Cotation à l'import

Le client est acheteur de devises contre MAD, il est coté au Ask BAM, plus 1‰, puis amélioré de $x‰$, pour trouver le "spread réel" de desk change.

De même pour le marché interbancaire, les deux sens Bid et Ask sont cotés selon :

1. le type de clientèle (multi-bancarisé, client fidèle,...etc)

2. la nature des flux (ponctuels, récurrents,...)
3. le montant traité (limites,...)
- ...

Le marché clientèle local est situé dans le spread (5‰Bid, 0‰Ask).

3.3 Conception du pricer

3.3.1 Méthodologie de pricing

Avant d'implémenter le pricer du taux de change spot dans le langage de programmation C#, toutes les entrées et les sorties doivent être bien définies. En effet, le problème de pricing spot peut être modélisé de la manière suivante :

Soit Ω l'ensemble de toutes les devises cotées sur le marché marocain :

$$\Omega = \{\text{EUR, GBP, CAD, JPY, CHF, DKK, SEK, NOK, AED, KWD, LYD, SAR, TND, DZD, MRO}\}$$

et soit $\text{DEV} \in \Omega$.

Nous cherchons à trouver le prix marché de DEV contre le dirham, autrement dit, nous cherchons le cours de change DEV/MAD à chaque instant et d'une manière continue.

Voici un extrait du site internet de BAM :

" Les taux de change établis par Bank-Al-Maghrib sont cotés à l'incertain, soit le nombre d'unités de monnaies nationales nécessaire pour obtenir une unité de monnaie étrangère, selon la formule ci-après :

$$1 \text{ USD} = \frac{1}{\left[\frac{1}{\text{cours de référence USD}} \times 20\% \right] + \left[\frac{1}{\text{cours de référence EUR}} \times 80\% \right] \times \text{cours EUR/USD}} \text{DH}''$$

A partir de cette formule "améliorée"², le cours de change DEV/MAD publié par BAM, et la cotation de cours de DEV contre USD sur le marché international (publié sur Reuters et Bloomberg), nous pouvons trouver le cours DEV contre MAD en utilisant la technique des cours croisés. La méthode est illustrée dans le schéma suivant :

². Au lieu des pondération 20% et 80%, on utilise les pondérations EUR(Pnd_{EUR}) et USD(Pnd_{USD}) calculées dans le chapitre 2

Les entrées
- Marché international(DEV/USD) $(DEV/USD)_{Bid}^i$ $(DEV/USD)_{Ask}^i$
- Fixing BAM (DEV/MAD) $(DEV/MAD)_{Bid}^b$ $(DEV/MAD)_{Ask}^b$
-Les pondérations Pnd_{EUR} et Pnd_{USD}
-Les marges (Import et Export)



Les formules de pricing
A chaque instant t on calcule :
- $(DEV/USD)_{Mid}^i = \frac{(DEV/USD)_{Bid}^i + (DEV/USD)_{Ask}^i}{2}$
- $(DEV/MAD)_{Mid}^b = \frac{(DEV/MAD)_{Bid}^b + (DEV/MAD)_{Ask}^b}{2}$
- $(USD/MAD)_{Mid}^b = \frac{1}{\frac{1}{(USD/MAD)_{Mid}^b} \times Pnd_{USD} + \frac{1}{(EUR/MAD)_{Mid}^b} \times Pnd_{EUR} \times EUR/USD}$
- $(DEV/MAD)_{realMid} = (DEV/USD)_{Mid}^i \times (USD/MAD)_{Mid}^b$
- $Var(DEV/MAD) = \frac{(DEV/MAD)_{realMid} - (DEV/MAD)_{Mid}^b}{(DEV/MAD)_{Mid}^b}$
- Pnd_{EUR} et Pnd_{USD} sont déterminés par des régressions périodiques (voir chapitre 2)



Les sorties
Les cotations DEV/MAD interbancaire :
- $(DEV/MAD)_{realBid} = (DEV/MAD)_{Bid}^b \times (1 + Var)(1 + MargeExport)$
- $(DEV/MAD)_{realAsk} = (DEV/MAD)_{Bid}^b \times (1 + Var)(1 + MargeImport)$
Les cotations DEV/MAD clientèle :
- $(DEV/MAD)_{realBid} = (DEV/MAD)_{Bid}^b \times (1 + Var)(1 - 0.1\%)(1 + MargeExport)$
- $(DEV/MAD)_{realAsk} = (DEV/MAD)_{Bid}^b \times (1 + Var)(1 + 0.1\%)(1 + MargeImport)$

TABLE 3.2: Conception du pricer spot

Remarques

1. La base de tout calcul est le Mid des cours, les Bid-Ask apparaissent juste dans les entrées/sorties du pricer.
2. Les marges Import/Export sont les seules entrées déterminées par le cambiste, alors que les autres variables seront automatisés.
3. Le prix de chaque devises de Ω est déterminé de la même manière décrite ci-dessus, donc cette méthode sera appliquée sur les 16 devises cotées sur le marché de change marocain.

3.3.2 Implémentation en C#

Pour l'implémentation de notre pricer, une classe "PricingSpot" a été créée, cette dernière est composée de plusieurs méthodes afin de rendre le code lisible et opérationnel :

- importation des données du marché international.
- calcul de Mids des cours.
- ...
- puis affiche des résultats en Excel.

3.3.3 Présentation du pricer

Comme nous avons déjà expliqué dans le premier chapitre, nous avons créé un complément Excel "Addin", nommé "Forex". Ce complément contient plusieurs boutons, chacun représente un outil de notre plateforme.

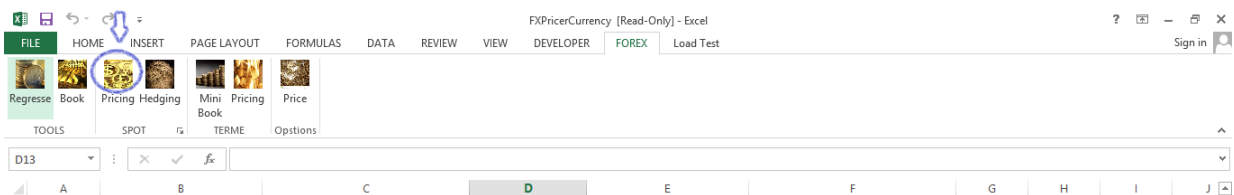


FIGURE 3.4 – Présentation du complément Excel nommé "Forex"

Le pricer spot que nous avons mis en place est composé de deux interfaces, la première nommée "INTERBANK COTATIONS" qui permet d'afficher les cotations utilisées par le cambiste du desk change pour trader sur le marché interbancaire local.

Ainsi, en cliquant sur le bouton "Pricing" du groupe "SPOT", nous obtenons les cours de changes actualisés et cela à chaque instant de la journée.

01/06/2014 19:56 INTREBANK COTATIONS								
Fixing BAM	Variation	BID	CURRENCY	ASK	Variation	Fixing BAM	MID Real	MID BAM
11,1860	0,0071	11,2659	EUR	11,2713	0,0016	11,2530	11,2411	11,2195
8,1643	0,0052	8,2066	USD	8,2408	-0,0003	8,2434	8,2037	8,2039
7,4867	0,0069	7,5380	CAD	7,5419	0,0013	7,5317	7,5216	7,5092
13,7430	0,0073	13,8434	GBP	13,8509	0,0018	13,8260	13,8134	13,7845
0,0805	0,0056	0,0810	JPY	0,0810	0,0001	0,0810	0,0808	0,0808
9,1528	0,0072	9,2186	CHF	9,2232	0,0017	9,2078	9,1984	9,1803
1,4985	0,0095	1,5128	DKK	1,5135	0,0040	1,5075	1,5095	1,5030
1,2387	0,0082	1,2489	SEK	1,2495	0,0027	1,2461	1,2461	1,2424
1,3753	0,0088	1,3874	NOK	1,3881	0,0033	1,3836	1,3844	1,3795
2,2227	-0,3751	1,3890	AED	1,3898	-0,3785	2,2361	1,3860	2,2294
28,9720	0,0066	29,1640	KWD	29,1786	0,0011	29,1460	29,1002	29,0590
6,4961	0,0304	6,6933	LYD	6,6966	0,0247	6,5351	6,6786	6,5156
2,1768	0,0071	2,1923	SAR	2,1934	0,0016	2,1899	2,1875	2,1834
5,0442	0,0033	5,0609	TND	5,0634	-0,0022	5,0745	5,0498	5,0594
0,1035	0,0052	0,1040	DZD	0,1041	-0,0003	0,1041	0,1038	0,1038
0,0272	0,0270	0,0280	MRO	0,0280	0,0214	0,0274	0,0279	0,0273

FIGURE 3.5 – L'interface du pricer spot, cotations interbancaires

De même, l'interface suivante correspond aux cotations publiées par le pricer desk change pour le marché clientèle local. Ainsi en cliquant sur le même bouton "Pricing" du groupe "SPOT", on obtient les prix des 16 devises, coté sur le marché, simultanément.

