



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

\*\*\*\*\*

La Value-at-Risk historique appliquée aux  
portefeuilles actions, BDT et devises

Préparé par : Imane GUEROUATE  
Youness CHAHDI

Sous la direction de : **M. Fouad MARRI** (INSEA)  
**M. Tarik SAADNI** (CDG Capital Group)

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

**Diplôme d'Ingénieur d'Etat**

**Option : Actuariat - Finance**

*Devant le jury composé de :*

**M. Yassine EL QALLI** (INSEA)  
**M. Fouad MARRI** (INSEA)  
**M. Tarik SAADNI** (CDG Capital Group)



## Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont soutenu et épaulé tout au long de mon cursus.

A mes parents,

Qui se sont montrés patients et compréhensifs et qui n'ont cessé de m'encourager et de me soutenir. J'en profite pour leur témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude et les remercie pour tout l'amour qu'ils m'ont donné.

A ma sœur et mon frère,

Qui m'ont soutenu et dont je suis très fière, merci d'exister.

A mes amis,

Qui ont toujours été là pour moi dans nos délires comme dans les moments les plus durs. Merci.

A la défunte Mariam Azzouzi,

Depuis ton départ rien n'est plus pareil. On te portera dans nos cœurs.

## Dédicace

**« If I have seen far, it is by standing on the shoulders of giants »**

**-Isaac newton-**

*To my family.*

**How long would it take us to forget you?**

**Never.**

*To our dear beloved departed friend Meriam Azzouzi.*

## Remerciements

Avant d'en venir à l'expérience en elle-même, il apparaît opportun d'entamer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui nous ont énormément appris tout au long de notre période de stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très agréable.

Aussi, nous remercions Monsieur Fouad Marri et Monsieur Tarik SAADNI qui nous ont encadré et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience.

Enfin nous remercions l'ensemble des employés qui nous ont prêté main forte à chaque instant et grâce auxquels nous avons pu mener notre stage à bien.

Nous remercions spécialement Monsieur Anas SEDRATI ainsi que Monsieur Jihad TAWFIQ pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de ces deux mois. Leur aide nous a été précieuse et surtout d'un grand secours.

## Remerciements

## Résumé

Ce travail avait pour objectif de traiter la problématique relative aux fonds propres requis pour couvrir les risques relatifs aux activités de marchés d'une banque. En effet, les banques sont exposées à divers risques de marchés et doivent se prémunir contre ces derniers en prévoyant des fonds propres de couverture.

L'intérêt a été porté à la Value at Risk historique, qui rentre dans le cadre de l'approche modèle interne présentée comme une alternative à l'approche standard, dans la détermination des exigences en fonds propres.

La VaR historique a donc été appliquée aux différents portefeuilles d'instruments financiers à savoir : actions, BDT et devises, afin de permettre le calcul des exigences en fonds propres et les comparer aux exigences en fonds propres calculées selon l'approche standard pour pouvoir déterminer l'approche la moins consommatrice en fonds propres et donc la plus adaptée aux banques.

Mots clés : VaR, Approche modèle interne, Approche standard, Bâle 2, Exigences en fonds propres, Backtesting, Risques de marchés.

## Abstract

This paper comes as an answer to the problematical issue concerning the bank's own funds requirements to cover its multiple market risks. It goes without saying that in order for a bank to run sanely, an effective overseeing risk management strategy that is enabled to forecast the adequate funds for hedging purposes is to be wisely implemented. Emphasis is laid on the internal model approach, more specifically on the historical method of computing the Value at Risk which is a more eligible replacement to the standards approach in terms of minimizing the bank's own funds requirements.

Consequently, the historical VaR has been applied to equities, treasury bonds and currencies portfolios not only in purpose of determining the bank's own funds requirements but also to judge of the efficiency of the internal model approach in comparison with the standards approach.

Keywords: VaR, Internal model approach, Standards approach, Basel 2, Funds requirements, Backtesting, Market risks.

## Liste des abréviations

CDG: Caisse de Dépôt et de Gestion

VaR : Value at Risk

EFP : Exigences en Fonds Propres

BDT : Bons du Trésor

BAM : Bank Al Maghrib

P&L : Profit and Loss

OPCVM : Organisme de Placement Collectif en Valeurs Mobilières

## Liste des tableaux

Tableau 1: Coefficients de pondérations des lignes de métiers .....	25
Tableau 2: Pondérations de la méthode de l'échéancier .....	38
Tableau 3: Nombres de dépassements du Backtesting .....	44
Tableau 4: Les conditions d'admission aux marchés actions .....	72
Tableau 5: Portefeuille actions .....	75
Tableau 6: Valeur de marché du portefeuille et P&L .....	75
Tableau 7: VaR historique à horizon 1 jour pour le portefeuille actions .....	76
Tableau 8: VaR à horizon 10 jours pour le portefeuille actions.....	77
Tableau 9: Récapitulatif des vecteurs qui serviront dans le calcul de la VaR paramétrique ...	79
Tableau 10: Calcul du R-Rm.....	79
Tableau 11: Matrice de variance-covariance du portefeuille actions.....	79
Tableau 12: Calcul de vecteurs .....	80
Tableau 13: VaR paramétrique à horizon 1 jour pour le portefeuille actions .....	80
Tableau 14: VaR paramétrique à horizon 10 jours pour portefeuille actions .....	81
Tableau 15: Vecteurs Z de la simulation de MC.....	83
Tableau 16: Matrice de variance-covariance du portefeuille actions.....	83
Tableau 17: Matrice de Cholesky portefeuille actions.....	84
Tableau 18: Le vecteur Rendements des actifs .....	84
Tableau 20: Cours simulés des actifs .....	85
Tableau 21: P&L du portefeuille actions .....	86
Tableau 22: VaR MC à horizon 1 jour .....	86
Tableau 23: VaR MC à horizon 10 jours .....	87
Tableau 24: Tableau des flux financiers de l'obligation.....	94
Tableau 25: Amortissement constant .....	103
Tableau 27: Amortissement à annuités constantes.....	104
Tableau 28: Valeurs de marché des BDT.....	107
Tableau 30: VaR historique à horizon 1 jour du portefeuille BDT.....	108
Tableau 31: VaR historique à horizon 10 jours du portefeuille BDT .....	109
Tableau 32: Prix ZC et rendements.....	110
Tableau 33: Vecteur moyenne des rendements.....	111
Tableau 34: Matrice variance-covariance .....	111
Tableau 35: Vecteurs servant au calcul de la VaR.....	112
Tableau 36: VaR paramétrique à horizon 1 jour .....	112
Tableau 37: VaR paramétrique à horizon 10 jours.....	113

Tableau 38: Le vecteur normal Z des facteurs de risque.....	115
Tableau 39: Matrice de Cholesky.....	115
Tableau 40: Rendements simulés.....	116
Tableau 41: Taux ZC de référence.....	116
Tableau 42: Taux ZC simulés.....	116
Tableau 43: VaR MC à horizon 1 jour appliquée au portefeuille BDT.....	117
Tableau 44: VaR MC à horizon 10 jours appliquée au portefeuille BDT.....	118
Tableau 45: Codes ISO des devises.....	122
Tableau 46: Positions relatives aux différentes devises.....	129
Tableau 47: Valeurs journalières du portefeuille.....	129
Tableau 48: P&L du portefeuille.....	130
Tableau 49: VaR à horizon 1 jour.....	130
Tableau 50: VaR à horizon 10 jours.....	131
Tableau 51: Test de Jarque-Bera sur la devise CAD.....	132
Tableau 52: Vecteur moyenne des rendements.....	133
Tableau 53: Vecteur R-Rm.....	133
Tableau 54: Matrice de variance-covariance.....	133
Tableau 55: Vecteur servant au calcul de la VaR paramétrique.....	134
Tableau 56: VaR paramétrique à horizon 1 jour.....	134
Tableau 57: VaR paramétrique à horizon 10 jours.....	135
Tableau 58: Le vecteur normal Z.....	137
Tableau 59: Matrice Cholesky portefeuille devises.....	138
Tableau 60: Matrice variance-Covariance.....	138
Tableau 61: Vecteur des rendements.....	139
Tableau 62: Cotations de référence et positions.....	139
Tableau 63: Prix simulés.....	140
Tableau 64: P&L du portefeuille de devises.....	141
Tableau 65: VaR à 1 jour d'horizon.....	141
Tableau 66: VaR à 10 jours d'horizon.....	142
Tableau 67: Zones de dépassements du Backtesting.....	147

## Liste des figures

Figure 1: Pilier 1 Exigence minimale de fonds propres .....	23
Figure 2: architecture de Bâle III .....	29
Figure 3: Représentation graphique de la VaR .....	48
Figure 4: Test ADF sur l'action Addoha .....	74
Figure 5: Test statistique appliqué à Afriquia gaz.....	78
Figure 6: Test de Jarque-Bera sur action BMCE .....	82
Figure 7: Cash flows de l'obligation OAT 4% 25/04/2014.....	94
Figure 8: Coupon couru de l'obligation.....	95
Figure 9: Schéma expliquant l'origine du taux ZC.....	98
Figure 10: Interface de téléchargement des ON et de la courbe BAM .....	100
Figure 11: Interface de l'interpolation linéaire .....	101
Figure 12: Interface de calcul de la courbe ZC .....	102
Figure 13: Interface du pricer.....	105
Figure 14: Dirty price, clean price .....	105
Figure 15: Test ADF sur 1 Month.....	106
Figure 16: Portefeuille obligataire.....	107
Figure 17: Test Jarque-Bera sur 1 Month.....	110
Figure 18: Test Jarque-Bera sur 1 Month.....	114
Figure 19: Cotation du Dollar contre le Yen.....	123
Figure 20: Interface du pricer de cotations de change au comptant (Interbank).....	126
Figure 21: Interface du pricer de cotations de change au comptant (Clientèle).....	127
Figure 22: Facteurs de risque relatifs au portefeuille.....	128
Figure 23: ADF sur la devise CAD .....	128
Figure 24: test de Jarque Bera sur CAD.....	136
Figure 25: Crises historiques.....	148
Figure 26: Comparaison entre la moyenne des tests historiques et ceux théoriques .....	150
Figure 27: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille actions .....	153
Figure 28: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille de BDT .....	154
Figure 29: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille de devises .....	155
Figure 30: EFP du portefeuille actions selon l'approche historique.....	156
Figure 31: EFP du portefeuille BDT selon l'approche historique .....	156
Figure 32: EFP du portefeuille de devises selon l'approche historique.....	157
Figure 33: EFP du portefeuille actions selon l'approche standard .....	158

## Liste des figures

Figure 34: EFP du portefeuille de BDT selon l'approche standard.....	158
Figure 35: EFP du portefeuille de BDT selon l'approche standard.....	159
Figure 36: Comparaison des deux approches pour le portefeuille actions.....	159
Figure 37: Comparaison des deux approches pour le portefeuille BDT .....	159
Figure 38: Comparaison des deux approches pour le portefeuille de devises.....	160

## Table des matières

Dédicace .....	3
Dédicace .....	4
Remerciements .....	5
Résumé .....	7
Abstract.....	8
Liste des abréviations .....	9
Liste des tableaux .....	10
Liste des figures.....	12
Table des matières .....	14
Introduction générale.....	14
Partie I : Evolution de la réglementation bancaire et Value at Risk .....	15
Chapitre 1 : Dispositif prudentiel du comité Bâle.....	17
Section 1 : Les accords de Bâle.....	18
Section 2 : Risque de marché .....	33
Chapitre 2 : Approche théorique de la Value at Risk (VaR).....	45
Section 1: La Value at Risk, .....	46
Section 2 : La VaR Paramétrique .....	51
Section 3 : La VaR historique .....	58
Section 4 : La VaR Monté Carlo .....	61
Partie II : Application de la VaR aux différents portefeuilles et validation du modèle VaR.....	67
Chapitre 1 : Application de la VaR aux différents portefeuilles.....	69
Section 1 : Application de la VaR à un portefeuille actions .....	70
Section 2 : Application de la VaR à un portefeuille obligataire.....	88
Section 3 : Application de la VaR a un portefeuille de change.....	119
Chapitre 2 : Validation du modèle VaR .....	144
Section 1 : Dispositif de contrôle .....	145
Section 2 : Application du Backtesting .....	152
Section 3 : Comparaison entre l’approche standard et l’approche modèle interne .....	156

Conclusion générale .....	163
Bibliographie.....	164
Annexe 1 : Présentation de l'organisme.....	165
Annexe 2 : Tests statistiques .....	170

## Introduction générale

L'environnement économique et financier a subi diverses mutations au fil du temps. L'impact fut tel, que la dernière crise financière en date a eu des répercussions qui se font encore sentir aujourd'hui. Parmi les facteurs responsables de ces krachs financiers on retrouve la réglementation peu sévère ainsi que la mauvaise gouvernance du risque.

C'est dans cette optique que le comité de Bâle fut créé et chargé de renforcer la sécurité et la stabilité des systèmes financiers en établissant des standards minimaux en matière de contrôle prudentiel.

Ce débat réglementaire sur la gestion du risque visant à répondre aux exigences prudentielles définies par les accords émanant du comité de Bâle, met l'accent sur l'un des principaux éléments permettant aux institutions financières de se prémunir contre le risque : les fonds propres. En effet, toute institution financière se doit d'allouer des fonds propres à la couverture des divers risques inhérents à ses activités financières. Dans les accords de Bâle, une première approche forfaitaire dite « approche standard » fut évoquée. Or les fonds propres dédiés à la couverture des risques ne sont pas très rémunérateurs pour les actionnaires et donc toute institution financière cherche à optimiser cette allocation de fonds propres à la couverture des risques. L'objectif de ce travail est donc de prouver que la nouvelle approche modèle interne, principalement le modèle Value at Risk, permet de faire des économies en fonds propres.

Ce rapport s'articule autour de deux parties, une première partie théorique traitant des accords de Bâle, des risques de marchés et du concept de la Value at Risk. La seconde partie est la partie pratique du rapport où est appliquée la Value at Risk historique aux différents portefeuilles : actions, BDT et devises, et où sont calculées les exigences en fonds propres selon l'approche standard ainsi que l'approche modèle interne afin de pouvoir les comparer et en déterminer la moins consommatrice en fonds propres pour une institution financière.

## **Partie I : Evolution de la réglementation bancaire et Value at Risk**

La première partie de ce rapport sera dédiée à la présentation du dispositif prudentiel adopté par le comité de Bâle suite à la globalisation des marchés, et dont l'objectif principal est d'uniformiser le cadre réglementaire bancaire international, permettant ainsi de renforcer et de fiabiliser le système financier et de standardiser le contrôle prudentiel. Les différents accords de Bâle y seront traités témoignant ainsi de l'évolution du cadre réglementaire bancaire international.

Aussi, la dimension du risque est l'un des aspects traités dans cette partie, étant donnée l'importance de ce dernier dans l'environnement financier. En effet, le risque, et plus exactement le risque de marché, est un élément dont la mauvaise gestion a entraîné plusieurs crises au fil des décennies et aujourd'hui la bonne gouvernance du risque est au centre de tous les débats.

Enfin, et dans le cadre des accords de Bâle, sera traitée la Value at Risk qui est une mesure de risque introduite comme l'un des modèles internes qui peuvent éventuellement être adoptés par des banques sous réserve de l'obtention d'un accord de l'autorité de contrôle.

## ***Chapitre 1 : Dispositif prudentiel du comité Bâle***

Ce chapitre traitera du dispositif prudentiel du comité de Bâle qui n'a cessé d'évoluer afin d'accompagner les banques dans un environnement financier fortement exposé à diverses fluctuations.

Aussi, sera traité le risque de marché et les différentes façons de se prémunir contre celui-ci en prévoyant des fonds propres dédiés à sa couverture.

Le chapitre sera scindé en deux sections :

Section 1 : Dispositif prudentiel

Section 2 : La Value at Risk théorique

## ***Section 1 : Les accords de Bâle***

### *1.1 - Création du Comité de Bâle*

Les activités bancaires sont soumises à une réglementation bancaire. Cette dernière émane de différentes autorités de tutelle, planétaire avec les traités internationaux et nationales avec les lois et règlements. Cette réglementation vise à soutenir la solidité et l'intégrité des établissements de crédits en leur édictant des normes prudentielles.

La globalisation des marchés a contraint les autorités nationales à se concerter afin d'uniformiser les règles de fonctionnement des marchés, des banques et institutions financières. Faute de cette harmonisation, les établissements se sont livrés à « l'arbitrage réglementaire » qui consiste à délocaliser certaines activités dans des pays plus complaisants. C'est pour cette raison que la réglementation est de plus en plus négociée à un niveau international, puis transposée en droit national par chaque Etat. Le Comité de Bâle en est l'exemple le plus frappant.

Le Comité de Bâle ou BCBS (Basel Committee of Banking Supervision) a été institué en 1974 par les gouverneurs des banques centrales du G10. Le comité était initialement appelé « le Comité Coke », du nom de Peter Cooke, directeur de la Banque d'Angleterre qui avait été un des premiers à proposer sa création et fut son premier président. Il a pour missions:

- Le renforcement de la sécurité et de la fiabilité du système financier ;
- L'établissement de standards minimaux en matière de contrôle prudentiel ;

---

<sup>1</sup> Le G10 : « Groupe des dix » se compose des pays suivants : Allemagne, Belgique, Canada, Etats-Unis, France, Italie, Japon, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

- La diffusion et la promotion de meilleures pratiques bancaires et de surveillance ;
- La promotion de la coopération internationale en matière de contrôle prudentiel.

Le comité se compose aujourd'hui de représentants des banques centrales et des autorités prudentielles de 27 pays<sup>2</sup>. Ses travaux ont abouti à la publication de trois grands accords : Bâle I en 1988, Bâle II en 2004 et Bâle III en 2010.

