



المندوبية السامية للتخطيط
HAUT-COMMISSARIAT AU PLAN

ROYAUME DU MAROC
._._*._*
HAUT COMMISSARIAT AU
PLAN *._*._*._*._*._*
INSTITUT NATIONAL
DE STATISTIQUE ET D'ECONOMIE APPLIQUEE



INSEA

Projet de Fin d'Etudes

Implémentation d'une stratégie de Trading sur les options de change

Préparé par : *Mlle. Amina BENJELLOUN TOUIMI*

Sous la direction de : *M. Amal EL ORAIBY (INSEA)*

M. Nabil AYOUB (BMCE Capital)

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

Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Actuariat-Finance

Devant le jury composé de :

- *M. Mehdi LAHLOU (INSEA)*
- *M. Amal EL ORAIBY (INSEA)*
- *M. Nabil AYOUB (BMCE Capital)*

Juin 2017 / PFE N° 6

*"Vous ne pouvez pas gagner de l'argent si vous n'êtes pas prêts à en perdre. C'est
comme si vous vouliez inspirer sans expirer."*

Ed Seykota

DÉDICACE

Nulle oeuvre n'est plus exaltante que celle réalisée avec le soutien des personnes qui nous sont proches.

Je dédie ce modeste travail

À mes parents et grands-parents, les êtres les plus chers à mon coeur, nulle dédicace ne serait assez éloquente pour exprimer ce qu'ils méritent pour tous leurs sacrifices, leurs encouragements et l'amour qu'ils ont consenti à me donner.

À mes très chers amis que j'aime énormément : Amine, Mohamed, Bouchra, Nouha, Asmaa, Achraf, Fatima Ezzahra et à tous ceux dont l'oubli du nom n'est pas celui du coeur.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de remerciements envers mon tuteur de stage **Monsieur AYOUB Nabil**, responsable du Desk Dérivés au sein de BMCE Capital Markets, auquel je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance, pour sa gentillesse et pour ses précieuses directives. Outre l'estime que je lui témoigne, j'apprécie son investissement et son implication.

Mes vifs remerciements s'adressent à **Monsieur LAHLOU Hassan**, Trader junior au sein du Desk Dérivés, pour sa collaboration, son amabilité et ses précieux conseils.

Également, ce projet n'aurait pas été aussi fructueux sans l'aide précieuse de mon encadrant **Monsieur EL ORAIBY Amal**, Professeur à l'Institut National de Statistique et d'Economie Appliquée. Je lui suis reconnaissante pour le regard encourageant porté à ce travail. Ainsi, sa disponibilité et ses remarques constructives m'ont permis de compléter mon travail.

Je tiens aussi à remercier **Monsieur LAHLOU Mehdi** d'avoir bien voulu accepter d'examiner et d'évaluer mon projet de fin d'études. Qu'il trouve ici le témoignage de mon respect.

La réalisation de ce projet a été le fruit de plusieurs années d'études, je saisis donc cette occasion pour associer à mes remerciements tout le corps professoral qui m'a suivi tout au long de mon cursus universitaire et m'a permis d'acquérir les compétences requises pour accomplir ce modeste travail.

Enfin, je ne pourrai clôturer mes remerciements sans me retourner vers ma famille, mes amis et tout mon entourage proche. Merci du fond du cœur pour votre soutien et encouragements.

RÉSUMÉ

Ce mémoire de fin d'études a pour finalité l'implémentation de stratégies de trading pour les options de change adoptées par la salle des marchés de BMCE Capital.

Afin de bien cerner la problématique, nous effectuons une série d'étapes fondamentales à l'analyse et la conception d'une stratégie.

Premièrement, une analyse des propriétés statistiques des rendements des cours s'impose.

Ensuite vient l'étape de la prévision de la prime de risque, et ce en modélisant la volatilité réalisée par un processus EGARCH(1,1).

Et finalement, grâce à cette prime de risque, nous avons pu détecter un ensemble de signaux pertinents qui permettent d'avoir dans la majorité des cas des profits considérables.

Les principaux résultats établis dans ce mémoire et la mise en place d'une stratégie, ou d'une combinaison entre plusieurs, qui consiste en la vente exclusive de Straddles de maturité de 7 jours, ou la vente exclusive de Calls ayant pour maturité 14, 21 ou 30 jours.

MOTS-CLÉS

Stratégies, Trading, Options de change, modèle GARCH, volatilité

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace	4
Remerciements	5
Résumé	6
Introduction générale	14
I Cadre Général du Projet	15
Introduction	16
1 Présentation de l'organisme d'accueil	17
1.1 Aperçu sur le Groupe BMCE Bank	17
1.2 Aperçu sur la filiale BMCE Capital	18
1.3 Présentation de BMCE Capital Markets	19
2 Le marché de change	22
2.1 Généralités	22
3 Stratégies de Trading systématiques	26
3.1 L'activité Trading	26
3.2 Étapes de construction d'une stratégie algorithmique	27
4 Problématique	30
Conclusion	32

II Étude Théorique	33
Introduction	34
1 Théorie des options	35
1.1 Les options de change : définition des concepts	35
1.2 Évaluation des options de change selon le modèle de Black & Scholes . . .	39
1.3 Les lettres grecques pour les options de change	40
1.3.1 Le delta	40
1.3.2 Le gamma	41
1.3.3 Le thêta	43
1.3.4 Le vega	45
1.3.5 Les relations entre les grecques	45
1.4 Le Delta-Hedging ou couverture en delta	46
1.5 Les volatilités	47
1.6 Gamma-Trading et calcul du P&L	49
1.6.1 Gamma-Trading	49
1.6.2 Calcul du P&L	51
2 Analyse statistique des séries financières	53
2.1 Propriétés des séries financières	53
2.2 Stationnarité d'un processus	55
2.2.1 Processus stationnaires	55
2.2.2 Tests de racine unitaire	56
3 Revue de littérature	58
3.1 Préliminaires sur l'estimation des volatilités	58
3.1.1 Introduction aux modèles à variance conditionnelle stochastique . .	59
3.2 Modèles de variance conditionnelle aléatoire	60
3.2.1 Le modèle de moyenne mobile à pondération exponentielle (EWMA)	60
3.2.2 Modèle GARCH(1,1)	61
3.2.3 Choix entre les modèles EWMA et GARCH(1,1)	62
3.2.4 Contraintes du modèle GARCH(1,1)	62
4 Modèles GARCH	63
4.1 Modèle GARCH(p,q)	63
4.2 Modèle EGARCH(p,q)	64
Conclusion	67

III Étude Pratique	68
Introduction	69
1 Présentation et analyse statistique des données	70
1.1 Paires de devises	70
1.2 Présentation de la base de données et interpolation	71
1.2.1 Présentation de la base de données	71
1.2.2 Interpolation	71
1.2.3 Calcul des rendements logarithmiques	72
1.3 Analyse statistique des rendements des cours	72
1.3.1 Stationnarité	73
1.3.2 Autocorrélation	76
1.3.3 Regroupement des extrêmes	77
1.3.4 Distribution	77
1.3.5 Effet de levier	79
2 Modèle GARCH	80
2.1 Identification du modèle GARCH(p,q)	80
2.2 Estimation du modèle GARCH(1,1)	82
2.3 Validation du modèle GARCH(1,1)	82
2.4 Calibration du modèle GARCH	83
2.4.1 Identification du modèle EGARCH	83
2.4.2 Estimation du modèle EGARCH(1,1)	84
2.5 Présentation des résultats	84
3 Développement de la stratégie de Trading	87
3.1 Élaboration d'une interface VBA-Excel	88
3.2 Pertinence du Gamma-Trading	89
3.3 Détection d'autres signaux	90
3.3.1 Signal sur le type de l'option	90
3.3.2 Choix d'une position de vente uniquement	91
3.4 BackTesting et validation de la stratégie	96
Conclusion générale	99
Bibliographie et Webographie	101
Annexes	112

TABLE DES FIGURES

1.1	Représentation du profil de gain du Straddle	37
1.2	Représentation du profil de gain du Strangle	38
1.3	Variation du delta en fonction du cours du sous-jacent : (a) option d'achat et (b) option de vente	41
1.4	Variation du delta en fonction du temps restant à courir jusqu'à l'échéance pour un call	41
1.5	Variation du gamma d'une option en fonction du cours de la devise	42
1.6	Variation du gamma d'une option en fonction du temps restant jusqu'à l'échéance	43
1.7	Variation du thêta d'un call européen en fonction du cours de la devise.	44
1.8	Schémas classiques de la variation du thêta d'un call européen en fonction du temps restant jusqu'à l'échéance.	44
1.9	Variation du vega d'une option en fonction du cours de la devise	45
1.10	Contribution du gamma et du vega dans la variation d'un portefeuille selon la maturité de l'option	49
1.11	Relation entre Gamma et Thêta	50
1.1	Base de données des rendements des neuf devises	72
1.2	Sorties STATA du test ADF - stationnarité des cours	73
1.3	Graphe des cours de change de EUR/USD	74
1.4	Sorties STATA du test ADF - stationnarité des rendements	74
1.5	Graphe des rendements des cours de change de EUR/USD	75
1.6	Autocorrélation des rendements de EUR/USD	76
1.7	Autocorrélation des carrés des rendements de EUR/USD	76
1.8	histogramme des rendements des cours de EUR/USD	77
1.9	qqplot des rendements des cours de EUR/USD	78

1.10	test de normalité des rendements des cours de EUR/USD	78
1.11	test d'adéquation à loi de student pour les rendements EUR/USD	79
1.12	Illustration de l'effet de levier pour la paire EUR/USD	79
2.1	Critères d'information pour le modèle GARCH(1,1)	80
2.2	Critères d'information pour le modèle GARCH(1,2)	80
2.3	Critères d'information pour le modèle GARCH(2,1)	81
2.4	Critères d'information pour le modèle GARCH(2,3)	81
2.5	Critères d'information pour le modèle GARCH(3,1)	81
2.6	Critères d'information pour le modèle GARCH(3,3)	81
2.7	Estimation des paramètres pour le modèle GARCH(1,1)	82
2.8	Analyse des résidus et test de normalité pour EUR/USD	83
2.9	Test de normalité des rendements standardisés des cours de EUR/USD	84
3.1	Interface graphique VBA-Excel - Partie 1	88
3.2	Interface graphique VBA-Excel - Partie 2	89
3.3	Test du signal du Gamma-Trading	90
3.4	Test du type de l'option choisi	90
3.5	Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 7 jours	91
3.6	Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 14 jours	92
3.7	Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 21 jours	93
3.8	Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 30 jours	94
3.9	Position de vente uniquement	95
3.10	Représentation des meilleures stratégies possibles	96
3.11	Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour EUR/GBP	102
3.12	Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour GBP/USD	103
3.13	Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour USD/CAD	103
3.14	Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour USD/JPY	104
3.15	Autocorrélation des rendements de GBP/USD et de leur carré	105
3.16	Autocorrélation des rendements de USD/JPY et de leur carré	106
3.17	Test d'adéquation à la loi de Student	107
3.18	Test de normalité des rendements standardisés	108
3.19	Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) EUR/JPY	109
3.20	Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) EUR/GBP	110
3.21	Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) AUD/USD	111
3.22	Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) USD/CAD	112

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Tableau récapitulatif des différentes positions possibles	36
1.2	Signe affecté à la prime de l'option selon la position prise	51
1.3	Récapitulatif des cas possibles pour le calcul de l'exercice de l'option	52
2.1	Estimation des paramètres GARCH(1,1) pour EUR/USD	82
2.2	AIC et BIC pour l'identification du modèle EGARCH pour l'EUR/USD . .	83
2.3	Résultats des estimations des paramètres des modèles EGARCH(1,1) . . .	85
2.4	Coefficients de sensibilité à la volatilité aux chocs positifs ($\gamma + \alpha$) et négatifs ($\gamma - \alpha$)	86

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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 des investisseurs qui les demandent.

Certes, les options de change constituent une source indéniable de liquidité et de profits, mais elles exposent les institutions financières à des pertes considérables. En effet, face à l'évolution imprévue des cours de change, les intervenants sur le marché de change et notamment les traders peuvent réagir irrationnellement lorsqu'ils ne sont pas armés des outils de visibilité d'aide à la prise de décision. Afin de remédier à ce problème, la mise en place d'une stratégie de trading s'avère nécessaire, dans la mesure où elle incitera le trader à tenir telle position si tel scénario se réalise.

C'est donc dans l'optique de faciliter la gestion des positions sur les options de change, pour les traders de la salle des marchés de BMCE Capital, que s'inscrit notre projet, améliorant la qualité du contrôle et offrant une solution durable et un moyen facile de manipulation de ces titres qui s'avère très complexe en pratique.

Il est à noter que chaque intervenant implémente une stratégie, selon les objectifs qu'il souhaite atteindre. Ainsi, un trader qui intervient dans le marché pour le compte d'un client concevra une stratégie pour se couvrir contre le risque du marché, alors qu'un intervenant qui intervient pour fructifier l'argent pour son propre compte, mettra en place une stratégie adaptée à son objectif.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du "Trading pour comptes propres", c'est pourquoi nous envisageons de mettre en place un modèle pour une stratégie appelée Gamma-Trading permettant de repérer des signaux d'entrée en une position qui générerait d'éventuels profits. Pour cela, nous allons combiner entre méthodes statistiques et économétriques avancés et programmation en vue de construire une stratégie systématique qui permettra au trader d'avoir un control optimal et un suivi de son trading.

Dans le souci de détailler les étapes suivies pour achever ce travail, ce document sera organisé en trois parties. La première partie concerne le cadrage du projet, ce qui va nous

conduire à y présenter l'entreprise accueillante, le marché des changes, la méthodologie d'élaboration d'une stratégie de Trading ainsi que la problématique et les objectifs de ce travail.

La deuxième partie permet de donner un bref aperçu sur les concepts et définitions utilisés pour accomplir ce projet. Par ailleurs, cette partie est principalement dédiée aux pré-requis en statistique et en économétrie dont la compréhension nous était indispensable pour avancer dans ce travail.

Enfin, la troisième et dernière partie va aborder en premier lieu l'aspect pratique de ce qui a été cité lors de la partie théorique, et qui a permis de rassembler l'ensemble d'informations et d'outils nous permettons de définir notre stratégie, et en deuxième lieu la partie sera consacrée à l'implémentation de la stratégie, le recueil des données empiriques et les résultats obtenus après l'application de notre méthodologie à travers des interfaces réalisées à cet effet. .

Nous clôturons ce projet de fin d'études par une conclusion ainsi que les perspectives futures envisageables.

Première partie

Cadre Général du Projet

INTRODUCTION

Cette partie débute par une présentation de l'organisme d'accueil du stage effectué, elle donne ensuite un bref aperçu sur le marché de change en général et au Maroc en particulier, et ce à la lumière de quelques chiffres-clés.

En deuxième lieu, vient un chapitre consacré aux stratégies de Trading classiques ainsi qu'à la méthodologie d'élaboration d'une stratégie automatique.

Finalement, une présentation du projet ainsi que la description du besoin de l'organisme quant au traitement de sa problématique seront traitées en dernier lieu.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

1.1 Aperçu sur le Groupe BMCE Bank

BMCE Bank, banque universelle, 3ème banque privée du Maroc, elle s'impose comme acteur de référence avec plus de 5 millions de clients et ayant 20 ans de croissance et de développement au Maroc et à l'international et un large réseau national de plus de 1 230 agences et de plus 12 800 collaborateurs de par le monde.

BMCE Bank est :

- La 3ème banque en termes de total bilan, avec des parts de marché crédits et dépôts de 14,3% et 14,2% respectivement,
- le 2ème bancassureur avec un taux d'équipement de 36,4%,
- le 3ème gestionnaire d'actifs avec une part de marché de 16,2%.

En plus de l'activité bancaire, le Groupe opère, à travers des filiales spécialisées, dans différents secteurs d'activité :

- Assurance,
- crédit bail,
- crédit à la consommation,
- Marché des capitaux,
- conseil,
- gestion d'actifs,
- intermédiation boursière,
- gestion privée, etc.

Par ailleurs, BMCE Bank est une multinationale panafricaine présente dans 31 pays des quatre continents. De plus c'est le 2ème Groupe panafricain en termes de présence géographique, implanté dans 21 pays couvrant 4 des 5 zones économiques du continent.



Sources : [1]

1.2 Aperçu sur la filiale BMCE Capital

Depuis sa création en 1998, BMCE Capital est la Banque d'affaires du Groupe BMCE Bank of Africa, une institution bancaire marocaine au rayonnement international. Elle propose un large éventail de solutions financières destinées à une clientèle composée de corporates, institutionnels et particuliers et consitutie un véritable hub d'échange entre l'Europe, l'Afrique et le Moyen-Orient. En effet, BMCE Capital est présente en Tunisie à travers sa filiale Axis Capital et en Afrique de l'Ouest à travers sa filiale BOA Capital. La banque d'affaires bénéficie du réseau de sa maison-mère, le Groupe BMCE Bank Of

Africa, en Afrique et dans le monde. Le développement de BMCE Capital repose sur une vision stratégique partagée par tous ses collaborateurs : celle de devenir un leader panafricain des métiers de banque d'affaires.

Afin d'exécuter au mieux sa stratégie, BMCE Capital a mis en place une organisation matricielle en ligne avec les standards internationaux, à travers ses Entités d'expertise. Les principales lignes métiers du groupe BMCE Capital sont :

BMCE Capital Markets Leader incontesté des activités change et taux. Plateforme de trading pour compte propre et pour compte de tiers (Corporate et Institutionnels), BMCE Capital Markets centralise toutes les activités de marché de BMCE Bank.

BMCE Capital Gestion Parmi les acteurs de référence dans la gestion d'actifs au Maroc. BMCE Capital Gestion propose aux investisseurs, privés et institutionnels, une expertise reconnue et un large panel de produits de placement adaptés aux différentes stratégies d'investissements..

BMCE Capital Gestion Privée BMCE Capital Gestion privée fédère l'ensemble des compétences du groupe en matière de gestion de patrimoine, elle regroupe ses activités de gestion de fortune en une structure autonome unique, entièrement centrée sur la satisfaction clientèle.

BMCE Capital Conseil Banque d'affaires qui regroupe les activités de conseil et d'ingénierie financière. Elle réunit l'une des équipes les plus expérimentées d'Afrique au service du succès des entreprises et de leurs projets, forte de ses valeurs de compétence, de discrétion et de rigueur.

BMCE Capital Titres Ligne métier en charge de la gestion des transactions et de la conservation des instruments financiers pour le compte de sa clientèle

BMCE Capital Bourse Deuxième société de bourse marocaine et du négoce global.

Sources : [2]

1.3 Présentation de BMCE Capital Markets

BMCE Capital Markets est l'Entité du Groupe BMCE Capital spécialisée dans les activités de marché. Dotée d'une Salle de marché de taille importante, elle est l'une des plus actives d'Afrique du Nord grâce à son accès à un grand nombre de classes d'actifs et de marchés ainsi que son expertise et innovation en termes de produits et de services. Elle est certifiée ISO 9001, symbole de gage d'une maîtrise éprouvée des procédures internes. Elle se démarque par son efficacité de la plateforme BMCE FX Direct permettant un accès direct et en temps réel aux marchés internationaux.

La salle de marché de BMCE Capital est composée de trois pôles distincts à savoir le *Front Office* chargé de la négociation avec les clients, le *Middle Office* chargé de contrôler les risques et d'analyser les résultats et le *Back Office*, chargé des saisies, des contrôles comptables et du contrôle interne.

Organisation du Front Office



Desk Dérivés Propose des stratégies de gestion du risque de change pour le compte de la clientèle

Desk Change Intervient sur les opérations d'achat/vente de devises

Desk Taux Devises Gère et optimise le risque de taux en devise

Desk Trading Propre Intervient sur les marchés internationaux pour compte propre

Desk Taux MAD Dispose du Statut d'IVT et de Market Maker sur le marché des taux

Desk Actions Intervient sur le marché action pour compte propre de la banque

Desk MP Offre des solutions pour la couverture de la volatilité des cours des matières premières

Desk Structurés Structure des solutions de placement sur les marchés internationaux.

À ces desks s'ajoute un **Desk Commercial**, chargé de gérer le portefeuille client de BMCE Capital Markets par le biais d'un suivi régulier et d'un contact permanent avec la clientèle.

CHAPITRE 2

LE MARCHÉ DE CHANGE

2.1 Généralités

Le marché des changes ou Forex, contraction des termes anglais **Foreign Exchange**, est le marché sur lequel les devises dites convertibles (paire de devises) sont échangées l'une contre l'autre à des taux de change qui varient en permanence.

Le plus grand marché au monde

Ce marché, mondial par nature, est le deuxième marché financier de la planète en volume global, derrière celui des taux d'intérêt. Il est néanmoins le plus concentré et le premier pour la liquidité des produits les plus traités.

En 2016, le rapport de la BRI (Banque des Règlements Internationaux) sur l'enquête triennale des banques centrales estime le volume quotidien des échanges à près de 5 100 milliards de dollars (contre 5 400 milliards de dollars en avril 2013). Cela en fait le marché le plus vaste et le plus liquide au monde en termes de volume de transactions.

Les opérations au comptant s'ont de 1 700 milliards de dollars en avril 2016, les swaps cambistes s'ont, quant à eux, de 2 400 milliards de dollars par jour et les opérations à terme de gré à gré ont atteint 700 milliards de dollars par jour.

Marché dématérialisé et décentralisé

Le marché des changes est le plus parfait au sens où les cours de change reflètent d'une manière rapide et complète toute l'information disponible, car au niveau international, les marchés fonctionnent en continu 24 h sur 24. En effet, contrairement aux autres marchés financiers, le marché des changes n'a pas de centre physique. Les acheteurs et les vendeurs font du business et peuvent réagir en tout temps et rapidement aux fluctuations du marché

à n'importe quelle heure, de jour comme de nuit. Quand le marché ferme en Europe, il devient actif aux Etats-Unis. Lorsque le marché de la côte ouest américain s'arrête, les transactions débutent en Extrême-Orient où elles cessent quand elles commencent en Europe.

En avril 2016, les cinq grandes places financière – Royaume-Uni, États-Unis, Singapour, Hong-Kong RAS et Japon – assuraient, ensemble, l'intermédiation de 77 % des transactions de change.

Marché non régulé

Le marché des changes est un marché où la quasi totalité des opérations sont réalisées de gré à gré. Les courtiers et les banques négocient directement les uns avec les autres, sans intermédiaire boursier. Les particuliers comme les entreprises doivent faire appel à leur banque pour avoir accès au marché des changes. Le Forex est donc un marché non régulé.

Un marché dominé par le dollar

Il est intéressant de noter que le dollar américain (USD) reste la monnaie de référence sur le marché des changes. L'édition 2016 de l'enquête de la BRI a montré que sur la totalité des opérations réalisées sur le marché des changes, 88 % portaient sur le dollar américain et 31 % sur l'euro. De nombreuses monnaies des marchés émergents ont vu s'accroître leur part dans les transactions mondiales. Le renminbi, dont la part a doublé, à 4 %, occupe désormais la huitième place sur la liste des monnaies les plus négociées.

En tête du classement d'avril 2016 figure le « roi dollar » avec près de 44 % de parts de marché, devant l'euro (15,7 %) , le yen (10,8 %) et la livre sterling (6,4 % avant de connaître le résultat du Brexit). Les deux grandes paires de monnaies les plus actives sont l'euro-dollar et le dollar-yen.

Principales activités du marché de change

Les principales activités sur le marché des changes sont la couverture, la spéculation, l'arbitrage et le market-making.

Couverture : La couverture contre le risque de change, correspond à l'essence même du marché des changes. Cette opération s'adresse principalement aux banques, aux institutions financières et aux entreprises. Elle correspond au transfert au marché d'un risque que l'on ne souhaite plus assumer.