01/06/2014 19:56 CLIENTELE COTATIONS								
Fixing BAM	Variation	BID	CURRENCY	ASK	Variation	Fixing BAM	MID Real	MID BAM
11,1860	0,0061	11,2546	EUR	11,2826	0,0026	11,2530	11,2411	11,2195
8,1643	0,0042	8,1984	USD	8,2490	0,0007	8,2434	8,2037	8,2039
7,4867	0,0059	7,5305	CAD	7,5494	0,0023	7,5317	7,5216	7,5092
13,7430	0,0063	13,8296	GBP	13,8647	0,0028	13,8260	13,8134	13,7845
0,0805	0,0046	0,0809	JPY	0,0811	0,0011	0,0810	0,0808	0,0808
9,1528	0,0062	9,2093	CHF	9,2324	0,0027	9,2078	9,1984	9,1803
1,4985	0,0085	1,5113	DKK	1,5151	0,0050	1,5075	1,5095	1,5030
1,2387	0,0072	1,2476	SEK	1,2507	0,0037	1,2461	1,2461	1,2424
1,3753	0,0078	1,3860	NOK	1,3895	0,0043	1,3836	1,3844	1,3795
2,2227	-0,3757	1,3876	AED	1,3912	-0,3779	2,2361	1,3860	2,2294
28,9720	0,0056	29,1348	KWD	29,2078	0,0021	29,1460	29,1002	29,0590
6,4961	0,0293	6,6866	LYD	6,7033	0,0257	6,5351	6,6786	6,5156
2,1768	0,0061	2,1901	SAR	2,1956	0,0026	2,1899	2,1875	2,1834
5,0442	0,0023	5,0558	TND	5,0685	-0,0012	5,0745	5,0498	5,0594
0,1035	0,0042	0,1039	DZD	0,1042	0,0007	0,1041	0,1038	0,1038
0,0272	0,0260	0,0279	MRO	0,0280	0,0224	0,0274	0,0279	0,0273

FIGURE 3.6 – L'interface du pricer spot, cotations clientèle

La première et la septième colonne représentent les cotations Bid-Ask affichés par BAM, des différentes devises contre le dirham, alors que la troisième et la cinquième colonne donnent les cotations Bid-Ask améliorées par le desk change.

Dans la quatrième colonne nous trouvons le code ISO des différentes devises cotées sur le marché des changes marocain. Les autres colonnes qui restent représentent quelques indicateurs qui donnent des informations utiles pour le trader, à savoir : la variation des cours par rapport au dernier fixing de BAM, le Mid de BAM et le Mid réel du disque change.

Backtesting :

Afin de valider le pricer et nous assurer de sa performance, nous avons comparé les résultats avec ceux donnés par le pricer du desk change.

3.4 Couverture de change au comptant

3.4.1 Stratégies de couverture

Les méthodes de couverture varient selon les banques, selon leur taille et la nature de leur activité. Généralement, nous distinguons deux types de techniques de couverture :

- des techniques interne de couverture désignant les méthodes que la banque peut elle même mettre en place pour diminuer son risque de change.
- des techniques externes de couverture. Dans ce cadre, la banque utilise d'autres possibilités telles que la couverture à terme, les swaps de devises, les options de devises...

Parmi les techniques de couverture internes, la banque veille à ce que la valeur de son portefeuille soit inchangée suite à la volatilité accrue du taux de change.

Techniques de couverture

Le principe est le suivant : la position en Dirham doit être toujours claquée sur les deux positions en EUR et USD.

Autrement dit, à chaque instant t la position en Dirham est :

$$Pos(MAD)_t = Pos(EUR)_t + Pos(USD)_t$$

En tenant compte de la composition du Dirham nous avons :

$$Pnd(EUR) \times Pos(MAD) = Pos(EUR) \times EUR/MAD$$

et

$$Pnd(USD) \times Pos(MAD) = Pos(USD) \times USD/MAD$$

$Pnd(EUR)$ et $Pnd(USD)$ sont respectivement les pondérations EUR et USD dans le panier MAD³ et doivent être de type 80% et 20%.

A chaque instant t , la position en Dirham est la suivante :

$$Pos(MAD)_t = Pos_{MAD}(EUR)_t + Pos_{MAD}(USD)_t$$

3. Voir chapitre 2 : Simulation du panier MAD

il s'en suit que :

$$Pos(MAD)_t = Pos(EUR)_t \times (EUR/MAD)_t + Pos(USD)_t \times (USD/MAD)_t$$

Nous cherchons donc une stratégie de couverture autofinancée, de telle sorte que :

$$Pos(MAD)_{t+1} = Pos(EUR)_t \times (EUR/MAD)_{t+1} + Pos(USD)_t \times (USD/MAD)_{t+1} = Pos(MAD)_t$$

Remarque : La méthodologie de cette démarche est un secret professionnel.

La technique de couverture est donc basée sur les principes suivants :

- chaque position sur une devise autre que l'euro et le dollar doit être transformée en position sur ces deux devises.
- la couverture des positions sur l'euro et le dollar en tenant compte de la composition du dirham, cela veut dire que si l'opération est l'achat de l'euro contre le dirham, alors une partie de cette position doit être transformée en dollar en tenant compte des pondérations du panier MAD.

3.4.2 Conception du pricer

Afin de mettre en place un pricer qui permet de trouver le montant de la couverture des positions de change, il faut d'abord définir les entrées et les sorties de notre pricer.

Les entrées :

- le montant traité avec la clientèle en euro contre le dirham ou dollar contre le dirham.
- les pondérations de l'euro et du dollar dans le panier dirham.
- les cours de l'opération.

La couverture

- s'il s'agit d'une opération euro contre dirham, le montant de couverture est :
Montant en EURMAD \times Pnd_{USD}
- si l'opération est le dollar contre le dirham, le montant de couverture sera :
Montant en USDMAD \times Pnd_{EUR}

les sorties

- Montant de couverture euro ou dollar
- le cours euro dollar de référence.

3.4.3 Les caractéristiques d'une opération spot

Les principales caractéristiques d'une opération de change au comptant sont :

- La devise principale
- Le sens : achat ou vente
- La devise secondaire, ou devise "prix" : devise vendue s'il s'agit d'un achat, devise achetée s'il s'agit d'une vente.

- date de négociation ou "trade date"
- La date de valeur ou "spot date" : généralement égale à la date de négociation + 2 jours ouvrés.

Remarque : un contrat de change au comptant a une durée de vie nulle, il n'y a pas de "date de fin".

- Le montant négocié, exprimé dans la devise principale
- Le cours négocié
- Le montant dans la devise secondaire, calculé à partir du montant principal et du cours.

Les caractéristiques communes à toutes les opérations de marché :

- Le portefeuille de négociation ou "book", éventuellement l'identité du trader.
- La contrepartie
- L'intermédiaire, ou "broker", par qui la négociation a été effectuée.

3.4.4 Présentation du pricer de couverture

Le pricer que nous avons réalisé contient toutes les caractéristiques citées ci-dessus, ainsi que le montant de couverture EUR/USD.