### 1.2 - L'accord Bâle I

L'accord de Bâle de 1988 ou Bâle I, établissait un minimum d'exigence de couverture des risques de crédits par les fonds propres. Ce minimum a été fixé en mettant en place un ratio minimal de 8% des fonds propres par rapport à l'ensemble des crédits accordés par les banques. La formule du ratio, appelé aussi ratio Cooke, est :

$$\text{Ratio Cooke} = \frac{\text{Total des fonds propres}}{\text{Risque de crédit}} \geq 8\%$$

Ce ratio s'est vu modifiée avec l'avènement de l'amendement de 1996, une partie du risque de marché est venu s'ajouter au risque de crédit. La formule du ratio Cooke devient :

$$\text{Ratio Cooke} = \frac{\text{Total des fonds propres}}{\text{Risque de crédit} + \text{Capital requis pour couverture du risque de marché}} \geq 8\%$$

Au numérateur du ratio : sont inclus dans le calcul des fonds propres réglementaires les fonds propres de base, les fonds propres complémentaires

---

<sup>2</sup> Aux onze pays du G10 se sont ajoutés les pays suivants : Le Luxembourg, l'Espagne, l'Australie, le Brésil, la Chine, la Corée, l'Inde, le Mexique, la Russie, Hong Kong, Singapour, l'Afrique du Sud, l'Arabie Saoudite, l'Argentine, l'Indonésie et la Turquie.

considérés comme du « quasi-capital » et les dettes subordonnées qui sont des dettes dont le remboursement n'intervient qu'après celui de toutes les autres dettes.

Les catégories de fonds propres précitées sont détaillées ci-dessous :

- Les fonds propres de base ou Tier 1 : Le Tier 1 consiste en la partie jugée la plus solide (le noyau dur) des capitaux propres des institutions financières. Il rassemble essentiellement le capital social, les résultats mis en réserve et les intérêts minoritaires dans les filiales consolidées moins les actions auto détenues et le goodwill<sup>3</sup>.
- Les fonds propres complémentaires ou Tier 2 : Le Tier 2 se compose des réserves non publiées, des réserves de réévaluation, des provisions générales, des instruments hybrides dette/capital et de la dette subordonnée à long terme.
- Les fonds propres sur complémentaires ou Tier 3 : Le Tier 3 se compose des dettes subordonnées à court terme. Cette catégorie s'est vue ajouter aux deux autres dans le cadre de l'amendement de 1996 et est destinée exclusivement à couvrir les risques de marché.

Au dénominateur du ratio: On retrouve l'ensemble des engagements de crédit, parfois pondérés à des valeurs inférieures à 100%, ainsi que le capital requis pour couvrir les risques de marché.

### *1.3- L'accord Bâle II :*

Au fil des ans, le ratio Cooke a montré ses limites :

- Inadaptation des pondérations face aux bouleversements qu'a connue la sphère financière à partir des années 90 tels que l'explosion des activités de marchés, la mise en place de nouvelles technologies accélérant la circulation d'argent ainsi que la naissance de nouveaux instruments.

---

<sup>3</sup> Le goodwill : C'est la fraction de la différence de première consolidation subsistant après la réévaluation des actifs de la filiale.

- Non prise en compte du capital économique<sup>4</sup> plus adapté pour mesurer les risques réels que le simple capital réglementaire<sup>5</sup>.
- Mauvaise prise en compte des risques souverains démontrée par les récentes crises de certains pays émergents.

L'accord Bâle I fut aménagé en 1996 via l'amendement de 1996 qui permettait aux banques d'opter pour l'approche standard ou encore de développer un modèle interne. Mais rapidement, une refonte de l'accord s'est vue être nécessaire, ce que le Comité a réalisé à partir de 1999, débouchant sur un deuxième accord en 2004 : Bâle II.

Ce nouvel accord prudentiel visait à mieux évaluer les risques bancaires et à imposer un dispositif de surveillance prudentielle et de transparence. Après cinq ans de consultations, le Comité Bâle a donc proposé à travers ce nouvel accord un nouvel ensemble de recommandations, avec une mesure plus fine du risque de crédit, et a introduit dans le calcul, à côté des risques de crédit et de marché, les risques opérationnels.

L'architecture du dispositif repose sur trois piliers complémentaires :

- L'exigence de fonds propres (ratio de solvabilité McDonough);
- La procédure de surveillance prudentielle ;
- La discipline de marché (transparence dans la communication des établissements).

---

4 Capital économique : Il représente pour les banques et les sociétés financières un montant de capitaux propres couvrant un besoin minimum, évalué sur une base réaliste, pour couvrir les risques qu'elle gère ou collecte. Ce capital se calcule en déterminant la quantité de capitaux propres dont la société a besoin pour rester solvable, sur une période bien définie et avec un taux de probabilité prédéfini. Le capital économique est calculé à partir de modèles internes et sert à optimiser le rendement par rapport au risque d'un établissement financier.

5 Capital réglementaire : les fonds propres minimum d'une société financière afin d'éviter tout risque systémique qui est un risque qui peut mettre en danger la survie du système financier.

### 1.3.1- Pilier I : L'exigence minimale de fonds propres

L'accord Bâle II affine le premier et impose aux établissements financiers de détenir un niveau de fonds propres adéquat avec les risques encourus. En complément du risque de crédit ou de contrepartie et des risques de marché, il prend en compte des risques opérationnels (fraudes et erreurs).

On passe alors du ratio Cooke au ratio McDonough :

$$\text{Ratio McDonough} = \frac{\text{Fonds propres réglementaires}}{[\text{risques de crédits} + \text{risques de marché} + \text{risques opérationnels}]} > 8\%$$

Où :

*Risque de crédit = Actifs pondérés par les risques*

*Risque de marché = Capital exigé pour la couverture du risque de marché*  
*× 12.5*

*Risque opérationnel = Capital exigé pour la couverture du risque*  
*opérationnel × 12.5*

Il existe différentes méthodes pour calculer les fonds propres requis au titre de chacun des risques précités à savoir : les risques de crédit, les risques de marché et les risques opérationnels.

Le graphe ci-après résume ces méthodes :

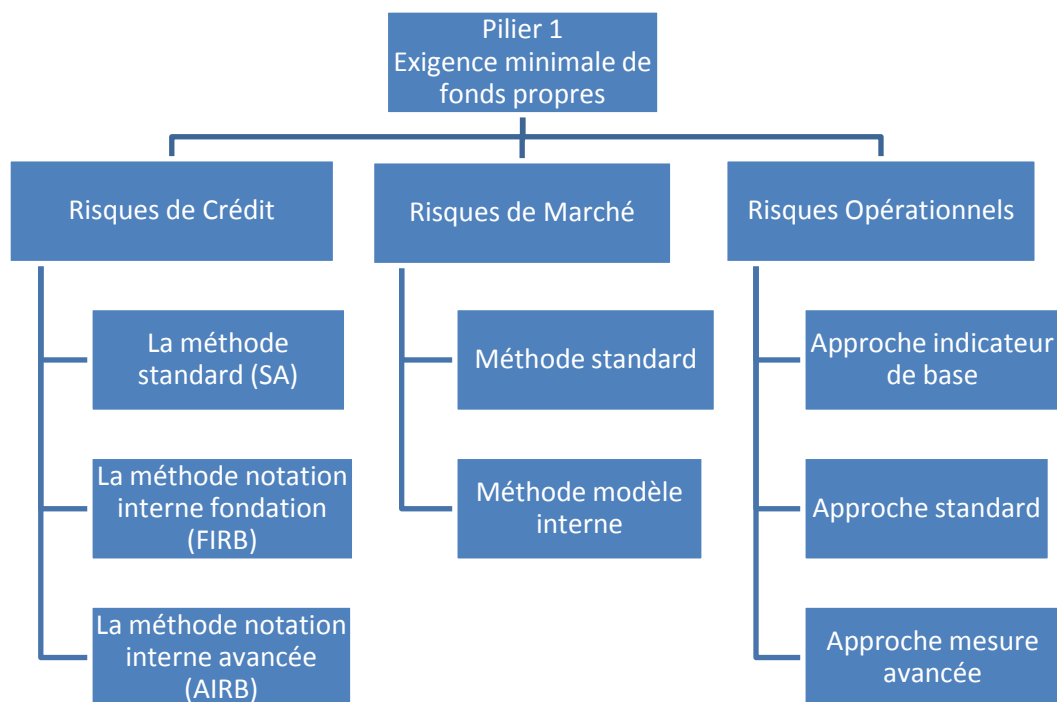


Figure 1: Pilier 1 Exigence minimale de fonds propres

### Risque de Crédit :

Le risque de crédit, ou de contrepartie, est le risque de perte sur une créance. Il est naturellement fonction de trois paramètres : le montant de la créance, la probabilité de défaut et la proportion de la créance qui ne sera pas recouvrée en cas de défaut.

Pour calculer les fonds propres requis au titre des risques de crédit, les établissements disposent de trois méthodes de calcul. L'approche standard donne la possibilité de mesurer la fiabilité des contreparties par les notes allouées par les agences de notation, tandis que les deux méthodes « notation interne », plus élaborées, sont basées sur leurs propres données et procédures. Elles requièrent une autorisation de l'autorité de tutelle et permettent de mieux appréhender le risque de crédit et d'être plus proche de la réalité.

Le choix de la méthode permet à une banque d'identifier ses risques propres en fonction de sa gestion. En méthode standard, les PD (probabilité de défaut de la

contrepartie) et les LGD (taux de perte en cas de défaut sur la ligne de crédit) sont imposés par le superviseur, soit directement pour la LGD, soit en imposant un organisme de notation. En méthode IRB-fondation, la banque estime sa PD, à l'aide de notations internes, et le LGD reste imposé par le régulateur. En méthode IRB-avancée, soumise à l'autorisation des autorités de supervision.

La mesure du risque de crédit se fait par la pondération du montant total de la créance par la qualité du débiteur. Dans l'approche standard, cette pondération peut aller de 0% pour les Etats souverains à 150% pour des contreparties moins bien notées.

#### Risque de marché :

Le risque de marché est le risque de perte ou de dévaluation sur des positions prises suite à de variations des prix (cours, taux) sur le marché. Ce risque s'applique aux produits de taux, actions, change et matières premières.

Le risque de marché est évalué selon l'approche standard, basée sur des pondérations fixées par le comité de Bâle, ou selon l'approche modèle interne qui requière la mobilisation de moins de fonds propres. Ces deux approches seront traitées de façon détaillée dans la section qui suit.

#### Le risque opérationnel :

Le risque opérationnel est défini comme « le risque de perte liée à des processus opérationnels, des personnes ou des systèmes internes inadéquats ou défaillants, ou à des événements externes ». Cette définition inclut le risque juridique mais exclut le risque de réputation et le risque stratégique.

Le risque opérationnel est évalué selon trois méthodes, l'approche de l'indicateur de base qui consiste en le fait que les fonds propres requis correspondent à un pourcentage donné (15%) du produit brut annuel moyen sur les trois dernières années.

Quant à l'approche standard, plutôt que de calculer l'exigence de fonds propres au niveau de l'établissement, comme dans l'approche de l'indicateur de base, la banque doit le faire métier par métier. Cette opération est effectuée en multipliant le produit brut par les facteurs spécifiques respectifs déterminés par le Comité. L'exigence de fonds propres totale de l'établissement bancaire correspond donc à la somme des exigences de fonds propres de chaque métier.

Les coefficients de pondération ou facteurs spécifiques relatifs à chacun des huit métiers sont résumés dans le tableau ci-après :

**Tableau 1: Coefficients de pondérations des lignes de métiers**

<b>Lignes de métiers</b>	<b>Coefficient de pondération</b>
<b>Financement des entreprises</b>	18%
<b>Activités de marché</b>	18%
<b>Banque de détail</b>	12%
<b>Banque commerciale</b>	15%
<b>Paiement et règlement</b>	18%
<b>Courtage de détail</b>	12%
<b>Service d'agence</b>	15%
<b>Gestion d'actifs</b>	12%

La troisième méthode de mesure du risque opérationnel est l'approche mesure avancée où la mesure du risque résulte du modèle interne de l'établissement préalablement approuvé par le superviseur. Le modèle doit utiliser des données internes historiques ou externes corrigées pour les rendre comparables à des données internes, des analyses par scénario avec une évaluation des risques d'intensité et des évaluations de l'environnement et du système de contrôle interne.

### *1.3.2- Pilier II : La procédure de surveillance prudentielle*

Le second pilier repose sur un double objectif : d'une part, inciter les banques à développer des techniques de gestion de leurs risques et de leur niveau de fonds propres et, d'autre part, permettre aux autorités de régulation de majorer les exigences de capital réglementaire en cas de nécessité.

Cette nécessité s'applique de deux façons :

- Le backtesting : Permet à la banque de prouver la validité de ses méthodes statistiques sur de longues périodes.
- Le stress testing : Permet à la banque de prouver, lors de simulations de situations extrêmes, la validité de ses méthodes statistiques en cas de crise économique.

En fonction des résultats, le régulateur peut imposer des fonds propres supplémentaires.

### *1.3.3- Pilier III : La discipline de marché*

Ce troisième pilier met l'accent sur la nécessité de rendre les pratiques transparentes, uniformisées et d'améliorer la communication financière des établissements pour permettre de renforcer la discipline de marché. Il stipule que l'information devrait être mise à la disposition du public sur les actifs, les risques et leur gestion.

### *1.4- Transposition de l'accord Bâle II au Maroc*

Pour la transposition de Bâle II au Maroc, Bank Al Maghrib a adopté une démarche progressive qui tient compte de la structure du système bancaire marocain. L'adoption des approches standards au titre des risques de crédit, de marché et

opérationnels par les principales banques marocaines est effective depuis le second semestre de l'année 2007 tandis que la mise en place des piliers II et III est entamé de manière progressive depuis juin 2007.

Dans le cadre du processus de mise en place, par les banques, des approches avancées Bank Al Maghrib a pour mission d'accompagner les banques dans ce processus et ce, en mettant à jour le diagnostic des systèmes de notations des banques par un état des lieux relatif aux travaux menés par les banques pour la mise en place des modèles internes pour le calcul de l'exigence en fonds propres au titre des risques de marché et opérationnels.

La première banque à avoir migré vers un modèle interne de mesure du risque est CDG Capital qui a eu l'autorisation de Bank Al Maghrib (en juin 2013) d'appliquer le modèle interne VaR, appelé communément approche avancée des risques de marché à l'ensemble des instruments composant son portefeuille.

L'adoption de l'approche avancée permettra d'affiner la mesure des risques auxquels sont soumises les banques et permettra d'optimiser la consommation en fonds propres, ce qui fait de cette approche une alternative moins exigeante en fonds propres.

Par ailleurs, il existe de nombreuses contraintes qui entravent la mise en application de Bâle II. Certaines de ces difficultés, communes à plusieurs pays, sont imputables à la faiblesse du nombre d'entreprises notées par les agences de rating et des données historisées sur les défauts de paiements. D'autres contraintes sont inhérentes au cadre légal qui, faute de dispositions réglementaires ad hoc, restreint les possibilités d'utilisation d'un certain nombre de techniques d'atténuation des risques de crédit prévues par Bâle II, notamment le recours à la compensation des dépôts et des crédits en cas de liquidation ou de redressement judiciaire des contreparties. La lenteur de réalisation des sûretés reçues en couverture des risques, en cas de défaillance des contreparties, constitue également une contrainte.

D'autres difficultés sont propres aux banques elles-mêmes, celles-ci s'activant pour les surmonter. Elles ont trait aux systèmes d'information qui ne permettent pas toujours la mise en œuvre des nouvelles dispositions, telles que : la segmentation de la clientèle, l'affectation ligne par ligne des sûretés et garanties détenues, la ventilation des impayés et des provisions par portefeuille, la ventilation de l'activité sur les lignes de métier retenus pour l'évaluation des risques opérationnels et la séparation entre le portefeuille bancaire et de négociation dans le cadre des risques de marché.

### *1.5- Bâle III*

La crise financière a mis en exergue les failles du dispositif Bâle II : problèmes de mauvais fonctionnement des marchés financiers, de liquidité, des agences de notations, etc. L'idée du comité pour remédier à cela s'articule autour des points ci-après :

- Plus de fonds propres
- Des fonds propres de meilleure qualité
- Plus de transparence

Dans cette optique, cinq mesures sont mises en avant par le comité de Bâle dans le cadre de l'accord Bâle III publié en 2010 dont l'architecture est présentée dans le graphique ci-après:

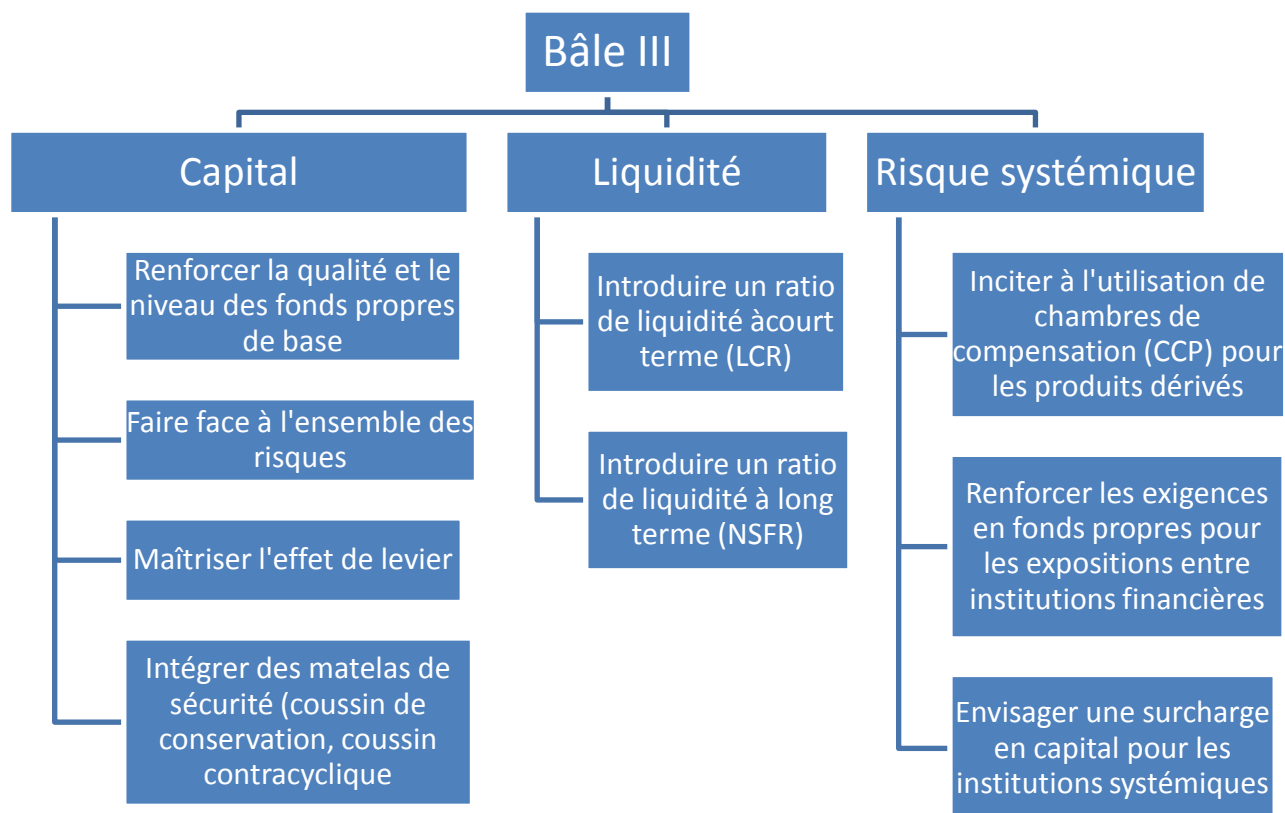


Figure 2: architecture de Bâle III

### 1.5.1- Amélioration de la qualité des fonds propres

La crise a montré que certains fonds propres sont moins durs que d'autres dans leur capacité d'absorption des pertes. Bâle III vise donc à améliorer la qualité des fonds propres des établissements bancaires pour renforcer cette capacité :

- Part prédominante du Tier 1 : Common Equity (actions ordinaires, réserves et report à nouveau).
- Harmonisation et simplification du Tier 2 avec une seule catégorie de Tier 2.
- Déductions au niveau du Common Equity (noyau dur des fonds propres de base) des intérêts minoritaires, des actifs d'impôts différés au titre des différences temporaires et des participations dans les établissements financiers.