Spéculation : La spéculation à la hausse consiste à acheter un bien dont la valeur doit s'apprécier dans le temps. L'opérateur espère réaliser un profit en revendant le bien à un prix supérieur au prix d'achat. La spéculation à la baisse consiste, à l'inverse, à vendre le bien s'il doit se déprécier. L'opérateur espère alors réaliser un profit en rachetant le bien à un prix inférieur à son prix de vente. Le jeu est de ce fait l'élément fondamental du comportement humain et le marché est un moyen de satisfaction très attractif. On spéculé sur le marché des changes dans le but d'obtenir une plus-value, on peut distinguer divers profils selon la durée de la prise de risque :

- Les scalpers : effectuent des allers-retours très rapides (quelques minutes) ;
- Les days-todays traders : qui débouchent leurs positions en fin de journée ;
- Les long term traders : travaillent sur des horizons plus lointains.

Ce sont des individus qui gèrent des portefeuilles d'actifs et qui sont constamment à la recherche de la maximisation du couple « rentabilité/risque ». Dans le cas général, cette hypothèse est exacte, mais ces derniers prennent également des positions à terme afin de réduire le risque total du portefeuille.

L'arbitrage : Technique consistant à repérer les imperfections de toute nature du marché (mauvaise propagation des informations, réglementations) et d'en tirer profit sans aucune prise de risque.

Le Market Making : Un market maker, ou « teneur de marché », est une entreprise, généralement une banque d'investissement, ou une personne qui, sur le marché des changes, fournit constamment, soit uniquement à sa clientèle, soit, dans certains cas, à l'ensemble du marché, y compris donc à ses concurrents, des prix à l'achat (bid) et à la vente (ask). On dit aussi qu'il « cote » les devises. En principe, le market maker cherche à capter une partie de la différence entre ses deux prix, on parle de spread ou de « fourchette », puisque quelqu'un qui voudra vendre, le fera sur le bid du market maker, et, à l'inverse, un autre qui voudra acheter, le fera sur son offre. Si ces deux opérations ont lieu alors que le marché n'a pas bougé, le market maker empêche l'écart de prix. Cela est néanmoins rarissime

Intervenants du marché des changes

Le marché des changes est réservé aux institutions financières : Banques, investisseurs institutionnels et institutions financières non bancaires. Ces opérateurs interviennent pour leur propre compte ou celui de leur clientèle. Ils peuvent négocier directement entre eux ou passer par l'intermédiaire de courtiers.

les banques commerciales : IL s'agit des plus importants opérateurs sur le marché des changes. Elles prennent en charge les opérations de change pour leur propre compte ou celui de leurs clients. En entreprenant de telles opérations, les banques prennent

en effet en charge le risque de change dont se débarrassent les exportateurs et les importateurs. Elles jouent également le rôle de contrepartiste (market maker).

Les banques centrales : Elles interviennent massivement, mais de manière irrégulière sur le marché. Généralement, elles remplissent trois fonctions principales :

- Elles exécutent les ordres de sa clientèle : administrations nationales, banques centrales étrangères, organismes internationaux ;
- Elles assurent le contrôle et la supervision du marché ;
- Elles cherchent à influencer l'évolution des taux de change, d'une part, pour des raisons de politique économique interne, et d'autre part, pour faire respecter certains engagements internationaux formels ou informels.

les autres institutions financières : Les institutions financière non bancaires sont des opérateurs extrêmement importants sur le marché des changes. Elles comprennent les filiales financières ou bancaires des groupes industriels, les investisseurs institutionnels et les grandes fortunes privées.

- les investisseurs institutionnels : Ils sont les plus importants participants non bancaires du marché des changes. Cet ensemble regroupe plusieurs catégorie d'opérateurs : les fonds de pension, les caisses de retraite, les sociétés d'assurance, les fons d'investissement et les fonds communs de placements.
- la clientèle privée (particuliers, entreprises corporates) : Elle n'intervient pas directement sur le marché des changes et s'adresse ainsi aux banques qui ont une activité de teneurs de marché ou en utilisant les services des courtiers.

les courtiers : Bien qu'il ne soit pas indispensable de passer par leurs services, les courtiers jouent un rôle essentiel sur le marché des changes en tant qu'informateurs et en tant qu'intermédiaires.

- Informateurs : puisque sans qu'eux même ou la banque soient obligés d'acheter ou de vendre des devises), ils informent les opérateurs des cours auxquels s'échangent les différents monnaies ;
- Intermédiaires : dans la mesure où ils centralisent les ordres d'achat et ce vente de plusieurs banques.

Chiffres indicatifs :

les transactions entre les grandes banques sont de 42 % en avril 2016, la part des moyennes et petites banques s'établit à 22 %, quant aux investisseurs institutionnels – compagnies d'assurances et fonds de pension, notamment – ils constituent avec 16 % de part des transactions le troisième groupe de contreparties sur les marchés des changes.

Sources : [3], [4], [5], [6]

CHAPITRE 3

STRATÉGIES DE TRADING SYSTÉMATIQUES

3.1 L'activité Trading

Le trading est un mot anglais couramment utilisé en France pour désigner les opérations d'achats et de ventes effectuées sur les marchés financiers. Ces opérations sont réalisées par des traders depuis la salle des marchés d'une institution financière ou boursière, ou depuis Internet dans le cas des traders indépendants. Le day trading correspond ainsi à l'activité de spéculation des traders sur des produits financiers (actions, options financières, contrats à terme, devises, etc.) dans un espoir de rentabilité à court terme en fonction des fluctuations du marché.

Il est important de distinguer l'activité de Trading professionnelle de l'activité exercée par les particuliers depuis leur domicile.

Les professionnels du Trading

Telle qu'elle est pratiquée dans les institutions financières, l'activité de Trading peut être scindée en 2 segments : le Trading de flux et le Trading pour compte propre (Proprietary Trading ou Prop Trading).

Le **Trading de flux** représente la part la plus importante des activités. Le Trader de flux achète et vend un certain nombre d'actifs financiers pour le compte de clients (gestionnaires d'actifs, grands groupes etc.). Son travail consiste alors à trouver le meilleur prix d'exécution tout en minimisant le risque. Le volume traité et la maîtrise des différents éléments de risque constituent ici le cœur du travail du trader.

En revanche, lorsqu'il s'agit de **Trading pour compte propre**, le Trader n'effectue pas de transactions pour le compte de clients mais pour le compte de la banque. Une somme d'argent lui est confiée, charge à lui de placer ce capital sur les marchés afin de tirer profit des fluctuations boursières. La logique est ici spéculative afin de faire fructifier au mieux l'argent confié.

Il y a aussi le **Market Making**, il s'agit d'une activité de facilitation on peut dire. Ces gens ont pour tâche de donner des prix à longueur de journée sur certains produits et ce en continu. Tout ça pour permettre au marché d'être assez liquide pour éviter des mouvements trop dangereux.

Les Traders indépendants et particuliers

Telle qu'elle est pratiquée par les particuliers, l'activité de Trader se rapproche du Trading pour compte propre. Bien que peu d'élus parviennent à en vivre, elle séduit de plus en plus de particuliers à la recherche d'un complément de revenus. Le Trader particulier spéculé sur la hausse ou la baisse d'un actif (une action par exemple) afin de tirer profit des variations du marché. Un bon choix entraînera un gain financier, au contraire, une erreur de jugement sera synonyme de perte. Cette activité connaît une croissance exponentielle avec le développement des plateformes Internet, la désintermédiation des services financiers classiques et la vulgarisation de nouveaux produits... En effet, il est aujourd'hui possible d'ouvrir un compte de Trading en ligne en quelques clics afin de commencer à Trader.

3.2 Étapes de construction d'une stratégie algorithmique

Une stratégie automatique de trading désigne un algorithme qui propose voire prend des décisions de trading. Le rôle du trader consiste alors à concevoir et améliorer constamment son algorithme. Ce scénario est rendu possible grâce à l'évolution rapide des moyens informatiques qui vont jusqu'à utiliser des connexions internet ultra rapide.

Il va de soi qu'un tel système de trading automatique doit être réalisé avec le plus grand soin car les erreurs de conception ou les bugs ont un impact immédiat en terme financier. Cet automatisme extrême est impératif dans le cas de stratégie de type « High Frequency Trading », qui réagissent en temps réel à la moindre variation des cours. Pour des stratégies à plus long terme, les algorithmes ne sont pas toujours directement reliés aux marchés, ils génèrent des listes d'ordres qui sont effectués manuellement par un trader ou servent d'outils d'aide à la décision comme c'est le cas dans le présent travail.

Toute stratégie de trading automatique commence tout d'abord par une conception d'un modèle qui décrit en détails les règles qui régissent la stratégie. Ces règles portent souvent sur les quatre paramètres qui caractérisent toute stratégie de trading, à savoir : signal d'entrée, stop-loss, take-profit (signal de sortie)- l'horizon de trading. L'implémentation de notre stratégie passera par les trois étapes suivantes :

- Choix des paires : Parmi les instruments proposés dans le marché, il faut détecter ceux qui maintiennent une corrélation historique, de préférence sur le long terme
- Détermination des paramètres de trading précédemment cités.
- Analyse des résultats
- Optimisation de la performance de la stratégie Avant de présenter le modèle que nous avons mis en place pour l'implémentation de la stratégie, Nous allons en premier lieu définir certains termes propres au vocabulaire du trading.

Nous allons en premier lieu définir certains termes propres au vocabulaire du trading.

Le concept de Position

Ce concept est réellement constitutif de toute action initiée dans le FOREX, dans la mesure où les intervenants se rencontrent dans le marché pour échanger des positions ou des stocks de devises. Pour concrétiser cette notion, Nous allons donner un exemple d'une ménagère qui fait ses courses :,cette dernière échange également des positions : en achetant les fruits qui lui manquent pour compléter son repas, en vendant des dirhams.Ou encore un importateur qui se trouve dans le besoin des devises pour payer ses fournisseurs, et par conséquent se rend au marché pour échanger ses dirhams contre la devise désirée. Par convention, nous parlons d'une position Long, lorsque l'intervenant est acheteur (c'est le cas de la ménagère à titre d'exemple) et d'une position short lorsque l'intervenant est vendeur.

Le Signal d'entrée

Ce terme désigne un événement qui déclenche une opération de vente ou d'achat. Les investisseurs peuvent utiliser leurs propres outils pour détecter ces signaux en se basant sur les trois types d'analyse mentionnés dans la première partie de ce chapitre.

Le Stop-loss

Mettre en place un ordre stop loss à 10% sous le prix payé pour acheter l'action limite donc votre perte à 10%. Cette stratégie vous permet de déterminer à l'avance la perte maximale que vous êtes prêts à encourir.

Le Signal de sortie (Take profit)

Lorsque vous êtes entré sur le marché, le placement d'un 'take profit' vous permet de fermer votre position automatiquement selon votre objectif

Le Backtest

La validation d'une stratégie passe par son évaluation sur le passé des sous-jacents sur lesquels on souhaite l'appliquer. Ce passé doit être suffisamment grand : il n'est pas difficile de concevoir une stratégie gagnante sur six mois, sur dix ans, c'est moins facile.

Le P & L

Un indicateur utilisé par les banques ou les investisseurs afin d'évaluer la marge dégagée par une position gérée par un trader du Front Office. En d'autres termes il représente un outil de monitoring et de suivi de la position de trading. Si sa position est longue le P & L représente l'écart par rapport au prix auquel il pourra vendre immédiatement. Si sa position est short le P & L représente l'écart par rapport au prix auquel il pourra acheter pour fermer sa position. Ce suivi de P & L permet de calculer le produit net bancaire qui lui permet de mettre en place le compte de résultat de la banque.

CHAPITRE 4

PROBLÉMATIQUE

Mise en place d'une stratégie de Trading sur les options de change à BMCE Capital Markets

Les options de change constituent une source de liquidité et de profits, mais elles peuvent aussi engendrer des pertes considérables, puisque les traders peuvent réagir irrationnellement lorsqu'ils ne sont pas armés d'outils de visibilité d'aide à la prise de décision.

C'est dans cette optique, de mettre en place une stratégie de trading systématique pour faciliter la gestion des positions sur les options de change, pour les traders de la salle des marchés de BMCE Capital, que s'articule ce projet, améliorant la qualité du contrôle et offrant une solution durable et un moyen facile de manipulation de ces titres qui s'avère très complexe en pratique.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du "Trading pour comptes propres", c'est pour cette raison que nous envisageons de mettre en place un modèle pour une stratégie appelée Gamma-Trading, permettant de repérer des signaux d'entrée en une position qui générerait d'éventuels profits.

Comment allons-nous procéder ?

Le Gamma-Trading se base sur la prévision de la prime de risque, différence entre volatilité implicite et volatilité réalisée, afin de déceler un quelconque signal qui pourrait mener le trader FX à se positionner sur une option, de courte maturité, qui lui apporterait dans la majorité des cas des gains pour fructifier son argent.

Il nous faudra donc utiliser des outils statistiques et économétriques puissants pour prévoir convenablement la prime de risque de l'option et ainsi capter le bon signal au bon moment.

Ensuite, il nous faudra automatiser ceci en créant une interface graphique qui nous permettra de faire les backtesting et simulation des scénarios possibles, en jouant sur les paramètres qui impactent la stratégie, jusqu'à l'obtention de la combinaison optimale de ces paramètres.

CONCLUSION

Nous avons donné dans cette première partie un cadre pour ce projet et présenté les techniques de bases utilisées par un trader pour construire une stratégie de Trading. Étant donné qu'il est rare qu'une stratégie soit efficace sur tous les secteurs économiques ou sur tous les types de produits, action, pétrole, indices, taux, ... et qu'il est rare qu'une stratégie soit tout le temps performante, notre but est de combiner les caractéristiques de plusieurs stratégies pour mettre en place une stratégie répondant à notre besoin.

Nous rappelons que le principe de base de notre stratégie est de nous baser sur l'analyse des volatilités pour déceler des signaux d'entrée qui nous permettrons d'entrer dans des positions générant le plus de gains possibles.

Comment repérer les signaux d'entrée grâce aux volatilités ? Sur quelle propriété statistique allons-nous nous baser ?

La partie suivante va porter sur les outils économétriques auxquelles nous avons eu recours pour traiter la problématique du projet.

Deuxième partie

Étude Théorique

INTRODUCTION

Cette deuxième partie a pour but de donner un cadre théorique à notre étude. Elle comporte en premier lieu un chapitre sur la théorie des options, en particulier les options de change, dans lequel seront définis les principaux concepts utilisés dans le présent rapport ainsi que les méthodes de calcul de certaines composantes nécessaires à l'aboutissement du projet.

Un deuxième chapitre aura pour but de présenter les principales caractéristiques statistiques des séries financières, caractéristiques qui nous faudra vérifier par la suite pour garantir la cohérence des données et la qualité du travail. Une petite partie sur la stationnarité des séries temporelles, l'une des caractéristiques présentées au début du chapitre, sera abordée à la fin ce dernier.

Toute partie théorique serait incomplète sans une revue de littérature reflétant l'aspect historique et empirique des études similaires à celle du présent rapport. Cette revue nous permettra de nous situer par rapport aux autres chemins empruntés pour réaliser l'objectif du projet et nous aidera à confirmer le choix auquel nous avons opté pour diriger notre étude.

Sera décrite en dernier lieu la théorie ainsi que les techniques statistiques et économétriques choisies pour conduire à l'élaboration de la stratégie de Trading.

CHAPITRE 1

THÉORIE DES OPTIONS

1.1 Les options de change : définition des concepts

Une option est un instrument de couverture qui confère à l'acheteur le droit et non l'obligation d'acheter ou de vendre à échéance un montant déterminé à un cours fixé à l'avance appelé prix d'exercice ou Strike moyennant le paiement d'une prime. Les options sont traitées exclusivement en Euro et en Dollar. La maturité d'une option ne peut pas dépasser une année.

L'option d'achat (Call) , permet de se prémunir contre une appréciation de la devise tout en ayant la possibilité de profiter d'une baisse de la devise.

L'option de vente (Put) , permet de se prémunir contre une dépréciation de la devise tout en ayant la possibilité de profiter d'une hausse de la devise.

On dénombre ainsi quatre positions de base qui conduisent les opérateurs à réaliser les opérations suivantes :

1. Acheter une option d'achat, c'est-à-dire acquérir le droit d'acheter, une quantité définie d'une devise.
2. Acheter une option de vente, c'est-à-dire acquérir le droit de vendre, à un prix convenu et à un moment déterminé, une quantité définie d'une devise.
3. Vendre une option d'achat, c'est à dire prendre l'engagement de vendre, à un prix convenu et à un moment déterminé, une quantité définie d'une devise.
4. Vendre une option de vente, c'est à dire prendre l'engagement d'acheter, à un prix convenu et à un moment déterminé, une quantité définie d'une devise.

Le tableau suivant récapitule les différentes positions citées ci-dessus.

Position de l'opérateur	Option d'achat (Call)	Option de vente (Put)
Achat	Droit d'acheter	Droit de vendre
Vente	Engagement de vendre	Engagement d'acheter

TABLE 1.1 – Tableau récapitulatif des différentes positions possibles

Caractéristiques des options

Strike C'est le cours de réalisation à échéance de l'option en cas d'évolution défavorable de la devise. Il est fixé au moment de l'initiation du contrat. L'une des flexibilités de l'option réside dans la possibilité de choisir son strike. L'option, instrument de couverture flexible, permet de choisir son Strike :

- A la monnaie : une option est dite à la monnaie si son prix d'exercice est égal au cours au comptant (Spot).
- Dans la monnaie : une option est dite dans la monnaie si son prix d'exercice est plus avantageux que le cours au comptant (Spot). La définition est différente selon qu'il s'agisse d'une option d'achat ou de vente.
 - Une option d'achat est dite dans la monnaie si son prix d'exercice est inférieur au cours de l'actif sous-jacent
 - Une option de vente est dite dans la monnaie si son prix d'exercice est supérieur au cours de l'actif sous-jacent.
- En dehors de la monnaie : une option est dite en dehors de la monnaie si son prix d'exercice est moins avantageux que le cours au comptant (Spot). La définition cette fois-ci dans le cas d'une option d'achat ou de vente est le contraire d'une option dans la monnaie.

Prime Pour le droit accordé par l'option, l'acheteur paie une prime qui reste acquise par le vendeur que l'option soit ou non exercée. La prime correspond au coût d'une assurance contre une évolution défavorable des cours de change, pendant la durée de vie de l'option. Elle s'exprime en pourcentage du montant en devises et est versée dès l'initiation du contrat. La prime dépend de plusieurs paramètres :

- Valeur intrinsèque : écart entre le cours au comptant et le strike. Plus vous décalerez votre strike défavorablement par rapport au cours au comptant, plus la prime est faible.
- Maturité de l'option : nombre de jours dont dispose l'acheteur ou le vendeur de l'option pour bénéficier d'une évolution favorable. Plus l'échéance est courte, plus la prime est réduite.
- Taux d'intérêts : différentiel du taux domestique et du taux devise. Plus la maturité est lointaine, plus l'impact des taux est important.
- Volatilité : indicateur de la vitesse de variation des cours. Plus la volatilité est importante et plus la probabilité est grande pour que les cours atteignent un

niveau donné. Ainsi, la prime est d'autant plus élevée que la volatilité est grande.

Période d'exercice La période d'exercice est la durée de validité de l'option. On distingue deux types :

- L'option européenne : elle ne peut être exercée qu'à échéance.
- L'option américaine : elle peut être exercée à tout moment pendant sa durée de validité

Combinaison d'options

Les investisseurs peuvent réaliser en même temps plusieurs combinaisons d'options, qui ont des noms aussi colorés que Straddle, strangle, risk reversal ou Vega-weighted butterfly, etc. Il est important de s'intéresser aux combinaisons d'options car leurs côtes sur le marché du FOREX nous permettent d'obtenir la volatilité de marché des options de change.

Straddle : Le straddle est un portefeuille composé d'une option d'achat et d'une option de vente de même prix d'exercice. Cette stratégie sera choisie par un investisseur qui pense que le cours du sous-jacent va varier significativement sans savoir exactement dans quel sens. A l'inverse, un investisseur qui anticipe que le cours restera stable autour de la valeur du strike s'engagera dans la stratégie opposée.

$$\text{Straddle}(K) = C(K) + P(K)$$

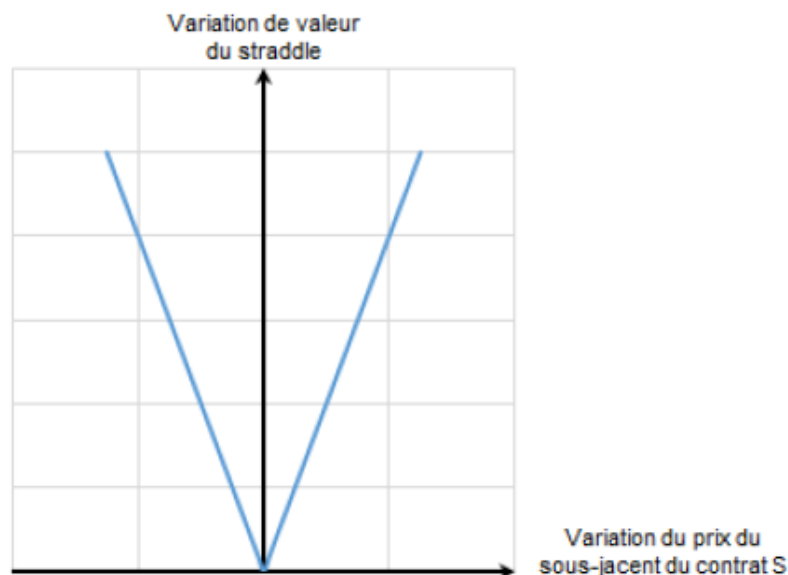


FIGURE 1.1 – Représentation du profil de gain du Straddle

Strangle : Le strangle est exactement du même type mais les strikes de l'option d'achat et de l'option de vente sont différents. L'investisseur parie donc sur une variation plus importante du cours de l'action. Cependant, la perte, si le cours de l'action reste dans les valeurs centrales, est inférieure dans un strangle car l'investissement initial est moins élevé. Les strikes du call et du put ne sont pas nécessairement égaux.

$$\text{Strangle}(K_1, K_2) = C(K_2) + P(K_1)$$

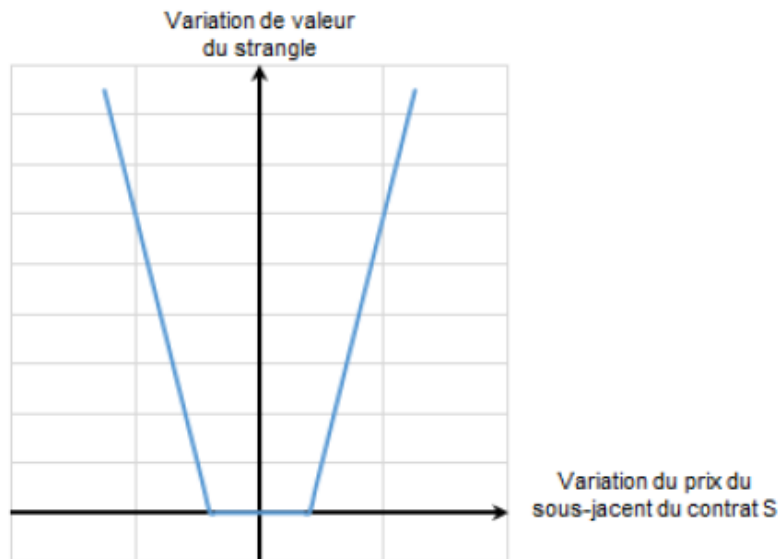


FIGURE 1.2 – Représentation du profil de gain du Strangle

Dénouement des options

Exercice de l'option : En cas d'évolution défavorable de la devise tout au long de la durée de vie de l'option, le détenteur de cette option l'exerce en achetant (cédant) la devise au strike. Exercer l'option ne présente d'intérêt que si le strike est plus avantageux que le cours au comptant à la date d'échéance.

Abandon/ Revente de l'option : Toute évolution favorable de la devise durant la durée de vie de l'option peut être capté soit :

- A échéance, en abandonnant l'option et en achetant (cédant) vos devises au cours comptant.
- Avant échéance, en revendant l'option et en initiant une couverture de change à terme calculée sur la base de ce cours au comptant plus intéressant ou en initiant une deuxième option à un nouveau strike.