Ci-après, l'interface principale de notre pricer :

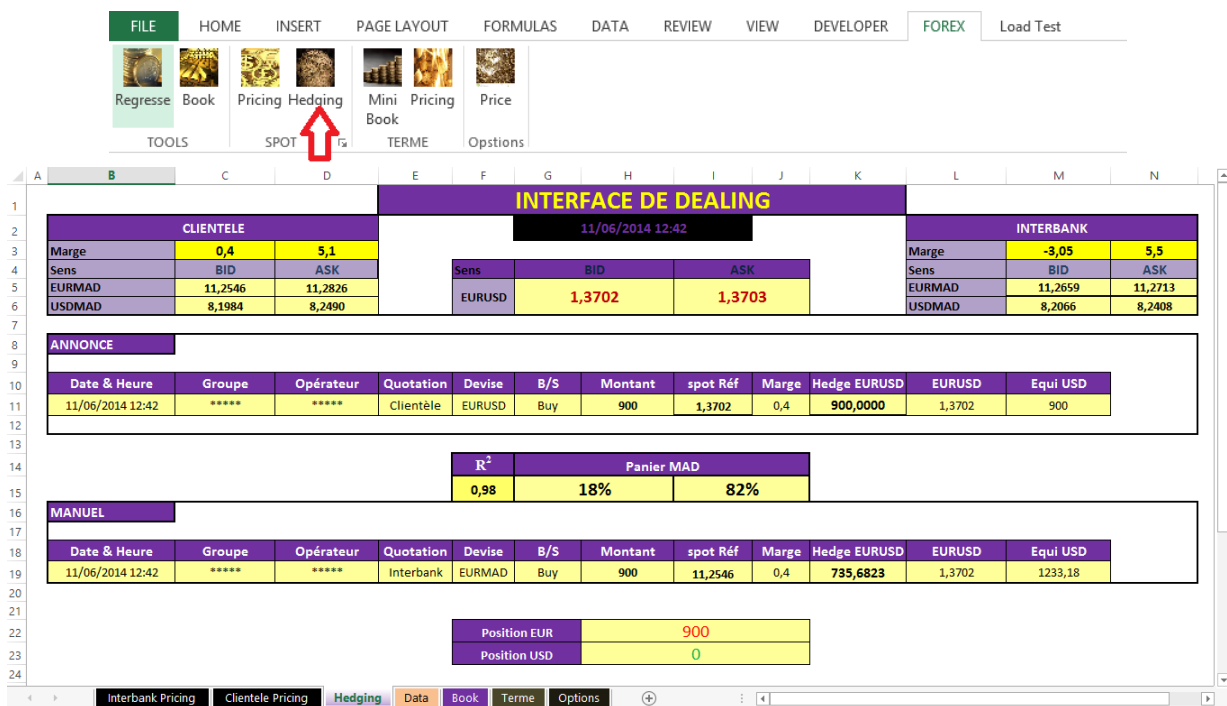


FIGURE 3.7 – L'interface du pricer de couverture spot

CHAPITRE 4

VALORISATION DU TAUX DE CHANGE À TERME

Dans ce chapitre, nous exposons les opérations de change à terme "outright forward" et la construction d'un cours à terme par les prêts-emprunts. La méthode de détermination d'un cours à terme pour des clients à partir des cotations est détaillée, ainsi qu'une présentation d'un outil qui permet de valoriser le cours de change à terme en temps réel.

4.1 Le marché des change à terme

Le marché de change à terme est un marché où deux contreparties négocient l'achat et la vente de devises pour une durée ultérieure. Les participants du marché de change à terme sont les banques nationales ou étrangères et la clientèle privée. A l'instar du marché de change au comptant, le marché de change à terme n'est pas localisé et les opérations sont traitées par téléphone. Un client peut acheter ou vendre à terme une devise contre une autre devise sur le marché par l'intermédiaire d'une banque qui lui communiquera le taux de change à terme qu'elle pratique au moment de la transaction.

Il est à signaler que pour le marché de change marocain, les cours de change à terme ne font l'objet d'aucune cotation officielle de Bank-Al-Maghreb.

4.2 Contrat à terme sur devise

Le contrat à terme est un engagement entre deux parties visant à acheter ou vendre un montant à un taux et une date prédéterminée à l'avance. À l'échéance du contrat, le taux de conversion sera le taux du contrat, peu importe le taux du marché. Le contrat à terme permet donc de se protéger contre un mouvement défavorable de la devise.

4.2.1 Exemple

On se situe le vendredi 07/06/2014.

Un importateur marocain doit payer un montant de 10 millions d'EUR dans 4 mois. Il souhaite se couvrir du risque de change et demande à la banque de lui fixer dès aujourd'hui un prix pour son achat d'EURMAD dans 4 mois.

Quel est donc le prix donné au client par la banque ?

Afin de fixer à la date t , le cours de change qui sera appliqué à l'échéance pour convertir la devise en dirham, la banque procède aux opérations suivantes (qui lui assurent sa propre couverture) :

- Si elle reçoit un ordre de vente à terme de devise contre dirham, elle vend immédiatement au comptant, contre le dirham, la même quantité de devises qu'elle emprunte sur le marché interbancaire jusqu'au terme indiqué par le client et prête la quantité de dirham au même terme.
- Si elle reçoit un ordre d'achat à terme de devises contre le dirham, elle fait les opérations inverses : elle achète donc au comptant contre dirham, elle emprunte la contre valeur en dirham et prête la quantité équivalente de dirham au même terme.

4.3 Calcul du cours à terme

La valeur théorique du contrat à terme sur devises, au temps t , est celle qui garantit l'absence d'opportunités d'arbitrage¹. Autrement dit, la valeur théorique de ce contrat est le prix d'équilibre auquel il n'est pas rentable d'entreprendre des opérations d'arbitrage.

4.3.1 Détermination du cours de change à terme

Les cours à terme ne sont pas cotés en tant que tels sur le marché. Par contre, pour chaque devise nous connaissons les taux de prêts / emprunts sur les différentes échéances. Ce sont ces taux qui vont servir à calculer les cours à terme.

Du point de vue du cambiste qui cote l'opération, le change à terme revient à combiner 3 opérations :

- Un change «spot» $X(t)$ de même sens que l'opération à terme
- Un prêt de la devise achetée sur la même durée que l'opération à terme.
- Un emprunt de la devise vendue.

Le graphique ci-après illustre le raisonnement d'achat à terme de la devise D_1 contre D_2 . Les flux en pointillé sont fictifs, leur rôle c'est d'éclaircir le raisonnement.

1. Voir glossaire

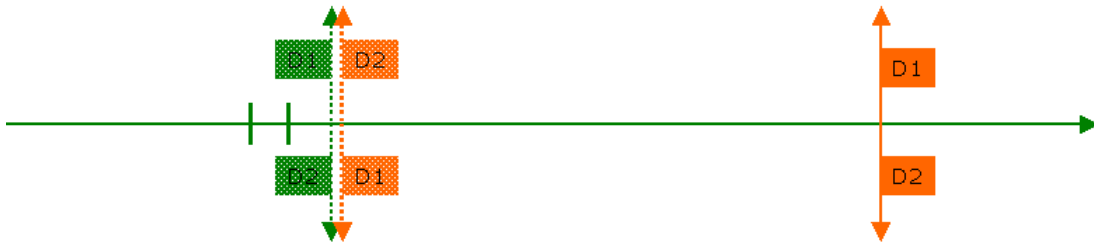


FIGURE 4.1 – L'achat à terme de la devise D1 contre D2

4.3.2 Stratégie de réplication

Supposons qu'un importateur Marocain ait acheté des biens de production chez un industriel Américain et ce pour un montant de 3 millions de dollars. Cet importateur marocain doit s'acquitter à la date T d'une facture en dollar d'un montant de 3M. Nous sommes en t et notre acheteur marocain, pour ne pas subir le risque d'une dépréciation éventuelle du dollar (hausse du prix du dollar en dirham, par exemple de 8.50 à 8.54) décide de rentrer dans un contrat d'achat à terme de 3 millions de dollar. Notons $X(t, T)$ la valeur du taux de change à terme de cette transaction. Une fois le contrat réglé, l'acheteur marocain a l'assurance, mais également l'obligation, d'acheter à la date T les 3 millions de dollars nécessaires au règlement de sa facture pour une somme en dirham qui est fixée en t , et cela quelle que soit l'évolution du cours USD/MAD.

D'après le principe d'absence d'opportunité d'arbitrage appliqué à la valorisation des contrats de change à terme, quelle est la valeur de $X(t, T)$?

Mise en place d'une stratégie répliquante :

Pour garantir à l'acheteur marocain le versement de 3M de dollar au taux de change à terme $X(t, T)$, la banque achète dès aujourd'hui sur le marché américain un zéro coupon de nominal 3M et d'échéance T . Pour qu'elle reçoive les 3M de dollar en T .