- Restriction des instruments financiers éligibles dans les fonds propres de base avec l'exclusion progressive des produits hybrides innovants (avec clause de « step up », émissions par des SPV, etc.).

### *1.5.2- Renforcement du niveau des fonds propres*

La crise financière a montré que le secteur bancaire avait besoin d'une quantité croissante de fonds propres. Dans ce contexte, le Comité d Bâle a proposé le relèvement des exigences en fonds propres :

- Common Equity Tier 1 (noyau dur des fonds propres de base) :
  - Augmentation du ratio de « Core Tier One » de 2 % à 4,5 %.
  - Intégration d'un matelas de sécurité (coussin de conservation) supplémentaire de 2,5 % à horizon 2019.
  - Niveau des fonds propres durs porté à 7 % à horizon 2019.
- Fonds propres totaux :
  - Ratio de solvabilité passant de 8 % à 10,5 % (incluant le coussin de conservation).
- Mise en place à la discrétion du régulateur national d'un coussin de sécurité contracyclique (compris entre 0 % et 2,5 %) en complément du coussin de conservation pour faire face à un risque sectoriel

### *1.5.3- Maîtrise de l'effet de levier*

Bâle III introduit un nouveau ratio de capital visant à maîtriser la croissance des bilans. Ce ratio ne pondère pas les actifs détenus en fonction des risques auxquels ils exposent la banque. Il est fixé à 3% du Tier 1, soit un total des expositions (bilan et hors bilan) qui ne pourra pas dépasser 33 fois le capital Tier 1 des banques.

#### *1.5.4- Amélioration de la gestion de la liquidité*

Bien qu'ayant été un facteur décisif dans la crise, la liquidité ne fait objet d'aucune réglementation harmonisée au niveau international. Le Comité de Bâle a proposé la mise en place dans Bâle III de deux ratios de liquidité :

- ➔ Le «liquidity coverage ratio » (LCR), ratio court terme, dont l'exigence minimale est de 100% et qui a pour but de favoriser la résistance immédiate des banques à une éventuelle situation d'absence de liquidité.
- ➔ Le « net stable funding ratio » (NSFR), ratio long terme, en complément structurel de la norme court terme, Servira à remédier aux asymétries de financement et à inciter les banques à recourir à des ressources stables pour financer leurs activités.

#### *1.5.5- Couverture des risques du portefeuille de négociation*

Le Comité envisage le renforcement des exigences en capital au titre des expositions logées dans le portefeuille de négociation y compris les expositions de titrisation, sources de pertes massives pendant la crise.

Afin d'accroître le capital pour couvrir ses expositions risquées, réduire la procyclicité des mesures de type Var et réduire le risque systémique, un certain nombre d'initiatives ont été prises :

- Introduction d'une charge en capital au titre de la Var stressée (calibration des facteurs de risque sur une période de stress de 12 mois).
- Alignement des pondérations des expositions de titrisation du portefeuille de négociation sur celles du portefeuille bancaire et renforcement des pondérations relatives aux expositions retitrées.
- Application de charges de capital additionnelles au titre de pertes potentielles de valeur des expositions liées à un risque de défaut et de

dégradation éventuelle de la notation de la contrepartie (CVA : « Credit Valuation Adjustment » et IRC : « Incremental Risk Charge »).

- Meilleure prise en compte du risque de corrélation entre les institutions financières.
- Incitation à l'utilisation de chambres de compensation pour les instruments dérivés.
- Renforcement des exigences en matière de gestion du risque de contrepartie (collatéraux, stress tests).

### *1.6- Transposition de Bâle III au Maroc*

Au Maroc, il est prévu d'adopter les projets de loi issus de la transposition des dispositions du Comité de Bâle. Dans un premier temps, et pour permettre au système bancaire de s'organiser, la mise en œuvre de la directive sur les fonds propres commencera du 1<sup>er</sup> janvier 2014 pour s'achever en 2019. Le comité de Bâle a aussi prévu une mise en œuvre progressive du LCR avec une première exigence de 60% à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2015 et une augmentation progressive de 10% par an pour atteindre 100% au 1<sup>er</sup> janvier 2019.

L'objectif du projet de reformes sur les fonds propres est de renforcer et de calibrer la qualité et la quantité des fonds propres en regard des expositions au risque. Le capital social et les réserves doivent constituer la part principale des fonds propres. Par rapport aux actifs pondérés, la composante actions ordinaires et assimilées doit représenter un ratio de 4,5% et le total des fonds propres doit former un ratio de 8%.

Le deuxième élément de cette mesure concernerait la conservation des fonds propres qui sera composée d'actions ordinaires à hauteur de 2,5% des actifs pondérés. Ce qui obligerait les banques à constituer, en dehors des périodes de tension, des marges de fonds propres qu'elles peuvent mobiliser lorsqu'elles enregistrent des pertes. Des restrictions s'appliqueront aux distributions discrétionnaires prélevées sur les bénéfices, comme les dividendes, lorsque le coussin minimum n'est plus respecté.

La troisième mesure entrainera une simplification de la structure de leurs fonds propres avec forte déduction des valeurs goodwill et autres actifs incorporels, l'impôt

différé d'actif, les actions détenues en propre, les participations croisées, les participations dans les établissements de crédit et les assurances, etc.

Quant au ratio de liquidité, il sera mis en place progressivement d'ici 2019 et dans le but de remplacer l'actuel coefficient minimum de liquidité des banques et ce, une fois la réforme pleinement appliquée.

Cette nouvelle norme de liquidité, a pour objectif d'obliger les banques à disposer d'un volume d'actifs liquides de haute qualité et non grevés, pour contrebalancer les sorties nettes de liquidité auxquelles elles pourraient avoir à faire face, dans un scénario de crise grave de courte durée.

## ***Section 2 : Risque de marché***

### ***2.1- Définition du risque de marché***

« Le risque de marché est le risque de perte liée à l'évolution de la valeur de marché d'un portefeuille d'instruments financiers. ».

Le risque, quel qu'il soit, n'existe que si deux composantes existent toutes les deux :

- Une exposition : la détention d'un portefeuille d'instruments financiers.
- Une incertitude : dans le cas du risque de marché, l'incertitude réside dans l'évolution future de la valeur de marché des instruments détenus. L'évolution peut être favorable et donc l'investisseur réalise un bénéfice, ou défavorable et donc l'investisseur réalise des pertes.

Le risque de marché représente une gestion de court terme qui vise à éviter des pertes sur le long terme en limitant celle-ci sur une succession de périodes de court terme. Il est important de faire la distinction entre le risque de marché et le risque économique, qui regroupe l'ensemble des risques associés à l'activité économique des entreprises. Le risque économique comprend des risques d'origine externe à l'entreprise tels que le risque politique ou le risque d'inflation mais aussi les risques spécifiques à l'entreprise tels que le risque opérationnel ou le risque d'escroquerie, et sa gestion repose sur une planification à long terme des investissements et utilise comme indicateur fondamental le ROI (Return On Investment).

Aussi, il est important de signaler que le risque et le résultat sont fortement corrélés. Le risque zéro n'existant pas, le gain potentiel augmente avec la prise de risque. Toutefois, il existe des choix d'investissement plus ou moins efficaces en matière de ratio bénéfice / risque. L'ensemble des portefeuilles qui maximisent le résultat potentiel et minimisent le risque se regroupent sous le nom de frontière efficiente.

Quant au résultat, il est intimement lié à la valorisation des instruments financiers. La valorisation de chacun des instruments étudiés sera traitée dans le chapitre correspondant à l'instrument financier en question.

Les risques de marché recouvrent :

- Le risque de taux : Le risque de taux d'intérêt d'un actif est la variation du prix ou de la valorisation de cet actif résultant d'une variation des taux d'intérêt.
- Le risque de change : Le risque de change traduit le fait qu'une baisse des cours de change peut entraîner une perte de valeur d'avoirs libellés en devises étrangères. De même, la hausse des taux de change peut entraîner une hausse de valeur en monnaie nationale d'engagements libellés en devises étrangères.
- Le risque sur produits de base : Le risque sur produits de base est le risque relatif à la détention ou à la prise de positions sur produits de base, métaux précieux compris à l'exception de l'or.
- Le risque de position sur titre de propriété : C'est le risque lié à la détention de titres de propriété, ou à la prise de positions sur de tels titres, dans le portefeuille de négociation. C'est un risque qui s'applique aussi bien aux positions longues que courtes sur tous les instruments dont le comportement de marché est semblable à celui des actions.

Il existe un cinquième risque qui est le risque optionnel, il se définit comme un risque inhérent à la détention d'options associées à chacune des catégories de risques précédentes.

L'intérêt de mesurer ces risques est de pouvoir évaluer le niveau de fonds propres nécessaire à leur couverture.

Avec la mise en œuvre de l'amendement de 1996 qui avait pour but d'étendre la réglementation aux risques de marché, le Comité de Bâle a cherché à prévoir une marge de ressources en capital au regard des risques auxquels s'exposent les banques dans le cadre de leurs activités de marché.

Ces fonds propres ont un double rôle :

- La première fonction des fonds propres est de financer l'activité bancaire. Cependant, ces ressources sont les plus chères vu que les actionnaires d'une banque exigent un taux de rentabilité élevé sur les fonds qu'ils ont investi.
- La seconde fonction et qui est l'objet le plus important des fonds propres est de servir de garantie aux créanciers. Plus la banque dispose de fonds propres pour se prémunir du risque de perte, mieux elle assure sa survie et la continuité de ses activités.

Les fonds propres destinés à financer les activités de la banque font bénéficier les actionnaires les détenant de taux de rentabilité élevés contrairement aux fonds propres dédiés à la couverture qui ne sont pas très rentables pour les actionnaires qui les détiennent. Ainsi, les banques se voient contraintes de maximiser la rentabilité de leurs fonds propres et ce, en minimisant les exigences prudentielles.

Le calcul du niveau de fonds propres correspondant aux exigences prudentielles du Comité de Bâle se fait selon deux approches : L'approche standard et l'approche modèle interne. La méthode qui permet de minimiser les exigences prudentielles est celle retenue par les banques et qui maximise la rentabilité des fonds propres. Ces deux approches seront traitées dans les prochaines sous-sections.

## *2.2- Approche standard*

L'approche standard est une approche forfaitaire visant à calculer les exigences en fonds propres à des fins de couverture. Nous présenterons cette approche pour l'ensemble des risques de marché.

### *2.2.1- Risque de taux*

L'exigence en fonds propres relative au risque de taux d'intérêt correspond à la somme des exigences en fonds propres requises au titre du risque spécifique et du risque général. Le risque spécifique est lié à la qualité de l'émetteur, quant au risque général, il est lié aux fluctuations des taux de marché. Cette exigence est calculée séparément, pour chacune des monnaies suivantes : le dirham, l'euro et le dollar, sur la base des positions nettes déterminées selon les modalités précisées par Bank Al Maghrib.

#### *2.2.1.1- Exigence en fonds propres au titre du risque spécifique*

L'exigence en fonds propres relative au risque spécifique est égale au produit obtenu en multipliant la valeur absolue des positions nettes sur titres de créance par des coefficients de pondération.

#### *2.2.1.2- Exigence en fonds propres au titre du risque général*

L'exigence en fonds propres au titre du risque général sur titres de créance est calculée selon la méthode de l'échéancier ou la méthode de la durée. La méthode de la durée n'est utilisée que si BAM donne une autorisation à la banque en question.

##### ✓ Méthode de l'échéancier

L'exigence en fonds propres au titre du risque général se calcule via la méthode de l'échéancier, qui consiste en le calcul de la valeur de marché de chaque instrument financier lié au risque de taux d'intérêt et de pondérer cette valeur selon la durée résiduelle de détention de l'actif en question. Les pondérations sont données par le comité de Bâle :

Tableau 2: Pondérations de la méthode de l'échéancier

Echéancier		
Cpn $\geq$ 3%	Cpn $\leq$ 3%	Pondérations
$\leq$ 1 mois	$\leq$ 1 mois	0%
1 - 3 mois	1 - 3 mois	0,20%
3 - 6 mois	3 - 6 mois	0,40%
6 - 12 mois	6 - 12 mois	0,70%
1 - 2 ans	1 - 1,9 an	1,25%
2 - 3 ans	1,9 - 2,8 ans	1,75%
3 - 4 ans	2,8 - 3,6 ans	2,25%
4 - 5 ans	3,6 - 4,3 ans	2,75%
5 - 7 ans	4,3 - 5,7 ans	3,25%
7 - 10 ans	5,7 - 7,3 ans	3,75%
10 - 15 ans	7,3 - 9,3 ans	4,50%
15 - 20 ans	9,3 - 10,6 ans	5,25%
$>$ 20 ans	10,6 - 12 ans	6%
	12 - 20 ans	8%
	$>$ 20 ans	12,50%

✓ Méthode de la duration

La méthode de la duration nécessite l'accord de l'autorité de contrôle. Cette méthode consiste à calculer la duration modifiée de chaque titre de créance, puis à répartir les positions pondérées par fourchettes d'échéances, et enfin à compenser les positions à l'intérieur des fourchettes, des zones et entre zones différentes. Ensuite, l'exigence en fonds propres est déterminée.

### 2.2.2- Risque sur titre de propriété

L'exigence en fonds propres relative aux titres de propriété correspond à la somme des exigences en fonds propres requises au titre du risque spécifique et du risque général.

#### *2.2.2.1- Exigence en fonds propres au titre du risque spécifique*

L'exigence en fonds propres au titre du risque spécifique est égale à la somme des éléments suivants :

- 8% de la position brute sur titres de propriété ou 4% lorsque le portefeuille d ces titres est à la fois liquide et diversifié ;
- 2% de la position brute sur les parts d'OPCVM actions ;
- 2% de la position brute sur contrats sur indices boursiers ;
- 4% de la position sur contrats sur indices sectoriels ou indices insuffisamment diversifiés ;
- 2% de la valeur de chaque branche des opérations d'arbitrage sur instruments financiers à terme.

Un portefeuille liquide et diversifié se doit de répondre aux conditions suivantes :

- Les titres de propriété composant le portefeuille sont compris dans les indices boursiers figurant sur une liste de établie par BAM.
- Aucune position individuelle ne doit représenter plus de 5% de la valeur du portefeuille global de l'établissement constitué en titres de propriété. Cette limite peut atteindre 10% si le total des positions concernées, comprises individuellement entre 5% et 10%, ne dépasse pas 50% du portefeuille global constitué en titres de propriété.

#### *2.2.2.2- Exigence en fonds propres au titre du risque général*

L'exigence en fonds propres au titre du risque général est déterminée en appliquant un coefficient de 8% à la position nette globale sur titres de propriété.

La position nette globale sur titres de propriété est la différence entre l'ensemble des positions ouvertes longues et celles ouvertes courtes pour chacun des marchés.

### *2.2.3- Risque de change*

L'exigence en fonds propres au titre du risque de change est égale à 8% de la somme des deux éléments suivants :

- ✓ Le montant le plus élevé du total des positions nettes courtes ou du total des positions nettes longues en devises ;
- ✓ La valeur absolue de la position nette sur or.

### *2.2.4- Risque sur produit de base*

L'exigence en fonds propres sur les positions du bilan et du hors bilan relatives aux produits de base est calculée selon la méthode dite de « tableau d'échéance » ou la méthode dite « simplifiée ».

- Méthode dite « tableaux d'échéances »

Pour chaque produit de base, l'exigence en fonds propres est égale à la somme des éléments suivants, convertis au cours au comptant de ce produit de base :

- Le total des positions compensées à l'intérieur de chaque fourchette d'échéances, multiplié par 1,5% ;
- La position nette résiduelle, après compensation à l'intérieur de chaque fourchette d'échéances, reportée successivement dans les fourchettes d'échéances suivantes est multipliée par 0,6% pour chaque report ;
- La position résiduelle non compensée finale, multipliée par 15%.