1.2 Évaluation des options de change selon le modèle de Black & Scholes

Notons S le taux de change actuel (la valeur d'une unité de la devise étrangère mesurée en monnaie nationale). S est supposé suivre un mouvement brownien géométrique. Dans l'univers risque-neutre, la dynamique du processus s'écrit :

$$dS = (r - r_f)Sdt + \sigma Sdz$$

Où :

- r est le taux sans risque domestique,
- r_f est le taux sans risque étranger,
- σ la volatilité du taux de change.

La valeur du call européen c , et celle du put p sont données par :

$$c = S_0 e^{-r_f T} N(d_1) - K e^{-r T} N(d_2) \quad (1.1)$$

$$c = K e^{-r T} N(-d_2) - S_0 e^{-r_f T} N(-d_1) \quad (1.2)$$

Où S_0 est la valeur du taux de change en $t = 0$, $N(x)$ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite qui définie comme suit :

$$N(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (1.3)$$

Et :

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

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

Le taux d'intérêt domestique r et le taux d'intérêt étranger r_f sont tous les deux des taux pour la maturité T .

Sources : [8]

1.3 Les lettres grecques pour les options de change

1.3.1 Le delta

Le delta d'une option, Δ , est défini comme le taux de variation de la valeur de l'option par rapport à celle du sous-jacent. En général :

$$\delta = \frac{\partial c}{\partial S}$$

où c est la valeur du call et S le cours du sous-jacent.

Outre le fait qu'il sert à exprimer la sensibilité de l'option à la variation du sous-jacent, Black, Scholes et Merton ont montré qu'à l'aide du δ , il était possible d'établir un portefeuille sans risque consistant en une position sur l'action et une position sur l'option. Exprimé en termes de δ , le portefeuille de Black et Scholes est constitué par :

- La vente d'une option,
- L'achat de δ sous-jacents.

Pour les calls européens portant sur une devise, on a :

$$\delta = e^{-r_f T} N(d_1) \tag{1.4}$$

Pour le put européen correspondant, on a :

$$\delta = e^{-r_f T} [N(d_1) - 1] \tag{1.5}$$

où d_1 est défini par les équations 1.1 et 1.2.

Lorsque le delta est négatif, une position longue sur un put doit donc être couverte par une position longue sur le sous-jacent. À l'inverse, une vente de put doit être couverte par une position courte sur δ sous-jacents. Le graphique 1.3 montre les variations du delta d'un call et d'un put en fonction du cours du sous-jacent. Le graphique 1.4 montre les variations du delta en fonction du temps restant jusqu'à l'échéance pour des calls dans la monnaie, à la monnaie et en dehors de la monnaie.

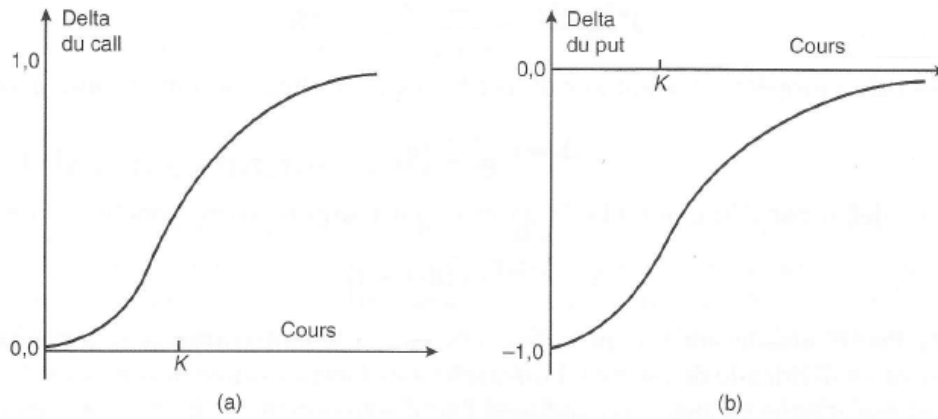


FIGURE 1.3 – Variation du delta en fonction du cours du sous-jacent : (a) option d'achat et (b) option de vente

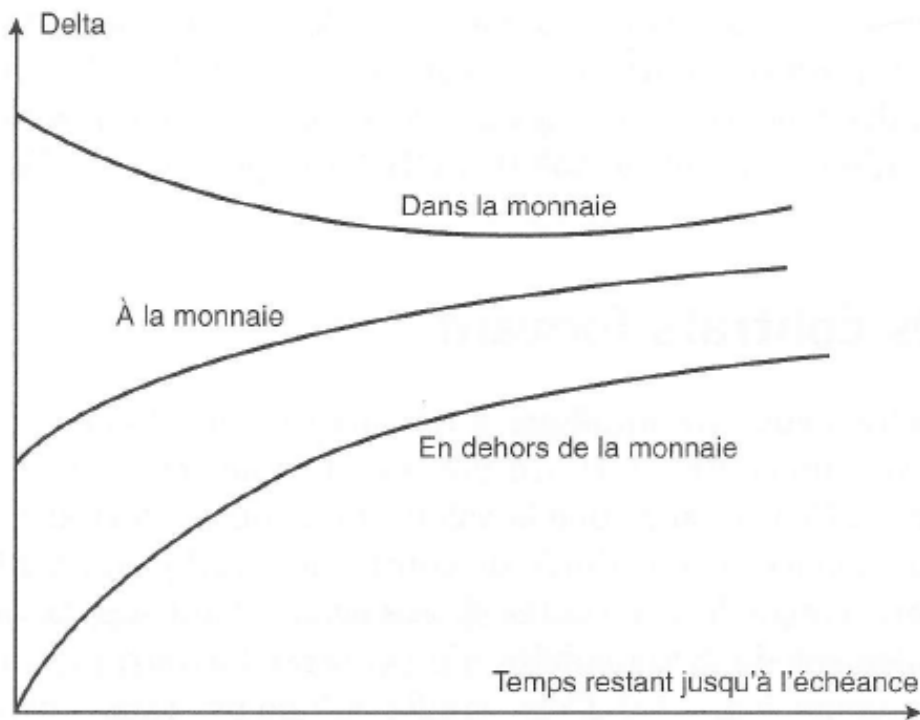


FIGURE 1.4 – Variation du delta en fonction du temps restant à courir jusqu'à l'échéance pour un call

1.3.2 Le gamma

Le gamma d'un portefeuille d'options, noté Γ , est le taux de variation du delta du portefeuille en fonction de la valeur de l'actif sous-jacent. C'est la dérivée seconde de la valeur du portefeuille par rapport au cours de l'actif :

$$\Gamma = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2}$$

Pour un call ou un put européens portant sur une devise, le gamma s'écrit :

$$\Gamma = \frac{N'(d_1)e^{-r_f T}}{S_0 \sigma \sqrt{T}} \quad (1.6)$$

où d_1 est défini par les équations 1.1 et 1.2, et $N'(x)$ est la fonction de densité de probabilité de la loi normale centrée réduite qui est définie comme suit :

$$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad (1.7)$$

Le gamma est toujours positif et varie avec S_0 de façon illustrée dans le graphique 1.5. La variation du gamma en fonction du temps restant jusqu'à l'échéance pour des options en dehors de la monnaie, à la monnaie et dans la monnaie est indiquée dans le graphique 1.6. Pour une option à la monnaie, le gamma augmente quand la durée de vie de l'option diminue. Ainsi, les options à la monnaie ayant une durée de vie très courte ont des gamma très élevés, elles sont donc très sensibles aux variations brutales du cours de la devise.

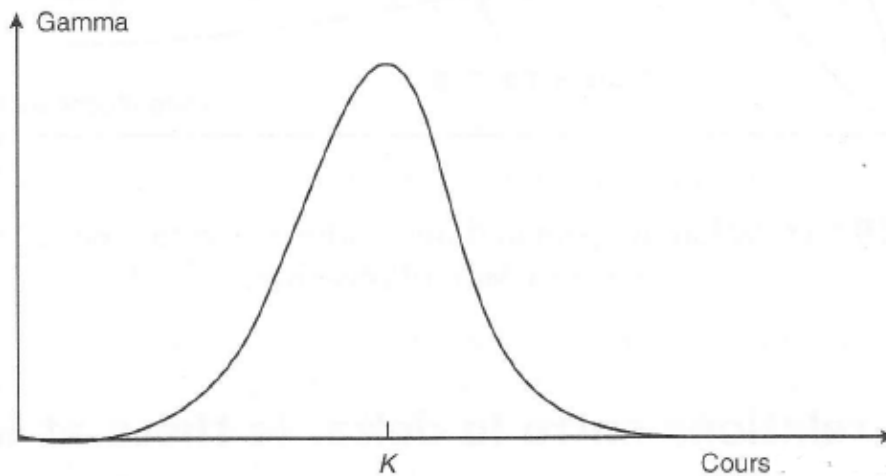


FIGURE 1.5 – Variation du gamma d'une option en fonction du cours de la devise

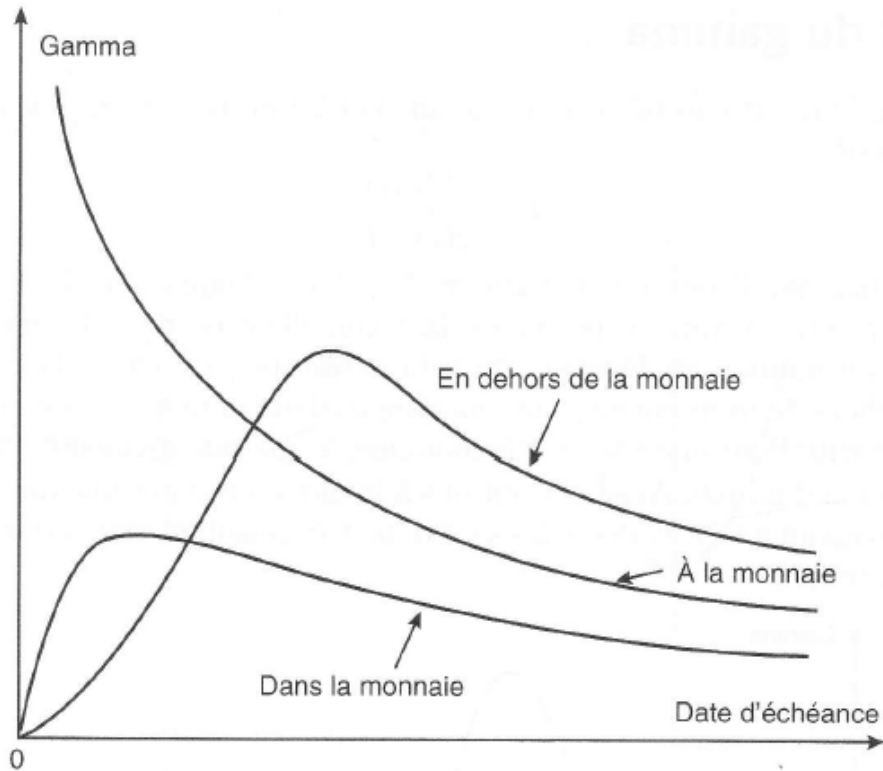


FIGURE 1.6 – Variation du gamma d’une option en fonction du temps restant jusqu’à l’échéance

1.3.3 Le thêta

Le thêta d’un portefeuille d’options, Θ , se définit comme le taux de variation de la valeur du portefeuille par rapport à la durée de vie de l’option, toutes choses égales par ailleurs.

$$\Theta = \frac{\partial c}{\partial t}$$

Pour un call européen sur devise, il se déduit de la formule de Black et Scholes ainsi :

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1) \sigma e^{-r_f T}}{2\sqrt{T}} + r_f S_0 N(d_1) e^{-r_f T} - r K e^{-r T} N(d_2) \quad (1.8)$$

Et pour le put européen correspondant, on peut écrire :

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1) \sigma e^{-r_f T}}{2\sqrt{T}} - r_f S_0 N(-d_1) e^{-r_f T} + r K e^{-r T} N(-d_2) \quad (1.9)$$

où d_1 et d_2 sont définis dans les équations 1.1 et 1.2.

Le thêta d’une option est généralement négatif car la valeur de l’option diminue lorsqu’on se rapproche de l’échéance. La variation du thêta en fonction du cours du sous-

jacent, pour un call, est illustrée dans le graphique 1.7. Lorsque le cours du sous-jacent est très bas, le thêta est presque nul. Si l'option est à la monnaie, le thêta est important et négatif. Plus le cours augmente, plus le thêta tend vers $-rKe^{-rT}$. Le graphique 1.8 montre les variations de Θ en fonction du temps restant jusqu'à la maturité de l'option pour des calls dans la monnaie, à la monnaie ou en dehors de la monnaie.

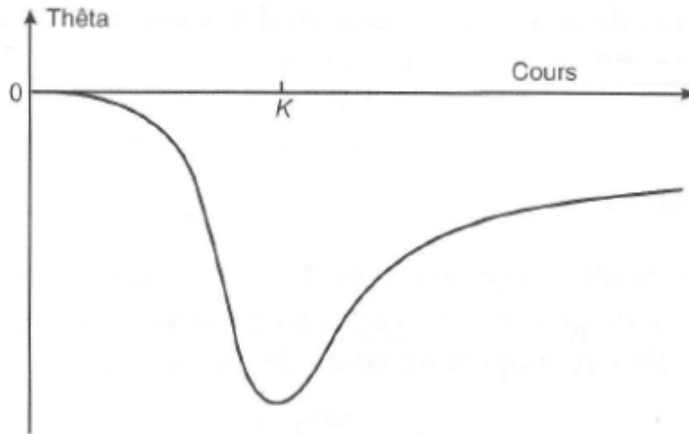


FIGURE 1.7 – Variation du thêta d'un call européen en fonction du cours de la devise.

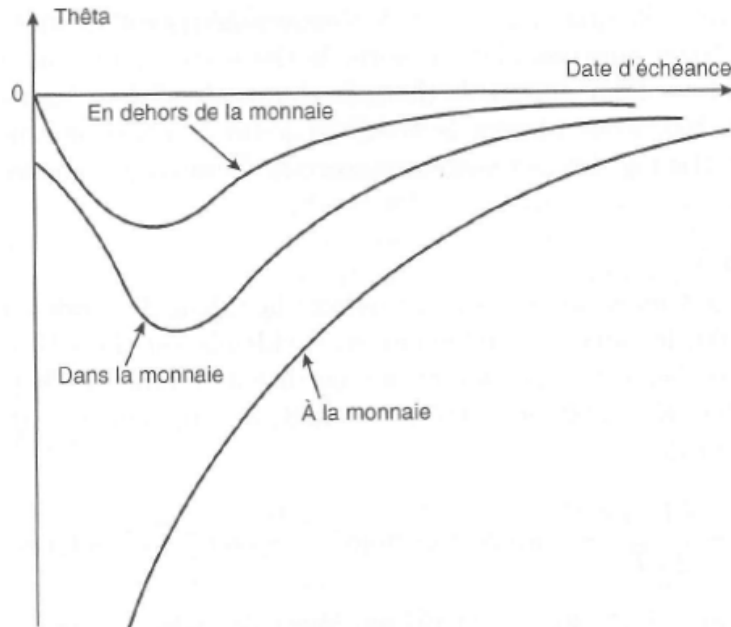


FIGURE 1.8 – Schémas classiques de la variation du thêta d'un call européen en fonction du temps restant jusqu'à l'échéance.

1.3.4 Le vega

Le vega d'un portefeuille de produits dérivés,

$$\nu = \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma}$$

Si la valeur absolue du vega est importante, la valeur du portefeuille est très sensible au moindre changement de volatilité. Si le vega est faible, en valeur absolue, un changement de la volatilité n'aura qu'un léger impact sur la valeur du portefeuille.

Pour un call ou un put européens portant sur une devise :

$$\nu = S_0 \sqrt{T} N'(d_1) e^{-r_f T} \quad (1.10)$$

Où d_1 est défini par les équations 1.1 et 1.2. La variation du vega en fonction de S est illustrée dans le graphique 1.9

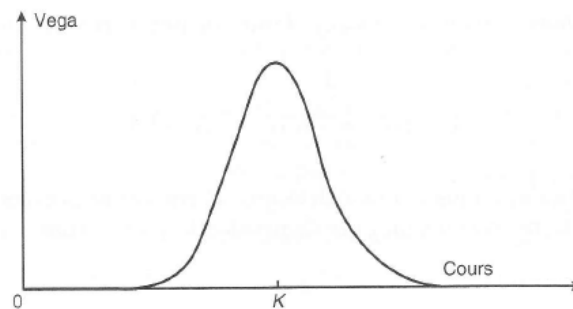


FIGURE 1.9 – Variation du vega d'une option en fonction du cours de la devise

Sources : [8]

1.3.5 Les relations entre les grecques

La valeur du portefeuille Π contenant une paire de devise au cours S et différentes options ayant cette paire comme sous-jacent dépend du prix du sous-jacent S , de volatilité σ , du temps t et des taux d'intérêt r_d et r_f .

Nous pouvons alors obtenir ce développement limité de Taylor :

$$\Delta \Pi = \frac{\partial \Pi}{\partial S} \Delta S + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2} (\Delta S)^2 + \frac{\partial \Pi}{\partial t} \Delta t + \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma} \Delta \sigma + \frac{\partial \Pi}{\partial r_d} \Delta r_d + \frac{\partial \Pi}{\partial r_f} \Delta r_f \quad (1.11)$$

Puisque :

$$\Theta = \frac{\partial \Pi}{\partial t}, \quad \delta = \frac{\partial \Pi}{\partial S}, \quad \Gamma = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial S^2}, \quad \nu = \frac{\partial \Pi}{\partial \sigma}$$

et $\frac{\partial \Pi}{\partial r_d}$ ainsi que $\frac{\partial \Pi}{\partial r_f}$ représentent la grecque ρ qui est la variation du portefeuille par rapport à la variation des taux d'intérêt.

Nous pouvons alors écrire :

$$\Delta \Pi = \delta \Delta S + \frac{1}{2} \Gamma (\Delta S)^2 + \Theta \Delta t + \nu \Delta \sigma + \rho \Delta r \quad (1.12)$$

Sources : [13]

1.4 Le Delta-Hedging ou couverture en delta

Le mot "couverture" est souvent utilisé dans le sens d'une stratégie qui élimine le risque complètement, donc que la valeur d'un portefeuille ne changera pas si les variables changent.

Pour immuniser le portefeuille contre la variation d'une variable, il faut annuler la grecque correspondante à cette variable, dans notre cas de couverture par *delta*, on cherche à s'immuniser contre les variations des cours et ce, en gardant le δ nul.

Comment ?

Pour annuler le delta, ou rendre le portefeuille "delta-neutre", nous effectuons des réajustements du portefeuille de façon continue en ayant des positions sur le sous-jacent et son option correspondante.

Pour couvrir un portefeuille (Π), nous allons construire à chaque un portefeuille (Π') en ajoutant au portefeuille initial $-\delta$ sous-jacent. De telle manière on aura :

$$\Pi' = \Pi - \delta S \quad \rightarrow \quad \frac{\partial \Pi'}{\partial S} = \frac{\partial \Pi}{\partial S} - \delta = 0$$

Cette implication est dûe au fait que le delta est dynamique tout au long de la durée de vie de l'option mais constant à chaque fois que l'on fait des réajustements.

Exemple

en $t = 0$: Le trader vend n_0 calls, il les couvre donc en achetant $n_0 \delta_0$ devises au cours S_0 .

en $t = 1$: le prix du sous-jacent baisse ($S_1 < S_0$)

– Le delta baisse ($\delta_1 < \delta_0$)

- Besoin de moins de devises pour maintenir un portefeuille delta-neutre
- Vendre les devises dont le cours a baissé

Remarques

- La couverture des options implique d’acheter haut et de vendre bas le sous-jacent.
- Il est important de comprendre que, puisque le delta varie, la position de l’investisseur demeure couverte en delta-neutre seulement dans un intervalle de temps relativement court. La couverture doit être réajustée périodiquement.
- La raison pour laquelle il est possible de construire un portefeuille sans risque composé d’une devise et d’un produit dérivé vient du fait qu’ils sont tous deux exposés à la même source d’incertitude : la variation du sous-jacent. Sur tout intervalle de temps très court, la valeur du produit dérivé est parfaitement corrélée avec le prix du sous-jacent. Ainsi, quand un portefeuille approprié composé de la devise et de son produit dérivé est constitué, le gain ou la perte sur le sous-jacent sont systématiquement compensés par le gain ou la perte sur le produit dérivé. Ainsi, au terme du court intervalle de temps, la valeur globale du portefeuille est toujours connue avec certitude.

Sources : [8], [13]

1.5 Les volatilités

La volatilité représente l’amplitude et la fréquence des variations du cours de change autour de la moyenne, au cours d’une période donnée. Elle permet de quantifier la variabilité des taux de change et d’apprécier le risque de change.

On distingue généralement deux types de volatilité :

La Volatilité implicite : il s’agit d’un indicateur qui permet de mesurer l’amplitude anticipée par le marché des variations futures du cours. Elle est considérée comme la meilleure prévision de volatilité future quel que soit le sous-jacent. La volatilité implicite intervient dans le calcul des options et un recours au modèle d’évaluation *Black and Scholes* ou autres est nécessaire pour extraire la volatilité anticipée des prix des options cotées.

La volatilité historique : Il s’agit de la constatation ex post des fluctuations passées des taux de change. Mathématiquement, elle est définie comme la mesure de l’écart-type annualisé des fluctuations quotidiennes des taux de change sur une certaine période.

Notons :

- σ_n La volatilité historique du marché pour la journée n , estimée à la fin de la journée $n - 1$. Et σ_n^2 est le taux de variance ;
- S_i Le cours de change à la fin de la journée i ;
- u_i La rentabilité du jour i (entre la fin de la journée $i - 1$ et i) :

$$u_i = \ln \left(\frac{S_i}{S_{i-1}} \right) \quad (1.13)$$

Une estimation sans biais du taux de variance quotidien, σ_n^2 , à partir des m observations les plus récentes, est donnée par :

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{m-1} \sum_1^m (u_i - \bar{u})^2 \quad (1.14)$$

Cependant, nous introduirons deux modifications à cette équation pour le but de la simplifier :

- $\bar{u} = 0$
- $m - 1$ est remplacé par m

L'équation devient :

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{m} \sum_1^m u_i^2 \quad (1.15)$$

Ainsi, la volatilité historique annualisée est donnée par l'équation suivante :

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_1^m u_i^2} \times \sqrt{252} \quad (1.16)$$

Pourquoi le rendement logarithme ?

Puisque u_i est le rendement du cours de change entre les dates i et $i - 1$, il devrait être *normalement* calculé comme étant l'écart de variation relatif des cours S_i et S_{i-1}

$$i.e. \quad u_i = \frac{S_i - S_{i-1}}{S_{i-1}} = \frac{S_i}{S_{i-1}} - 1$$

Et comme les rendements des cours de changes sont généralement petits (proches de zero), nous pouvons approximer le rendement comme suit :

$$u_i \approx \ln(1 + u_i)$$

On peut donc substituer u_i avec le logarithme du rapport des cours :

$$u_i \approx \ln \left(1 + \frac{S_i}{S_{i-1}} - 1 \right)$$

D'où :

$$u_i \approx \ln \left(\frac{S_i}{S_{i-1}} \right)$$

Sources : [8]

1.6 Gamma-Trading et calcul du P&L

1.6.1 Gamma-Trading

Gamma-Trading est une stratégie qui s'applique sur des portefeuilles de courtes durées, delta-neutres. Pour expliquer son principe, nous allons retourner vers la section sur les lettres grecques et réécrire l'équation 1.12 liant ces derniers.

$$\Delta \Pi = \delta \Delta S + \frac{1}{2} \Gamma (\Delta S)^2 + \Theta \Delta t + \nu \Delta \sigma + \rho \Delta r$$

- Un portefeuille delta-neutre veut dire : $\delta = 0$
- On fait l'hypothèse que les taux d'intérêt sont nuls en raison de la courte maturité des options. De ce fait on aura : $\rho \Delta r = 0$
- Une courte maturité des options du portefeuille implique que : $\nu = 0$

En effet, le gamma concerne les options à courte maturité et le vega celles à longue maturité. Plus la durée de vie de l'option est courte et plus ν tend vers 0, et plus la durée de vie de l'option est longue plus γ tend vers 0. Ceci est illustré par le graphique ci-dessous.