A l'instant t , le zéro coupon lui coûte (en dollar)

$$3M \times DF^{USD}(t, T)$$

avec :

$$DF^{USD}(t, T) = e^{-r_{usd}(T-t)}$$

le facteur d'actualisation ou "Discount Factor", et r_{usd} le taux d'intérêt sans risque américain. Pour financer un tel achat, elle s'endette en Dirham à hauteur de

$$3M \times DF^{USD}(t, T) \times X(t)$$

qu'elle devra rembourser en T pour un montant de :

$$3M \times DF^{USD}(t, T) \times X(t) \times \frac{1}{DF^{MAD}(t, T)}$$

$$DF^{MAD}(t, T) = e^{-r_{mad}(T-t)}$$

r_{mad} le taux sans risque marocain. Ce montage permet à la banque de mettre à disposition de son client les 3M de dollars à la date T. En contrepartie, la banque demandera à son client de lui verser en Dirham, toujours à la date T, la somme :

$$\frac{3M \times DF^{USD} \times X(t)}{DF^{MAD}(t, T)}$$

somme qui lui permettra de rembourser sa dette en dirham. Nous avons donc, dans le cadre de cette stratégie de réplication :

$$3M \times X(t, T) = 3M \times \frac{DF^{USD} \times X(t)}{DF^{MAD}(t, T)}$$

Nous obtenons :

$$X(t, T) = \frac{X(t) \times DF^{USD}(t, T)}{DF^{MAD}(t, T)}$$

4.4 Le modèle d'évaluation de change à terme

4.4.1 Capitalisation continue

La formule suivante résume toutes les considérations de la section précédente. Soient :

T : l'échéance du contrat.

X(t, T) : prix à terme de la devise locale en fonction de la devise étrangère.

X(t) : le prix au comptant à l'instant t de la devise locale en fonction de la devise étrangère.

r_e : le taux de rendement sans risque que va rapporter la devise étrangère pour l'échéance T.

r_d : le taux de rendement sans risque que va rapporter la devise domestique pour l'échéance T.

La condition d'équilibre à laquelle les opportunités d'arbitrage ne seront plus rentables est :

$$X(t, T) = X(t) \frac{DF^e(t, T)}{DF^d(t, T)} = X(t) e^{(r_d - r_e)(T-t)}$$

4.4.2 Capitalisation discrète

Nous pouvons reformuler la condition d'équilibre présentée ci-dessus dans un contexte de capitalisation discrète de la façon suivante :

$$C_f = C_s \frac{1 + r_d \frac{n}{N_d}}{1 + r_e \frac{n}{N_e}}$$

Avec :

– C_f : cours de change à terme.

- C_s : Cours de change au comptant.
- r_d : Taux d'intérêt pour un dépôt sur n jours en devise de base (domestique).
- r_e Taux d'intérêt pour un dépôt sur n jours en devise de cotation(étrangère)
- n : Nombre de jours entre la date spot et la date de livraison du change à terme.
- N_d : Nombre de jours dans l'année pour le dépôt en devise de base (360, 365, 366 selon convention)
- N_e : Nombre de jours dans l'année pour le dépôt en devise de cotation (360, 365, 366 selon convention)

4.4.3 Report/Déport

On dit qu'il y a report de la monnaie de base (une devise) par rapport à la monnaie secondaire (dirham, par exemple), si le taux d'intérêt de la monnaie de base est inférieur à celui de monnaie secondaire.

Dans le cas contraire, il y a déport de la monnaie de base par rapport à la monnaie secondaire. Si les taux sont égaux, le cours à terme est égal au cours au comptant (nous parlons alors de cours au paire).

Cours à terme=cours au comptant+report

Cours à terme=cours au comptant-déport

La différence entre le cours à terme et le cours comptant est souvent indiquée en pourcentage. Ce dernier est appelé taux du report/déport.

Taux de report/Déport=(Cours terme-cours comptant)/Cours comptant

4.5 Mise en place d'un pricer

Les caractéristiques d'une opération de change à terme sont :

- La devise principale
- Le sens (achat ou vente) par rapport à la devise principale
- La devise secondaire (devise vendue pour un achat, devise achetée pour une vente de la devise principale)
- Le cours "spot"
- La date de négociation
- La date de valeur : date à laquelle les devises seront effectivement échangées
- Le portefeuille de négociation ou "book".

CHAPITRE 5

VALORISATION ET COUVERTURE DES OPTIONS FX

Réputé pour être le marché le plus liquide au monde, le Forex connaît une volatilité intense. Ainsi, pour une institution (importatrice ou exportatrice) cherchant à se couvrir contre la hausse ou la baisse du cours d'une devise, les options de change s'avèrent plus fructueuses que le spot ou le terme.

Au Maroc, les options de change n'ont fait leur apparition qu'en 2005. Depuis, le marché de ces produits a connu un fort engouement aussi bien de la part des banques qui les proposent que les investisseurs qui les demandent. Sur le marché local, toutes les transactions à terme de gré à gré se basent sur des produits vanilles (classiques et standards).

Notre objectif premier est de compléter notre plateforme en réalisant un outil opérationnel et pratique pour le Pricing des options de change.

5.1 Aperçu sur les options de change

5.1.1 Définitions

Une option de change est un contrat entre deux parties qui donne à son détenteur le droit (et non l'obligation) d'acheter (option d'achat "Call") ou de vendre (option de vente "Put") une quantité de devises à un prix convenu à l'avance, appelé prix d'exercice (Strike) contre une autre devise à une date fixée, dite échéance de l'option. En contrepartie, l'acheteur verse immédiatement au vendeur une prime qui est le prix de l'option.

Les options de change sont des options négociées dans des marchés de gré à gré (Over the counter) c'est-à-dire directement entre le vendeur et l'acheteur.

Selon le mode d'exercice, on distingue entre :

- **Les options européennes** : Options pouvant être exercées uniquement à maturité;

- **les options bermudiennes** : Options pouvant être exercées à un ensemble de dates prédéfinies ;
- **les options américaines** : Options pouvant être exercées à tout moment depuis la date de début jusqu'à la maturité.

Une option d'achat (respectivement de vente) est dite dans la monnaie (in the money ou ITM) lorsque son prix d'exercice est inférieur (respectivement supérieur) au prix de son actif sous-jacent. Hors de la monnaie (out of the money ou OTM) signifie le cas contraire. Une option est dite à la monnaie (at the money ou ATM) si le prix d'exercice est égal au prix actuel de l'actif sous-jacent.

5.1.2 Payoff des options vanilles

Payoff d'un Call FX

A maturité, le détenteur du call a un gain illimité si le prix (spot) est supérieur au prix d'exercice, sinon le call ne sera pas exercé et la perte sera limitée au prix de la prime versée à l'origine. Ainsi, le payoff d'un call FX européen s'écrit :

$$\text{Payoff} = \text{Nominal} \times (S_T - K)^+ = \text{Nominal} \times \text{Max}(S_T - K, 0)$$

Tel que :

- Payoff : currency 2
- Nominal : currency 1
- S_T : spot à maturité
- K : prix d'exercice (ou strike)

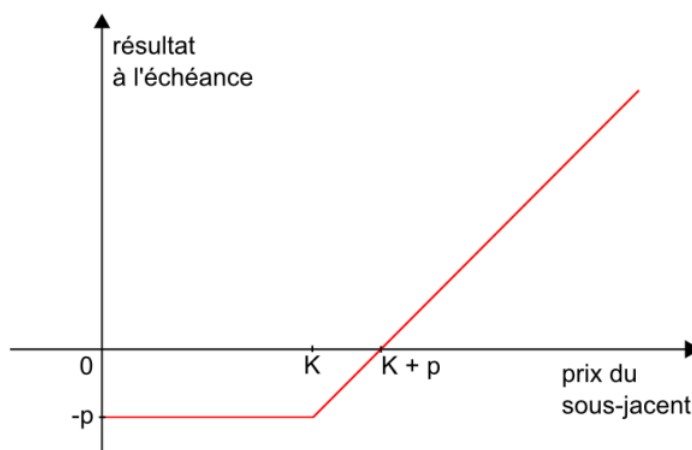


FIGURE 5.1 – long d'un call

L'acheteur d'un call a naturellement un payoff inverse à celui du vendeur :

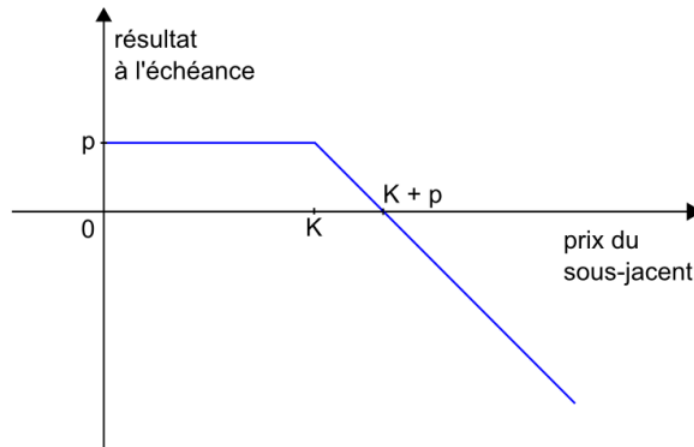


FIGURE 5.2 – Short d'un call

$$\text{Payoff} = -\text{Nominal} \times (S_T - K)^+ = -\text{Nominal} \times \text{Max}(S_T - K, 0)$$