Les fourchettes d'échéances visées aux tirets précédents sont : de 0 à 1 mois, 1 à 3 mois, 3 à 6 mois, 6 à 12 mois, 1 an à 2 ans, 2 ans à 3 ans et plus de 3 ans.

Il est important de préciser que les positions comptant et à terme sont exprimées en unités de mesure standard (barils, kilos, etc.) et sont converties au cours au comptant du produit de base puis dans la monnaie nationale sur la base du cours de change au comptant.

- Méthode dite « Simplifiée »

L'exigence en fonds propres correspond à la somme des éléments suivants :

- 15% de la position nette longue ou courte sur chaque produit de base ;
- 3% des positions brutes longues et courtes sur chaque produit de base.

### 2.2.5- Risque sur options

L'exigence en fonds propres au titre du risque sur options est déterminée selon la méthode delta-plus. Cette exigence correspond à la somme des fonds propres requis au titre des risques spécifique, général et résiduel.

Afin de calculer le risque général et, le cas échéant, le risque spécifique, les positions optionnelles sont converties en positions équivalentes sur le sous-jacent et intégrées dans les positions nettes pour chacun des risques précités.

L'exigence en fonds propres au titre des risques résiduels, induits par le comportement non linéaire des options dit « risque gamma »<sup>6</sup> et par la sensibilité des options à la volatilité des sous-jacents dite « risque vega »<sup>7</sup>, correspond à la somme des valeurs absolues des risques gamma nets négatifs et des risques vega.

## 2.3- Approche modèle interne

---

<sup>6</sup> Le risque gamma se calcule sur chaque option individuelle, y compris les options de couvertures, selon la formule suivante :  $Risque\ gamma = \frac{1}{2} \times gamma \times (variation\ du\ sous - jacent)^2$

<sup>7</sup> Le risque vega se calcule sur chaque option individuelle, y compris les options de couverture, selon la formule :  $Risque\ vega = vega \times (variation\ relative\ de\ la\ volatilité)$

Les banques désireuses de passer de l'approche standard à l'approche modèle interne doivent d'abord recevoir l'autorisation de la banque centrale, laquelle est subordonnée à la réalisation d'un certain nombre d'exigences quantitatives et qualitatives.

### *2.3.1- Exigences qualitatives*

Les établissements sont tenus de respecter les exigences qualitatives minimales suivantes :

- Les organes d'administration et de direction assument des responsabilités dans le processus de gestion des risques de marché ;
- Disposer d'une unité de gestion des risques indépendante du front office et qui rend compte directement à l'organe de direction ;
- Mettre en place un système de gestion des risques de marché qui se base sur des principes sains et mis en œuvre de manière intègre;
- Intégrer les résultats de l'approche de modèles internes à la gestion des risques de marché ;
- Définir des limites internes qui sont cohérentes avec les résultats issus de la modélisation des risques ;
- S'assurer du bon fonctionnement du système de mesure des risques de marché ;
- Constituer une documentation exhaustive sur les systèmes de gestion et de mesure des risques de marché décrivant les principes de base et les techniques utilisées ;
- Mettre en place un dispositif de validation des systèmes de gestion et de mesure des risques de marché et procéder à leur examen périodique par l'audit interne.

### *2.3.2- Exigences quantitatives*

Les établissements sont tenus de respecter les exigences quantitatives minimales suivantes :

- Calculer la VaR quotidiennement, sur un intervalle de confiance de 99% et une période de détention de dix jours ;
- Considérer pour ce calcul, une période d'observation des données des facteurs de risques de marché d'un an au minimum ;
- Mettre à jour régulièrement les données des facteurs de risques de marché ;
- Additionner les VaR calculées pour chaque catégorie de facteurs de risques lorsque les corrélations de ces facteurs ne sont pas suffisamment appréhendées.

#### 2.3.3- Facteurs de risques

Les facteurs de risque sont les taux, cours de marché et prix de marché qui affectent la valeur du portefeuille de négociation.

Les établissements identifient les facteurs de risques ayant une influence significative sur la valeur de marché du portefeuille de négociation et vérifient périodiquement leur pertinence. Selon la nature du portefeuille, les établissements considèrent les facteurs de risques sur les taux d'intérêt, les positions de change, les produits de base et les options.

#### 2.3.4- Exigence en fonds propres

Les établissements qui utilisent l'approche de modèles internes au titre du risque général de marché sont tenus de calculer leurs exigences en fonds propres en considérant la valeur la plus élevée entre :

- La VaR totale du jour ouvrable ;
- La moyenne des VaR totales quotidiennes sur les soixante jours ouvrables précédents, à laquelle il est appliqué un facteur de multiplication majoré par un facteur complémentaire.

$$EFP = \max \{VaR_{t-1}; m \times VaR_{avg}\}$$

Avec  $VaR_{t-1}$  : représente la VaR totale du jour ouvrable précédent au titre du risque général de marché.

Et  $VaR_{avg}$  : représente la moyenne des VaR totales quotidiennes sur les soixante jours ouvrables précédents au titre du risque général de marché.

$$m = mm + mc$$

Avec  $mm$  : représente le facteur de multiplication qui est au minimum de trois ;

Et  $mc$  : représente le facteur complémentaire déterminé dans le tableau suivant en fonction du nombre des dépassements constatés lors du Backtesting. Le Backtesting sera abordé dans la dernière partie du rapport.

**Tableau 3: Nombres de dépassements du Backtesting**

Nombre de dépassements	Facteurs complémentaires
<b>5</b>	0.4
<b>6</b>	0.5
<b>7</b>	0.65
<b>8</b>	0.75
<b>9</b>	0.85
<b>10 ou plus</b>	1

**Conclusion :**

Le comité de Bâle a pris soin de faire évoluer la réglementation bancaire pour pouvoir permettre aux banques de survivre aux crises financières futures. Le risque de marché est au cœur des débats et plusieurs approches ont été proposées pour y faire face. La VaR est l'une de ces mesures de risque qui s'inscrit dans le cadre de l'approche modèle interne citée dans les accords de Bâle 2 et qui vient remplacer l'approche standard qui est une approche forfaitaire qui, très souvent, surestime le risque.

## ***Chapitre 2 : Approche théorique de la Value at Risk (VaR)***

Ce chapitre a pour objectif d'exposer l'aspect théorique de la VaR ainsi que les trois types de VaR, à savoir : La VaR paramétrique, la VaR historique et la VaR monte Carlo.

Il s'articulera autour de 4 sections :

Section 1 : La Value at Risk

Section 2 : La VaR paramétrique

Section 3 : La VaR historique

Section 4 : La VaR Monte Carlo

***Section 1: La Value at Risk,***

L'évolution du dispositif prudentiel a conduit à l'adoption des modèles internes des risques de marché. Le concept de la VaR est le modèle interne le plus utilisé par les banques.

Utilisée pour la première fois par la banque Bankers Trust, dans les années 1980, sur les marchés financiers américains, la notion de Value-At-Risk (ou VAR) a principalement été démocratisée par la banque JP Morgan dans les années 1990 grâce à son système de RiskMetrics.

Les méthodes utilisées jusqu'alors pour détecter et gérer les risques de marché ne permettaient pas de comparer les mesures de risque entre les différentes activités de marché. C'est l'accroissement de la volatilité des marchés financiers ainsi que le développement de nouveaux instruments financiers (les produits dérivés) au côté des krachs boursiers ont poussé les institutions financières à mettre en place un indicateur commun et synthétique des risques financiers. Ce nouvel indicateur qu'est la VaR a donc été concrétisé et considéré, depuis, comme un standard de l'évaluation des risques financiers.

### *1.1- Définition de la Value-At-Risk*

La Value-At-Risk représente la perte potentielle maximale d'un investisseur sur la valeur d'un portefeuille d'actifs financiers qui ne devrait être atteinte qu'avec une probabilité donnée sur un horizon donné. En d'autres termes, elle est égale à la perte maximale sur un horizon de temps donné pour un certain niveau de confiance.

La Value-At-Risk dépend de trois éléments :

- La distribution des résultats du portefeuille : elle est souvent supposée normale, mais certains acteurs financiers utilisent des distributions historiques. Si l'échantillon historique est petit, les probabilités de pertes élevées deviennent peu précises et si l'échantillon est très grand, les résultats deviennent non comparables.

- Le niveau de confiance : Il est compris entre 0 et 1 et permet de contrôler la probabilité que l'on obtienne un rendement supérieur ou égal à la VaR.
- Un horizon temporel fixe : Il représente la période de détention du portefeuille d'actifs financiers. L'horizon associé à la VaR est de 1 jour pour le RiskMetrics, le comité de Bâle recommande 10 jours ouvrables.

Par définition, la VaR sur  $h$  jours avec un niveau de confiance de  $1 - \alpha$  est la valeur  $VaR_{\alpha,h}$  telle que la probabilité de perdre  $VaR_{\alpha,h}$  au plus, au-delà de  $h$  jours, soit égale à  $1 - \alpha$ :

$$\text{Prob}(\Delta_h P_t < VaR_{\alpha,h}) = 1 - \alpha$$

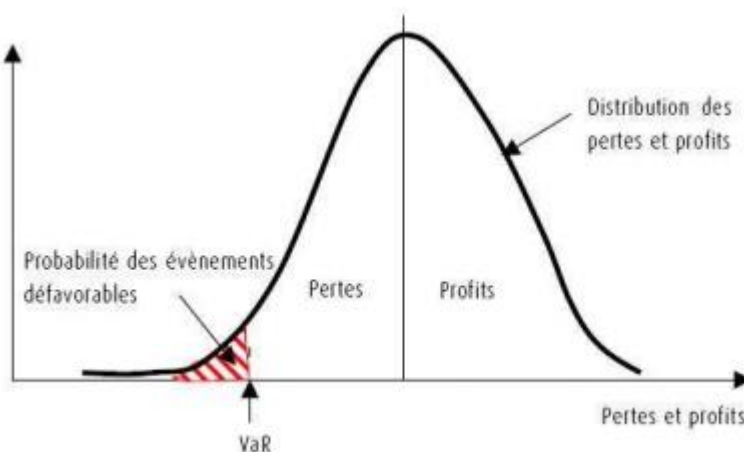
Ou encore

$$\text{Prob}(\Delta_h P_t < -VaR_{\alpha,h}) = \alpha$$

Avec  $\Delta_h P_t = P_{t+h} - P_t$

Où  $\Delta_h P_t$  est le P&L d'un portefeuille de valeur  $P_{t+h}$  à l'instant  $t + h$  sur un horizon de  $h$  jours.

Le graphique ci-dessous est une représentation de la VaR :



**Figure 3: Représentation graphique de la VaR**

Si la VaR à 1 jour à 90% est pour un portefeuille de -5%, cela signifie que l'on a moins de 10% de chance de perdre plus de 5% de sa valeur le lendemain.

Les propriétés de la VaR sont :

$$VaR_{\alpha,h} = \sqrt{h}.VaR_{\alpha,1}$$

Ainsi, la VaR sur 10 jours est celle sur 1 jour que l'on multiplie par la racine de 10.

Aussi, la VaR est croissante avec le niveau de confiance et l'horizon de détention.

Le problème de l'estimation de la Value-At-Risk réside dans la construction de la distribution des résultats du portefeuille (P&L). Il existe trois méthodes de calcul de cette distribution de pertes et profits :

- La méthode historique : Cette méthode repose sur la récupération des historiques des prix des actifs composant le portefeuille qu'on applique aux positions actuelles pour reconstituer une distribution des résultats possibles du portefeuille.
- La méthode paramétrique : Cette méthode se déroule en deux étapes, la première consiste à décomposer les instruments de la position en fonction des différents facteurs de risque et la seconde consiste en la spécification et l'estimation de la distribution de probabilité des facteurs de risque.
- La méthode de Monté-Carlo : Cette méthodes permet de prendre en compte les instruments optionnels et nécessite un temps d calcul important.

Ces trois méthodes seront traitées de façon plus détaillée dans les sections ci-dessous.

## *1.2- La VaR, utilité, avantages et limites*

### *1.2.1- L'utilité de la VaR*

La méthode VaR permet de quantifier le risque auquel s'expose un investisseur lorsqu'il adopte une stratégie d'investissement donnée. Selon que cette VaR soit élevée ou pas, l'investisseur peut décider de changer de stratégie. En effet, si la VaR s'avère être très élevée par rapport au niveau de risque que peut supporter

l'investisseur, il pourrait soit réduire sa position (vendre une partie des titres qu'il détient) et donc diminuer la VaR, soit prévoir une couverture visant à réduire le risque de son portefeuille.

Aussi, et contrairement aux approches standards, la VaR permet aux banques de faire des économies en fonds propres<sup>8</sup>. En effet, un niveau élevé en fond propres témoigne de la solidité d'une banque et lui permet de couvrir ses risques. Cependant, pour une banque, moins ses activités consomment de fonds propres mieux ce sera pour son activité.

A côté de l'économie en fonds propres et le choix de la stratégie la plus adapté, la VaR permet aussi d'évaluer les performances, en optimisant le couple (rendement, risque), et aussi de faire un choix de placement en optant pour le placement qui offre le rendement espéré le plus élevé compte tenu d'un risque fixé.

Enfin, la VaR est aussi un outil permettant de suivre de manière homogène l'ensemble des risques non seulement de marché mais aussi de crédit, de liquidité ainsi que le risque opérationnel.

### *1.2.2- Avantages et limites*

La Value-At-Risk présente plusieurs avantages :

- La VaR est un indicateur synthétique qui donne une évaluation du risque d'un portefeuille quels que soient les actifs qui le composent;
- L'unicité de cet indicateur permet de comparer plusieurs portefeuilles ;
- C'est un indicateur facile à interpréter.

En revanche, la VaR présente aussi certaines limites :

- Les données injectées dans l'algorithme de calcul proviennent toujours de valeurs de marché constatées dans le passé, qui ne reflètent pas forcément les évolutions futures du portefeuille. C'est la raison pour

---

<sup>8</sup> Les fonds propres représentent un des éléments du passif d'une banque, ils regroupent principalement les actions ordinaires et les certificats d'investissement, les réserves et le résultat non distribué.

laquelle des méthodes de stress-testing, qui simulent sur le portefeuille des scénarios de « catastrophes », sont utilisées ;

- Les grand nombre d'hypothèses simplificatrices que l'on fait pour parvenir à une distribution de probabilité est aussi une des limites de la VaR. C'est pourquoi on vérifie à posteriori la méthode en comparant les VaR calculées par le passé avec les fluctuations effectivement constatées sur le portefeuille. Cette méthode, appelée backtesting, permet d'affiner le modèle de calcul de la VaR.

## ***Section 2 : La VaR Paramétrique***

La VaR paramétrique, appelée aussi VaR analytique, VaR variance-covariance ou encore VaR delta-normale, est une méthode basée sur des calculs statistiques et qui consiste à définir une formule décrivant la distribution des pertes et des profits.

### 2.1- Hypothèses théoriques de la VaR paramétrique

Le calcul de la VaR paramétrique repose sur plusieurs hypothèses :

- L'indépendance temporelle des variations de la valeur du portefeuille ;
- La normalité des facteurs  $F(t)$  ;
- La relation linéaire entre les facteurs et la valeur du portefeuille.

### 2.2- Approche théorique

#### 2.2.1- Principe de base

Soit  $P_t$  la valeur d'un portefeuille à l'instant  $t$ . On définit, à chaque instant  $t$ , sur un horizon de  $h$  jours, la fonction profit & loss (P&L) par la variation de la valeur du portefeuille entre  $t$  et  $t+h$  :

$$\Delta_h P_t = P_{t+h} - P_t$$

La VaR à  $\alpha\%$ , à un horizon  $h$ , est donnée par la relation suivante :

$$Prob(\Delta_h P_t \geq -VaR_{\alpha,h}) = \alpha$$

Le rendement du portefeuille se définit comme suit :

$$r_{t+h} = \frac{\Delta_h P_t}{P_t}$$

La valeur du portefeuille en  $t$  vaut :

$$P_t = V_1^t + V_2^t + V_3^t + \dots + V_n^t$$

Avec  $V_1^t, V_2^t, V_3^t, \dots, V_n^t$ , les valeurs respectives des n actifs composant le portefeuille à l'instant t.

Soient  $R_1^{t+h}, R_2^{t+h}, R_3^{t+h}, \dots, R_n^{t+h}$ , les rendements respectifs des n actifs composant le portefeuille entre l'instant t et t+h. On a alors :

$$P_{t+h} = V_1^t(1 + R_1^{t+h}) + V_2^t(1 + R_2^{t+h}) + V_3^t(1 + R_3^{t+h}) + \dots + V_n^t(1 + R_n^{t+h})$$

La variation du portefeuille entre t et t+h devient:

$$\Delta_h P_t = V_1^t(R_1^{t+h}) + V_2^t(R_2^{t+h}) + V_3^t(R_3^{t+h}) + \dots + V_n^t(R_n^{t+h})$$

Pour la suite du raisonnement, on pose :

$$V^t = (V_1^t, V_2^t, V_3^t, \dots, V_n^t)$$

Et

$$R^{t+h} = (R_1^{t+h}, R_2^{t+h}, R_3^{t+h}, \dots, R_n^{t+h})$$

Avec  $V^t$  et  $R^{t+h}$  les vecteurs respectifs des valeurs et des rendements des actifs composant le portefeuille. La variation de la valeur du portefeuille peut donc s'écrire de la manière suivante :

$$\Delta_h P_t = R^{t+h} \cdot V^{tT}$$

Avec  $V^{tT} = \text{transposée}(V^t)$

On obtient le résultat suivant :

$$Prob(R^{t+h} \cdot V^{tT} < -VaR_{\alpha,h}) = \alpha$$

Ou encore :  $Prob(R^{t+h} \cdot V^{tT} < VaR_{\alpha,h}) = 1 - \alpha$

D'après les deux hypothèses qui stipulent la normalité des changements des prix (ou des facteurs) ainsi que la linéarité entre les facteurs du risque et la valeur du portefeuille, on déduit que  $R^{t+h}$  suit une loi normale  $N(\mu, \Sigma)$ .

$$R^{t+h} \sim N(\mu, \Sigma)$$

La variation de la valeur du portefeuille  $\Delta_h P_t$  suit une loi normale :

$$R^{t+h} \cdot V^{tT} \sim N(\mu \cdot V^{tT}, V^t \cdot \Sigma \cdot V^{tT})$$

Avec  $\mu$  : Le vecteur moyenne des rendements

Et  $\Sigma$  : La matrice variance-covariance des rendements.