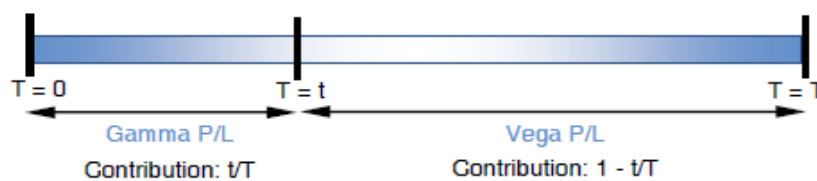


FIGURE 1.10 – Contribution du gamma et du vega dans la variation d'un portefeuille selon la maturité de l'option

Ceci veut dire que :

$$\Delta \Pi = \frac{1}{2} \gamma (\Delta S)^2 + \Theta \Delta t \tag{1.17}$$

De plus, nous avons d'après l'hypothèse de nullité des taux ainsi que les équations 1.8, 1.9 et 1.5 :

$$\begin{cases} H_0 : \Theta \simeq -\frac{S_0 N'(d_1) \sigma e^{-r_f T}}{2\sqrt{T}} \\ H_1 : \Gamma = \frac{N'(d_1) e^{-r_f T}}{S_0 \sigma \sqrt{T}} \end{cases} \quad (1.18)$$

Ceci nous amène au résultat suivant :

$$\Theta \simeq -\frac{1}{2} \Gamma S_0^2 \sigma^2 \quad (1.19)$$

La figure suivante montre la relation entre le Thêta et le Gamma.

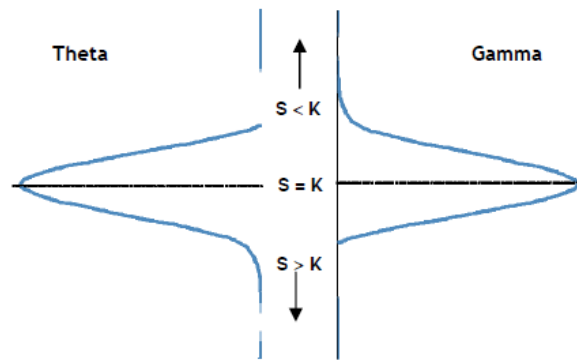


FIGURE 1.11 – Relation entre Gamma et Thêta

D'après les équations 1.17 et 1.19 nous pouvons déduire la relation suivante :

$$\Delta \Pi \simeq \frac{1}{2} \gamma (\Delta S)^2 - \frac{1}{2} \Gamma S_0^2 \sigma^2 \Delta t \simeq \frac{1}{2} \Gamma S_0^2 \left[\frac{(\Delta S)^2}{S_0^2} - \sigma^2 \Delta t \right]$$

Ce résultat est valable pour un seul pas Δt , si on somme sur toute la période de maturité nous aurons finalement :

$$\Delta \Pi \simeq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \Gamma_i S_i^2 \left[\left(\frac{\Delta S_i}{S_i} \right)^2 - \sigma^2 \Delta t \right]$$

Notons que :

- Le premier terme $\frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \Gamma_i S_i^2 \left[\left(\frac{\Delta S_i}{S_i} \right)^2 \right]$ est la variance réalisée du portefeuille,
- Le second terme σ^2 est la variance implicite.

La variation du portefeuille $\Delta \Pi$ n'est rien d'autre que les gains ou les pertes générés par le portefeuille Π , on nottera cette variation **P&L** de la stratégie.

Finalement :

$$P\&L \simeq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \Gamma_i S_i^2 \left[\left(\frac{\Delta S_i}{S_i} \right)^2 - \sigma^2 \Delta t \right] \quad (1.20)$$

Pour que la stratégie soit gagnante il faudrait que son P&L soit positif, et donc il faudrait que la variance réalisée soit supérieure à la variance implicite, ou en d'autres termes, il faut que la volatilité réalisée soit supérieure à la volatilité implicite.

L'écart entre la volatilité implicite et réalisée est appelé prime de risque.

Le principe donc du Gamma-Trading est de modéliser la prime de risque afin de prévoir le résultat du P&L de l'éventuelle stratégie.

Source : [14]

1.6.2 Calcul du P&L

Dans notre calcul du P&L de l'ensemble des stratégies que nous développerons dans ce rapport, nous n'utiliserons pas la formule 1.20, mais une autre formule mieux adaptée à la couverture par delta.

Nous aurons besoin de trois éléments pour calculer le P&L :

- La prime de l'option :

La prime de l'option est calculée à partir des équations 1.1 ou 1.2 selon qu'il s'agisse d'un call ou d'un put. Le signe de la prime dépend de la position prise, si c'est un achat d'une option alors la prime est négative puisqu'on paie de l'argent, si par contre c'est une vente alors on reçoit la prime d'où un signe positif affecté à cette dernière.

Achat d'option	Vente d'option
Payer la prime	Recevoir la prime

TABLE 1.2 – Signe affecté à la prime de l'option selon la position prise

- Le rebalancement ou le réajustement des positions :

Les réajustements des positions durant la durée de vie de l'option sont tels qu'expliqués dans la section du Delta-Hedging (ou couverture en delta), réajustements qui visent à garder un portefeuille delta-neutre en achetant ou vendant des devises à chaque fois.

Le rebalancement final qui sera inclu dans le calcul du P&L est la somme de tous les réajustements fait tout au long de la durée de vie de l'option multipliés par les taux de change pour les convertir en monnaie domestique.

– L'exercice de l'option

L'exercice de l'option correspond à ce qu'on paie ou qu'on reçoit à l'échéance, il dépend de la différence entre le strike et cours à l'échéance pour voir si l'option s'exercera ou non, de la position prise et du type de l'option.

Notons N le nominal de l'option, il exprime le montant de devise qui va être acheté ou vendu à l'échéance.

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des cas possible pour le calcul de l'exercice de l'option

	Position	$S_T - K > 0$	$S_T - K < 0$
Call	Achat	$-N \times K$	0
	Vente	$N \times K$	0
Put	Achat	0	$N \times K$
	Vente	0	$-N \times K$
Straddle	Achat	$-N \times K$	$N \times K$
	Vente	$N \times K$	$-N \times K$

TABLE 1.3 – Récapitulatif des cas possibles pour le calcul de l'exercice de l'option

CHAPITRE 2

ANALYSE STATISTIQUE DES SÉRIES FINANCIÈRES

2.1 Propriétés des séries financières

La modélisation des séries financières est un problème complexe. Cette complexité n'est pas seulement due à la grande variété des séries utilisées (prix d'action, taux d'intérêt, taux de change etc.), à l'importance de la fréquence d'observation (seconde, minute, heure, jour, etc) ou à la disponibilité d'échantillons de très grande taille. Elle tient surtout à l'existence de régularités statistiques ('faits stylisés') communes à un très grand nombre de séries financières et difficiles à reproduire artificiellement à partir de modèles stochastiques.

Les propriétés que nous présentons ci-dessous valent surtout pour des séries quotidiennes de cours de change.

Rappelons que S_t est le cours de change à la date t et $u_t = \ln(\frac{S_t}{S_{t-1}})$ son rendement logarithmique.

Les propriétés suivantes ont été abondamment commentées dans la littérature financière.

- **Non stationnarité de S_t** Les trajectoires des cours sont généralement proches de celle d'une marche aléatoire sans terme constant. En revanche, les séries de rendements ont des trajectoires apparemment compatibles avec la stationnarité au second ordre.
- **Autocorrélations des carrés des variations des cours** On constate que la série (u_t) présente de faibles autocorrélations, la rendant proche d'un bruit blanc. En revanche, les séries des carrés (u_t^2) ou des valeurs absolues ($|u_t|$) sont souvent fortement autocorrélées. Ces deux propriétés ne sont pas incompatibles mais montrent que le

bruit blanc n'est pas indépendant.

- **Regroupement des extrêmes** (*volatility clustering*). Les grandes valeurs de $|u_t|$, ou fortes variations des cours, tendent à être suivies de grandes valeurs, et les petites de petites. Cette propriété se voit souvent à l'oeil nu sur les trajectoires. On remarque des sous-périodes de forte agitation des cours (on dit que le marché est plus volatil), suivi de sous-périodes beaucoup plus calmes (on parle de faible volatilité). Comme ces sous-périodes sont récurrentes mais se succèdent de façon non périodique, ceci ne signifie pas que la suite des rendements est incompatible avec un processus stationnaire, et donc en particulier homoscedastique (c'est à dire de variance marginale constante). En revanche, puisqu'une forte valeur de u_{t-1}^2 semble augmenter la probabilité d'observer une forte valeur de u_t^2 , la variance de u_t conditionnellement à ses valeurs passées ne semble pas constante. C'est un phénomène connu sous le d'hétéroscedasticité conditionnelle (variance conditionnelle non constante). Il est important de savoir que l'hétéroscedasticité conditionnelle n'est pas compatible avec l'homoscedasticité marginale, ni même avec la stationnarité.
- **Queues de distribution épaisses**. Lorsque l'on considère les distributions de probabilité empiriques de séries de rendements, ou de variations des cours, on s'aperçoit généralement que celles-ci ne correspondent pas à une distribution gaussienne. Les tests classiques de normalité tendent à rejeter nettement l'hypothèse d'une distribution normale. Plus précisément, les densités de probabilité de ces séries présentent des queues épaisses. Elles sont dites *leptokurtiques*. Une mesure de cet effet est obtenue à partir du coefficient de kurtosis, rapport du moment empirique centré d'ordre 4 et du carré de la variance empirique, qui est asymptotiquement égal à 3 dans le cas gaussien et est nettement supérieur pour ces séries.
- **Effets de levier**. On nomme ainsi une propriété, remarquée par Brock (1976), d'asymétrie de l'impact des valeurs passées positives et négatives sur la volatilité de la date courante. Ainsi, les valeurs négatives (baisses des cours) tendent à provoquer un accroissement de volatilité supérieur à celui induit par des valeurs positives (hausses des cours) de même amplitude.
- **Saisonnalités**. Lorsque les marchés ne fonctionnent pas (week-ends, fêtes) la volatilité tend à augmenter, reflétant ainsi l'information accumulée pendant cet arrêt. Pourtant, on constate souvent que cette hausse est moins forte que si l'information s'accumulait à vitesse constante.

Sources : [9]

2.2 Stationnarité d'un processus

2.2.1 Processus stationnaires

La stationnarité joue un rôle majeur en séries temporelles car elle remplace de manière naturelle l'hypothèse d'observations iid (indépendantes et identiquement distribuées) en statistique standard. Garantissant que l'accroissement de la taille de l'échantillon s'accompagne d'une augmentation du même ordre de l'information, la stationnarité est à la base d'une théorie asymptotique générale.

On considère généralement deux notions de stationnarité.

Stationnarité stricte

Le processus (X_t) est dit strictement stationnaire si les vecteurs $(X_1, \dots, X_k)'$ et $(X_{1+h}, \dots, X_{k+h})'$ ont la même loi jointe, pour tout entier k et tout entier relatif h .

Stationnarité au second-ordre

Le processus (X_t) est dit stationnaire au second-ordre si :

- (i) $\mathbb{E}(X_t^2) < \infty \quad \forall t \in \mathbb{Z}$
- (ii) $\mathbb{E}(X_t) = m \quad \forall t \in \mathbb{Z}$
- (iii) $Cov(X_t, X_{t+h}) = \gamma(h) \quad \forall t, h \in \mathbb{Z}$

La fonction $\gamma(\cdot)$ est appelée fonction d'autocovariance de (X_t) .

En d'autres termes, (X_t) est stationnaire si les conditions suivantes sont réunies :

- L'espérance est constante (elle est inchangée dans le temps).
- La variance est constante dans le temps.
- La covariance entre une composante d'un instant t et une composante d'une autre date $t - h$ ne dépend que de l'écart de temps (le "retard") h entre les deux instants.

Une série temporelle observée est donc une réalisation d'un processus stochastique stationnaire si elle fluctue autour d'une valeur moyenne stable, si l'amplitude moyenne de ses fluctuations reste stable dans le temps, et si la manière dont ses valeurs sont liées aux valeurs précédentes se répète de façon stable dans le temps.

L'exemple le plus simple de processus stationnaire au second-ordre est celui du bruit blanc. Ce processus est particulièrement important car il permet de construire des processus stationnaires plus complexes.

Bruit blanc faible

Le processus (ϵ_t) est appelé bruit blanc faible s'il vérifie, pour une constante positive σ^2 :

- (i) $\mathbb{E}(\epsilon_t) = 0 \quad \forall t \in \mathbb{Z}$
- (ii) $\mathbb{E}(\epsilon_t^2) = \sigma^2 \quad \forall t \in \mathbb{Z}$
- (iii) $Cov(\epsilon_t, \epsilon_{t+h}) = 0 \quad \forall t, h \in \mathbb{Z}, h \neq 0.$

Remarque : Il importe de noter qu'aucune hypothèse d'indépendance n'est faite dans la définition du bruit blanc faible. Les variables aux différentes dates sont seulement non corrélées et la distinction est cruciale en particulier pour les modèles de séries financières. Il est parfois nécessaire de remplacer l'hypothèse (iii) par l'hypothèse plus forte.

- (iii') les variables ϵ_t et ϵ_{t+h} sont indépendantes.

On parle alors de bruit blanc fort.

Source : [9]

2.2.2 Tests de racine unitaire

Un processus stationnaire est un processus qui n'a pas de racine unitaire, donc tester la stationnarité d'un processus revient à tester s'il a ou non une ou plusieurs racines unitaires.

Parmi les tests de racine unitaire les plus célèbres, le test de Dickey-Fuller.

Test de Dickey-Fuller

Considérons le processus autorégressif d'ordre un (y_t) .

Le modèle de régression :

$$y_t = \rho y_{t-1} + \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon \tag{2.1}$$

est appelée régression de Dickey-Fuller à la suite de leur papier de 1981. L'idée d'un test de racine unitaire est très simple. Il suffit d'estimer cette régression par moindres carrés et de tester ensuite $\rho = 1$ au moyen de la statistique de Student.

Quand $\rho < 1$, le processus est stationnaire, explosif si $\rho > 1$ et intégré dans le cas $\rho = 1$.

Retirons maintenant y_{t-1} des deux côtés de la régression 2.1 :

$$\Delta y_t = (\rho - 1)y_{t-1} + \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon_t \tag{2.2}$$

L'interprétation de la statistique de Student devient directe étant donné qu'il suffit maintenant de tester la nullité du coefficient de y_{t-1} .

Cas 1 : sans constante

Le modèle s'écrit :

$$\Delta y_t = (\rho - 1)y_{t-1} + \epsilon_t \quad (2.3)$$

L'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative sont :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 1 \\ H_1 : \rho < 1 \end{cases}$$

Cas 2 : avec constante

$$\Delta y_t = (\rho - 1)y_{t-1} + \beta_0 + \epsilon_t \quad (2.4)$$

L'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative sont :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 1, \quad \beta_0 = 0 \\ H_1 : \rho < 1 \end{cases}$$

Cas 3 : avec trend (tendance)

$$\Delta y_t = (\rho - 1)y_{t-1} + \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon_t \quad (2.5)$$

L'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative sont :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 1, \quad \beta_1 = 0 \\ H_1 : \rho < 1 \end{cases}$$

Test de Dickey-Fuller augmenté

Le test DF standard est un test stationnarité qui ne concerne que les processus autorégressifs d'ordre un ou processus AR(1). Le test de Dickey-Fuller a donc été prolongé par le test de Dickey et Fuller augmenté (ou test ADF) afin de détecter la présence d'une racine unitaire pour les processus de type AR(p).

Le test ADF consiste alors à estimer les modèles qui précèdent en introduisant des variables retardées. Par exemple, le modèle sans constante ni dérive temporelle est le modèle suivant :

$$y_t = \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i} + \epsilon_t \quad (2.6)$$

L'hypothèse nulle du test ADF est l'hypothèse de racine unitaire (ou de non-stationnarité) du processus y_t .

Source : [10]

CHAPITRE 3

REVUE DE LITTÉRATURE

3.1 Préliminaires sur l'estimation des volatilités

Les propriétés des séries financières précédemment citées illustrent la difficulté de modéliser la volatilité conditionnelle, à partir de modèles de type ARMA linéaires classiques, qui sont inappropriées car centrées sur la structure d'autocovariance des processus. Or, de ce point de vue, la plupart des séries de rendements ne diffèrent guère des bruits blancs. Le fait que les grandes valeurs des carrés des rendements soient généralement précédées de grandes valeurs (indépendamment du signe des rendements) est difficilement compatible avec une variance conditionnelle constante. Ce phénomène est connu sous le nom d'hétéroscédasticité conditionnelle :

$$\text{Var}(u_t | u_{t-1}, u_{t-2}, \dots) \neq \text{cste}$$

De même que de nombreux processus stationnaires au second-ordre ont une espérance conditionnelle non constante, l'hétéroscédasticité conditionnelle est parfaitement compatible avec la stationnarité (au sens strict ou au second ordre). Les processus GARCH étudiés dans ce livre illustreront abondamment ce point.

La différence entre les modèles ARMA et GARCH sont :

- Les séries de rendement sont caractérisées par des distributions leptokurtiques. Cette caractéristique est prise en compte par les modèles ARCH,
- Les modèles ARMA ne permettent pas de prendre en compte les phénomènes d'asymétrie, ni les ruptures de forte amplitude (fréquentes sur les marchés financiers).
- Les modèles ARMA ne prennent en compte que les moments d'ordre deux au travers de la fonction d'autocovariance, ce qui implique une exploitation incomplète

de l'information contenue dans la série. Les modèles non linéaires prennent en considération les moments d'ordre supérieur à deux et permettent donc d'affiner l'étude de la dynamique de la série.

Ces limites justifient, d'un point de vue économétrique, le recours aux modèles non linéaires de type GARCH.

Une autre façon d'appréhender cette littérature sur les processus non linéaires consiste à opposer deux types d'approches. La première approche fondée sur des extensions non linéaires de processus ARMA qui permettent notamment d'appréhender les mécanismes d'asymétrie et de seuil. Pour spécifier ces phénomènes d'asymétrie et de seuils, les économètres ont développé toute une panoplie de spécifications :

- Modèles bilinéaires (Granger et Anderson, 1978),
- Modèles exponentiels autorégressifs (modèles EXPAR),
- Modèles à seuils (TAR, SETAR, STAR, MA asymétriques, ect.) développés depuis les travaux pionniers de Tong (1978),
- Modèles MA non linéaires.

La seconde voie a consisté à proposer une représentation autorégressive de la variance conditionnellement à son information passée permettant de tenir compte des phénomènes de volatilité. Dans ce domaine le papier de Engle de 1982, "*AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the variance of UK inflation*", *Econometrica* (1982) a ouvert la voie à la modélisation ARCH et à ses nombreux développements. C'est précisément sur cette voie que nous allons nous baser pour prévoir notre volatilité.

3.1.1 Introduction aux modèles à variance conditionnelle stochastique

L'équation 1.15 accorde un poids égal à tous les u_i^2 . Dans la mesure où notre objectif est d'estimer le niveau actuel de volatilité σ_n , il paraît pertinent de pondérer plus fortement les données les plus récentes. Le modèle suivant permet ce type de pondération :

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{m} \sum_1^m \alpha_i u_i^2 \quad (3.1)$$

Où α_i est le poids attribué à la variation observée i jours auparavant. Les α sont positifs et choisis tels que $\alpha_i < \alpha_j$ de sorte qu'un poids plus faible est affecté aux observations plus anciennes. Enfin, la somme des pondérations doit être égale à l'unité :

$$\sum_1^m \alpha_i = 1$$

Une extension de l'équation 3.1 consiste à supposer qu'il existe un taux de variance

moyen de long terme auquel il convient d'attribuer un certain poids. Cela conduit à un modèle de la forme :

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + \sum_1^m \alpha_i u_i^2 \quad (3.2)$$

Où V_L est le taux de variance de long terme et γ le poids attribué à V_L . Comme la somme de l'ensemble des pondérations doit être égale à l'unité :

$$\gamma + \sum_1^m \alpha_i = 1$$

Cette formulation est connue sous le nom de modèle ARCH(m), proposé initialement par Engle. L'estimation de la variance repose sur la variance moyenne de long terme et m observations dont le poids respectif diminue avec l'ancienneté.

En notant $\omega = \gamma V_L$, le modèle de l'équation 3.2 peut être réécrit :

$$\sigma_n^2 = \omega + \sum_1^m \alpha_i u_i^2 \quad (3.3)$$

Dans ce qui suit, nous présenterons successivement deux approches de suivi de la volatilité qui reposent sur les équations 3.1 et 3.2.

3.2 Modèles de variance conditionnelle aléatoire

3.2.1 Le modèle de moyenne mobile à pondération exponentielle (EWMA)

Le modèle de moyenne mobile à pondération exponentielle (EWMA) est un cas particulier de l'équation 3.1 dans lequel les pondérations α_i diminuent exponentiellement à mesure qu'on remonte dans le temps. Plus précisément, $\alpha_{i+1} = \lambda \alpha_i$, où λ est une constante comprise entre 0 et 1.

Ce schéma de pondération conduit en fait à une formule particulièrement simple de mise à jour des estimations de volatilité, à savoir :

$$\sigma_n^2 = \lambda \sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda) u_{n-1}^2 \quad (3.4)$$

L'estimation σ_n de la volatilité du jour n (effectuée à la fin de la journée $n - 1$) est obtenue à partir de σ_{n-1} (l'estimation de la volatilité du jour $n - 1$ qui a été calculée à la fin de la journée $n - 2$) et de u_{n-1} (la variation relative quotidienne la plus récente de la variable de marché).

Pour comprendre en quoi l'équation 3.4 correspond à des poids qui diminuent exponentiellement, il suffit de remplacer σ_{n-1}^2 par sa valeur pour obtenir :

$$\sigma_n^2 = \lambda[\lambda\sigma_{n-2}^2 + (1-\lambda)u_{n-2}^2] + (1-\lambda)u_{n-1}^2$$

Ou encore :

$$\sigma_n^2 = \lambda^2\sigma_{n-2}^2 + (1-\lambda)(u_{n-1}^2 + \lambda u_{n-2}^2)$$

En substituant de la même façon σ_{n-2}^2 , en continuant de la sorte, on aboutit à :

$$\sigma_n^2 = \lambda^m\sigma_{n-m}^2 + (1-\lambda)\sum_1^m \lambda^{i-1}u_{n-i}^2$$

Pour m suffisamment grand, le terme $\lambda^m\sigma_{n-m}^2$ est suffisamment petit pour être ignoré, de sorte que l'équation 3.4 est équivalente à l'équation 3.1 avec $\alpha_i = (1-\lambda)\lambda^{i-1}$. Les pondérations des u_i diminuent au taux λ à mesure que l'on remonte dans le temps. Chaque poids vaut λ fois le poids précédent.

3.2.2 Modèle GARCH(1,1)

Passons maintenant au modèle connu sous le de GARCH(1,1), développé par Bollerslev en 1986. La différence entre les modèles GARCH(1,1) et EWMA est analogue à la différence existant entre les équations 3.1 et 3.2. Dans un GARCH(1,1), σ_n^2 est calculé non seulement à partir de σ_{n-1} et de u_{n-1} , mais aussi du taux de variance moyen de long terme, V_L . Un GARCH(1,1) s'écrit :

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2 \quad (3.5)$$

La somme des pondérations devant être égale à l'unité, on a :

$$\gamma + \alpha + \beta = 1$$

Le modèle EWMA est en fait un cas particulier du modèle GARCH(1,1) dans lequel $\gamma = 0$, $\alpha = 1 - \lambda$ et $\beta = \lambda$

Les deux "1" de GARCH(1,1) signifient que le calcul de σ_n^2 est effectué sur la base de la dernière observation de u^2 et de l'estimation la plus récente du taux de variance.