Payoff d'un Put FX

A maturité, le détenteur du put a un gain illimité si au contraire le cours spot est inférieur au prix d'exercice, sinon l'option ne sera même pas exercée. Ainsi, le payoff d'un put FX européen s'écrit :

$$\text{Payoff} = \text{Nominal} \times (K - S_T)^+ = \text{Nominal} \times \text{Max}(K - S_T, 0)$$

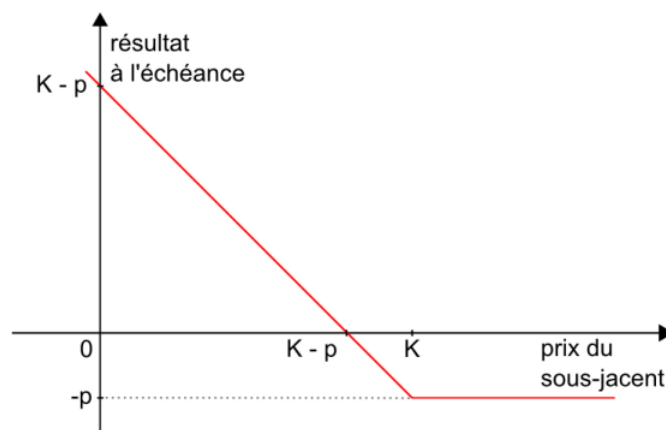


FIGURE 5.3 – long d'un put

De même, le payoff d'un acheteur de put s'écrit :

$$\text{Payoff} = -\text{Nominal} \times (K - S_T)^+ = -\text{Nominal} \times \text{Max}(K - S_T, 0)$$

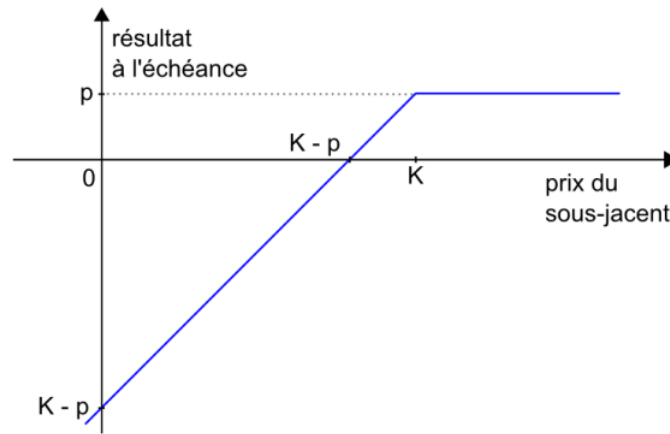


FIGURE 5.4 – Short d'un put

Parité Put-Call

La parité Call-Put est la relation qui lie le prix d'un call à celui du put. Il est possible d'obtenir directement la formule d'évaluation d'un put, à partir de cette relation. En effet, l'achat d'un put européen, combiné avec la vente simultanée d'un call européen de caractéristiques semblables, produit l'expression algébrique suivante :

$$P_0 - C_0 = Ke^{-rT} + d - S_0$$

Tel que :

- r : Taux d'intérêt domestique (ou le taux sans risque)
- q : Taux d'intérêt étranger

5.2 Les modèles de calculs

Parmi les apports fondamentaux de la théorie des options nous trouvons la méthode de calcul d'une prime qui doit être la même quelle que soit la position de l'investisseur par rapport au risque. En effet, dans le monde réel, les agents ont des attitudes différentes par rapport au risque : ils peuvent avoir une aversion au risque ou au contraire un goût prononcé pour la prise de risque. Dans ce cas, le prix de l'option peut être le même. En fait, il a une connotation subjective.

Nous présentons dans cette section les différents modèles qui permettent d'évaluer les options de change.

5.2.1 Le Modèle de Black & Scholes

A la fin des années 1960, Scholes, en collaboration avec Fischer Black et Merton, élabore le modèle Black-Scholes, une formule mathématique permettant de déterminer la tarification des options et des autres dérivés financiers. Ce modèle, publié dans le "Journal of Political Economy" en 1973, fournit un moyen d'informatiser les variables affectant la valeur des options boursières et contribua à la croissance du commerce de ces options dans le courant des années 1970.

Malgré l'évolution des recherches des ingénieurs dans le domaine de la finance, le modèle de Black-Scholes demeure un modèle de référence pour chaque trader partout dans le monde.

Hypothèses du modèle

Comme chaque modèle, le modèle de Black-Scholes est basé sur un certain nombre d'hypothèses :

H_1 : Le prix de l'actif sous-jacent S suit un mouvement brownien géométrique :

$$dS = S(\mu dt + \sigma dW_t)$$

les paramètres μ et σ représentent respectivement la tendance et la volatilité de l'actif et qui sont supposées constantes.

$(W_t)_{t \geq 0}$ est un mouvement brownien standard.

H_2 : Les marchés financiers sont considérés parfaits : bonne liquidité, absence d'opportunité d'arbitrage¹, possibilité d'effectuer des ventes à découvert, les coûts de transactions sont nuls.

H_3 : Il existe un taux sans risque constant et connu à l'avance.

H_4 : La cotation de l'actif sous-jacent se fait en temps continu, sans saut ni décrochement.

H_5 : L'option est de type européenne, et aucune distribution de dividende n'a lieu avant l'échéance de l'option.

H_6 : Tous les sous-jacents sont parfaitement divisibles.

H_7 : La volatilité est supposée constante sur toute la durée de vie résiduelle de l'option.

Équations de Black-Scholes

La prime d'une option n'est que l'espérance actualisée du payoff sous la probabilité risque neutre. Ainsi, sous les hypothèses citées ci-dessus, la formule de Black-Scholes se présente comme suit :

1. AOA est l'une des hypothèses fondamentales des modèles usuels. Elle stipule qu'il n'existe pas d'opération qui n'implique aucune mise de fonds et qui permet d'acquérir une richesse certaine dans le futur

Le prix d'une option d'achat

$$C = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2)$$

Le prix d'une option de vente

$$P = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1)$$

Avec :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{et} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

où :

- S : Le prix de l'actif support.
- K : Le prix de l'exercice.
- r : Le taux d'intérêt sans risque.
- σ : La volatilité de l'actif support.
- T : La durée de vie résiduelle de l'option.
- $N(\cdot)$ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite $N(0, 1)$.

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

Modèle de Black-Scholes augmenté

En gardant les mêmes notations et sous les hypothèses que nous venons d'étudier, la formule de Black-Scholes augmentée (Voir Hull 2006 et Haug 2007 pour plus de détails), est la suivante :

$$\begin{aligned} C &= S_0 e^{(b-r)T} N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \\ P &= K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 e^{(b-r)T} N(-d_1) \end{aligned}$$

Avec :
$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(b + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{et} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Le paramètre b prend des valeurs spécifiques (Haug 2007) :

- $b = r$, c'est le modèle de Black-scholes.
- $b = r - q$, le modèle de Merton avec un taux de dividende q continu.
- $b = 0$, le modèle de Black pour les options sur futures.
- $b = r - r_e$, c'est le modèle de Garman Kohlhagen pour les option sur devises, r_e est le taux d'intérêt étranger sans risque.

5.2.2 Le modèle de Garman Kohlhagen

Les formules permettant de calculer la valeur des options sur devises ont été élaborées par Garman et Kohlhagen, qui se sont inspirés des formules de base de Black-Scholes. Les formules d'évaluation des options sur devises de Garman Kohlhagen reposent sur l'hypothèse que les marchés sont parfaits et n'imposent aucune restriction applicable aux ventes à découvert et à la négociation en continu.