La VaR s'écrit donc comme suit :

$$Prob\left(\frac{R^{t+h}.V^{tT} - \mu.V^{tT}}{\sqrt{V^t.\Sigma.V^{tT}}} < \frac{-VaR_{\alpha,h} - \mu.V^{tT}}{\sqrt{V^t.\Sigma.V^{tT}}}\right) = \alpha$$

Or  $\frac{R^{t+h}.V^{tT} - \mu.V^{tT}}{\sqrt{V^t.\Sigma.V^{tT}}} \sim N(0,1)$

Ainsi, la VaR se définit comme suit :

$$VaR_{\alpha,h} = Z_{\alpha}\sqrt{V^t.\Sigma.V^{tT}} - \mu.V^{tT}$$

Avec  $Z_{\alpha} = \Phi^{-1}(\alpha)$  et  $\Phi^{-1}$  la fonction gaussienne inverse.

### 2.2.2- Calcul de la matrice de variance-covariance

Le calcul de la VaR paramétrique passe par le calcul de la matrice de variance-covariance des rendements d'actifs ou des facteurs de risque à partir de l'historique de leurs prix.

Les éléments de la matrice variance-covariance sont donnés par la formule suivante :

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (R_i^t - \bar{R}_i^t)(R_j^t - \bar{R}_j^t)$$

T représente la longueur de l'historique considéré et i,j deux actifs ou facteurs de risque.

### 2.2.3- Mapping et calcul du vecteur $V^t$

Le calcul de la VaR paramétrique repose essentiellement sur la valorisation des actifs, or cette valorisation est entravée par des difficultés liées :

- Au nombre important d'actifs composant le portefeuille.

- A l'absence des données permettant la valorisation.

La solution à ces problèmes est le mapping. Ce dernier consiste en la ventilation des flux générés par un actif en des flux générés par un ensemble de facteurs de risque connus. Ainsi, le mapping permet de transformer un portefeuille contenant un nombre important d'actifs difficilement valorisables en un portefeuille contenant un nombre réduit de facteurs de risque facilement valorisables.

Les hypothèses relatives au mapping sont les suivantes :

- La somme des valeurs actuelles des deux flux de facteurs de risque doit être égale à celle du flux réel de l'actif.
- Le risque du portefeuille contenant les deux flux de facteurs de risque doit être le même que celui du flux réel de l'actif.
- Les deux flux de facteurs de risque doivent avoir le même signe que le flux réel de l'actif.

#### Exemple :

Afin d'illustrer l'importance de cette transformation, on considère une obligation de maturité 3,2 ans donnant lieu à un flux  $V_{3,2}$ . L'application du mapping consiste dans ce cas-ci en la transformation du flux  $V_{3,2}$  en deux flux  $V_3$  et  $V_4$  de maturités respectives 3 et 4 ans que l'on considère comme des facteurs de risque connus.

L'objectif principal de la méthode est de trouver les pondérations  $\beta$  et  $(1-\beta)$  des deux flux de facteurs du risque. Les étapes qui nous permettent d'y parvenir sont les suivantes :

- Etape 1 : déterminer le taux d'actualisation (le taux zéro-coupon) du flux  $V_{3,2}$  généré dans le futur par l'obligation et ce, grâce à une interpolation linéaire effectuée entre les taux zéro-coupon  $y_3$  et  $y_4$  relatifs aux maturités 3 ans et 4 ans et considérés comme des taux d'actualisation des flux des deux facteurs de risque :

$$y_{3,2} = y_3 + (3,2 - 3) \cdot \frac{y_4 - y_3}{(4 - 3)}$$

- Etape 2 : Calcul du flux réel actualisé de l'obligation :

$$V_{3,2} \text{ actualisé} = \frac{V_{3,2}}{(1 + y_{3,2})^{3,2}}$$

- Etape 3 : Calcul de la volatilité du rendement du flux réel actuel par interpolation linéaire des volatilités des rendements des flux connus :

$$\sigma_{3,2} = \sigma_3 + (3,2 - 3) \frac{\sigma_4 - \sigma_3}{(4 - 3)}$$

Les volatilités des rendements des flux connus sont données par la formule :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i^t - \bar{R}_i^t)^2}$$

Avec  $R_i$  : le rendement du flux de maturité  $i$ .

Et  $N$  : la longueur de l'historique.

- Etape 4 : D'après l'hypothèse de conservation du risque, on obtient  $\beta$  :

$$\text{variance}(R_{3,2}) = \text{variance}(\beta \cdot R_3 + (1 - \beta) \cdot R_4)$$

Avec  $R_i$  : le rendement du prix de l'obligation de maturité  $i$ .

Ce résultat devient :

$$\sigma_{3,2}^2 = \alpha^2 \sigma_3^2 + 2\beta(1 - \beta)E[(R_3 - \mu_3)(R_4 - \mu_4)] + (1 - \beta)^2 \sigma_4^2$$

Et puisque'on a :  $\rho_{3,2} = \frac{E[(R_3 - \mu_3)(R_4 - \mu_4)]}{\sigma_3 \sigma_4}$

Avec  $\rho_{3,2}$  : le coefficient de corrélation entre les rendements 3 et 4.

La formule devient :

$$\sigma_{3,2}^2 = \alpha^2 \sigma_3^2 + 2\beta(1 - \beta)\rho_{3,2}\sigma_3\sigma_4 + (1 - \beta)^2 \sigma_4^2$$

L'équation a deux solutions, nous prendrons celle qui s'aligne avec l'hypothèse qui stipule la conservation du signe des flux.

- Etape 5 : Le flux  $V_{3,2}$  s'écrit :  $V_{3,2} = \beta V_3 + (1 - \beta)V_4$

Le mapping se présente donc comme une solution permettant l'obtention d'un portefeuille se composant de 2 obligations de maturités respectives 3 et 4 ans au lieu d'un portefeuille contenant plusieurs obligations de maturités se situant entre 3 et 4 ans. Le mapping simplifie donc la valorisation et réduit le nombre d'actifs du portefeuille.

### *2.3- Avantages et limites*

La VaR variance-covariance présente plusieurs avantages :

- La VaR variance-covariance est une méthode simple et rapide à appliquer. D'autant plus que les données nécessaires au calcul des variances et covariances sont facilement obtenues.
- L'hypothèse de normalité des variations des prix simplifie considérablement le calcul de la VaR.

Cette méthode présente aussi des limites :

- L'hypothèse de normalité n'est pas toujours vérifiée. Les rendements, pris individuellement, ne suivent pas forcément une loi normale.
- La méthode paramétrique est fondée sur l'hypothèse selon laquelle les volatilités et les corrélations entre les différents facteurs de risque sont stables pendant la période de temps choisie. Cependant, lorsqu'il s'agit de marchés instables cette méthode devient limitée.

### ***Section 3 : La VaR historique***

La méthode de simulation historique est considérée comme étant la plus simple pour le calcul de la VaR car elle requiert un faible nombre d'hypothèses concernant la distribution statistique des facteurs de marché.

#### ***3.1- Hypothèse théorique de la VaR historique***

L'hypothèse sur laquelle repose le calcul de la VaR historique se résume dans l'assertion suivante : « Tomorrow maybe like one of your yesterdays ». Ce qui veut dire que le futur n'est qu'une reproduction du passé.

#### ***3.2- Approche théorique***

La VaR historique est une méthode simulation basée sur les variations historiques des facteurs de risque  $F(t)$ . On suppose que l'on dispose d'un historique de longueur  $N$ . Afin de déterminer la VaR à l'instant  $t_0$ , on procède comme suit :

- Etape 1 : On valorise le portefeuille avec les facteurs de risque de l'historique en calculant pour chaque date  $t = \{t_0 - 1, \dots, t_0 - N\}$  une valeur potentielle du portefeuille. On arrive alors à déterminer  $N-1$  variations potentielles que l'on assimile à des pertes potentielles.
- Etape 2 : A partir de l'historique, on construit une distribution empirique de laquelle on extrait le quantile  $\alpha$  %. Pour ce faire, il faut classer les pertes potentielles et prendre la valeur absolue de la  $N \times (1 - \alpha)$   $i$ -ième plus petite valeur. Autrement dit, on cherche la perte  $P_i$  qui vérifie :

$$Prob(P < P_i) = \frac{i}{N-1} = (1 - \alpha)$$

Avec  $P_i \in \{P_1, \dots, P_n, \dots, P_{N-1}\}$ , l'ensemble des pertes classées tel que  $P_n \leq P_m$  quelque soit  $n < m$ .

On a donc :  $VaR_{\alpha,h} = P_i$

Lorsque  $N \times (1 - \alpha)$  n'est pas un entier, dans ce cas la VaR se calcule par interpolation :

$$VaR_{\alpha,h} = |P_{(n^*)} + (N \times (1 - \alpha) - n^*)(P_{(n^*+1)} - P_{(n^*)})|$$

Avec  $n^* = [N \times (1 - \alpha)]$ , la partie entière de  $N \times \alpha$ .

Exemple :

Pour un seuil de confiance de 99%, si  $N=100$ , la perte potentielle est :

$$VaR_{99\%,1} = |P_1|$$

Pour un seuil de confiance de 99% et  $N=250$ , la perte potentielle est :

$$VaR_{99\%,1} = |P_2 + \frac{1}{2}(P_3 - P_2)|$$

Dans le cas d'un horizon  $h \neq 1$  la méthode reste la même. Néanmoins pour un historique de taille  $N$ , il faut veiller à ce qu'il ne contienne que les données de dates à  $h$  d'intervalle. Et  $N$  devient :  $N = N'$  avec  $N'$  : nombre de données ayant des dates à  $h$  d'intervalle.

### 3.3- Avantages et limites :

La VaR historique présente de multiples avantages :

- La VaR historique n'impose pas d'hypothèses sur la loi de distribution des facteurs  $F(t)$ . Mais il est quand même nécessaire d'avoir un modèle sous-jacent pour estimer les facteurs pour l'historique de longueur  $N$ . Cela explique que les VaR historiques sont principalement appliquées avec des facteurs de marché qui sont exactement les variations des actifs (dans ce cas, nous avons autant d'actifs que de facteurs).
- Elle nécessite peu de calculs et des techniques simples et elle est facile à interpréter.

Les limites de cette méthode sont principalement liées son utilisation de données du passé. En effet :

- La VaR historique renseigne surtout sur le passé, or le futur n'est pas forcément une reproduction du passé. D'autant plus que cette méthode ne tient pas compte des événements extrêmes puisqu'ils sont rares et les données historiques sont forcément limitées.
- La taille de l'historique doit être suffisamment grande comparée à l'horizon de la VaR et à son niveau de confiance. Mais il est parfois impossible de répondre aux exigences de cette méthode en terme de données, particulièrement lorsqu'il s'agit d'un nouvel instrument financier.
- La méthode est inadaptée aux produits dérivés.

## ***Section 4 : La VaR Monté Carlo***

Cette section est dédiée à la méthode de Monte Carlo qui consiste en la simulation des facteurs de marché  $F(t)$  dont on se donne une loi de distribution à priori, de préférence admissible avec l'historique. Nous pouvons alors déterminer les valeurs que prend le portefeuille avec les facteurs simulés.

Il est alors possible de déterminer  $N$  variations simulées du portefeuille si l'on utilise  $N$  simulations. Ensuite, tout comme pour la VaR historique, il suffit de calculer le quantile correspondant. La seule différence qui existe entre la VaR historique et la VaR Monte Carlo est que la première est basée sur un historique passé et la seconde sur un historique simulé.

### *4.1- Hypothèse théorique de la VaR Monte Carlo*

La VaR Monte Carlo suppose que chacun des facteurs de risque de marché est distribué selon une loi paramétrique connue. Les paramètres relatifs à cette loi sont estimés sur la base de données historique.

### *4.2- Approche théorique*

La méthode de simulation Monte Carlo repose sur le principe de génération de nombres aléatoires, servant à produire des scénarios hypothétiques de prix à partir de la distribution jointe des facteurs de risque. La distribution est en général supposée normale et les paramètres de cette dernière sont estimés à partir de données historiques.

Chaque scénario obtenu engendre une valorisation différente du portefeuille. Et donc plus le nombre de scénarios envisagés est important plus la méthode de simulation Monte Carlo donne une distribution proche de la distribution réelle des valeurs futures du portefeuille.

Une fois les variations de la valeur du portefeuille calculées, la VaR correspond au quantile choisi de cette distribution.

Soit un portefeuille composé de K facteurs de risque corrélés et notés  $F_1, F_2, \dots, F_K$ .

On calcule les rendements historiques  $R_i^{t+1}$  de chaque facteur de risque i entre t et t+1. Ces rendements sont donnés par la relation suivante :

$$R_i^{t+1} = \ln \left( \frac{F_i^{t+1}}{F_i^t} \right)$$

On pose  $R^{t+1} = (R_1^{t+1}, R_2^{t+1}, \dots, R_K^{t+1})$  le vecteur des rendements de K facteurs de risque. L'hypothèse de normalité supposée par la simulation Monte Carlo se transcrit comme suit :

$$R^{t+1} \sim MN(\mu, \Sigma)$$

Avec  $\mu$  : Le vecteur moyenne des rendements :  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_K)$

Et  $\Sigma$  : La matrice de variance-covariance des rendements :

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{j1} & \cdots & \sigma_{ji} \end{bmatrix}$$

Les cinq étapes de la simulation de Monte Carlo sont les suivantes :

- Etape 1 : Génération de vecteurs aléatoires distribués selon une loi multinormale standard

Lors de cette première étape, on génère K variables aléatoires indépendantes, dont chacune suit la loi normale standard  $N(0,1)$ . Les K variables aléatoires seront notées  $Z_i$  et le vecteur sera noté :  $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_K)$ .

- Etape 2 : Factorisation de Cholesky

Cette factorisation consiste, pour une matrice symétrique définie positive A, à déterminer une matrice triangulaire inférieure L telle que :  $A = LL^T$ .

Cette décomposition permet de simuler une loi multinormale.

Etant donné que la matrice  $\Sigma$  est une matrice symétrique et qu'elle est toujours au moins semi-définie positive alors il est possible de l'écrire de la sorte :

$$\Sigma = LL^T$$

Avec  $L = \begin{bmatrix} l_{11} & \cdots & l_{1i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{j1} & \cdots & l_{ji} \end{bmatrix}$

Les coefficients de la matrice L sont donnés grâce à la formule suivante :

$$l_{ji} = \begin{cases} 0 & \text{pour } j < i \\ \sqrt{\sigma_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik}^2} & \text{pour } j = i \\ \frac{1}{l_{ii}} (\sigma_{ji} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik} l_{jk}) & \text{pour } j > i \end{cases}$$

- Etape 3 : Calcul des vecteurs de rendement

Soit  $R = (R_1, R_2, \dots, R_K)$  le vecteur des rendements simulés sur 1 jour. Le calcul de R se fait selon la formule suivante :

$$\begin{pmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_K \end{pmatrix} = L \cdot \begin{pmatrix} Z_1 \\ \vdots \\ Z_K \end{pmatrix}$$

Le vecteur R qu'on génère suit une loi Multinormale :

$$R \sim MN(0,1)$$

- Etape 4 : Calcul des scénarios des facteurs de risque

Soit  $f = (f_1, f_2, \dots, f_K)$  le vecteur des facteurs de risque simulés. L'expression suivante permet de déterminer ces prix simulés :

$$f_i = F_i^{réf} \cdot e^{R_i}$$

Avec  $F_i^{ref}$  est le facteur de risque  $i$  de référence qui équivaut à la valeur de ce facteur le jour du calcul de la VaR.

- Etape 5 : Calcul de la VaR

Pour chaque scénario, on calcule la valeur hypothétique du portefeuille puis on calcule la variation entre celle-ci et la valeur réelle du portefeuille à la date de calcul de la VaR. Si on fait  $N$  simulations, on obtient  $N$  valeurs hypothétiques du portefeuille et donc  $N$  variations. La VaR à un horizon d'un jour et au seuil de confiance  $\alpha$  est ensuite calculée en prenant le quantile à  $\alpha\%$  de la distribution.

#### 4.3- Avantages et limites

La VaR Monte Carlo présente plusieurs avantages :

- Elle permet le calcul de la VaR lorsque les autres méthodes n'y parviennent pas ;
- Les facteurs de risque peuvent suivre un grand nombre de lois de probabilité ;
- Elle permet la gestion de tout type de position (produits optionnels compris).

Néanmoins, cette méthode a aussi des limites :

- La mise en œuvre de la méthode peut être lourde ;
- Le temps de calcul peut être très long ;
- Les distributions doivent toujours être spécifiées, cela engendre un risque de modèle<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Le risque de modèle désigne la possibilité de subir une perte en raison de l'incapacité du modèle à fonctionner de la façon dont il a été conçu ou de cerner le risque comme prévu.

## ***Conclusion***

Ce chapitre a permis de présenter le modèle VaR et d'en expliquer le fondement théorique. Aussi, les différents types de VaR ont été traités montrant ainsi les différents avantages relatifs à chaque modèle de VaR et ses limites. La VaR historique reste la plus simple d'entre toutes et la moins difficile à implémenter. Cependant elle est basée sur les données du passé qui peut ne pas se reproduire. La VaR Monte Carlo par contre est la plus puissantes des trois mais demande un temps de calcul considérable.