Le modèle GARCH(p,q), plus général, calcule σ_n^2 en utilisant les p dernières observations de u^2 et les q estimations les plus récentes du taux de variance. Toutefois, le GARCH(1,1) est de loin le plus populaire des modèles GARCH.

En posant $\omega = V_L$, on peut réécrire le modèle GARCH(1,1) sous la forme :

$$\sigma_n^2 = \omega + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2 \quad (3.6)$$

Afin d'assurer la stabilité du processus GARCH(1,1), il faut imposer $\alpha + \beta < 1$. Dans le cas contraire, la variance de long terme est affectée d'une pondération négative.

3.2.3 Choix entre les modèles EWMA et GARCH(1,1)

En pratique, les taux de variance présentent effectivement une tendance au retour à la moyenne qui est intégrée dans le modèle GARCH(1,1), mais pas dans le modèle EWMA. L'alternative GARCH(1,1) semble donc théoriquement plus adaptée que le modèle EWMA.

De plus, le modèle GARCH(1,1) se réduit à un EWMA lorsque la valeur du paramètre ω est nulle. Et dans les cas où la valeur optimale de ω est négative, le modèle GARCH(1,1) n'est pas stable et il convient de basculer sur un modèle EWMA puisque le processus est alors un processus "d'éloignement de la moyenne" plutôt qu'un processus de "retour à la moyenne"...

3.2.4 Contraintes du modèle GARCH(1,1)

Bien que nous ayons cité les nombreux avantages à opter pour le modèle GARCH afin de prévoir les volatilités, il est important de souligner les quelques défauts majeurs de ce modèle. Parmi les contraintes que nous trouvons :

- La contrainte sur les coefficients du modèle qui impose $\alpha + \beta < 1$ n'est pas forcément toujours vérifiée, cette somme est souvent proche de 1, ce qui implique que le processus est un processus d'éloignement de la moyenne plutôt qu'un processus de retour à la moyenne, ceci remet en cause la stabilité du modèle.
- La propriété d'asymétrie dont se caractérisent les séries financières et qui n'est pas incluse dans le modèle GARCH.

CHAPITRE 4

MODÈLES GARCH

Le principe général proposé par Engle (1982) consiste à supposer que la variance dépend de l'ensemble informationnel dont on dispose. Il propose une spécification ARCH(q) où le carré des perturbations suit un processus autorégressif d'ordre q . Les modèles ARCH sont donc des modèles autorégressifs conditionnellement hétéroscédastiques. La famille des modèles ARCH peut se décomposer en deux sous-ensembles : les modèles ARCH linéaires et les modèles ARCH non linéaires. Les premiers reposent sur une spécification quadratique de la variance conditionnelle des perturbations : modèles ARCH(q), GARCH(p, q) et IGARCH(p, q). Les modèles ARCH non linéaires sont caractérisés par des spécifications asymétriques des perturbations.

Ce sont les modèles EGARCH(p, q), TARARCH(p) et TGARCH(p, q).

Nous allons directement présenter le modèle GARCH puisque nous allons nous baser sur ce dernier pour modéliser la volatilité des cours de change.

4.1 Modèle GARCH(p, q)

Considérons un modèle linéaire autorégressif exprimé sous la forme suivante :

$$Y_t = \mathbb{E}(Y_t|Y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

où ε_t est un bruit blanc faible satisfaisant la condition :

$$\mathbb{E}(\varepsilon_t|\varepsilon_{t-1}) = 0$$

Bollerslev (1986) définit le processus ε_t qui satisfait une représentation GARCH(p, q) si :

$$\begin{cases} \varepsilon_t = z_t \sqrt{h_t} \\ h_t = \omega + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \end{cases} \quad (4.2)$$

où z_t est un bruit blanc faible et où $\omega > 0, \alpha_j \geq 0, j = 1, \dots, q$ et $\beta_i \geq 0, i = 1, \dots, p$ sont les conditions suffisantes qui garantissent la positivité de h_t

Ainsi, l'erreur du processus Y_t définie par le processus GARCH(p, q) ε_t admet pour moments conditionnels :

$$\mathbb{E}(\varepsilon_t | \varepsilon_{t-1}) = 0 \quad (4.3)$$

$$V(\varepsilon_t | \varepsilon_{t-1}) = h_t = \omega + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (4.4)$$

Processus GARCH(1,1)

$$\begin{cases} \varepsilon_t = z_t \sqrt{h_t} \\ h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1} \end{cases} \quad (4.5)$$

Sous la condition de stationnarité du second ordre $\alpha_1 + \beta_1 < 1$, la variance non conditionnelle du processus ε_t est définie et constante dans le temps.

$$V(\varepsilon_t) = \frac{\omega}{1 - \alpha_1 - \beta_1}$$

qui est l'équivalente à la variance de long terme présentée dans l'équation 3.2.

Source : [11]

4.2 Modèle EGARCH(p, q)

Nelson (1990) s'est intéressé aux évolutions asymétriques de la variance à l'aide des modèles EGARCH (Exponential Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedastic).

Proposé par Nelson (1991), le processus Exponential GARCH ou EGARCH(p, q) donne à la variance conditionnelle la définition suivante :

Un processus ε_t satisfait une représentation EGARCH(p, q) si et seulement si :

$$\begin{cases} \varepsilon_t = z_t \sqrt{h_t} \\ \log(h_t) = \omega + \sum_{j=1}^q \alpha_j g(z_{t-j}) + \sum_{i=1}^p \beta_i \log(h_{t-i}) \end{cases} \quad (4.6)$$

où le résidu normalisé z_t est un bruit faible et où la fonction $g(\cdot)$ vérifie :

$$g(z_{t-j}) = \theta z_{t-j} + \gamma(|z_{t-j}| - \mathbb{E}(|z_{t-1}|)) \quad (4.7)$$

En posant : $a_j = \theta \alpha_j$ et $b_j = \gamma \alpha_j$, la variance conditionnelle de ε_t peut se réécrire sous forme :

$$\log(h_t) = \omega + \sum_{j=1}^q a_j z_{t-j} + \sum_{j=1}^q b_j (|z_{t-j}| - \mathbb{E}(|z_{t-j}|)) + \sum_{i=1}^p \beta_i \log(h_{t-i}) \quad (4.8)$$

Processus EGARCH(1,1)

Dans le cas d'un processus EGARCH(1,1), nous avons :

$$\log(h_t) = \omega + a_1 z_{t-1} + b_1 (|z_{t-1}| - \mathbb{E}(|z_{t-1}|)) + \beta_1 \log(h_{t-1}) \quad (4.9)$$

Remarque 1 : L'écriture porte sur le logarithme de la variance conditionnelle h_t de ε_t , en conséquence aucune restriction n'a besoin d'être imposée sur les différents paramètres de l'équation pour assurer la positivité de h_t .

Remarque 2 : La valeur de $\mathbb{E}(|z_{t-1}|)$ dépend bien évidemment de la loi supposée de z_t . On a ainsi 3 distributions possibles : Loi Gaussienne, Loi de Student, Loi GED.

Pour la loi Gaussienne :

$$\mathbb{E}(|z_t|) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}$$

Hsieh (1989) montre que le garch exponentiel s'ajuste bien mieux au séries de taux de change que le simple Garch(1,1), tandis que Engle et Ng (1993), comparant l'asymétrie des réponses aux news de différentes spécifications de la variance conditionnelle, montrent que la variabilité de la variance conditionnelle issue du modèle Egarch est trop élevée.

Ce modèle présente deux avantages relativement au modèle Garch standard. Alors que le modèle Garch postule que seule l'amplitude et non le signe des résidus passés a un impact sur la variance conditionnelle, le modèle Egarch permet une réponse asymétrique de la variance conditionnelle aux chocs positifs ou négatifs des résidus de la période précédente. Lorsque le coefficient a_1 est négatif, la volatilité conditionnelle peut augmenter

en cas de chocs négatifs et baisser dans le cas contraire. L'effet "amplitude" est appréhendé par l'écart entre la valeur absolue des résidus standardisés et son espérance. Le second avantage du modèle Egarch est que la variance non conditionnelle est finie dès lors que $\alpha_1 < 1$, ce qui est moins restrictif que la condition $\alpha_1 + \beta_1 < 1$.

Source : [12]

CONCLUSION

Nous avons décrit dans cette deuxième partie toute la théorie utilisée pour traiter les différents aspects de ce travail, en commençant par définir les concepts dont nous aurons besoin dans la suite du rapport, les propriétés des séries financières, et en terminant par les outils statistiques et économétriques utilisés pour modéliser la volatilité historique des cours de change. Et ce, pour mieux comprendre et visualiser les résultats et sorties numériques que nous allons présenter lors de la dernière partie de ce rapport.

La partie suivante va porter sur le côté pratique de l'étude où nous allons appliquer la partie théorique expliquée et présenter les résultats répondant à notre problématique.

Troisième partie

Étude Pratique

INTRODUCTION

Cette troisième partie vise à appliquer toute la théorie citée dans la partie précédente afin d'aboutir aux objectifs du projet.

Nous allons commencer par vérifier les hypothèses et cohérences de la théorie avec les données sur lesquelles nous travaillons. Ensuite nous allons modéliser la volatilité réalisée grâce aux modèles GARCH/EGARCH.

Finalement, en vue de rendre notre travail accessible et opérationnel, nous avons automatisé toutes les opérations à travers une application développée sous VBA-Excel.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

1.1 Paires de devises

Définition

Une paire de devises est la cotation de la valeur relative d'une monnaie contre une autre dans le marché des changes. La monnaie qui est utilisée comme référence est appelée la devise domestique et la devise qui est cotée (par rapport à la devise domestique) est appelée devise étrangère.

Les paires de devises sont écrites par la concaténation des codes ISO de devises (ISO 4217) de la devise domestique et la devise étrangère. La paire de devise EUR / USD qui désigne la relation de l'euro par rapport au dollar américain est la plus tradée. La cotation EUR / USD 1,1500 signifie qu'il est possible d'échanger 1 euro contre 1,1500 dollars américains.

Paires de devises choisies pour l'études

L'interdiction de la vente à découvert dans le marché national, nous a orienté vers le marché international pour élaborer une stratégie gagnante sur les options de change. Nous avons choisi de travailler sur les paires suivantes :

- EUR/USD : Euro/Dollar Américain
- GBP/USD : Livre Sterling/Dollar Américain
- USD/JPY : Dollar Américain/Yen Japonnais
- USD/CAD : Dollar Américain/Dollar Canadien
- AUD/USD : Dollar Australien/Dollar Américain
- EUR/GBP : Euro/Livre Sterling

- EUR/JPY : Euro/Yen Sterling
- EUR/CAD : Euro/Dollar Canadien
- EUR/AUD : Euro/Dollar Australien

1.2 Présentation de la base de données et interpolation

1.2.1 Présentation de la base de données

La base de données utilisée comporte les 9 paires de devises citées dans la section précédentes. Pour chacune nous disposons des taux de change, des taux d'intérêt domestiques et étrangers et des volatilités implicites suivant la durée de maturité une semaine, un mois, deux mois, trois mois, six mois, neuf mois et un an. Ces informations datent toutes du 28 juillet 2009 jusqu'au 24 mars 2017.

1.2.2 Interpolation

Les taux d'intérêt ainsi que les volatilités sont données pour les maturités citées ci-dessus. Il se trouve des fois qu'on traite une option dont la maturité ne figure pas parmi celles disponibles sur la base de données. Pour remédier à ce problème, nous allons utiliser l'interpolation.

- Pour les contrats de moins d'une semaine, nous allons considérer que leur maturité est d'une semaine pour simplifier,
- Pour les contrats ayant pour maturité l'une des fournies par la base de données, les taux et les volatilités resteront les mêmes,
- Pour les contrats ayant pour maturité une valeur entre deux parmi les maturités fournies par la base, nous utiliserons la formule d'interpolation pour estimer leurs taux et volatilité respectives.

Notons :

- Y la variable que nous voulons estimer et qui peut être l'un des taux, ou la volatilité implicite,
- X la maturité de l'option en question,
- Y_1 et Y_2 les variables taux ou volatilité correspondant à deux des maturités déjà fournies par la base et telle que la variable Y est comprise entre elles,
- X_1 et X_2 les variables temps relatives aux variables Y_1 et Y_2 respectivement.

Y est estimée comme suit :

$$Y = Y_1 + \frac{(X - X_1)(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (1.1)$$

1.2.3 Calcul des rendements logarithmiques

Pour chaque paire de devise, nous allons calculer son rendement logarithmique à partir de l'équation 1.13, et ce pour pouvoir réaliser dans ce qui suit les tests et modèles pour estimer la volatilité réalisée. Finalement, nous avons regroupé les rendements dans une seule feuille comme suit :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	DAYS	EURUSD	GBPUSD	USDJPY	USDCAD	AUDUSD	EURGBP	EURJPY	EURCAD	EURAUD
2	23/03/2017	-0,00157575	0,00408213	-0,00359939	-0,00209534	0,00052466	-0,00498119	-0,00483778	-0,00367533	-0,00211999
3	22/03/2017	0,0013905	-0,00295988	0,0018913	-0,00172446	0,00653512	0,00417198	0,00325556	-0,00041693	-0,00524861
4	21/03/2017	0,00120354	-0,00040066	0,00511556	0,00179937	0,00156209	0,0013868	0,00631389	0,00284554	-0,00042677
5	20/03/2017	-0,00659088	-0,00974517	0,00749134	-0,00022474	0,00531882	0,00334352	0,00091056	-0,00653597	-0,01195219
6	17/03/2017	-9,31E-05	0,00290933	0,00133185	7,49E-05	-0,00401893	-0,00299712	0,00107505	-0,00027908	0,00337826
7	16/03/2017	0,00260465	-0,00274748	0,00530975	-0,00232515	-0,00273171	0,00552615	0,00806722	0,00034883	0,00593813
8	15/03/2017	-0,0029773	-0,00543634	0,00044121	-0,00112702	0,00390016	0,00229358	-0,00238047	-0,0042641	-0,0073743
9	14/03/2017	-0,01218727	-0,01137352	0,01210117	0,01314433	-0,0195224	-0,00103146	-0,00024658	0,00091027	0,00787349
10	13/03/2017	0,00479888	0,00541651	0,00121951	-0,00252582	0,00119008	-0,00068823	0,00573772	0,00237679	0,00320319
11	10/03/2017	0,0015008	-0,00401854	-0,00113236	0,00185784	-0,00357451	0,00686109	0,00138849	0,00411107	0,00538665
12	09/03/2017	-0,00884962	-0,00024656	0,00148051	0,00289135	-0,00478597	-0,00961876	-0,00811314	-0,00648787	-0,00403726
13	08/03/2017	-0,00341006	0,00016438	-0,00514768	-0,00125931	0,00292748	-0,00345782	-0,00876039	-0,0047706	-0,00626515
14	07/03/2017	0,00246399	0,00254443	-0,00315402	-0,00579841	0,00767707	-0,00034644	-0,00024906	-0,0034518	-0,00587352
15	06/03/2017	0,00122972	0,00294672	-0,00079006	-0,00029826	-0,00105541	-0,00150263	0,00058103	0,00119891	0,00279781
16	03/03/2017	0,00396264	0,00448523	0,00105328	-0,00253883	0,00237311	-0,00057854	0,00537925	0,00112708	0,00150328
17	02/03/2017	-0,01079249	-0,00203625	0,00341551	0,00104618	-0,0030333	-0,00906878	-0,00820458	-0,00940767	-0,00768323

FIGURE 1.1 – Base de données des rendements des neuf devises

1.3 Analyse statistique des rendements des cours

Nous entendons par analyse statistique des rendements, une vérification des propriétés des séries financières citées dans la partie précédente. Nous cherchons à tester leur pertinence.

Pour cette section, nous allons nous contenter d'analyser les rendements de la paire EUR/USD. Concernant les autres paires, nous allons juste présenter un récapitulatif des résultats de leur analyse et mettre les sorties en annexe.

1.3.1 Stationnarité

Pour tester la stationnarité des cours et des rendements, nous allons effectuer le test de Dickey-Fuller Augmenté tel que présenté dans la partie précédente.

Les sorties STATA nous donnent les résultats suivants :

Stationnarité des cours

```
. dfuller EURUSD, regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root					
				Number of obs =	1599
Interpolated Dickey-Fuller					
Test	1% Critical	5% Critical	10% Critical		
Statistic	Value	Value	Value		
Z(t)	-1.130	-3.430	-2.860	-2.570	

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.7031

```
. dfuller EURUSD, trend regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root					
				Number of obs =	1599
Interpolated Dickey-Fuller					
Test	1% Critical	5% Critical	10% Critical		
Statistic	Value	Value	Value		
Z(t)	-2.515	-3.960	-3.410	-3.120	

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.3203

```
. dfuller EURUSD, noconstant regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root					
				Number of obs =	1599
Interpolated Dickey-Fuller					
Test	1% Critical	5% Critical	10% Critical		
Statistic	Value	Value	Value		
Z(t)	-0.714	-2.580	-1.950	-1.620	

FIGURE 1.2 – Sorties STATA du test ADF - stationnarité des cours

Le test ADF a été effectué pour les 3 cas : avec constante, avec constante et tendance, et sans constante et sans tendance. Pour les 3 cas de figure, la statistique du test en valeur absolue est inférieure à la valeur critique à 5%, ce qui nous montre que le processus des cours de la paire EUR/USD est non stationnaire.

Ceci se justifie par le graphe des cours qui montre des tendances baissières parfois haussières non compatibles avec un processus stationnaire.



FIGURE 1.3 – Graphe des cours de change de EUR/USD

Stationnarité des rendements

```
. dfuller U, regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 1598

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-41.898	-3.430	-2.860	-2.570

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

```
. dfuller U, trend regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 1598

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-41.889	-3.960	-3.410	-3.120

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

```
. dfuller U, noconstant regress lags(0)
```

Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 1598

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-41.893	-2.580	-1.950	-1.620

FIGURE 1.4 – Sorties STATA du test ADF - stationnarité des rendements

Tout comme la série des cours, le test ADF a été effectué pour les 3 cas : avec constante,

avec constante et tendance, et sans constante et sans tendance. Et pour les 3 cas de figure, la statistique du test en valeur absolue est supérieure à la valeur critique à 5%, ce qui nous montre que le processus des cours de la paire EUR/USD est stationnaire au second ordre.

Ceci se confirme par le graphe des rendements des cours :

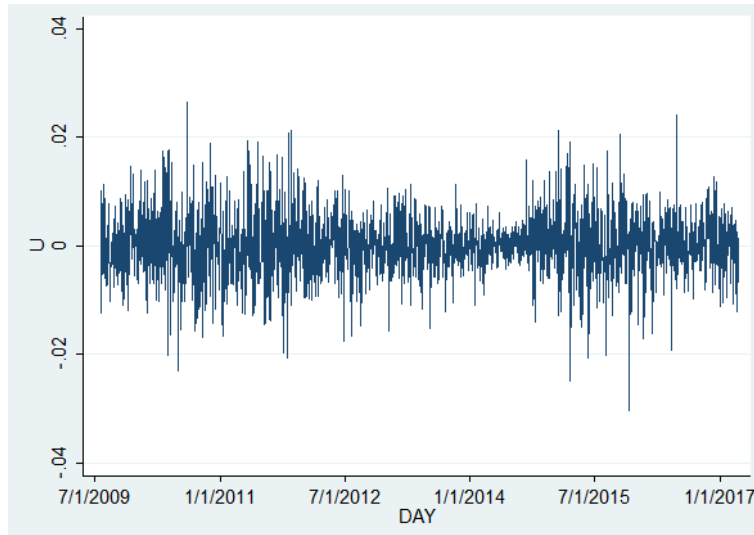


FIGURE 1.5 – Graphe des rendements des cours de change de EUR/USD

Nous pouvons remarquer un certain regroupement autour de la moyenne, une certaine stabilité, pas de tendance ni haussière ni baissière.

1.3.2 Autocorrélation

Autocorrélation des rendements

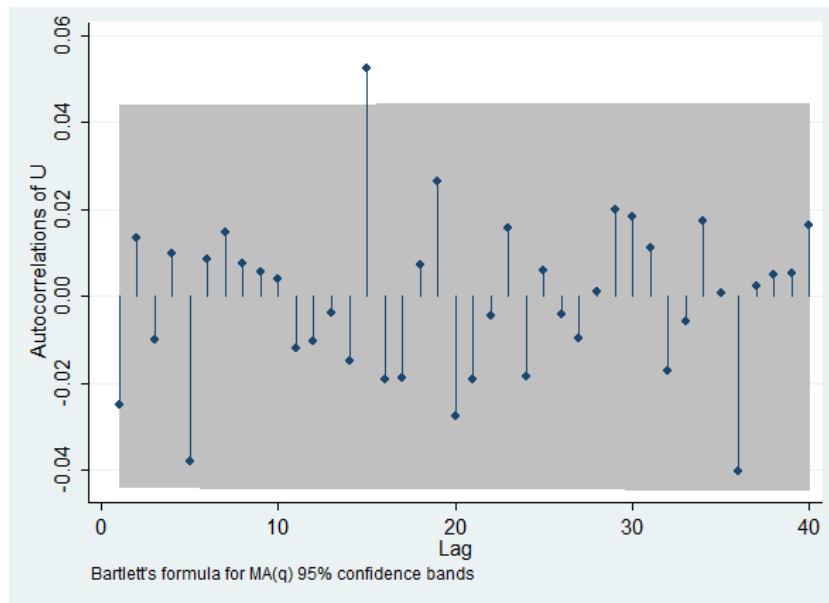


FIGURE 1.6 – Autocorrélation des rendements de EUR/USD

Nous constatons que les rendements présentent de très faibles autocorrélations.

Autocorrélation des carrés des rendements

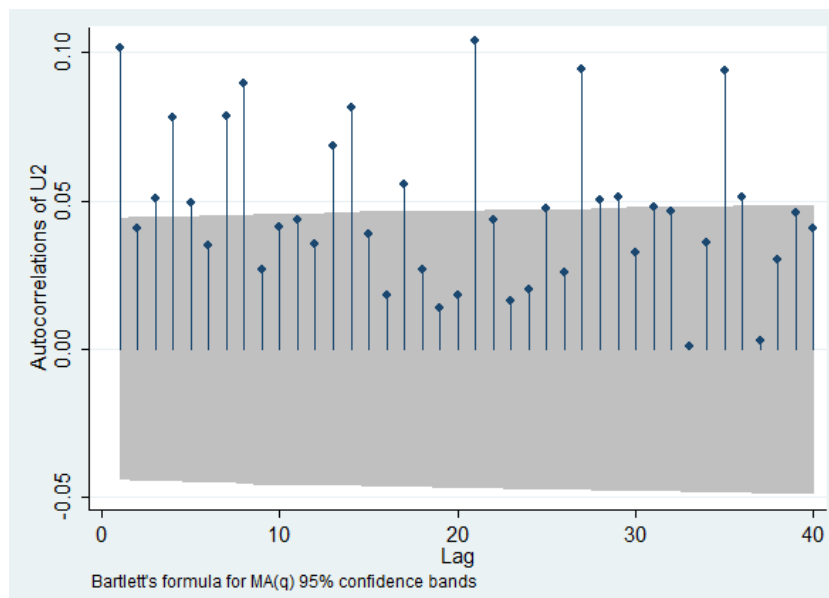


FIGURE 1.7 – Autocorrélation des carrés des rendements de EUR/USD

Contrairement aux rendements, nous constatons que les carrés des rendements sont fortement autocorrélés.

1.3.3 Regroupement des extrêmes

Les grandes valeurs des rendements tendent à être suivies de grandes valeurs, et les petites de petites. Nous pouvons voir ça d'après la figure 1.5 Nous remarquons des sous-périodes de forte agitation des prix, suivies de sous-périodes beaucoup plus calmes.

1.3.4 Distribution

Nous nous intéressons maintenant à la distribution des rendements, on peut tester s'ils suivent une loi normale ou autre.

Tests de normalité

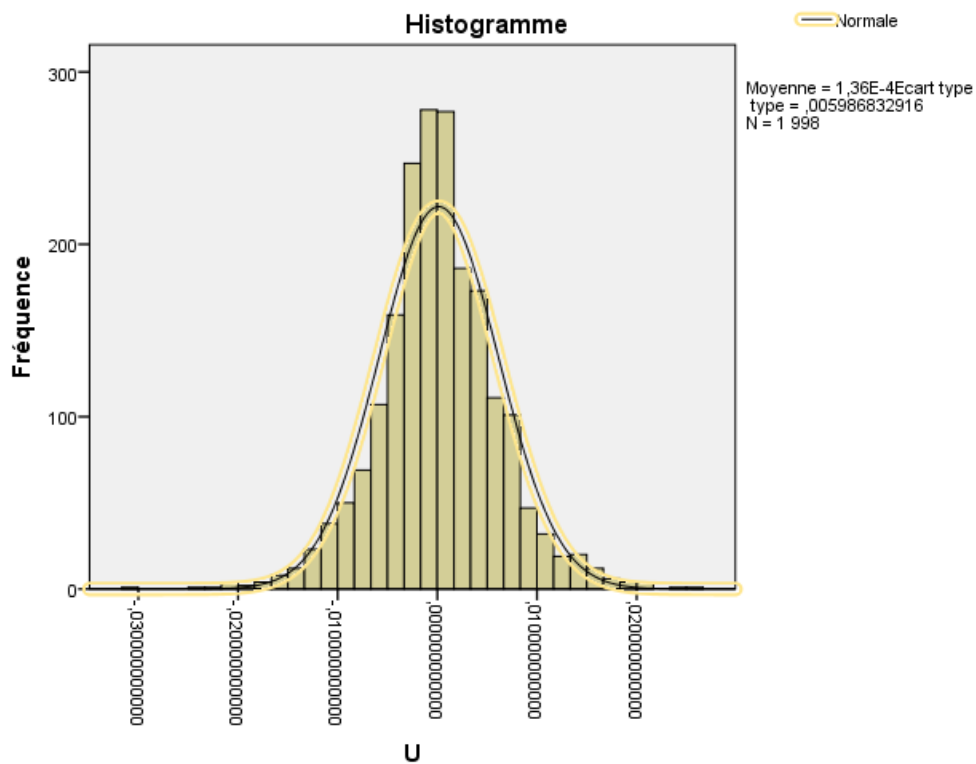


FIGURE 1.8 – histogramme des rendements des cours de EUR/USD

D'après l'histogramme, nous pouvons déduire que la distribution des rendement ne s'ajuste pas très bien à une loi normale.

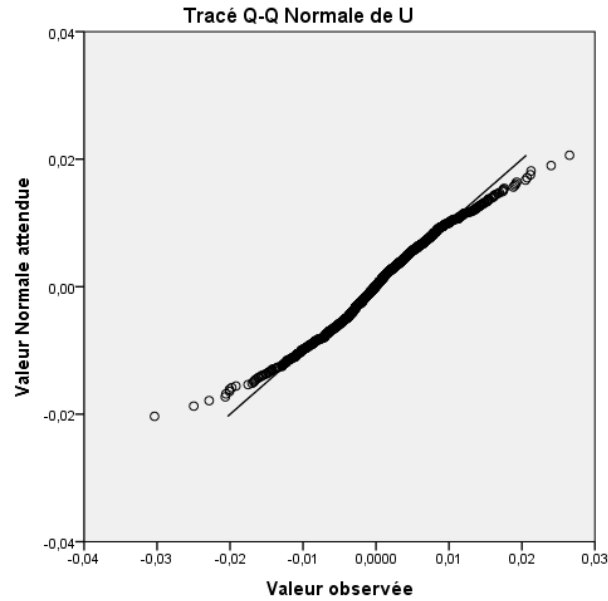


FIGURE 1.9 – qqplot des rendements des cours de EUR/USD

De même, nous pouvons voir ici que les quantiles ne s'ajustent pas parfaitement vu qu'ils ne passent pas entièrement pas la droite.

Descriptives

		Statistiques	Erreur standard	
U	Moyenne	,0001363126	,0001339366	
	Intervalle de confiance à 95 % pour la moyenne	Borne inférieure	-,000126358	
		Borne supérieure	,0003989828	
	Moyenne tronquée à 5 %	,0001196258		
	Médiane	,0000000000		
	Variance	,000		
	Ecart type	,0059868329		
	Minimum	-,030351766		
	Maximum	,0265308344		
	Plage	,0568826005		
	Plage interquartile	,0067785519		
	Asymétrie	,022	,055	
	Kurtosis	1,496	,109	

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
U	,047	1998	,000	,985	1998	,000

a. Correction de signification de Lilliefors

FIGURE 1.10 – test de normalité des rendements des cours de EUR/USD

Un test de normalité vient pour appuyer l'analyse graphique puisqu'on retrouve le même résultat : les p-values des tests Kolmogorov-Smirnov et Shapiro Wilk sont très inférieures à 5% ce qui nous permet de rejeter l'hypothèse de normalité.

En plus, le Kurtosis est différent de zero et le coefficient d'asymétrie est proche de zero, ce qui signifie une présence de queue épaisses dans la distribution des rendements.

Tests d'adéquation à la loi de Student