En gardant donc les mêmes notations que les modèles précédemment étudiés, nous pouvons alors montrer que le prix d'un call et d'un put pour une option de change européenne s'écrit :

$$C = S_0 e^{(-r_e)T} N(d_1) - K e^{-r_d T} N(d_2)$$

$$P = K e^{-r_d T} N(-d_2) - S_0 e^{(-r_e)T} N(-d_1)$$

$$\text{Avec : } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + (r_d - r_e + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{et} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Parité put/call

Pour le modèle de Garman Kohlhagen, la parité s'écrit comme suit :

$$P - C = K e^{-r_d T} + r_e - S_0$$

Cette relation lie la prime d'un call à celle d'un put, de même prix d'exercice et de même maturité. En effet, l'achat d'un put européen, combiné avec la vente simultanée d'un call européen de caractéristiques semblables, produit cette parité.

5.3 Les facteur de sensibilité (Les greeks)

Dans la littérature financière, les sensibilités du prix d'une option (call ou put) aux divers paramètres sont couramment regroupées sous le vocable "les greeks". Ces "Greeks" sont d'une grande importance lors de la couverture des portefeuilles d'options, puisqu'ils mesurent la sensibilité de la prime d'une option par rapport à un déterminant donné (le cours du taux de change, le temps, la volatilité).

Le coefficient Delta

Le delta d'une option est la dérivée partielle première de la prime par rapport à S. Il mesure donc la sensibilité de la valeur de l'option par rapport à la variation du cours du sous-jacent.

La formule du Delta pour les options de changes, évaluée par le modèle de GK, selon qu'on est dans le cas d'un call ou d'un put est :

$$\delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} = e^{-r_f(T-t)} N(d_1) \quad \text{donc : } 0 < \delta_C < 1$$

$$\delta_P = \frac{\partial P}{\partial S} = e^{-r_f(T-t)} N(d_1) \quad \text{donc : } -1 < \delta_P < 0$$

Graphiquement, le delta est la pente de la tangente à la courbe représentative du prix de l'option en fonction du cours du sous-jacent. Soit un call de paramètres :

$S = 1.10, \dots, 1.30$; $K = 1.33$; $\sigma = 9.10\%$; $r_d = 0.16\%$; $r_f = 0.06\%$; $T = 1an$

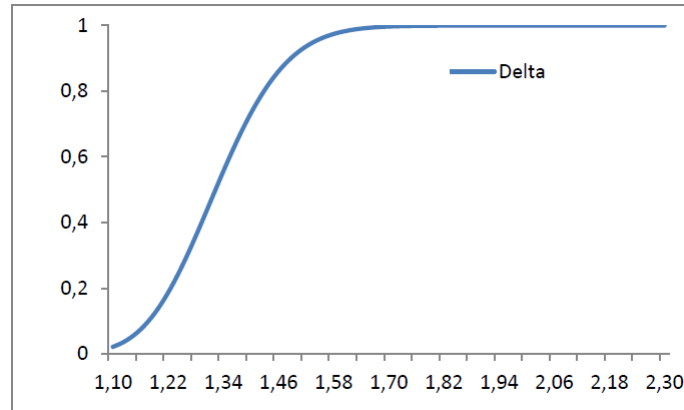


FIGURE 5.5 – Évolution du Delta d'un call

Le coefficient Gamma

Le delta n'étant pas une mesure stable, le Gamma mesure la sensibilité du delta aux variations du taux de change. Le Gamma représente la sensibilité du delta par rapport à la fluctuation du cours du taux de change.

Le gamma d'une option est la dérivée du delta, ou la dérivée seconde de la valeur de l'option par rapport au cours du sous-jacent. Dans le cas d'options évaluées par le modèle de GK, on obtient :

$$\Gamma_C = \Gamma_P = \frac{\partial \delta_C}{\partial S} = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = e^{-r_f(T-t)} \frac{N'(d_1)}{S\sigma\sqrt{T-t}}$$

$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$ est la densité de probabilité d'une gaussienne centrée réduite.

Règles du Gamma

- Le Gamma d'une option achetée (call ou put) est toujours positif.
- Le Gamma est maximal pour les options à la monnaie. Il tend vers zéro pour les options très en dedans ou en dehors de la monnaie.

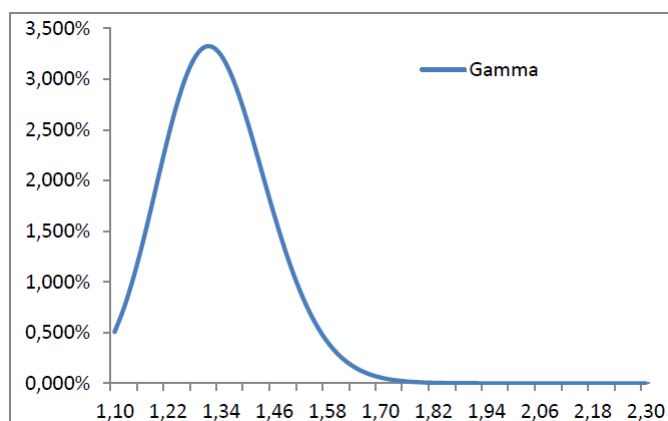


FIGURE 5.6 – Évolution du Gamma d'un call

Le coefficient Véga

Contrairement à ce que sous-entend le modèle de B&S, la volatilité du sous-jacent n'est pas constante en pratique. Un trader doit alors tenir compte des risques que peut engendrer la fluctuation de ce paramètre dans ses stratégies.

Appeler aussi le delta de volatilité, la Véga mesure la variation de la prime donné en pourcentage pour une variation de 1% de la volatilité implicite.

En effet, le Véga d'une option est la dérivée partielle de la prime par rapport à la volatilité. Dans le cas d'options européennes évaluées selon le modèle de GK, on a :

$$\nu_P = \nu_C = \frac{\partial C}{\partial \sigma} = e^{-r_f(T-t)} SN'(d_1) \sqrt{T-t}$$

Les positions à :

- Véga positif, correspond à une stratégie gagnante quand la volatilité du titre support augmente.
- Véga négatif, correspond à une stratégie gagnante quand la volatilité du titre support baisse.

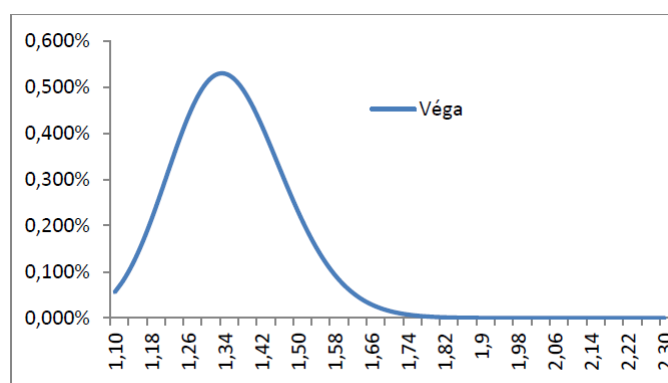


FIGURE 5.7 – Évolution du Véga d'un call

Le coefficient Thêta

Le Thêta mesure la sensibilité de la prime à l'écoulement du temps. Il quantifie la baisse attendue. Toute chose restant égale par ailleurs, pour une période unitaire de un an.

Dans la pratique, le coefficient Thêta est utilisé pour constater la dépréciation de la prime pour un jour de durée de vie de l'option.

Il est la dérivée partielle de la prime par rapport au temps. Nous obtenons avec le modèle de GK :

$$\theta_C = \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{S_0 N'(d_1) \sigma e^{-r_f(T-t)}}{2\sqrt{T-t}} + r_f S_0 N(d_1) e^{-r_f(T-t)} - r_d K e^{-r_f(T-t)} N(d_2)$$

$$\theta_P = \frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{S_0 N'(d_1) \sigma e^{-r_f(T-t)}}{2\sqrt{T-t}} + r_f S_0 N(-d_1) e^{-r_f(T-t)} - r_d K e^{-r_f(T-t)} N(-d_2)$$

Les positions à :

- Thêta positif, correspond à une stratégie gagnante avec l'écoulement du temps.
- Thêta positif, correspond à une stratégie perdante avec l'écoulement du temps.