### ***Conclusion de la partie I :***

Cette première partie retrace l'évolution des accords de Bâle au fil des décennies et met l'accent sur les raisons qui font que le passage d'une approche standard à un modèle interne est de mise. Aussi les différents types de risques de marché ont été traités ainsi que la méthode de calcul des exigences en fonds propres visant à couvrir le risque qui leur est inhérent. Enfin, les différents types de VaR ont été comparés et détaillés. Cette première partie nous donne ainsi les outils nécessaires pour appréhender la partie théorique visant à appliquer la VaR historique aux différents portefeuilles pour ensuite calculer les exigences en fonds propres relatifs à chacun de ces derniers.

## **Partie II : Application de la VaR aux différents portefeuilles et validation du modèle VaR**

Cette deuxième partie représente la traduction en terme statistique de la théorie détaillée plus haut et qui concerne l'implémentation de La Value At Risk selon les trois méthodes à savoir la simulation historique, la méthode paramétrique et l'approche de Monte Carlo. Dans cette partie, il est question d'appliquer la VaR aux principaux instruments financiers relatifs aux différentes activités de la banque d'investissement de la CDG: la CDG Capital. Pour des portefeuilles actions, Bond de trésor et devises on procède à la vérification des hypothèses statistiques préalable aux calculs, ensuite les résultats des trois méthodes relatifs à chaque portefeuille seront exposés.

Avant d'aborder les exigences en fonds propres, le Back-testing est de mise. Finalement, une comparaison entre l'efficacité des différentes méthodes a été fournie.

La Value At Risk est une mesure avancée de gestion des risques de marchés qui s'inscrit dans les nouvelles directives du comité de Bâle. Sous la supervision de la banque centrale du Maroc, Bank Al Maghrib, les banques marocaines réalisent leurs modèles internes à savoir la Value At Risk à l'intention de BAM pour approbation. La CDG capital est la première banque marocaine ayant obtenu l'approbation de Bank Al-Maghrib pour appliquer le modèle VaR.

Cette partie retrace les grandes lignes suivis par la CDG Capital lors de l'implémentation de son modèle interne.

## ***Chapitre 1 : Application de la VaR aux différents portefeuilles***

Ce chapitre met l'accent sur l'application directe de la mesure statistique de la VaR suivant les trois méthodes de calcul à savoir la simulation historique, l'approche paramétrique et la méthode de Monte Carlo. Calculer le P&L pour chaque portefeuille d'une période allant du 02/01/2011 au 30/04/2014 représente une étape clé dans le calcul de la VaR. Pour ce faire, la réalisation d'un Pricer obligataire et d'un autre de devises est indispensable. Le premier consiste à valoriser les bonds de trésor et le second sera dédié aux devises et permettra de faire des cotations de change pour EURMAD et USDMAD sur la base des cotations au fixing publiées par BAM.

Une fois les pricers réalisés, le reste des calculs sera effectué sans plus de difficultés. Chacune des trois sections expose en détail pour les trois portefeuilles les calculs relatif à chaque méthode de la VaR :

Section 1 : Application de la VaR à un portefeuille actions

Section 2 : Application de la VaR à un portefeuille BDT

Section 3 : Application de la VaR un portefeuille de devises

## ***Section 1 : Application de la VaR à un portefeuille actions***

### *1.1- Marché marocain de l'action*

#### *1.1.1- L'action*

« L'action est une part des capitaux de l'entreprise lorsque celle-ci est constituée en société anonyme. Elle constitue donc une source de financement pour l'entreprise, de même que les titres de créance, dont elle se différencie toutefois nettement. En effet, elle a une durée de vie illimitée, et son porteur court le risque total de l'entreprise (il ne perçoit aucun revenu si l'entreprise va mal et en cas de liquidation l'actionnaire passe après le créancier dans la répartition du produit de la vente des actifs, autrement dit la plupart du temps, il ne peut rien récupérer). En contrepartie, l'action donne droit au bénéfice et à la participation à la gestion de l'entreprise via le droit de vote. »<sup>10</sup>

#### *1.1.2- Prix d'une action*

Le prix d'une action se définit comme étant le prix auquel l'action se vend et s'achète. C'est sa valeur négociable, constatée sur un marché à un instant considéré. C'est donc un prix de transaction plutôt qu'une valeur.

Les cours des actions connaissent en une journée des variations très importantes. C'est la volatilité qui est responsable de ces écarts. Ce phénomène de volatilité montre que le cours de Bourse ne peut être considéré comme la vraie valeur économique d'une action, mais n'est qu'une simple approche de celle-ci, grossie ou diminuée d'une appréciation spéculative, c'est-à-dire résultant de facteurs étrangers à l'entreprise cotée. La valeur économique d'une action se calcule essentiellement sur la base de critères économiques (la profitabilité<sup>11</sup> et les perspectives de croissance de cette profitabilité).

---

<sup>10</sup> Définition lesechos

<sup>11</sup> La Profitabilité : La profitabilité est le rapport entre le profit et la production.

### *1.1.3- Marchés de l'action*

Le marché des actions est le plus populaire en bourse, pour les investisseurs, d'une part en raison de sa simplicité de fonctionnement, et d'autre part grâce aux nombreuses valeurs nationales et internationales sur lesquelles il est possible de spéculer. Ce marché profite aussi aux actionnaires qui achètent des titres pour percevoir des dividendes.

Le marché des actions est le marché sur lequel des entreprises peuvent émettre des titres pour se financer. Lorsqu'un investisseur achète ces titres, il devient actionnaire et perçoit des dividendes calculés sur la base des bénéfices réalisés par l'entreprise grâce à ce financement et de manière proportionnelle au nombre d'actions achetées.

Le marché des actions est divisé en plusieurs types de marchés :

- Le premier marché regroupe de grandes entreprises cotées en bourse. C'est un marché dit au comptant<sup>12</sup>. Pour y être cotées, les entreprises doivent remplir un certain nombre de conditions (offrir moins de 25% de leur capital au public, publier les comptes des 3 derniers exercices et il faut que chaque entreprise réalise un chiffre d'affaire supérieur à 75 millions en devise locale.
- Le second marché regroupe des entreprises cotées mais de taille moyenne. Pour y être coté, une entreprise doit mettre à disposition du public plus de 10% de son capital et publier au moins les 2 derniers exercices.
- Le nouveau marché concerne les jeunes sociétés ayant un potentiel évalué comme intéressant à long terme.
- Le marché libre OTC (Over The Counter) ou marché de « gré à gré » qui n'est pas réglementé. Pour y être représenté, il suffit à une entreprise de présenter les deux derniers exercices et les statuts.

---

<sup>12</sup> Marché au comptant :

Le marché des actions fonctionne comme la plupart des marchés financiers : il permet de passer des ordres d'achat ou de vente de titres cotés.

Au Maroc, il existe trois marchés d'actions. Le Marché Principal qui cible les grandes entreprises, le Marché Développement s'adresse aux entreprises de taille moyenne présentant des perspectives d'évolution attractives et le Marché Croissance réservé aux sociétés en forte croissance ayant un projet à financer.

Pour pouvoir accéder à ces marchés et lever les fonds nécessaires à leur développement, les entreprises doivent respecter au préalable certaines conditions d'admission :

**Tableau 4: Les conditions d'admission aux marchés actions**

<b>Les conditions d'admission aux marchés actions</b>			
	Marché Principal	Marché Développement	Marché Croissance
<b>Montant minimum à émettre (le besoin de financement)</b>	75 MDH	25 MDH	10 MDH
<b>Nombre de titres minimum à émettre (les actions à proposer au public)</b>	250 000	100 000	30 000
<b>Nombre d'exercices certifiés</b>	3	2	1

Une fois admises la cote, les sociétés doivent respecter, tout moment, en plus de la condition principale (un flottant minimum exprimé en nombre de titres, identique au nombre minimum de titres à émettre mentionné dans le tableau, une condition dite additionnelle : des capitaux propres minimums de 50 MDH pour les sociétés cotées sur le marché principal et un chiffre d'affaire annuel minimum de 50 MDH pour celles cotées sur le marché développement.

Le séjour dans l'un des trois marchés n'est pas figé : une entreprise peut être transférée d'un marché à l'autre. La Bourse de Casablanca procède annuellement au reclassement des sociétés sur la base de ces critères de séjour.

Au 31 décembre 2011, 45 sociétés étaient cotées sur le 1<sup>er</sup> compartiment, 18 sur de 2<sup>ème</sup> et 13 sur le troisième.

### *1.2- Action et facteur du risque*

Le facteur de risque relatif à l'action est le cours de cette dernière. La variation de cet élément donne naissance au risque de marché. Dans ce qui suivra, on considèrera le cours de clôture comme facteur de risque de marché.

### *1.3- Application de la VaR historique au portefeuille d'actions*

#### *1.3.1- Vérification des hypothèses de calcul*

Comme précisé plus haut, avant d'appliquer la VaR historique il faut vérifier que les facteurs de risque, qui sont dans notre cas les cours de clôture des valeurs de notre portefeuille, sont stationnaires (Hypothèse rarement vérifiable).

Pour répondre à la problématique, on fait appel au test de racine unitaire ADF (Augmented Dickey-Fuller) afin de tester la stationnarité des observations historiques des cours de clôtures des valeurs du portefeuille.

ADF consiste à tester l'hypothèse nulle :

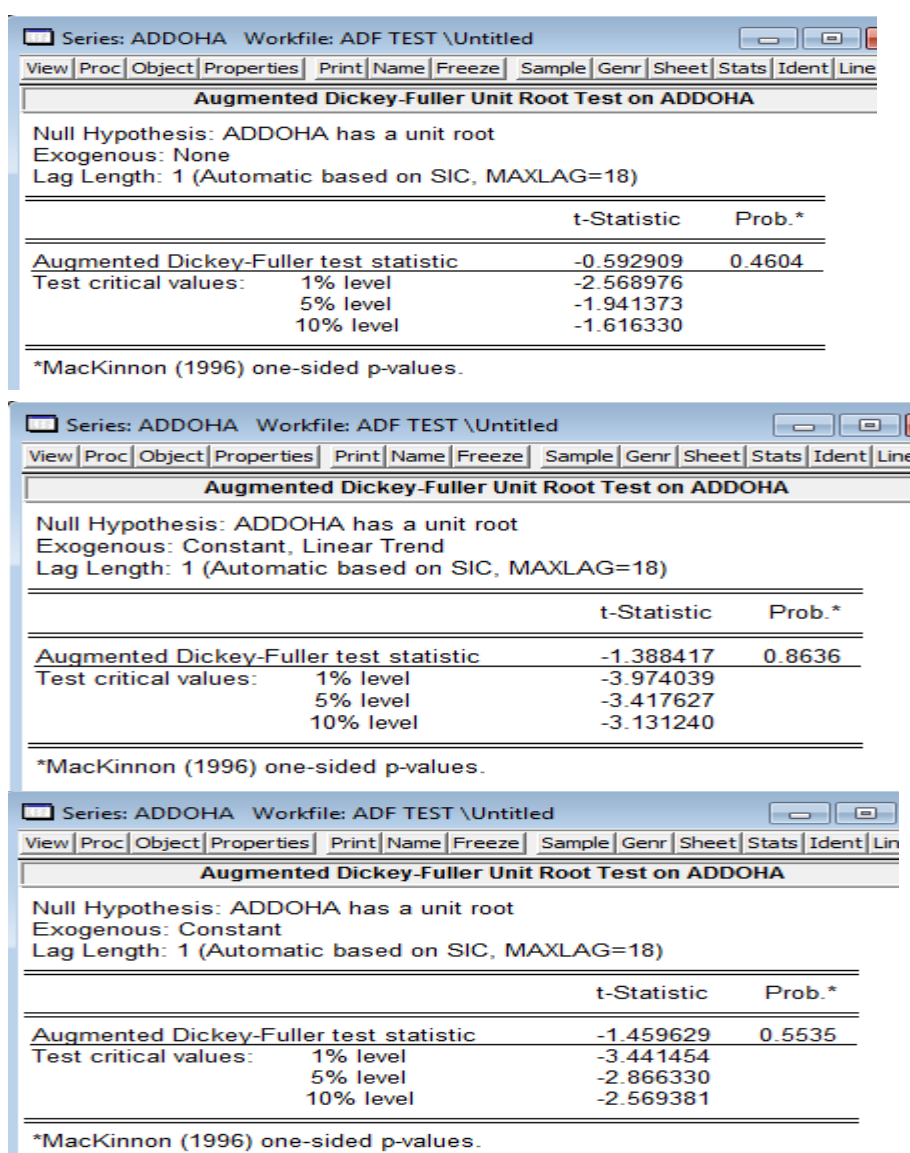
$H_0$  : existence d'une racine unitaire (série non stationnaire).

Le test consiste à rejeter  $H_0$  si la valeur absolue de la statistique obtenue est inférieure à la valeur critique de MacKinnon.

Puisqu'on ne sait pas si l'on doit inclure une constante, ou une constante et un trend déterministe dans l'implémentation du test, on adopte une stratégie qui consiste à passer par les trois types d'équations susceptibles d'être suivis par les valeurs testés du portefeuille actions. On procède par élimination en commençant par implémenter le test sans ajouter ni trend ni constante pour ensuite passer au trend et constante et finalement on termine par ajouter la constante.

Sous Eviews on a testé toutes les valeurs du portefeuille, le test de dickey-Fuller a montré que seules DOUJA PROM ADDOHA, ATTIJARIWafa BANK et SAMIR sont stationnaires selon le test d'Augmented Dickey-Fuller.

Ci-dessous figure le test effectué sous Eviews relatif à DOUJA PROM ADDOHA. (En annexe 2 on a mis le reste des tests pour toutes les valeurs du portefeuille actions).



1.3.2-

Figure 4: Test ADF sur l'action Addoha

Application de la VaR historique

Dans ce paragraphe, nous présenterons les démarches suivies pour le calcul de la VaR d'un portefeuille d'actions par la méthode de simulation historique.

Tout d'abord, nous nous sommes procuré les données (les cours et les quantités) relatives à onze actions d'entreprises cotés en bourse et ce pour une durée de deux ans du 02/01/2012 au 30/04/2014.

On commence par valoriser le portefeuille quotidiennement en sommant les volumes relatifs à chaque action.

Une fois les valeurs du portefeuille calculées pour chaque date, on procède au calcul de la variation de la valeur du portefeuille (P&L), on obtient les tableaux suivant:

**Tableau 5: Portefeuille actions**

Désignation	DOUJA PROM ADDOHA			ATTUARIWAFABANK			BMCE BANK			BCP			ITISSALAT AL-MAGHRIB			ATLANTA			CENTRALE LAITIERE			
	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	Cours de clôture	Quantité	Volume	
Séance																						
30/04/2014	59,99	123256	7394127,4	316,8	255145	80829936	208,5	133426	27819321	188,5	70956	13375206	99,05	5895667	583965816	64,7	489231	31653246	1636	658789	1,078E+09	
29/04/2014	60	123256	7395360	312,1	255145	79630755	209	133426	27886034	188,5	70956	13375206	101	5895667	595462367	63,1	489231	30870476	1636	658789	1,078E+09	
28/04/2014	60,39	123256	7443429,8	311,05	255145	79362852	209	133426	27886034	189	70956	13410684	102	5895667	601358034	63,01	489231	30826445	1636	658789	1,078E+09	

**Tableau 6: Valeur de marché du portefeuille et P&L**

Séance	Valeur de marché du portefeuille	Valeur du portefeuille	P&L
30/04/2014	2936239207	2936239207	-6992656,06
29/04/2014		2943231863	-44594959,3
28/04/2014		2987826822	2262346,05
25/04/2014		2985564476	7034440,42
24/04/2014		2978530036	6817493,92
23/04/2014		2971712542	-10541683,7
22/04/2014		2982254226	-16051042,4
21/04/2014		2998305268	1063805,01
18/04/2014		2997241463	4953899,6
.		.	.
.		.	.
.		.	.
04/01/2012		3163097516	9451588,28
03/01/2012		3153645928	2725514,36
02/01/2012		3150920413	-

A partir des 578 variations obtenues, on procède à l'extraction du quantile correspondant aux seuils de confiance 90%, 95%, 99% et 99,5%. Cela se fait aisément grâce à la fonction « Centile » d'Excel qui renvoie le  $(1-\alpha)^{\text{ème}}$  centile du vecteur des variations.

On obtient les montants de VaR correspondant, respectivement, à un niveau de confiance de 90%, 95%, 99% et 99,5% et un horizon de 1 jour.

**Tableau 7: VaR historique à horizon 1 jour pour le portefeuille actions**

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
28677755,6	41434473,5	61520944,8	67162424,5
0,97668%	1,41114%	2,09523%	2,28736%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,98% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 1,41% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 2,09% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 2,29% de mon portefeuille

Afin de retrouver la VaR sur un horizon de 10 jours, on passe par la formule de passage précitée dans la partie théorique :

**Tableau 8: VaR à horizon 10 jours pour le portefeuille actions**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
90687025,8	131027310	194546309	212386234,5
3,08854%	4,46242%	6,62570%	7,23327%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 3,09% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 4,46% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 6,62% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 7,23% de mon portefeuille

### 1.3.3- Comparaison de la VaR historique à la Var Paramétrique et Monte Carlo

#### 1.3.3.1- Application de la Var paramétrique au portefeuille Actions

##### ✓ Vérification des hypothèses

Dans cette partie, il faut vérifier la normalité des rendements du portefeuille d'actifs. En pratique, on accepte cette hypothèse de multi-normalité si les distributions marginales des rendements sont normales.

Dans ce qui suit, on présente le test de l'hypothèse de normalité pour ADDOHA. Ce test se présente comme suit :

$H_0$  : la distribution est normale Vs  $H_1$  : la distribution n'est pas normale

La règle de décision de ce test consiste en le rejet de  $H_0$  si la statistique de Jarque-Bera est plus grande que  $\chi^2$  avec deux degrés de liberté au seuil de 1%.