```
> library(LambertW)
> ks.test.t(EURUSD)

One-sample Kolmogorov-Smirnov test student-t with df=6.7, location=0, scale=0.01

data: EURUSD
D = 0.026196, p-value = 0.1297
alternative hypothesis: two-sided
```

FIGURE 1.11 – test d'adéquation à loi de student pour les rendements EUR/USD

La p-value du test est supérieure à 5%, on peut dire que les rendements suivent une loi de Student.

1.3.5 Effet de levier

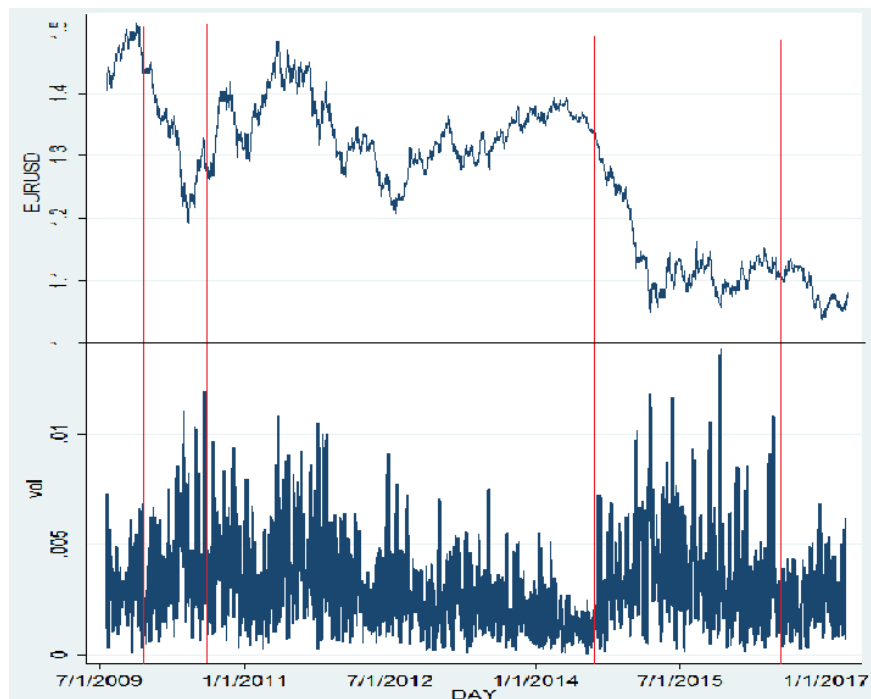


FIGURE 1.12 – Illustration de l'effet de levier pour la paire EUR/USD

On voit bien que lors des périodes de baisse de cours la volatilité augmente plus qu'elle ne le fait en périodes de hausse de cours. Il y a bien présence d'asymétrie.

CHAPITRE 2

MODÈLE GARCH

Rappelons que le but du Gamma-Trading est d'estimer la prime de risque qui est l'écart entre la volatilité réalisée et implicite. Puisque nous disposons de la volatilité implicite, nous avons besoin d'estimer la réalisée, et ce par le biais d'un modèle GARCH.

Dans ce chapitre, nous allons nous effectuer notre modélisation de la volatilité seulement pour la paire EUR/USD. Concernant les autres paires, nous allons juste présenter un récapitulatif des résultats et mettre les sorties en annexe.

2.1 Identification du modèle GARCH(p,q)

Commençons par identifier les ordres du modèle GARCH(p, q).

Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser le critère AIC pour différentes valeurs de p et q , les deux variant de 1 jusqu'à 3.

```
Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.533597 -7.519572 -7.533609 -7.528446
```

FIGURE 2.1 – Critères d'information pour le modèle GARCH(1,1)

```
Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.533546 -7.516716 -7.533564 -7.527365
```

FIGURE 2.2 – Critères d'information pour le modèle GARCH(1,2)

```

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.532544 -7.515713 -7.532562 -7.526363
    
```

FIGURE 2.3 – Critères d’information pour le modèle GARCH(2,1)

```

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.532103 -7.509663 -7.532135 -7.523863
    
```

FIGURE 2.4 – Critères d’information pour le modèle GARCH(2,3)

```

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.531616 -7.511981 -7.531641 -7.524406
    
```

FIGURE 2.5 – Critères d’information pour le modèle GARCH(3,1)

```

Information Criterion Statistics:
      AIC      BIC      SIC      HQIC
-7.531101 -7.505856 -7.531142 -7.521831
    
```

FIGURE 2.6 – Critères d’information pour le modèle GARCH(3,3)

D’après le critère AIC, nous pouvons dire que le modèle GARCH(1,1) est celui qui s’ajuste le mieux puisqu’il affiche le plus petit AIC.

2.2 Estimation du modèle GARCH(1,1)

Après avoir choisi le modèle GARCH(1,1), nous avons procédé à l'estimation de ses paramètres. Rappelons que la distribution des rendements est la loi de Student, la sortie R nous donne :

```

Mean and Variance Equation:
 data ~ garch(1, 1)
<environment: 0x000000001a01a438>
 [data = data2$EURUSD]

Conditional Distribution:
 std

Coefficient(s):
      mu      omega      alpha1      beta1      shape
1.0223e-04  1.0353e-07  3.9206e-02  9.5924e-01  8.1574e+00

Std. Errors:
 based on Hessian

Error Analysis:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
mu      1.022e-04  1.107e-04  0.923  0.356
omega   1.035e-07  6.678e-08  1.550  0.121
alpha1  3.921e-02  7.170e-03  5.468 4.56e-08 ***
beta1   9.592e-01  7.009e-03 136.868 < 2e-16 ***
shape   8.157e+00  1.427e+00  5.717 1.08e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

FIGURE 2.7 – Estimation des paramètres pour le modèle GARCH(1,1)

Le tableau suivant affiche l'estimation des paramètres du modèle GARCH(1,1) :

ω	α_1	β_1
0.00000010353	0.039206	0.95924

TABLE 2.1 – Estimation des paramètres GARCH(1,1) pour EUR/USD

2.3 Validation du modèle GARCH(1,1)

Nous remarquons que le coefficient ω est non significatif. Aussi, $\alpha_1 + \beta_1$ est proche de 1, ce qui met en doute la stabilité du modèle.

Aussi, nous avons vu qu'il y a une asymétrie dans les rendements des cours de l'EUR/USD, asymétrie que le modèle GARCH n'est pas capable de traiter.

Et finalement, pour l'analyse des résidus, nous remarquons que le test de normalité Jarque-Bera ou Shapiro-Wilf montre que les résidus ne sont pas gaussiens. Aussi, le test de Ljung-Box montre que les résidus sont corrélés et donc on ne peut valider le modèle.

```

Standardised Residuals Tests:

Jarque-Bera Test   R      Chi^2   142.6456   0
Shapiro-Wilk Test  R      W       0.9906523 4.843453e-10
Ljung-Box Test     R      Q(10)   7.846845  0.6437939
Ljung-Box Test     R      Q(15)   17.57525  0.2856536
Ljung-Box Test     R      Q(20)   20.63393  0.4189533
Ljung-Box Test     R^2    Q(10)   5.122644  0.882836
Ljung-Box Test     R^2    Q(15)   20.49072  0.1539051

```

FIGURE 2.8 – Analyse des résidus et test de normalité pour EUR/USD

2.4 Calibration du modèle GARCH

Rappelons que parmi les modèles ARCH/GARCH qui corrigent l'asymétrie dont se caractérisent les séries financières, le modèle Exponential GARCH ou EGARCH.

2.4.1 Identification du modèle EGARCH

Nous pouvons prendre les mêmes ordres choisis pour le modèle GARCH pour but de simplifier, mais nous avons jugé qu'il faudrait passer par le test de critères d'information.

Les sorties R affichant le AIC et BIC des modèles EGARCH(p, q) avec p et q variant de 1 jusqu'à 3 donnent les résultats suivants :

		$p = 1$	$p = 2$	$p = 3$
AIC	$q = 1$	-7.5161	-7.5215	-7.5203
	$q = 2$	-7.5151	-7.5205	-7.5193
	$q = 3$	-7.5143	-7.5244	-7.5227
BIC	$q = 1$	-7.504	-7.5019	-7.4950
	$q = 2$	-7.4982	-7.4981	-7.4912
	$q = 3$	-7.4946	-7.4992	-7.4918

TABLE 2.2 – AIC et BIC pour l'identification du modèle EGARCH pour l'EUR/USD

D'après les deux critères AIC et BIC nous avons sélectionné les deux modèles EGARCH(1,1) et EGARCH(2,3).

Pour simplifier et puisque le modèle EGARCH(1,1) a été le meilleur selon le critère BIC, alors nous allons choisir les ordres (1,1) pour notre modélisation EGARCH.

2.4.2 Estimation du modèle EGARCH(1,1)

Après avoir choisi le modèle EGARCH(1,1), notons que la distribution des rendements normalisés qu'utilise le modèle EGARCH est gaussienne, comme le montre le graphique ci-dessous.

Descriptives

		Statistiques	Erreur standard	
EURUSD	Moyenne	-,001372102	,0014159710	
	Intervalle de confiance à 95 % pour la moyenne	Borne inférieure	-,004149049	
		Borne supérieure	,0014048448	
	Moyenne tronquée à 5 %	-,001183208		
	Médiane	,0000000000		
	Variance	,004		
	Ecart type	,0630703430		
	Minimum	-,190424348		
	Maximum	,1913516205		
	Plage	,3817759681		
	Plage interquartile	,0836338726		
	Asymétrie	-,049	,055	
	Kurtosis	-,184	,110	

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
EURUSD	,017	1984	,148	,998	1984	,059

a. Correction de signification de Lilliefors

FIGURE 2.9 – Test de normalité des rendements standardisés des cours de EUR/USD

Les p-values des tests de Kolmogorov-Smirnov et de Shapiro-Wilk sont supérieures à 5% d'où l'acceptation de l'hypothèse de normalité des rendements standardisés.

2.5 Présentation des résultats

Nous avons d'après l'équation 4.9 :

$$\log(\sigma_t^2) = \omega + \gamma z_{t-1} + \alpha_1(|z_{t-1}| - \mathbb{E}(|z_{t-1}|)) + \beta_1 \log(\sigma_{t-1}^2)$$

Ceci implique que

$$\sigma_t = \sqrt{\exp(\omega + \gamma z_{t-1} + \alpha_1(|z_{t-1}| - \mathbb{E}(|z_{t-1}|)) + \beta_1 \log(\sigma_{t-1}^2))}$$

Les paramètres estimés du modèle EGARCH(1,1) pour la paire EUR/USD dans la section précédente sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = -0.053678 \\ \alpha_1 = -0.028482 \\ \beta_1 = 0.994531 \\ \gamma = 0.081030 \end{array} \right.$$

Après avoir estimé les paramètres des modèles EGARCH(1,1) de toutes les paires de devises, nous pouvons réunir tous les résultats dans le tableau suivant :

	ω	α_1	β_1	γ
EUR/USD	-0.053678	-0.028482	0.994531	0.081030
GBP/USD	-0.082597	-0.022016	0.991558	0.137948
USD/JPY	-0.229168	0.017058	0.976815	0.113884
USD/CAD	-0.086310	0.050362	0.991634	0.087444
AUD/USD	-0.089765	-0.046752	0.990664	0.094162
EUR/GBP	-0.147205	0.007370	0.985724	0.145647
EUR/JPY	-0.261609	-0.047852	0.972521	0.167259
EUR/CAD	-0.071830	0.010193	0.992855	0.075090
EUR/AUD	-0.151838	0.021566	0.984655	0.115096

TABLE 2.3 – Résultats des estimations des paramètres des modèles EGARCH(1,1)

Le phénomène de persistance apparaît clairement à travers la modélisation des volatilités par des processus EGARCH vu que les coefficients β_1 sont tous très proches de 1. En outre, le choix d'une spécification du type EGARCH semble pertinent. La p-value associée au paramètre γ qui représente le degré d'asymétrie de chaque paire de devise est inférieure à 5% (voir les sorties R dans l'annexe E), ce qui veut dire que γ est statistiquement non nul. Le modèle capte très bien l'asymétrie de la volatilité. Nous pouvons nous assurer de ceci en comparant la sensibilité de la volatilité aux chocs positifs et aux chocs négatifs.

	$\gamma - \alpha$	$\gamma + \alpha$
EUR/USD	0.109512	0.052548
GBP/USD	0.152016	0.115932
USD/JPY	0.096826	0.130942
USD/CAD	0.037082	0.137806
AUD/USD	0.140914	0.04741
EUR/GBP	0.138277	0.153017
EUR/JPY	0.215111	0.119407
EUR/CAD	0.064897	0.085283
EUR/AUD	0.09353	0.136662

TABLE 2.4 – Coefficients de sensibilité à la volatilité aux chocs positifs ($\gamma + \alpha$) et négatifs ($\gamma - \alpha$)

En effet, pour les paires de devises EUR/USD, GBP/USD, AUD/USD et EUR/JPY, les impacts des chocs positifs et négatifs sur la volatilité sont dissymétriques : Le coefficient $\gamma - \alpha$ de sensibilité de la volatilité aux chocs négatifs est nettement supérieure au coefficient $\gamma + \alpha$ de sensibilité de la volatilité aux chocs positifs. Cependant, nous ne pouvons pas dire la même chose sur les paires restantes.

CHAPITRE 3

DÉVELOPPEMENT DE LA STRATÉGIE DE TRADING

Après avoir modélisé la volatilité réalisée, nous sommes à présent en mesure de calculer la prime de risque à partir de l'écart entre la volatilité prédite et la volatilité implicite fournie par les markets makers.

Afin de rendre la tâche simple au trader pour pouvoir calculer cette prime de risque et donc de déterminer un signal d'entrée en position, nous avons mis en place une interface VBA qui automatisera l'ensemble des opérations utiles à l'implémentation de la stratégie. Après avoir entré en position, le trader devra tester sa stratégie à travers un Backtesting et ainsi il pourra l'améliorer en fonction de plusieurs paramètres.

Nous tenons à noter qu'il serait judicieux de n'utiliser que les paires de devises dont on a prouvé la pertinence de la modélisation des volatilités par le processus EGARCH(1,1).

3.1 Élaboration d'une interface VBA-Excel

Notre interface VBA se compose de deux parties, la première ayant pour but de faire rentrer les paramètres de l'option pour calculer plusieurs indicateurs nécessaires à l'analyse et au suivi des éventuelles stratégies.

Elle est présentée comme suit :

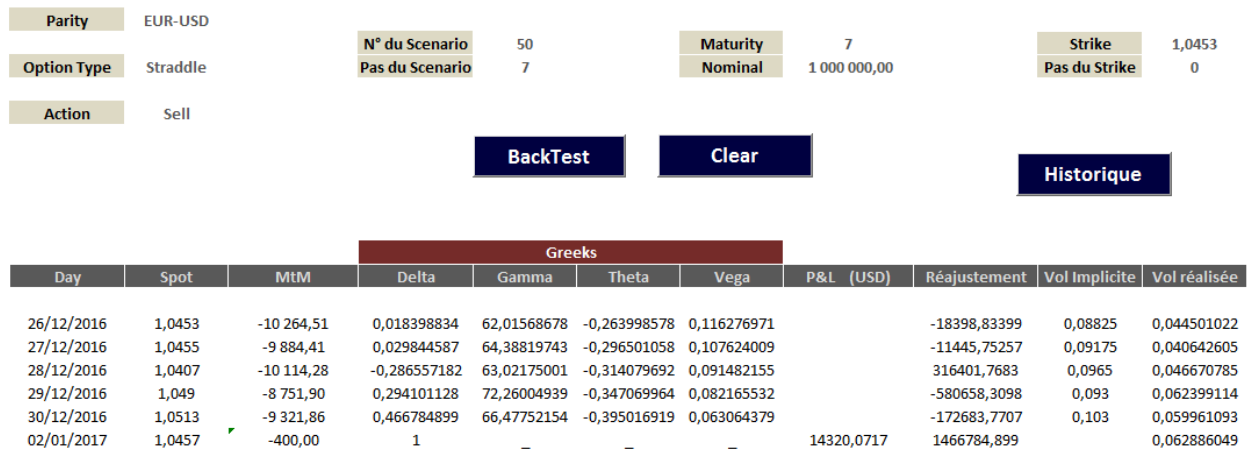


FIGURE 3.1 – Interface graphique VBA-Excel - Partie 1

Il s'agit en fait d'un pricer plus détaillé pour pouvoir donner le maximum d'information, pour chaque jour, du début jusqu'à la fin de la durée de vie de l'option, elle informe le trader sur les spots de chaque jour, les valeurs de l'option, les grecques, les réajustements ainsi que les deux volatilités, et ce selon les paramètres entrés par l'utilisateur.

Son rôle principal est de calculer le P&L de chaque position pour pouvoir s'en servir comme élément de prise de décision par la suite, ainsi que de pouvoir générer des scénarios qui dépendent des paramètres d'entrée et des objectifs du trader.

La deuxième partie de l'interface est celle qui sert à calculer la prime de risque à travers la modélisation EGARCH que nous avons effectué.

Des recherches ont montré que si la prime de risque était positive, il conviendrait mieux de vendre l'option au tout début vu qu'elle est plus susceptible de générer un P&L positif.

EGARCH(1,1)	
Omega	-0,053678
Alpha	-0,028482
Beta	0,994531
Gamma	0,08103
Vol Réalisée Estimée	0,04461267
Vol Implicite	0,08825
Implicite - Réalisée	0,04363733
Action	Sell
P&L	14320,0717

FIGURE 3.2 – Interface graphique VBA-Excel - Partie 2

Cette partie génère les coefficients du modèle EGARCH selon la parité choisie par le trader, et les applique aux données pour calculer la volatilité réalisée estimée et par la suite la prime de risque, remarquons que puisque cette dernière est positive alors la position à prendre c'est de vendre l'option. Elle nous a généré effectivement un P&L positif.

3.2 Pertinence du Gamma-Trading

Cette section vise à tester si la stratégie Gamma-Trading est pertinente ou pas, c'est à dire tester la pertinence d'exécuter automatiquement un ordre d'achat ou de vente en fonction du signe de la prime de risque au lieu de laisser libre choix au trader.

Nous avons pris 120 positions avec des paramètres d'entrée similaires et avons calculé le P&L global de ces positions selon qu'on ait inclut le signal automatique du Gamma-Trading, permettant de vendre ou d'acheter selon le signe de la prime de risque présente dans la 2ème partie de l'interface VBA, ou qu'on ne l'ait pas inclut.

La figure ci-dessous montre bien que le P&L global incluant le signal du Gamma-Trading est largement supérieur à celui qui n'inclut pas le signal. Il serait donc avantageux de s'en servir.