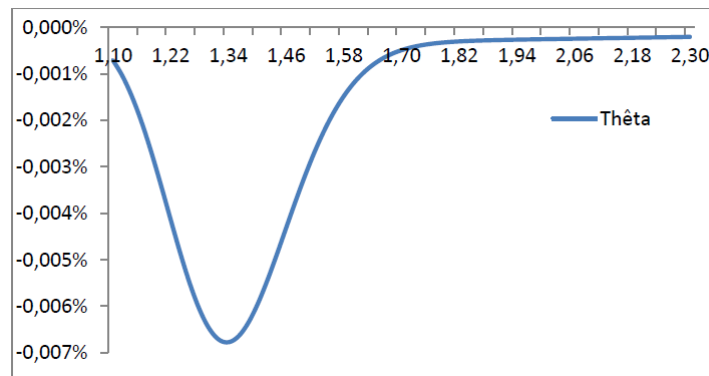


FIGURE 5.8 – Évolution du Thêta d'un call

Le coefficient Rhô

Le coefficient Rhô mesure la variation du prix de l'option pour une variation du prix de l'option de 1% du taux d'intérêt sur la période considérée. Dans la pratique et pour des options de courte durée de vie, ce dernier indicateur demeure d'une moindre importance que les autres, car le prix d'une option est très sensible aux variations du taux d'intérêt domestique.

Nous distinguons entre le rho domestique et le rho devise :

-Rhô domestique :

$$\rho_C^d = K(T-t)e^{-r_d(T-t)}N(d_2)$$

$$\rho_P^d = -K(T-t)e^{-r_d(T-t)}N(-d_2)$$

-Rhô devise :

$$\rho_C^f = -S_0(T-t)e^{-r_f(T-t)}N(d_1)$$

$$\rho_P^f = S_0(T-t)e^{-r_f(T-t)}N(-d_1)$$

5.4 Discussion du modèle GK

Dans cette partie, nous avons vu comment évaluer la prime des options vanilles selon le modèle de Garman-Kohlhagen. Toutefois, les valeurs obtenues ne sont pas compatibles avec les cotations du marché car ce modèle est fondé sur des hypothèses très simplificatrices, notamment celle d'une volatilité constante² durant toute la vie de l'option. Cependant, la valeur théorique donnée par le modèle de Garman-Kohlhagen est utilisée comme cotation de référence pour tous les traders partout dans le monde.

5.5 Présentation du pricer

Le pricer ci-dessous, implémenté sous C#, évalue le prix des options de change selon le modèle de Garman-Kohlhagen.

Notons que pour une option EURMAD par exemple, le taux domestique correspond à celui du Dirham et le taux devise correspond à celui de l'Euro.

FX option Pricer			
*Données		*Résultats	
**Données du Trader		**Greeks	
Devise	USDMAD	Delta	0,90%
Date prix	11/06/2014	Gamma	8,31%
Maturité	13/06/2015	Théta	-0,28%
Sens	Buy	Véga	1,66%
Call/Put	Call	Rhô	6,74%
Strike	8,5023		
Notionnel	10000,00		
**Données du Marché		**Les prix	
Taux EUR	0,050%	Prix	-2,43
Taux USD	0,30%	Prime	-2430
Taux MAD	3,56	Hedge	8,96
Spot	8,1984		
Forward	8,2108		
Volatilité	8,92%		
		Modèle:	Garman-Kohlhagen

FIGURE 5.9 – Pricer des options de change vanilles(GK)

2. FX est un marché extrêmement volatile, pour l'estimation de la volatilité, la méthode de Vanna-Volga est l'une des meilleures approches, pour les options FX.

CONCLUSION GÉNÉRALE

A travers ce projet de fin d'étude, j'ai essayé d'élaborer plusieurs outils de trading concernant le marché de change. Le premier outil permet de générer les pondérations de l'Euro et du Dollar qui sont à la base de la composition du panier Dirham. Ces pondérations oscillent généralement autour des valeurs 80% et 20% pour l'Euro et le Dollar respectivement. Le deuxième outil est consacré à la valorisation et la couverture des cours de change au comptant. Il permet de générer les cotations propres à la banque des seize devises cotées sur le marché et de se protéger contre le risque de fluctuation des prix grâce aux stratégies internes. Les deux derniers outils permettent de valoriser les contrats à terme et les options vanilles européennes. Ces dernières ont été valorisées à l'aide du modèle de Garman Kohlhagen qui est une extension du modèle Black-Scholes-Merton.

L'ensemble de ces outils forme une plateforme multifonctionnelle de trading FX réalisant les calculs à l'aide du langage C# et visualisant les résultats sur Microsoft Excel.

Les perspectives de ce travail peuvent se résumer comme suit :

- Implémentation des structures de contrôles de l'utilisateur dans la plateforme.
- Amélioration de la précision des pondérations en adoptant la stratification des échantillons de régression.
- Étude de la couverture des contrats à terme et des options de change.
- Analyser quelques modèles à volatilité stochastique, pour la valorisation des produits FX.

Durant ce stage, je me suis initié au métier d'analyste quantitatif tout en approchant le métier de trader change. J'ai développé mes connaissances techniques, surtout en programmation orientée objet ainsi que mes compétences communicationnelles. J'ai eu aussi l'honneur de participer au développement de ce projet exclusivement détenu par la CDG Capital.

Arbitrage :

C'est à la fois un concept théorique et une stratégie financière. On dit d'un marché qu'il offre une opportunité d'arbitrage lorsqu'il est possible de réaliser un profit certain sans mise de fonds propres. Sur un marché en équilibre il y a absence d'opportunité d'arbitrage (AOA). L'absence d'opportunité d'arbitrage assure l'unicité des prix.

Call :

Un "call" est une option d'achat de l'actif sous-jacent. Exemple : un "call EUR 2M" est une option d'achat de 2M d'EUR à un cours fixé pendant une période donnée.

Cambiste :

C'est le trader change, opérateur chargé du traitement des opérations de change. Spécialiste des salles des marchés en matière de négociation d'opérations de change.

Cours acheteur :

Cours auquel une banque est prête à acheter des devises ou accepter de l'argent.

Cours de change fixe :

Cours déterminé artificiellement par l'autorité monétaire. Les cours de change fixes excluent toutes fluctuations.

Couverture :

Stratégie financière consistant à protéger une position des mouvements non désirés des cours ou des taux.

Fixing :

Fixation des cours officiels des devises de la monnaie nationale par rapport aux autres monnaies négociables.

Forward :

Contrat à terme sur un marché de gré à gré. Il arrête aujourd'hui les termes d'un échange futur et, il permet en particulier d'assurer aujourd'hui un prix fixe pour une opération à venir.

Marché parfait :

Cadre idéalisé d'un marché. Les titres sont parfaitement divisibles et les ventes à découvert permises. Les opérateurs rationnels, y ont la même importance, sont dotés des mêmes capacités de traiter l'information et ne peuvent, par une action individuelle, faire bouger les prix. Il n'y a pas de barrière aux emprunts. Les taux de prêts et d'emprunts sont identiques. Il n'y a pas de coûts de transactions, ni de fiscalité.

Option :

Contrat donnant le droit à son détenteur d'acheter ou de vendre ultérieurement un sous-jacent pour un prix précisé dans le contrat et appelé prix d'exercice. Les options d'achat sont appelées des « calls », les options de ventes des « puts ». Si l'option ne peut être exercée qu'à l'échéance du contrat on parle d'option européenne et, d'option américaine si elle peut être exercée à n'importe quel moment jusqu'à l'échéance. Un vendeur d'option a toujours l'obligation de livrer le sous-jacent, tandis que l'acheteur a la possibilité de ne pas utiliser son droit, ce qu'il fera si celui-ci ne se révèle pas avantageux.

Probabilité risque-neutre :

Probabilité pour laquelle les processus de prix actualisés au taux d'intérêt sans risque sont des martingales. Elle conduit à définir un univers fictif dans lequel les prix des actifs financiers s'ajustent au risque de marché. L'univers risque-neutre est un univers probabiliste dans lequel le processus de prix des actifs a un drift égal au taux sans risque r .

Risque :

Les principaux risques liés aux opérations de marché sont les suivant : risque de change, risque de taux, risque d'illiquidité, risque de contrepartie et le risque opérationnel.

Spread :

Écart de taux ou de cours entre taux acheteur et taux vendeur, taux emprunteur et taux prêteur.

Taux de change :

prix d'une monnaie étrangère exprimée en monnaie nationale.