D'après la table statistique de khi deux:  $\chi^2$  (1%)=9,2103. Appliqué aux valeurs du portefeuille actions les résultats sont attachés en annexe 2. Ci-dessous un exemple du test appliqué au rendement d'AFRIQUIA GAZ :

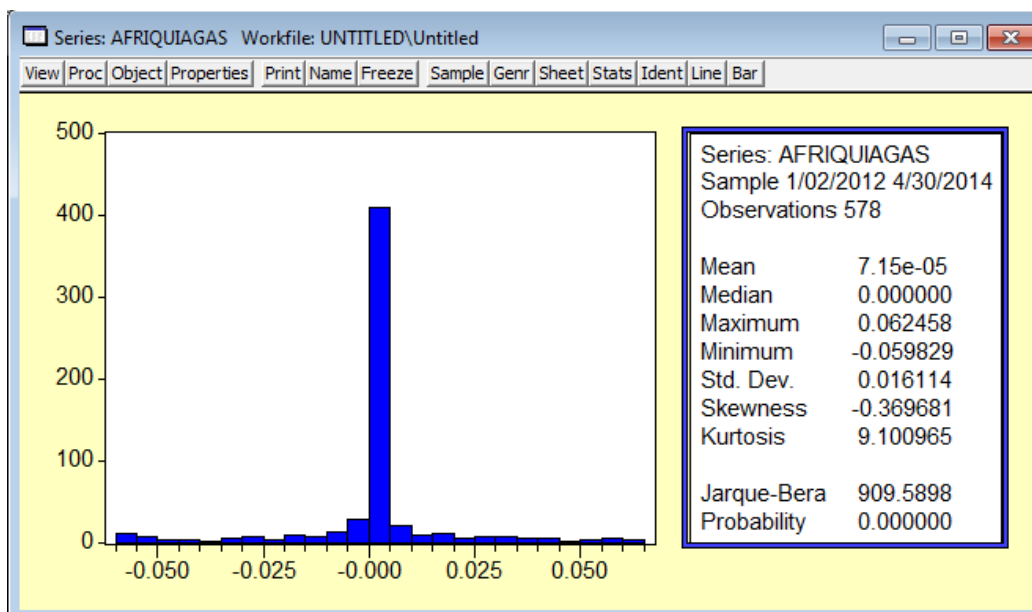


Figure 5: Test statistique appliqué à Afrika gaz

D'après ce test On constate que la normalité des rendements des cours de clôture d'AFRIQUIA GAZ est rejetée. Ce teste appliqué à toutes les valeurs du portefeuille actions donne le même résultat de rejet de la normalité des rendements des cours de clôture. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l'objectif étant d'établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

✓ Application de la VaR paramétrique

Afin de calculer la VaR paramétrique du portefeuille actions on commence par calculer les rendements pour chaque date, puis la moyenne des rendements de chaque action. On garde le même portefeuille avec les mêmes quantités (positions).

On obtient les tableaux ci-dessous :

**Tableau 9: Récapitulatif des vecteurs qui serviront dans le calcul de la VaR paramétrique**

Portefeuille	Position	Cours au 30/04/2014	Volume au 30/04/2014	Vecteur $\mu$ des rendements (Transposée)
DOUJA PROM ADDOHA	123256	59,99	7394127,44	-4,60955E-05
ATTIJARIWABA BANK	255145	316,8	80829936	-0,000162517
BMCE BANK	133426	208,5	27819321	0,000101187
BCP	70956	188,5	13375206	-4,28127E-05
ITISSALAT AL-MAGHRIB	5895667	99,05	583965816,4	-0,000411189
ATLANTA	489231	64,7	31653245,7	5,71729E-05
CENTRALE LAITIERE	658789	1636	1077778804	0,000517761
COSUMAR	95684	1898	181608232	0,00028435
AFRIQUIA GAZ	126849	1650	209300850	9,96152E-05
SAMIR	389457	278,85	108600084,5	-0,001478594
LABEL VIE	469712	1307	613913584	0,000229495

Désignation	DOUJA PROM ADDOHA			ATTIJARIWABA BANK			BMCE BANK			BCP			ITISSALAT AL-MAGHRIB		
	Séance	Cours de clôture	Rendements	R-Rm	Cours de clôture	Rendements	R-Rm	Cours de clôture	Rendements	R-Rm	Cours de clôture	Rendements	R-Rm	Cours de clôture	Rendements
30/04/2014	59,99	-0,00016667	-0,00012057	316,8	0,01505928	0,01522179	208,5	-0,00239234	-0,00249353	188,5	0	4,28127E-05	99,05	-0,01930693	-0,01889574
29/04/2014	60	-0,00645802	-0,00641193	312,1	0,00337566	0,00353818	209	0	-0,00010119	188,5	-0,0026455	-0,00260269	101	-0,00980392	-0,00939273
28/04/2014	60,39	0,032307692	0,032353788	311,05	-0,01566456	-0,01550204	209	0	-0,00010119	189	0	4,28127E-05	102	0,00443131	0,0048425

**Tableau 10: Calcul du R-Rm**

Ensuite, on procède au calcul de la matrice variance-covariance :

**Tableau 11: Matrice de variance-covariance du portefeuille actions**

Matrice variance-covariance	DOUJA PROM ADDOHA	ATTIJARIWABA BANK	BMCE BANK	BCP	ITISSALAT AL-MAGHRIB	ATLANTA	CENTRALE LAITIERE	COSUMAR	AFRIQUIA GAZ	SAMIR	LABEL VIE
DOUJA PROM ADDOHA	0,000302672	5,36764E-05	1,6701E-05	1,226E-05	5,3019E-05	2,6892E-05	-3,20165E-07	1,342E-05	-8,301E-07	3,819E-05	1,3124E-05
ATTIJARIWABA BANK	5,36764E-05	0,000131498	2,1066E-05	2,099E-05	1,68226E-05	1,5071E-05	2,59012E-06	6,0799E-07	-3,955E-06	2,578E-05	2,9948E-05
BMCE BANK	1,6701E-05	2,10662E-05	0,00023486	2,747E-06	1,11452E-05	6,1914E-06	-8,39258E-06	1,701E-05	6,21535E-06	2,745E-05	9,3856E-06
BCP	1,2262E-05	2,09919E-05	2,747E-06	5,802E-05	5,92992E-06	5,3698E-06	9,27946E-06	1,0552E-06	2,25055E-06	9,209E-06	1,8345E-05
ITISSALAT AL-MAGHRIB	5,3019E-05	1,68226E-05	1,1145E-05	5,93E-06	0,000175471	3,2186E-05	1,11634E-05	5,1654E-06	3,91017E-06	3,946E-05	9,8596E-06
ATLANTA	2,68921E-05	1,50707E-05	6,1914E-06	5,37E-06	3,21862E-05	0,00042719	5,47683E-06	-4,548E-06	5,01546E-06	1,52E-05	3,428E-05
CENTRALE LAITIERE	-3,20165E-07	2,59012E-06	-8,393E-06	9,279E-06	1,11634E-05	5,4768E-06	0,000256447	9,7701E-07	-1,1914E-05	4,719E-06	-2,159E-06
COSUMAR	1,34203E-05	6,07988E-07	1,701E-05	1,055E-06	5,16538E-06	-4,548E-06	9,77015E-07	0,00023051	3,96218E-05	4,642E-06	1,882E-05
AFRIQUIA GAZ	-8,30105E-07	-3,95498E-06	6,2153E-06	2,251E-06	3,91017E-06	5,0155E-06	-1,19141E-05	3,9622E-05	0,000259219	2,349E-05	3,1271E-05
SAMIR	3,81904E-05	2,57781E-05	2,7453E-05	9,209E-06	3,94568E-05	1,52E-05	4,71872E-06	4,6421E-06	2,34886E-05	0,0004804	2,8517E-05
LABEL VIE	1,31242E-05	2,99477E-05	9,3856E-06	1,835E-05	9,85958E-06	3,428E-05	-2,15916E-06	1,882E-05	3,12715E-05	2,852E-05	0,00041238

On procède ensuite au calcul de la VaR paramétrique en passant par le calcul des vecteurs suivants :

Tableau 12: Calcul de vecteurs

$Z_{\alpha}$		$V^T \cdot \Sigma \cdot V^{T^T}$	$\mu \cdot V^{T^T}$
90%	1,29	5,9165E+14	361290,526
95%	1,65		
99%	2,33		
99,50%	2,58		

Valeur du portefeuille	2936239207
------------------------	------------

La VaR à 1 jour d'horizon est :

Tableau 13: VaR paramétrique à horizon 1 jour pour le portefeuille actions

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
31016410,21	39772978	56313161	62394111
1,05633%	1,35456%	1,91787%	2,12497%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 1,06% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 1,35% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 1,92% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 2,12% de mon portefeuille

On peut facilement retrouver la VaR à 10 jours d’horizon :

**Tableau 14: VaR paramétrique à horizon 10 jours pour portefeuille actions**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
98082501	125773199	178077852	197307503,2
3,34041%	4,28348%	6,06483%	6,71974%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 3,34% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 4,28% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 6,06% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 6,71% de mon portefeuille

### 1.3.3.2- Application de la VaR Monte Carlo au portefeuille actions

#### ✓ Vérification des hypothèses

Pour vérifier la multi-normalité des rendements des facteurs de risque, on calcule les rendements des cours de change des 16 devises constituant notre portefeuille grâce à la formule suivante :

$$R_i^{t+h} = \ln \left( \frac{F_i^{t+h}}{F_i^t} \right)$$

Où  $F_i^t$ : le facteur de risque  $i$  à l’instant  $t$  (dans notre cas il correspond au cours de clôture des valeurs du portefeuille actions).

Une fois les rendements des facteurs de risque calculés on leur applique le test de Jarque-bera. Ci-dessous un exemple de test appliqué aux rendements des valeurs de BMCE :

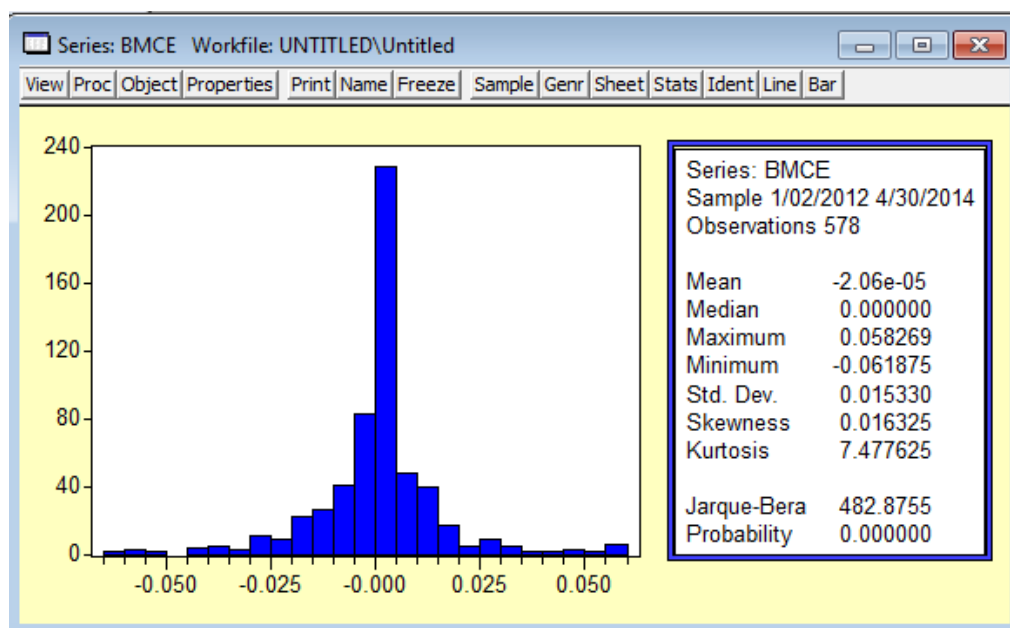


Figure 6: Test de Jarque-Bera sur action BMCE

D'après les résultats de ce test, On constate que la normalité des rendements des cours de clôture de BMCE est largement rejetée. Ce teste appliqué à toutes les valeurs du portefeuille actions donne le même résultat de rejet de la normalité des rendements des cours de clôture. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l'objectif étant d'établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

✓ Application de la VaR Monte Carlo

Afin de calculer la VaR Monte Carlo du portefeuille actions, on procède par étapes :

- Etape 1 : Génération du vecteur  $Z \sim MN(0,1)$

Grâce à la fonction Aléa d'Excel, on peut générer un nombre réel aléatoire distribué de manière symétrique, supérieur ou égal à 0 et inférieur à 1. Ce nombre généré est considéré comme une probabilité. On utilise alors la fonction Loi.Normal.Standard.Inverse.N qui prend le nombre généré comme paramètre pour renvoyer la valeur d'une variable aléatoire suivant une loi normale standard (ou

centrée réduite). On réitère l'opération 1100 fois pour les 11 actions du portefeuille.

On obtient le tableau suivant:

**Tableau 15: Vecteurs Z de la simulation de MC**

Désignation	DOUJA PROM ADDOHA		ATTIJARIWAFI BANK		BMCE BANK		BCP		ITISSALAT AL-MAGHRIB	
	Aléa 1	Z1	Aléa 2	Z2	Aléa 3	Z3	Aléa 4	Z4	Aléa 5	Z5
1,00	0,39510681	-0,26603322	0,33974116	-0,41316964	0,26221385	-0,6365351	0,47690602	-0,05792039	0,17622987	-0,92982878
2,00	0,37508217	-0,31842269	0,72932316	0,61076725	0,85138991	1,04241312	0,97623627	1,98156937	0,184552	-0,89815298
3,00	0,48089449	-0,04790874	0,67378159	0,4503795	0,05203372	-1,62544653	0,80250354	0,8505976	0,39339501	-0,27048128
4,00	0,41763247	-0,20795394	0,97041343	1,8869048	0,0974146	-1,29642472	0,02721679	-1,92337019	0,4511406	-0,12278015
5,00	0,40387658	-0,24332561	0,96777765	1,84909079	0,51726037	0,04327884	0,93795817	1,53785672	0,98758408	2,24400888
6,00	0,64139282	0,36218423	0,63571023	0,34701567	0,01495925	-2,17116779	0,33622353	-0,42279196	0,07486194	-1,44050745
7,00	0,90835935	1,33071959	0,51788697	0,04485102	0,10520355	-1,2524468	0,32856043	-0,44389174	0,49339682	-0,01655247
8,00	0,90568358	1,3146343	0,47566258	-0,06104275	0,06538777	-1,51105068	0,47491172	-0,0629285	0,02008288	-2,05204008
9,00	0,76483428	0,72193987	0,54863158	0,12220477	0,32612793	-0,45063052	0,62003757	0,30557947	0,26648425	-0,62348099
10,00	0,39591851	-0,2639259	0,18960909	-0,87933774	0,3868551	-0,28752521	0,53412952	0,08565465	0,64727401	0,37797121
11,00	0,12779076	-1,13689661	0,94180003	1,57006522	0,33755113	-0,41915581	0,62524437	0,31928387	0,08301634	-1,38506472
12,00	0,78520497	0,78989335	0,90504887	1,3108683	0,14526789	-1,05694701	0,43861547	-0,15448044	0,05101712	-1,63507064
13,00	0,1030217	-1,26452011	0,89971643	1,27993744	0,06492552	-1,51468956	0,50494136	0,01238648	0,5882282	0,22298959
14,00	0,44647946	-0,13456108	0,07810511	-1,41793339	0,92009016	1,40567827	0,80619283	0,86395185	0,82727715	0,94345994
15,00	0,75927485	0,70397185	0,14121564	-1,07487372	0,50436381	0,01093868	0,48933189	-0,02674418	0,6450513	0,37199389
16,00	0,89585954	1,25830654	0,47345654	-0,06658375	0,52543938	0,06381033	0,79803825	0,83463455	0,1520239	-1,02779175
17,00	0,44376754	-0,14142388	0,39066798	-0,27757848	0,34689828	-0,3937081	0,28509683	-0,56776632	0,20403691	-0,82728803
18,00	0,11858693	-1,18208027	0,98163652	2,08878624	0,34245684	-0,40576718	0,82481464	0,93387047	0,51307878	0,03278952

- Etape 2 : Factorisation de Cholesky

On récupère la matrice de variance-covariance calculée à partir des données historiques, puis on la factorise pour obtenir la matrice de Cholesky.