						Sans Signal			Avec Signal		
	Obs	Parity	Option Type	N° Scenario	Maturity	Action	P&L	P&L cumulé	Action	P&L	P&L cumulé
1											
2											
3											
4											
5											
6	1	EUR-USD	Straddle	1	7	Buy	-10168,0175	-10168,01745	Buy	-10168,0175	-10168,01745
7	2	EUR-USD	Straddle	2	7	Buy	-2537,78203	-12705,79948	Buy	-2537,78203	-12705,79948
8	3	EUR-USD	Straddle	3	7	Buy	-10692,6697	-23398,46917	Buy	10692,6697	-2013,1298
9	4	EUR-USD	Straddle	4	7	Buy	-5800,57643	-29199,0456	Sell	5800,57643	3787,446631
10	5	EUR-USD	Straddle	5	7	Buy	-14966,5803	-44165,62587	Sell	14966,5803	18754,0269
11	6	EUR-USD	Straddle	6	7	Buy	-14194,4993	-58360,12514	Sell	14194,4993	32948,52618
12	7	EUR-USD	Straddle	7	7	Buy	-15201,0103	-73561,13545	Sell	15201,0103	48149,53648
13	8	EUR-USD	Straddle	8	7	Buy	-11257,4415	-84818,57691	Sell	11257,4415	59406,97795
14	9	EUR-USD	Straddle	9	7	Buy	682,027258	-84136,54966	Sell	682,027258	60089,0052
117	112	EUR-USD	Straddle	2	30	Sell	6243,87177	-77694,16854	Buy	-6243,87177	354161,6872
118	113	EUR-USD	Straddle	3	30	Sell	-19420,3989	-97114,56748	Buy	-19420,3989	334741,2882
119	114	EUR-USD	Straddle	4	30	Sell	9651,6218	-87462,94567	Sell	9651,6218	344392,91
120	115	EUR-USD	Straddle	5	30	Sell	16029,797	-71433,14869	Sell	-16029,797	328363,113
121	116	EUR-USD	Straddle	6	30	Sell	18264,7779	-53168,37076	Buy	-18264,7779	310098,3351
122	117	EUR-USD	Straddle	7	30	Sell	-3220,23954	-56388,6103	Buy	3220,23954	313318,5746
123	118	EUR-USD	Straddle	8	30	Sell	3568,63165	-52819,97865	Buy	-3568,63165	309749,943
124	119	EUR-USD	Straddle	9	30	Sell	-6869,4788	-59689,45745	Buy	6869,4788	316619,4218
125	120	EUR-USD	Straddle	10	30	Sell	20093,3161	-39596,14	Buy	-20093,3161	296526,11

FIGURE 3.3 – Test du signal du Gamma-Trading

3.3 Détection d'autres signaux

Après avoir tranché sur le fait d'utiliser le signal du Gamma-Trading, voyons voir comment peut-on améliorer notre stratégie en utilisant d'autre signaux.

3.3.1 Signal sur le type de l'option

						CALL		PUT		STRADDLE	
	Obs	Parity	N° Scenario	Action	Maturité	P&L	P&L Cumulé	P&L	P&L Cumulé	P&L	P&L Cumulé
1											
2											
3											
4											
5											
6	1	EUR-USD	1	Buy	15	9827,44036	9827,440363	10158,2798	10158,27982	19985,7202	19985,72018
7	2	EUR-USD	2	Sell	26	-16117,0731	-6289,632695	31829,1245	41987,40434	15712,0515	35697,77164
8	3	EUR-USD	3	Buy	17	13340,5211	7050,888441	8763,97262	50751,37696	22104,4938	57802,2654
9	4	EUR-USD	4	Sell	33	-19070,2193	-12019,33082	17369,5209	68120,8979	-1700,68833	56101,57707
10	5	EUR-USD	5	Buy	22	-15303,2491	-27322,57995	20202,719	88323,61687	4899,46985	61001,04692
11	6	EUR-USD	6	Buy	26	19422,9605	-7899,619452	-2703,66324	85619,95364	16719,2973	77720,34419
12	7	EUR-USD	7	Sell	17	13254,3225	5354,703014	-1191,33054	84428,6231	12062,9919	89783,33611
13	8	EUR-USD	8	Sell	10	7489,72527	12844,42829	1932,80176	86361,42486	9422,51703	99205,85315
1496	1491	EUR-USD	1491	Sell	9	14564,0419	2534379,837	19749,0222	-743722,0175	34313,064	1790657,81
1497	1492	EUR-USD	1492	Sell	7	-8770,69751	2525609,14	-18466,0662	-762188,0837	-27236,7737	1763421,036
1498	1493	EUR-USD	1493	Buy	15	-28717,8667	2496891,273	36242,3057	-725945,778	7524,43903	1770945,475
1499	1494	EUR-USD	1494	Buy	24	17682,1947	2514573,468	-35704,5509	-761650,3289	-18022,3462	1752923,129
1500	1495	EUR-USD	1495	Buy	14	30774,1871	2545347,655	-24896,5595	-786546,8884	5877,62762	1758800,757
1501	1496	EUR-USD	1496	Sell	26	13507,192	2558854,847	-39612,2596	-826159,148	-26105,0676	1732695,689
1502	1497	EUR-USD	1497	Buy	9	-20879,7247	2537975,122	74625,2012	-751533,9469	53745,4765	1786441,165
1503	1498	EUR-USD	1498	Buy	12	5789,00434	2543764,127	26754,7253	-724779,2216	32543,7396	1818984,905
1504	1499	EUR-USD	1499	Sell	27	-4327,39474	2539436,732	-39203,7976	-763983,0191	-43531,1923	1775453,713
1505	1500	EUR-USD	1500	Buy	35	-39704,0105	2 499 732,72	51740,5115	- 712 242,51	12036,501	1 787 490,21

FIGURE 3.4 – Test du type de l'option choisi

D'après les résultats ci-dessus, nous pouvons dire que le choix à ne pas adopter est de choisir un Put. Cependant, un choix entre un Call et un Straddle n'est pas facile à faire vu que les autres paramètres de cette stratégie ne sont pas bien défini, comme la maturité par exemple.

3.3.2 Choix d'une position de vente uniquement

Généralement les market-makers, dans leur objectif de pricer les options, anticipent les volatilités implicites légèrement supérieures aux volatilités réalisées ce qui implique que généralement on a une prime de risque positive, ce qui fait que généralement on aura des positions de vente plus que d'achat.

Nous allons maintenant tester la pertinence de ce nouveau paramètre en prenant 50 observations (positions), en variant les maturités (7, 14, 21 et 30 jours) et en alternant entre Call et Straddle, et ce en comparant les P&L de la stratégie avec signal normal de Gamma-Trading et de la stratégie avec signal de Gamma-Trading impliquant la vente uniquement.

– Maturité 7 jours

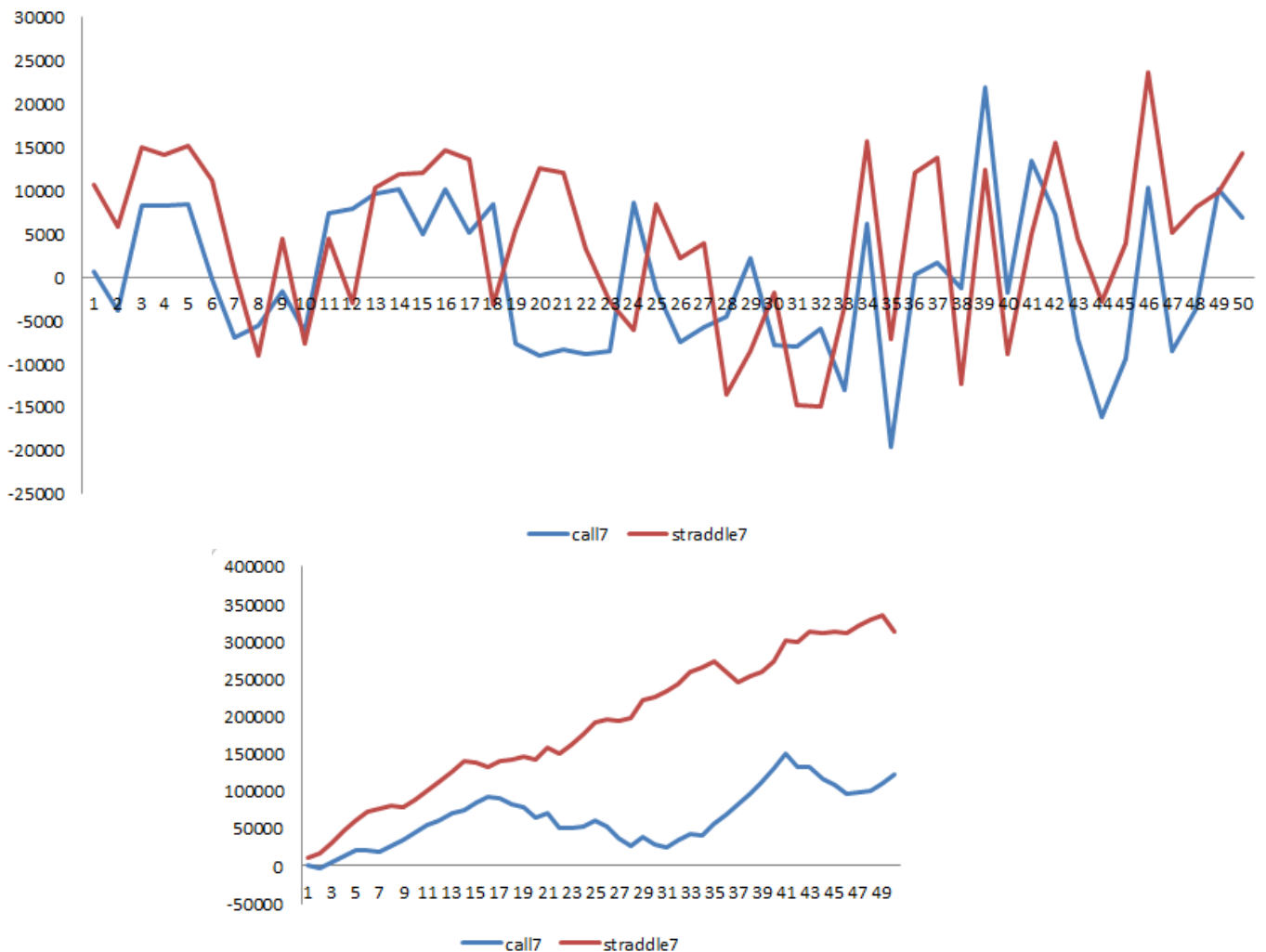


FIGURE 3.5 – Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 7 jours

Il est évident que le choix de positions vendeuses uniquement est meilleur que de

choisir des positions d'achat et de vente en même temps. Aussi, pour une maturité de 7 jours, un straddle est mieux placé pour donner plus de gains.

– Maturité 14 jours

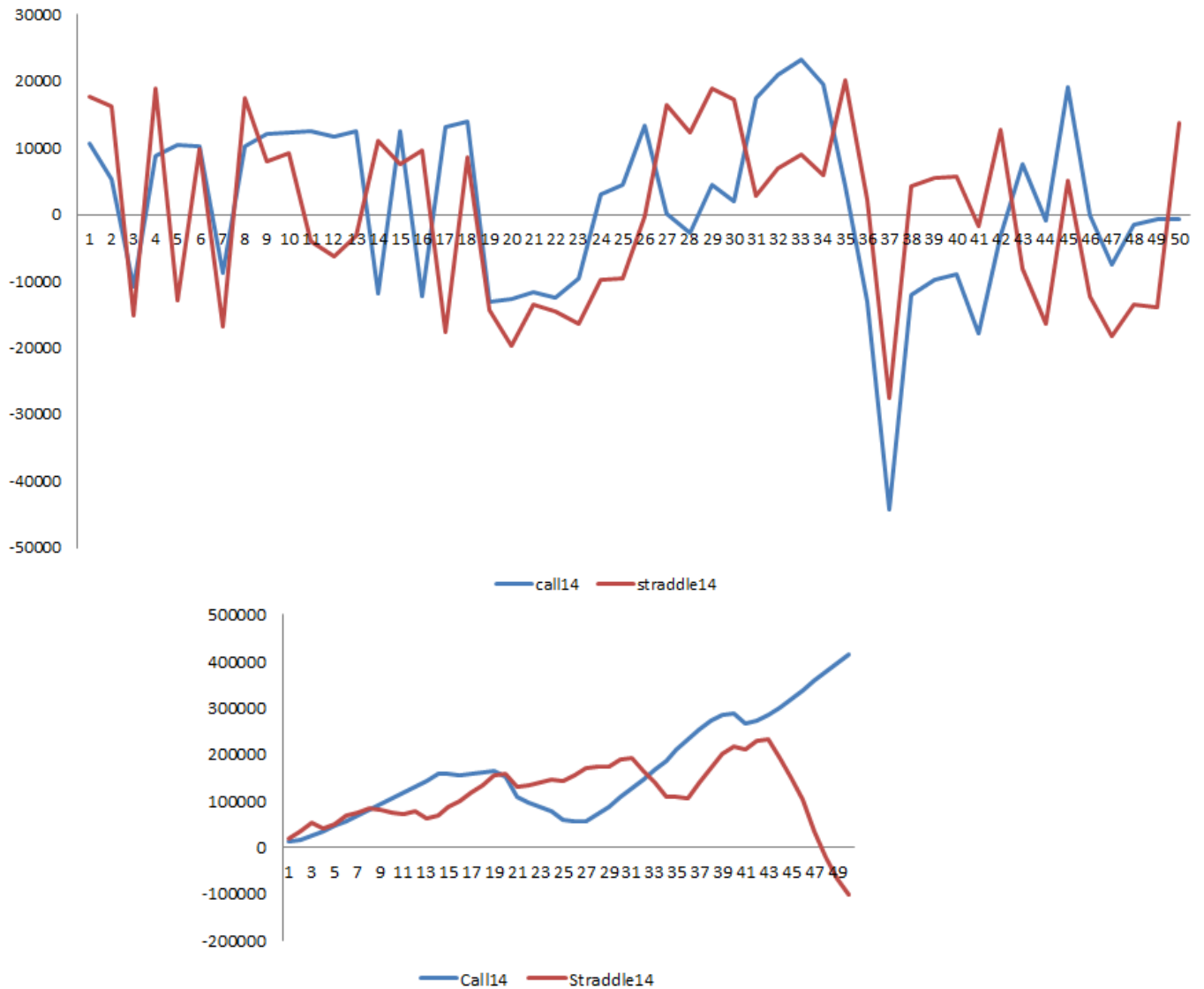


FIGURE 3.6 – Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 14 jours

Sur un long terme, c'est-à-dire sur de nombreuses positions, un call serait plus avantageux qu'un straddle, vu la tournure haussière que prend le call pour une maturité de 14 jours.

– Maturité 21 jours

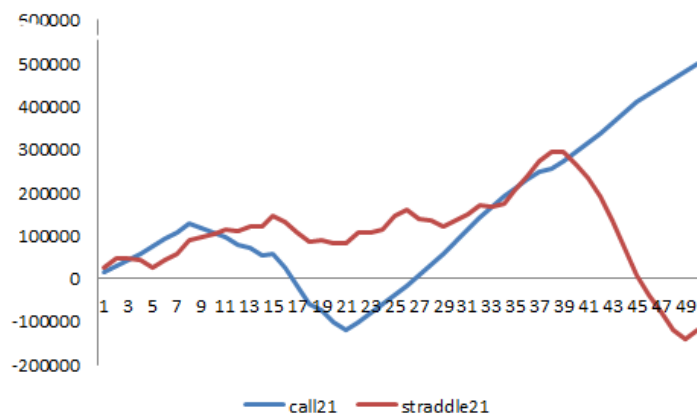
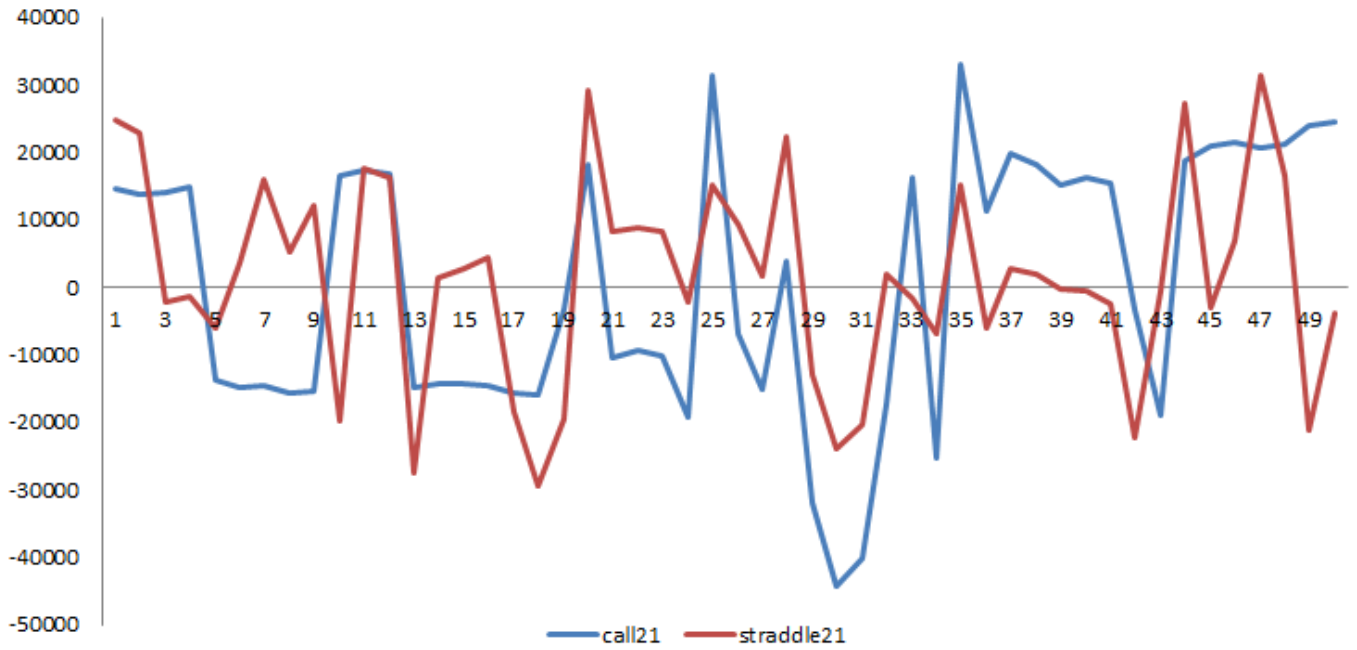


FIGURE 3.7 – Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 21 jours

De même que pour la maturité de 14 jours, si on est sur un long terme, il vaudrait mieux choisir un call plutôt qu'un straddle.

– Maturité 30 jours

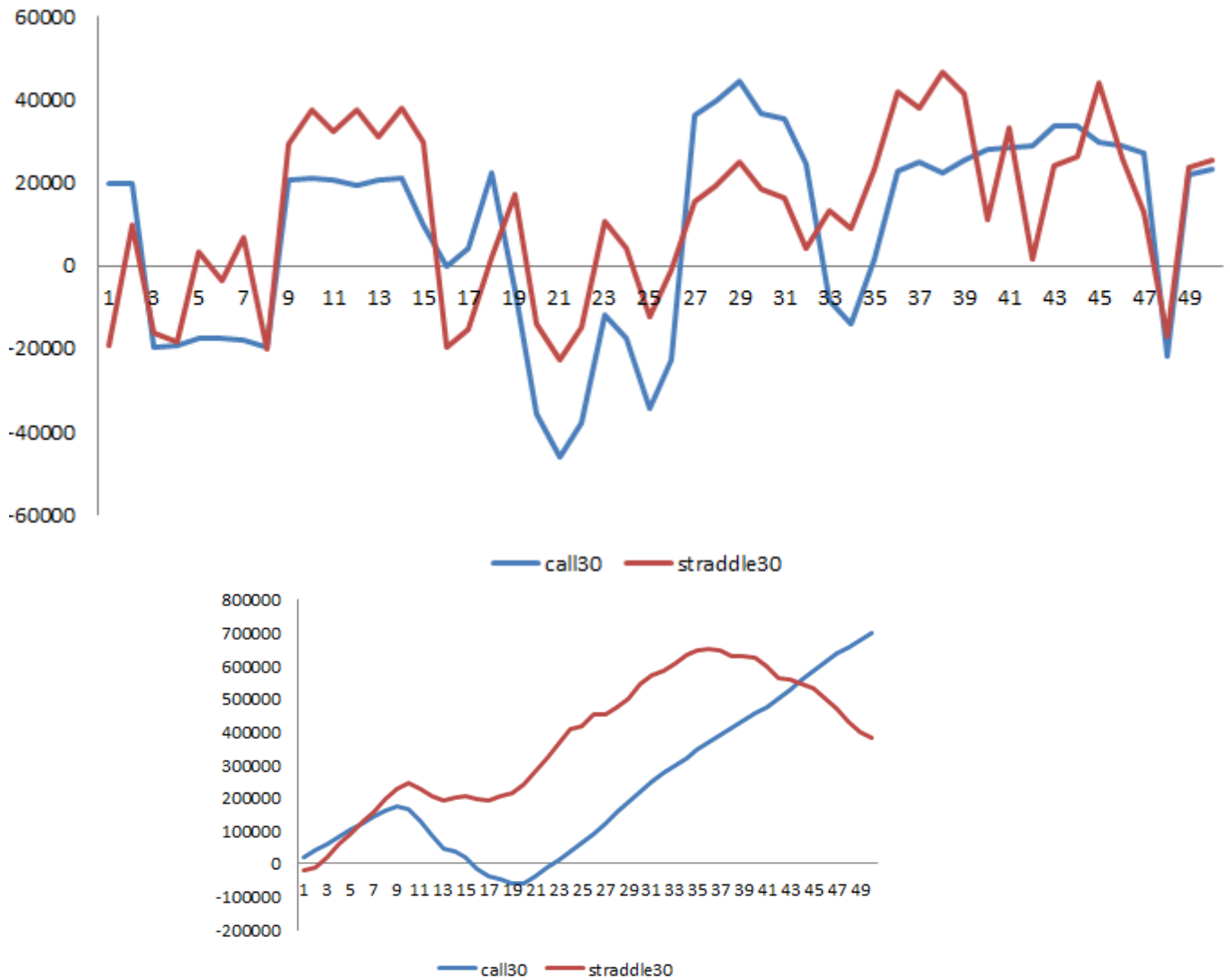


FIGURE 3.8 – Tester la position de vente uniquement sur une maturité de 30 jours

Ici, pour le long terme également, un call est bien plus profitable. Mais si on est sur du court terme, un straddle semble avoir nettement plus de gain.