Volatilité :

La volatilité est l'expression mathématique qui désigne le risque d'un titre. Elle définit les variations d'un titre sur une période plus ou moins longue. Plus un titre est volatil, plus la rentabilité du titre est importante afin de compenser le fort risque. La volatilité est le plus souvent calculée en utilisant l'écart type de la valeur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Daniel J.Duffy, Andrea Germani. *C# for Financial Markets*.Wiley Finance, 2013
- [2] George Levy. *Computational Finance Using C and C#*. Elsevier, 2008.
- [3] Martin Worner. *Applied C# in financial markets*. Wiley Finance, 2004.
- [4] John C.Hull. *Options, Futures, and Other Derivatives*. Pearson, 2006.
- [5] Paul Wilmott. *Introduces Quantitative Finance*. John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [6] El Miloud Guermatha. *Marché des changes marocain et gestion de trésorerie devises*. IMP El Maarif Al Jadida RABAT.
- [7] Christine Lambert. *Les techniques des marchés financiers*. ellipse,2010.
- [8] Véronique Berger.*Introduction à la valorisation des produits financiers*.Université Évry val d'Essonne, 2006.
- [9] M.Benghal, Y.Tachbort. *Les options de change : Evaluation et adaptation au marché marocain*.PFE, INSEA, 2004.
- [10] Z.Moussaoui.*Modélisation du taux de change*. PFE, INSEA, 2011.
- [11] Site officiel de R : <http://cran.r-project.org>
- [12] Site officiel de Microsoft : <http://msdn.microsoft.com/fr-FR/>
- [13] Site officiel du libraire Accord : <http://accord-framework.net/>

ANNEXE A

PRÉSENTATION DE LA CDG CAPITAL

Groupe CDG : société mère

Créée en 1959 en tant qu'établissement public, la Caisse de Dépôt et de Gestion a pour rôle central de recevoir, conserver et gérer des ressources d'épargne qui, de par leur nature ou leur origine, requièrent une protection spéciale. Prenant de l'ampleur au fil des années, le groupe CDG est aujourd'hui le premier investisseur institutionnel du Royaume, un intervenant majeur de la consolidation du secteur financier et bancaire, un opérateur de référence du développement territorial et durable du pays et est un acteur majeur de l'économie nationale. Son ambition consiste à contribuer activement au développement économique et social du pays.

CDG Capital

Filiale à 100% de la Caisse de Dépôt et de Gestion, CDG Capital fonde sa stratégie autour d'une mission duale structurante : être leader des métiers de la gestion d'actifs et un acteur de référence de la banque d'investissement au Maroc, tout en contribuant à la maturation des marchés financiers.

Après quelques années d'existence, CDG Capital a su s'imposer comme un acteur incontournable et un opérateur de premier plan dans les trois compartiments de la banque d'investissement :

- Asset Management Services.
- Corporate & Investment Banking.
- Capital Investment.

Présentation de la salle des marchés

La Salle des Marchés ne constitue que l'un des trois pôles qui "font" une banque de marché :

- Un front-office, qui est composé de traders chargés d'effectuer pour le compte de la CDG et de sa clientèle, les différentes opérations de trading.
- Un back-office qui est chargé du traitement administratif des opérations (saisie, comptabilisation, confirmation, couverture, contrôle etc).
- Un middle-office, qui procède régulièrement à un contrôle de la pertinence des résultats comptables élémentaires fournis par le back-office, il analyse périodiquement les transactions traitées.

La salle des marchés est organisée en desks, spécialisés par produits ou segment de marché (actions, devises, taux courts, taux longs, options...), qui partagent un large open space. Munis de systèmes électroniques tels que Dealing de Reuter ou Bloomberg, les intermédiaires arrivent à suivre en temps réel l'évolution des marchés et à s'initier aux mécanismes de gestion d'actifs et de couverture de risques. La salle des marchés CDG Capital est organisée en trois desks : le desk Trésorerie et Trading taux, le desk change "ou desk Trading Forex", et le desk Commercial.

Desk change :

Le desk change traite les opérations sur devises aussi bien pour le compte de la CDG Capital que pour le compte de sa clientèle. Ce desk propose plusieurs activités qui sont :

- les opérations de change spot et terme Multi-devises.
- les placements et les financements en devises.
- les produits dérivés et structurés de change (options, swaps de change, swap de devise, montages financiers) pour répondre aux besoins (couverture de risque de change...)

ANNEXE B

LISTE DES DEVISES AVEC LE CODE ISO

Pays	Devise	Code
Algérie	Dianr algérien	DZD
Arabie Saoudite	Riyal saoudien	SAR
Bahreïn	Dinar de Bahreïn	BHD
Canada	Dollar canadien	CAD
Danemark	Couronne danoise	DKK
Égypte	Livre égyptienne	EGP
Émirats Arabes Unis	Dirham Des EAU	AED
États Unis	Dollar des États Unis	USD
France	Euro	EUR
Grèce	Euro	EUR
Japon	Yen	JPY
Koweït	Dinar du Koweït	KWD
Libye	Dinar libyen	LYD
Maroc	Dirham marocain	MAD
Mauritanie	Ouguiya	MRO
Norvège	Couronne norvégienne	NOK
Qatar	Rial du Qatar	QAR
Royaume-Uni	Livre sterling	GPY
Singapour	Dollar du Singapour	SGD
Suède	Couronne suédoise	SEK
Suisse	Franc Suisse	CHF
Tunisie	Dinar tunisien	TND
Turquie	Livre turque	TRL

TABLE B.1: Liste des devises par pays avec le code ISO

ANNEXE C

EXTRAITS DE CODE C#

A titre d'exemple, ci-dessous un extrait de code C# de la classe Regression. Cette classe permet d'effectuer des régressions linéaires périodiques. Il est à noter que cette classe fait appelle à une autre classe du framwork .NET qui s'appelle : Accord.Statistics.

La classe "Regression"

```
using System ;
using System.Collections.Generic ;
using System.Linq ;
using System.Text ;
using Accord.Statistics.Models.Regression.Linear ;
namespace FX
{
    public class Regression
    {
        private double[] Y ;
        private double[] X ;
        //constructeur par défaut du classe Regression
        public Regression() { }
        //méthode qui permet de convertir une liste en un tableau
        public double[] ListeToTable(List<double> UneListe)
        {
            double[] table = new double[UneListe.Count] ;
            for (int i = 0 ; i < UneListe.Count ; i++) table[i] = UneListe[i] ; }
            return table ;
        }
    }
}
```

```
    }
    //les listes comme paramètres du constructeur
    public Regression(List<double> yData, List<double> xData)
    {
        this.Y = ListeToTable(yData);
        this.X = ListeToTable(xData);
    }
    //les tableaux comme paramètres du constructeur
    public Regression(double[] yDATA, double[] xDATA)
    {
        X = xDATA;
        Y = yDATA;
    }
    //la méthode Regresser qui permet de regresser X sur Y.
    public void Regresser()
    {
        SimpleLinearRegression reg = new SimpleLinearRegression();
        reg.Regress(Y, X);
        reg.CoefficientOfDetermination(Y, X);
        ThisAddIn.readWrite.WriteVal(reg.Slope, 3, 15, 7);
        ThisAddIn.readWrite.WriteVal(1-reg.Slope, 3, 15, 9);
        ThisAddIn.readWrite.WriteVal(reg.CoefficientOfDetermination(Y, X), 3, 15, 6);
    }
}
}
```

Interpolation linéaire

Soient les taux zéro-coupon $r(t, T_1)$ et $r(t, T_2)$ de maturités respectives T_1 et T_2 . Nous voulons interpoler (« connaître ») le taux de maturité T avec $T_1 < T < T_2$. Nous utilisons la formule d'interpolation linéaire suivante :

$$r(t, T) = \frac{(T_2 - T)r(t, T_1) + (T - T_1)r(t, T_2)}{(T_2 - T_1)}$$

Interpolation cubique

Une interpolation cubique s'opère par segment de courbe. Définissons un premier segment entre T_1 et T_4 où l'on dispose des quatre taux zéro-coupon $r(t, T_1)$, $r(t, T_2)$, $r(t, T_3)$ et $r(t, T_4)$. Alors le taux $r(t, T)$ de maturité t est défini par : $r(t, T) = aT^3 + bT^2 + cT + d$

Contrainte : la courbe doit passer par les quatre taux connus, d'où le système à résoudre :

$$\begin{cases} r(t, T_1) = aT_1^3 + bT_1^2 + cT_1 + d \\ r(t, T_2) = aT_2^3 + bT_2^2 + cT_2 + d \\ r(t, T_3) = aT_3^3 + bT_3^2 + cT_3 + d \\ r(t, T_4) = aT_4^3 + bT_4^2 + cT_4 + d \end{cases}$$

Nous pouvons ainsi interpoler sur plusieurs taux zéro-coupon de maturités différentes en considérant plusieurs segment de dates et taux ZC déjà connus. Afin de reconstituer la courbe zéro-coupon.