Visualisons maintenant l'ensemble des combinaisons type d'option/maturité pour les positions de vente uniquement :

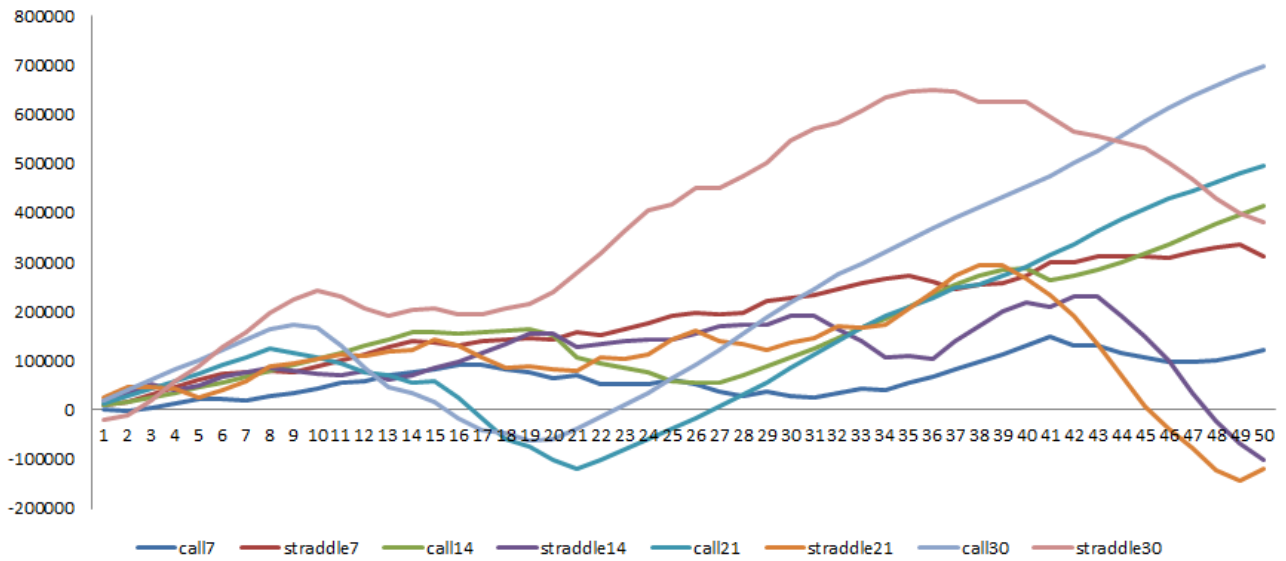


FIGURE 3.9 – Position de vente uniquement

Synthèse 1 :

- On peut remarquer à priori que pour toutes les maturités, il est plus profitable de ne choisir que des positions vendeuses vu qu'elle dégagent plus de gains et plus de stabilité.
- Pour choisir entre un call et un straddle, selon une certaine maturité, il faudrait d'abord connaître combien de fois le trader aimerait se positionner sur telle ou telle option car comme nous l'avons vu, les graphes peuvent être croissants et décroître d'un coup à partir d'une certaine position. D'où la nécessité d'implémenter un Stop Loss.

Synthèse 2 :

- Pour une maturité de 7 jours, quelque soit le nombre de positions dans lesquelles le trader souhaiterait entrer, la stratégie optimale qu'il pourrait adopter est de vendre uniquement des straddles.
- Si la maturité est autre que 7 jours, la bonne stratégie serait d'entrer sur *plusieurs* positions, uniquement vendeuses, de calls.

3.4 BackTesting et validation de la stratégie

Afin de sélectionner une stratégie optimale parmi les quatre stratégies candidates que nous avons gardé, nous avons généré 100 scénarios de vente de :

- Straddles de maturité 7 jours
- Calls de maturité 14 jours
- Calls de maturité 21 jours
- Calls de maturité 30 jours

Les P&L globaux de ces stratégies ont été représentés par le graphique ci-dessous pour mieux visualiser la meilleure stratégie entre les quatre.

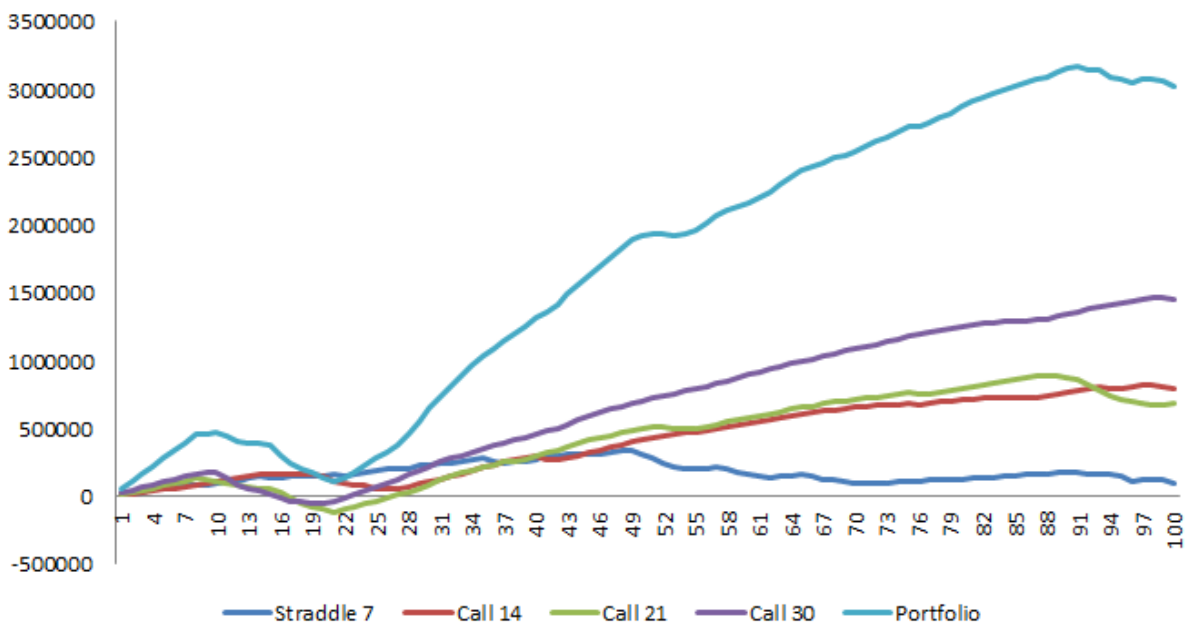


FIGURE 3.10 – Représentation des meilleures stratégies possibles

Conclusion :

- Il est clair que la stratégie qui rapporte le plus de gain est celle de vente de calls de maturité 30 jours.
- Si on fait la somme des P&L des quatre dernières stratégies candidates, nous obtiendrons un P&L global du portefeuille toujours positif, croissant, et ce quelque soit le nombre de positions prises par le trader. Ceci ne fait que prouver que ces 4 stratégies, combinées ensemble, ne peuvent engendrer que des gains qui augmentent au fur et à mesure que l'on se positionne d'avantage sur des options.

CONCLUSION

Dans cette partie, nous avons établi comme résultat une modélisation de la volatilité réalisée par le processus EGARCH(1,1), modélisation qui nous a permise de définir un signal d'entrée pour notre stratégie, et de détecter par la suite d'autres signaux ayant pour but de filtrer d'avantage les paramètres influençant sur le résultat de la stratégie.

Au final nous avons pu garder quatre stratégies permettant de générer d'éventuels gains individuellement, mais des gains certains une fois combinées.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au bout de trois mois de travail acharné, nous sommes arrivés au bout d'un stage éprouvant mais aussi riche en apprentissage. Notre projet consistait à mettre en place une stratégie de Trading sur les options de change, pour le compte propre de BMCE Capital Markets.

Après avoir exposé le cadre général du projet, en entamant une présentation de la salle des marchés de BMCE Capital, en donnant une brève introduction sur le marché des changes et en énonçant brièvement la problématique et les objectifs de ce projet, une étude approfondie a été faite afin de définir la démarche suivie pour l'implémentation d'une stratégie pour les options de changes.

Ce rapport a donné lieu à la mise en place de toute une série d'étapes qui consistent à faire des tests pour vérifier certaines propriétés statistiques, et d'autres qui consistent à modéliser la volatilité réalisée d'une paire de devise afin de l'utiliser pour définir le signal de déclenchement de la stratégie, et ce par le biais de la prime de risque que nous cherchons à prévoir.

Ainsi, plusieurs approches de modélisation ont été adoptées dans le cadre d'études similaires à celle de ce mémoire. Cependant, l'approche par les modèles GARCH/EGARCH a été choisie vue qu'elle présente beaucoup d'avantages par rapport aux autres.

Et finalement, concernant la détermination d'un signal pertinent d'entrée, une prévision de l'écart entre les volatilités réalisées et implicites a permis de poser des règles de décision pour concevoir un tel signal.

Par ailleurs, la réalisation de toutes ces étapes nous a permis de rassembler les informations nécessaires pour l'implémentation de notre stratégie. De ce fait, une élaboration d'une interface graphique a été faite pour le but de mettre en valeur notre travail et rendre

l'accès aux paramètres susceptibles de changer plus simple et plus automatique. Une variation d'un ou de plusieurs de ces paramètres impliquait un changement considérable au niveau du P&L.

Finallement, après avoir fait varier l'ensemble des paramètres pouvant avoir un impact sur la stratégie, et avoir élaboré plusieurs tests de pertinence à chaque fois qu'un de ces paramètres est changé, nous sommes arrivés à garder 4 stratégies qui peuvent être classifiées selon le type ou la maturité de l'option.

En guise de conclusion, le présent rapport porte sur la stratégie "Gamma-Trading", qui vise les options à courte durée de maturité. Nous aurions pu mettre une méthodologie pour implémenter des stratégies aussi pour les options à longue maturité, et ce en changeant complètement de vision et de raisonner en termes de Vega au lieu du Gamma.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- [1] Rapport Annuel BMCE Bank 2015
- [2] <https://www.bmcecapital.com/>
- [3] <http://www.lafinancepourtous.com/Decryptages/Mots-de-la-finance/Marche-des-changes-Forex>
- [4] HAFSA BOUMGHIT - Rapport de stage de 1ère Année Master, Chapitre 3 : le marché des changes ou Forex.
- [5] Enquête triennale BRI 2016 relative à l'activité sur les marchés des changes et des dérivés de gré à gré
- [6] https://www.lesechos.fr/02/09/2016/LesEchos/22268-107-ECH_le-marche-des-changes-stoppe-sa-folle-course-aux-records.htm
- [7] https://www.lesechos.fr/01/09/2016/lesechos.fr/0211247351618_devises—une-domination-moins-ecrasante-de-la-place-de-londres.htm
- [8] JOHN HULL - Options, futures et autres actifs dérivés.
- [9] CHRISTIAN FRANCO & JEAN-MICHEL ZAKOÏAN - Modèles GARCH et à volatilité stochastique.
- [10] MICHEL LUBRANO - Tests de Racine Unitaire.
- [11] CHRISTOPHE HURLIN - Econométrie pour la Finance, modèles ARCH-GARCH : Applications à la VaR.
- [12] BRONKA RZEPKOWSKI - Pouvoir prédictif de la volatilité implicite dans le prix des options de change.

[13] JEAN-BAPTISTE DESQUILBET - Cours gestion des risques de marché - Université d'Artois/Université de Lille 1.

[14] J.P.MORGAN - Trading FX volatility.

ANNEXE A

Stationnarité des cours et des rendements

```
. dfuller USDCAD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs   =    1597

          Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
          Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                        Value          Value          Value
-----
Z(t)          -43.626          -3.430          -2.860          -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller UUSDCAD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs   =    1597

          Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
          Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                        Value          Value          Value
-----
Z(t)          -0.148          -3.430          -2.860          -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.9444
```

FIGURE 3.11 – Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour EUR/GBP

```

. dfuller GBPUSD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                                Number of obs =    1597

      Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
      Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                    Value         Value         Value
-----
Z(t)                -40.858        -3.430        -2.860        -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller UGBPUSD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                                Number of obs =    1597

      Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
      Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                    Value         Value         Value
-----
Z(t)                -0.662        -3.430        -2.860        -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.8564

```

FIGURE 3.12 – Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour GBP/USD

```

. dfuller USDCAD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                                Number of obs =    1597

      Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
      Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                    Value         Value         Value
-----
Z(t)                -43.626        -3.430        -2.860        -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller UUSDCAD, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                                Number of obs =    1597

      Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
      Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                    Value         Value         Value
-----
Z(t)                -0.148        -3.430        -2.860        -2.570
-----
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.9444

```

FIGURE 3.13 – Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour USD/CAD

```

. dfuller USDJPY, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs =    1597

          Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
          Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                          Value         Value         Value
-----
Z(t)          -39.501          -3.430          -2.860          -2.570
-----

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

. dfuller UUSDJPY, lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root                Number of obs =    1597

          Test          ----- Interpolated Dickey-Fuller -----
          Statistic      1% Critical   5% Critical   10% Critical
                          Value         Value         Value
-----
Z(t)          -0.553          -3.430          -2.860          -2.570
-----

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.8812

```

FIGURE 3.14 – Test ADF - stationnarité des cours et des rendements pour USD/JPY

ANNEXE B

Autocorrélation des rendements et leur carré

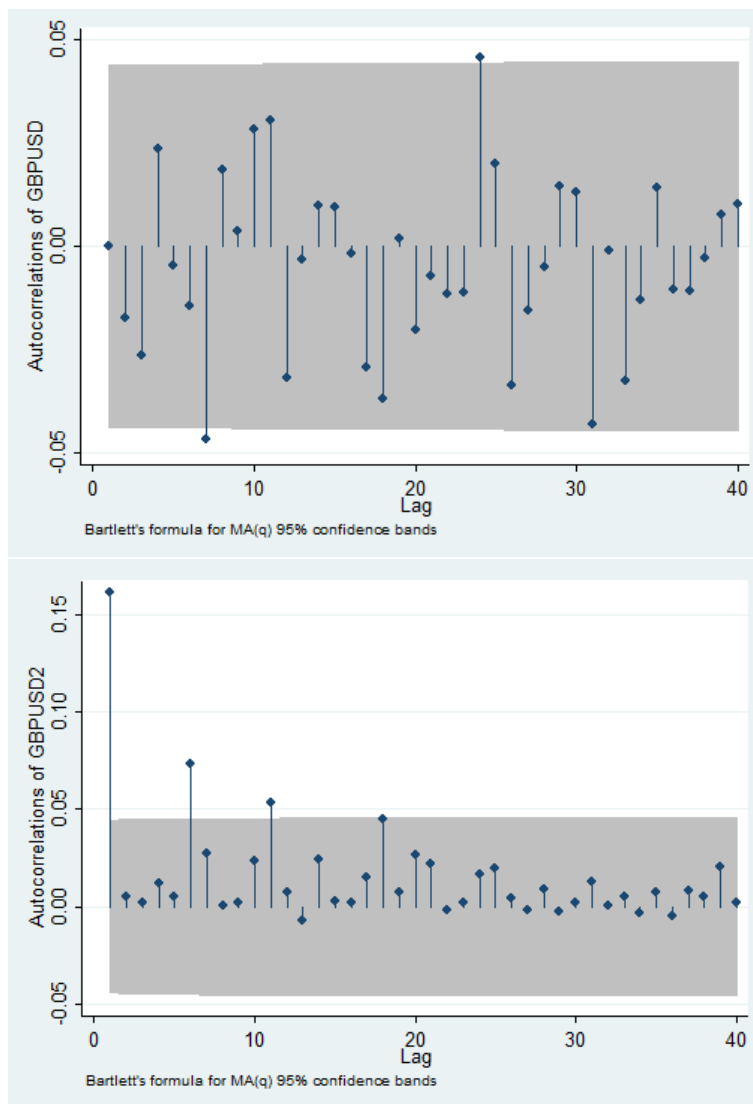


FIGURE 3.15 – Autocorrélation des rendements de GBP/USD et de leur carré

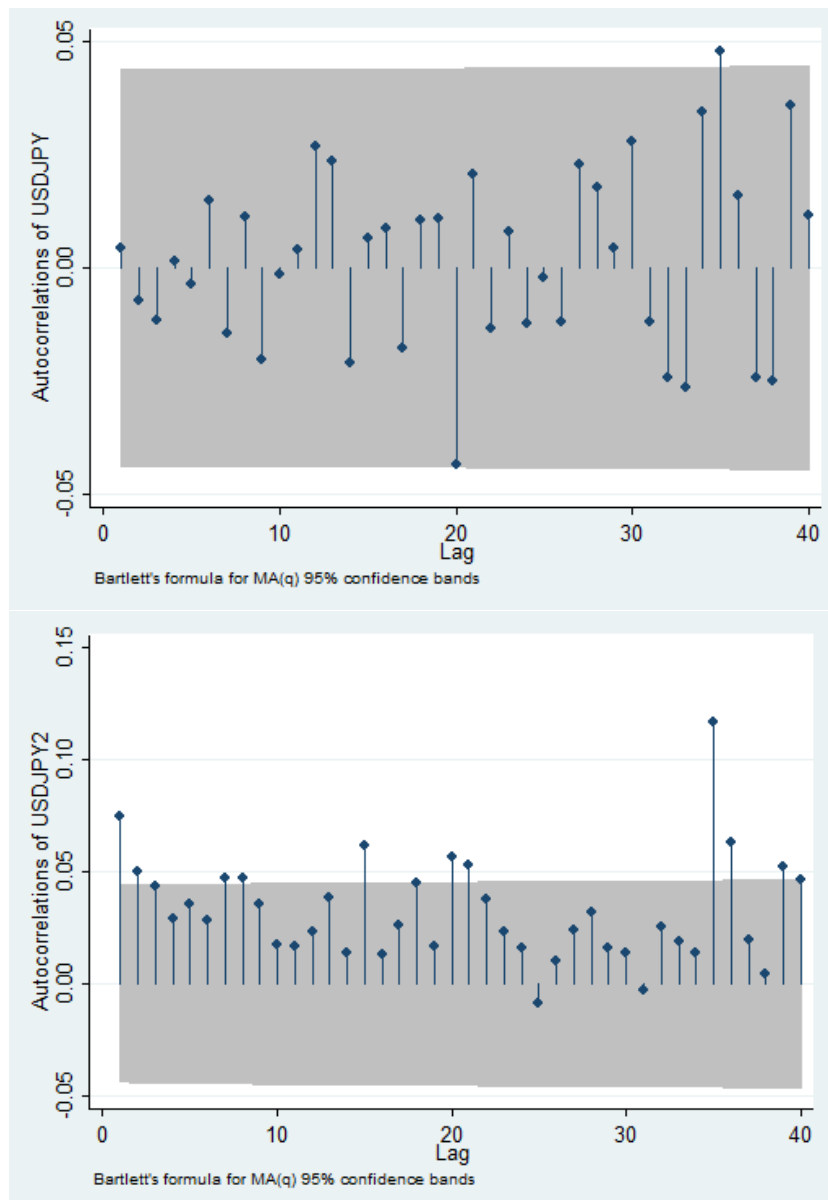


FIGURE 3.16 – Autocorrélation des rendements de USD/JPY et de leur carré

ANNEXE C

Test d'adéquation des rendements à la loi Student

```
> ks.test.t(data2$EURGBP)

      One-sample Kolmogorov-Smirnov test student-t with df=9.42, location=0, scale=0

data:  data2$EURGBP
D = 0.014072, p-value = 0.8242
alternative hypothesis: two-sided

> ks.test.t(data2$GBPUSD)

      One-sample Kolmogorov-Smirnov test student-t with df=6.56, location=0, scale=0

data:  data2$GBPUSD
D = 0.021577, p-value = 0.3106
alternative hypothesis: two-sided

> ks.test.t(data2$USDCAD)

      One-sample Kolmogorov-Smirnov test student-t with df=9.04, location=0, scale=0

data:  data2$USDCAD
D = 0.018479, p-value = 0.5031
alternative hypothesis: two-sided
```

FIGURE 3.17 – Test d'adéquation à la loi de Student

ANNEXE D

Test de normalité des rendements standardisés

Tests de normalité

	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk	
	Statistiques	Sig.	Statistiques	Sig.
EURUSD	,107	,200 [*]	,979	,710
GBPUSD	,113	,200 [*]	,927	,020
USDJPY	,121	,200 [*]	,973	,509
USDCAD	,089	,200 [*]	,958	,180
AUDUSD	,084	,200 [*]	,983	,841
EURGBP	,113	,200 [*]	,929	,023
EURJPY	,113	,200 [*]	,974	,531
EURCAD	,110	,200 [*]	,972	,488
EURAUD	,101	,200 [*]	,983	,845

*. Il s'agit de la borne inférieure de la vraie signification.

a. Correction de signification de Lilliefors

FIGURE 3.18 – Test de normalité des rendements standardisés

ANNEXE E

Estimation modèle EGARCH(1,1)

```
|
*-----*
*           GARCH Model Fit           *
*-----*

Conditional Variance Dynamics
-----
GARCH Model      : eGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,0)
Distribution      : norm

Optimal Parameters
-----
      Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)
mu        -0.000130   0.000146  -0.89142  0.372706
omega     -0.261609   0.030296  -8.63511  0.000000
alpha1    -0.047852   0.014981  -3.19414  0.001402
beta1     0.972521   0.002925  332.46522  0.000000
gamma1    0.167259   0.026549   6.29997  0.000000

Robust Standard Errors:
      Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)
mu        -0.000130   0.000167  -0.78015  0.435304
omega     -0.261609   0.077635  -3.36973  0.000752
alpha1    -0.047852   0.029388  -1.62827  0.103468
beta1     0.972521   0.007348  132.35363  0.000000
gamma1    0.167259   0.076861   2.17612  0.029546

LogLikelihood : 7069.58

Information Criteria
-----

Akaike        -7.0787
Bayes         -7.0647
Shibata       -7.0788
Hannan-Quinn -7.0736
```

FIGURE 3.19 – Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) EUR/JPY

```

*-----*
*           GARCH Model Fit           *
*-----*

Conditional Variance Dynamics
-----
GARCH Model      : eGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,0)
Distribution      : norm

Optimal Parameters
-----
      Estimate  Std. Error   t value  Pr(>|t|)
mu         0.000109   0.000128   0.85280  0.39377
omega     -0.147205   0.013050  -11.27997 0.00000
alpha1     0.007370   0.012563   0.58663  0.55745
beta1      0.985724   0.001182  834.03352 0.00000
gamma1     0.145647   0.020114   7.24116  0.00000

Robust Standard Errors:
      Estimate  Std. Error   t value  Pr(>|t|)
mu         0.000109   0.000163   0.67209  0.501523
omega     -0.147205   0.038300  -3.84348 0.000121
alpha1     0.007370   0.032081   0.22972  0.818309
beta1      0.985724   0.003626  271.86366 0.000000
gamma1     0.145647   0.046037   3.16368  0.001558

LogLikelihood : 7706.821

Information Criteria
-----
Akaike          -7.7173
Bayes           -7.7032
Shibata         -7.7173
Hannan-Quinn   -7.7121

```

FIGURE 3.20 – Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) EUR/GBP

```

*-----*
*           GARCH Model Fit           *
*-----*

Conditional Variance Dynamics
-----
GARCH Model      : eGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,0)
Distribution      : norm

Optimal Parameters
-----
      Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)
mu      -0.000095   0.000060   -1.5765  0.114910
omega   -0.089765   0.000731  -122.7500 0.000000
alpha1  -0.046752   0.009479   -4.9321  0.000001
beta1    0.990664   0.000140  7089.2483 0.000000
gamma1   0.094162   0.005081   18.5329  0.000000

Robust Standard Errors:
      Estimate  Std. Error  t value  Pr(>|t|)
mu      -0.000095   0.000025   -3.7577  0.000171
omega   -0.089765   0.002206  -40.6996 0.000000
alpha1  -0.046752   0.010777   -4.3381  0.000014
beta1    0.990664   0.000160  6183.5158 0.000000
gamma1   0.094162   0.003220   29.2430  0.000000

LogLikelihood : 7109.252

Information Criteria
-----

Akaike      -7.1185
Bayes       -7.1045
Shibata     -7.1185
Hannan-Quinn -7.1133

```

FIGURE 3.21 – Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) AUD/USD

```

|
*-----*
*           GARCH Model Fit           *
*-----*

Conditional Variance Dynamics
-----
GARCH Model      : eGARCH(1,1)
Mean Model       : ARFIMA(0,0,0)
Distribution      : norm

Optimal Parameters
-----
      Estimate  Std. Error   t value  Pr(>|t|)
mu        -0.000027   0.000103   -0.25942  0.79531
omega     -0.086310   0.000621  -138.96573  0.00000
alpha1    0.050362   0.009075    5.54972  0.00000
beta1     0.991634   0.000178  5578.79797  0.00000
gamma1    0.087444   0.002858   30.59769  0.00000

Robust Standard Errors:
      Estimate  Std. Error   t value  Pr(>|t|)
mu        -0.000027   0.000105   -0.2543  0.799261
omega     -0.086310   0.002947  -29.2875  0.000000
alpha1    0.050362   0.010967    4.5919  0.000004
beta1     0.991634   0.000238  4166.0001  0.000000
gamma1    0.087444   0.009878    8.8520  0.000000

LogLikelihood : 7714.023

Information Criteria
-----

Akaike          -7.7245
Bayes           -7.7104
Shibata         -7.7245
Hannan-Quinn   -7.7193

```

FIGURE 3.22 – Estimation des paramètres pour le modèle EGARCH(1,1) USD/CAD