**Tableau 16: Matrice de variance-covariance du portefeuille actions**

Matrice variance-covariance	DOUJA PROM ADDOHA	ATTIJARIWAFI BANK	BMCE BANK	BCP	ITISSALAT AL-MAGHRIB	ATLANTA	CENTRALE LAITIERE	COSUMAR	AFRIQUIA GAZ	SAMIR	LABEL VIE
DOUJA PROM ADDOHA	0,000302672	5,36764E-05	1,6701E-05	1,2262E-05	5,3019E-05	2,68921E-05	-3,20165E-07	1,34203E-05	-8,30105E-07	3,81904E-05	1,31242E-05
ATTIJARIWAFI BANK	5,36764E-05	0,000131498	2,10662E-05	2,0992E-05	1,68226E-05	1,50707E-05	2,59012E-06	6,07988E-07	-3,95498E-06	2,57781E-05	2,99477E-05
BMCE BANK	1,6701E-05	2,10662E-05	0,000234864	2,747E-06	1,11452E-05	6,1914E-06	-8,39258E-06	1,70096E-05	6,21535E-06	2,74534E-05	9,38556E-06
BCP	1,2262E-05	2,09919E-05	2,74699E-06	5,8022E-05	5,92992E-06	5,36981E-06	9,27946E-06	1,05522E-06	2,25055E-06	9,20872E-06	1,8345E-05
ITISSALAT AL-MAGHRIB	5,3019E-05	1,68226E-05	1,11452E-05	5,9299E-06	0,000175471	3,21862E-05	1,11634E-05	5,16538E-06	3,91017E-06	3,94568E-05	9,85958E-06
ATLANTA	2,68921E-05	1,50707E-05	6,1914E-06	5,3698E-06	3,21862E-05	0,000427191	5,47683E-06	-4,54842E-06	5,01546E-06	1,52003E-05	3,42799E-05
CENTRALE LAITIERE	-3,20165E-07	2,59012E-06	-8,39258E-06	9,2795E-06	1,11634E-05	5,47683E-06	0,000256447	9,77015E-07	-1,19141E-05	4,71872E-06	-2,15916E-06
COSUMAR	1,34203E-05	6,07988E-07	1,70096E-05	1,0552E-06	5,16538E-06	-4,54842E-06	9,77015E-07	0,000230513	3,96218E-05	4,64209E-06	1,88199E-05
AFRIQUIA GAZ	-8,30105E-07	-3,95498E-06	6,21535E-06	2,2505E-06	3,91017E-06	5,01546E-06	-1,19141E-05	3,96218E-05	0,000259219	2,34886E-05	3,12715E-05
SAMIR	3,81904E-05	2,57781E-05	2,74534E-05	9,2087E-06	3,94568E-05	1,52003E-05	4,71872E-06	4,64209E-06	2,34886E-05	0,00048038	2,85165E-05
LABEL VIE	1,31242E-05	2,99477E-05	9,38556E-06	1,8345E-05	9,85958E-06	3,42799E-05	-2,15916E-06	1,88199E-05	3,12715E-05	2,85165E-05	0,00041238

**Tableau 17: Matrice de Cholesky portefeuille actions**

Matrice de Cholesky	DOUJA PROM ADDOHA	ATTIJARIWAFI BANK	BMCE BANK	BCP	ITISSALAT AL-MAGHRIB	ATLANTA	CENTRALE LAITIERE	COSUMAR	AFRIQUIA GAZ	SAMIR	LABEL VIE
DOUJA PROM ADDOHA	0,017397482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ATTIJARIWAFI BANK	0,003085299	0,011044408	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BMCE BANK	0,000959968	0,001639238	0,015207094	0	0	0	0	0	0	0	0
BCP	0,000704817	0,001703788	-4,75124E-05	0,00739054	0	0	0	0	0	0	0
ITISSALAT AL-MAGHRIB	0,003047509	0,000671843	0,000468098	0,00035986	0,01286016	0	0	0	0	0	0
ATLANTA	0,001545746	0,000932746	0,000209017	0,00036548	0,002069922	0,020480971	0	0	0	0	0
CENTRALE LAITIERE	-1,8403E-05	0,00023966	-0,000576558	0,00119839	0,000847357	0,000156745	0,015933557	0	0	0	0
COSUMAR	0,000771395	-0,000160443	0,001087129	0,00011319	0,000184501	-0,000304754	8,8633E-05	0,015118294	0	0	0
AFRIQUIA GAZ	-4,77141E-05	-0,000344768	0,00044889	0,00039144	0,000306079	0,000221686	-0,000774261	0,002589627	0,015852277	0	0
SAMIR	0,002195167	0,001720812	0,001481234	0,00064948	0,002385956	0,000230279	0,0001484	7,65855E-05	0,001413217	0,02149915	0
LABEL VIE	0,000754372	0,002500837	0,000299986	0,00183568	0,000394975	0,001427179	-0,000334509	0,001223489	0,001731726	0,000798081	0,019866044

- Etape 3 : Calcul du vecteur des rendements

En multipliant la matrice de Cholesky et le vecteur multinormale Z, on obtient le vecteur des rendements. Cela revient à multiplier la première ligne de la matrice de Cholesky par le vecteur multinormale Z pour obtenir le rendement R<sub>1</sub> relatif à l'actif Douja Prom Doha. On réitère l'opération pour obtenir les autres composantes du vecteur des rendements R. On obtient 1100 scénarios pour chaque actif du portefeuille.

**Tableau 18: Le vecteur Rendements des actifs**

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
-0,00462831	-0,00538401	-0,01061252	-0,00128928	-0,01336487	0,0172803	0,01130107	-0,0191668	-0,02352832	-0,01084078	-0,00990271
-0,00553975	0,00576313	0,01654759	0,01541152	-0,01090941	-0,00066902	-0,02256012	0,00579258	-0,00027047	-0,0010728	0,00797227
-0,00083349	0,00482636	-0,02402603	0,00709719	-0,00377662	-0,01351854	-0,01412903	0,00066938	0,02172752	0,03292665	0,0485774
-0,00361787	0,02019815	-0,0168214	-0,01108483	-0,002244	0,00635365	-0,02090847	0,01507127	-0,01860057	0,03141454	-0,00482065
-0,00423325	0,01967138	0,00345566	0,01434249	0,02993275	-0,01869341	0,00865543	0,01776977	0,04224663	0,01679506	0,00678414
0,00630109	0,00495003	-0,03210063	-0,00217499	-0,01835672	0,00900406	-0,0203073	0,02378059	-0,00341785	-0,03144255	-0,03650344
0,02315117	0,00460102	-0,01769511	-0,00220676	0,00312664	-0,00417408	-0,00254261	0,0108658	-0,00667175	0,02779915	-0,01709519
0,02287133	0,00338186	-0,02181675	0,00042929	-0,02315418	-0,0456779	-0,00458535	-0,02055828	0,0019644	-0,04252238	-0,03137199
0,01255994	0,00357708	-0,00595942	0,00299685	-0,00583682	-0,0465706	0,00899757	0,00344112	0,01768505	-0,03953573	0,01655245
-0,00459165	-0,01052605	-0,00606723	-0,00103753	0,00336191	0,01077873	0,0108012	-0,00078642	0,00607626	-0,01066309	-0,0100977
-0,01977914	0,01383277	-0,00489182	0,00425335	-0,02030333	-0,01158683	-0,0087506	0,00779337	0,00573453	0,02158733	0,01367136
0,01374216	0,01691482	-0,013166	0,0016987	-0,01828971	0,02512708	-0,01208754	-0,00192477	-0,01577753	-0,02994656	-0,0263958
-0,02199947	0,01023473	-0,0221498	0,001453	-0,0008306	0,03607671	0,0177472	0,02022302	-0,00374697	-0,02399821	-0,00031166

- Etape 4 : Calcul des scénarios du facteur de risque

Le facteur de risque est dans le cas de l'action le cours de celle-ci. Les cours de référence sont ceux observés le jour du calcul de la VaR et les quantités utilisées pour le calcul des VaR historiques et paramétriques sont maintenues. En appliquant la formule exposée dans la partie théorique, on obtient :

Tableau 19: Les cours de référence et les positions

30/04/2014										
R1 réf	R2 réf	R3 réf	R4 réf	R5 réf	R6 réf	R7 réf	R8 réf	R9 réf	R10 réf	R11 réf
59,99	316,8	208,5	188,5	99,05	64,7	1636	1898	1650	278,85	1307

Positions										
123256	255145	133426	70956	5895667	489231	658789	95684	126849	389457	469712

- Etape 5 : Calcul de la VaR

Tableau 20: Cours simulés des actifs

Prix simulés										
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
59,7129893	315,09893	206,29899	188,257128	97,735016	65,8277512	1654,59342	1861,96784	1611,63142	275,843375	1294,12103
59,658589	318,631032	211,978877	191,427573	97,9752957	64,656729	1599,50487	1909,02622	1649,55378	278,551011	1317,4614
59,9400197	318,332687	203,550272	189,842578	98,6766309	63,8312361	1613,04744	1899,27091	1686,24272	288,18443	1372,05804
59,7733558	323,263832	205,022073	186,422048	98,8279805	65,1123897	1602,14887	1926,82191	1619,59273	287,748992	1300,71457
59,7365839	323,093592	209,221752	191,22304	102,059657	63,5017706	1650,22174	1932,02846	1721,20034	283,572853	1315,89701
60,369196	318,372057	201,913304	188,09046	97,2483536	65,2851934	1603,11232	1943,67651	1644,37018	270,218651	1260,15029
61,3950401	318,260962	204,843021	188,084484	99,3601783	64,4305	1631,84558	1918,73575	1639,02825	286,710545	1284,84649
61,3778615	317,873186	204,000469	188,580939	96,7829259	61,811121	1628,51553	1859,37874	1653,24445	267,241202	1266,63332
60,7482222	317,935248	207,261156	189,065754	98,4735471	61,755967	1650,78644	1904,5425	1679,43989	268,040549	1328,81409
59,7151786	313,482835	207,238813	188,304527	99,3835576	65,4011556	1653,76654	1896,50797	1660,05635	275,892394	1293,86871
58,815107	321,212672	207,482547	189,303464	97,0592333	63,9546587	1621,74647	1912,84961	1659,48915	284,93507	1324,99116
60,8200824	322,204192	205,772882	188,820476	97,2548704	66,3463192	1616,34382	1894,3503	1624,17137	270,6232	1272,95202
58,684663	320,059011	203,932537	188,774089	98,9677629	67,0767785	1665,29358	1936,77404	1643,82907	272,237756	1306,59272
59,8497262	311,74803	212,482965	189,219098	100,219623	64,4933134	1627,88167	1926,74342	1657,1768	279,380339	1366,69319

Une fois les prix simulés sont calculés, le calcul de la VaR Monté Carlo est similaire à celui de la VaR historique. On Calcule la valeur du portefeuille pour chaque scénario en multipliant le prix de chaque actif par sa quantité pour obtenir le volume. On somme ensuite les 11 volumes relatifs aux 11 actifs pour chaque scénario.

Enfin, on procède au calcul des variations en calculant la différence entre la valeur de portefeuille simulée et la valeur réelle du portefeuille au 30/04/2014. On obtient 1100 variations. Grâce à la fonction Centile on calcule alors la VaR d'un horizon d'un jour et à un seuil de confiance  $\alpha\%$  ( $\alpha$  prend les valeurs suivantes : 90%,95%, 99% et 99,9%)

**Tableau 21: P&L du portefeuille actions**

Simulation	Valeur du portefeuille	Valeur du portefeuille au 30/04/2014	P&L
1,00	2924973229	2936239207	-11265978,4
2,00	2912733411		-23505795,7
3,00	2957224625		20985418,2
4,00	2913256373		-22982833,8
5,00	2982936173		46696965,8
6,00	2882066459		-54172748,4
7,00	2928475594		-7763613,29
8,00	2889613822		-46625384,5
9,00	2951796381		15557173,7
10,00	2943003894		6764687,36
11,00	2929095009		-7144198,04
12,00	2891829630		-44409576,8
13,00	2956456898		20217691
14,00	2968867523		32628315,7

**Tableau 22: VaR MC à horizon 1 jour**

horizon 1jr et 90%	horizon 1jr et 95%	horizon 1jr et 99%	horizon 1jr et 99,5%
30715793,2	40078123,7	55929030,6	61971528
1,04609%	1,36495%	1,90478%	2,11057%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 1,05% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 1,36% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 1,90% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 2,11% de mon portefeuille

Afin d'obtenir la valeur de la VaR à un horizon de 10 jours on passe par la formule de transformation précitée dans la partie théorique et on obtient :

**Tableau 23: VaR MC à horizon 10 jours**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
97131866,63	126738155	176863124	195971179

3,30804%	4,31634%	6,02346%	6,67422%
----------	----------	----------	----------

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 3,31% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 4,32% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 6,02% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 6,67% de mon portefeuille

### 1.3.3.3- Comparaison des différentes méthodes

En comparant les résultats des trois méthodes, on remarque que la VaR historique est celle qui représente le plus petit pourcentage du portefeuille actions : 3.08%.

## ***Section 2 : Application de la VaR à un portefeuille obligataire***

### ***2.1- Marché obligataire marocain***

#### ***2.1.1- Présentation du marché obligataire***

Le marché obligataire est le marché sur lequel les entreprises ainsi que les États se financent.

Lorsqu'un État ou une entreprise souhaite s'endetter, elle peut émettre une obligation, typiquement assortie d'un taux d'intérêt et d'une date de remboursement de sa valeur nominale. Les créanciers potentiels peuvent ainsi décider d'acheter lesdites obligations, sur base du rendement espéré, lui-même fonction du risque de défaut (cessation de paiement ou faillite) de l'entreprise.

Il existe 2 types de marchés :

- **Le marché primaire** : Marché de l'émission d'obligations, communément appelé marché du neuf ;
- **Le marché secondaire** : Conçu pour les transactions sur les obligations déjà émises.

Il existe différents types d'obligations, elles peuvent être distinguées selon le type de l'émetteur, selon les modalités de versements des intérêts, ou encore obligations prévoyant des modalités particulières.

En s'intéressant à la distinction selon le type de l'émetteur, au Maroc on dispose de 2 catégories d'obligations :

- **Les obligations d'État ou emprunts d'État (Bons du trésor)** : il s'agit d'obligations émises par l'État, pour financer ses dépenses. Ces bons du trésor sont risque free.
- **Les obligations émises par une entreprise privée**: on parle d'obligations « corporate ». La qualité de leur signature dépend de la santé financière des entreprises émettrices. En général, elles offrent des taux d'intérêt plus attrayants que les obligations d'État, en raison du risque plus élevé qui leur est lié. Au Maroc on distingue 3 types d'obligations émises par le secteur privé : les billets

de trésorerie émis par les entreprises privées, les bons de sociétés de financement et les certificats de dépôt émis par les banques.

Cela dit, chaque obligation est caractérisée par un taux de rentabilité actuariel, appelé aussi taux de rendement actuariel dans le cas de l'obligation. Ce taux, est le taux de rendement réel de l'obligation pour un investisseur qui la conserve jusqu'à son remboursement et en partant du principe qu'il réinvestit les intérêts au même taux actuariel.

Cependant, les taux de rendement calculés pour les obligations de la dette privée sont souvent comparés à des taux de référence, c'est là que la notion du spread est introduite.

Le spread est calculé comme l'écart entre le taux de rentabilité actuariel d'un emprunt donné et le taux de rentabilité de référence de maturité identique. Pour les obligations dans la zone euro, la référence est plus généralement la courbe de taux swap, plus précisément à mid-swap, c'est-à-dire à mi-chemin entre les taux prêteurs et les taux emprunteurs, parfois est mentionné également le spread par rapport à l'obligation d'état française, ou l'obligation d'état allemande. Le spread est calculé en points de base, et dépend de la qualité de solvabilité perçue de l'émetteur que reflète la note attribuée à l'emprunt, de l'échéance du titre émis et des garanties offertes.

Le spread est naturellement d'autant plus faible que la solvabilité de l'émetteur est perçue comme bonne.

Au Maroc, ce qui fait le dysfonctionnement du marché obligataire est l'absence du calcul du taux de rendement pour les obligations de la dette privée. A la place, une prime de risque est ajoutée au prix que l'on obtient en valorisant via un taux de rendement d'un bon du trésor de maturité identique, obtenu par interpolation et à partir de la courbe des taux de la banque centrale marocaine (Bank Al-Maghrib).

La prime de risque permet à l'investisseur de compenser un niveau de risque supérieur à la moyenne.

Suite à cette présentation du marché obligataire et de ses failles, il devient primordial de définir ce qu'est une obligation.

### 2.1.1- L'obligation

► Notions de base :

- ✓ L'obligation est un titre financier qui matérialise l'engagement d'un emprunteur envers un prêteur qui, en contrepartie, met des fonds à sa disposition.

Cet engagement prévoit un échéancier de flux financiers qui définit les modalités de remboursement des fonds et un mode de rémunération du prêteur dans l'intervalle. La rémunération peut être fondée sur un taux d'intérêt fixe pendant toute la durée de la dette ou sur un taux d'intérêt variable en fonction d'un indice.

- ✓ Le capital emprunté :

- La valeur nominale :

Les emprunts qui sont négociables sur un marché sont divisés en un certain nombre de coupures conférant les mêmes droits de dette pour une même fraction de l'emprunt : la valeur nominale ou la valeur faciale.

- Prix d'émission:

C'est le prix qu'un investisseur paie pour obtenir une coupure. Le prix d'émission pourra être supérieur à la valeur nominale (émission au-dessus du pair), inférieur (au-dessous du pair), ou encore la valeur nominale (au pair).

- Amortissement de l'emprunt :

On appelle « amortissement d'un emprunt », son remboursement. Les modalités de remboursement sont les suivantes :

- Le remboursement in fine :

Le remboursement in fine correspond au remboursement de la totalité du capital d'un emprunt au terme de sa durée de vie. Dans le cadre d'un remboursement in fine, l'emprunteur paie uniquement les intérêts de son emprunt durant sa durée de vie.

- Le remboursement par tranches ou amortissement constant :

Chaque année, l'emprunteur rembourse une proportion constante du capital correspondant à  $1/n$  où  $n$  est la durée de vie totale de l'emprunt.

- Le remboursement par annuités constantes :

L'emprunteur peut souhaiter rembourser son emprunt par annuité constantes, c'est-à-dire allouer une somme constante aux intérêts et aux amortissements.

- Durée de l'emprunt:

La durée de l'emprunt est la durée qui sépare son émission de son remboursement.

- Garanties:

Le remboursement et le paiement des intérêts peuvent être garantis par la maison mère.

✓ Les revenus :

- Date de jouissance:

La date de jouissance est la date à partir de laquelle les intérêts commencent à courir. Elle peut coïncider avec la date de règlement qui est le jour où les prêteurs versent les fonds prêtés.

- Taux d'intérêt:

Le taux du coupon, ou taux facial, ou encore taux nominal, permet de calculer les intérêts (on parle de coupon pour une obligation) qui sont dus aux prêteurs. Il suffit d multiplier le taux facial par la valeur nominale d l'emprunt pour obtenir le montant des intérêts.

- Périodicité:

La périodicité correspond à la fréquence de versement des intérêts, généralement annuelle, peut être semestrielle, trimestrielle, mensuelle, voire plus courte. Certaines obligations ont une périodicité beaucoup plus longue, puisque les intérêts ne sont versés qu'au moment du remboursement de l'emprunt après avoir été capitalisés. C'est ce qu'on appelle les obligations à coupon zéro.

► Valorisation d'une obligation :

Dès la fin de la souscription, le prix d'émission auquel a été vendu le titre de dette devient une valeur passée et le titre acquiert une valeur fluctuante sur le marché secondaire. Par conséquent, le taux actuariel calculé à la date d'émission ne vaut qu'à ce moment ; ensuite, il évolue en même temps que la valeur de l'obligation.

Lorsqu'il y'a cotation en bourse, les cours sont exprimés en pourcentage du nominal. Tout se passe donc comme si le nominal de toutes les obligations était ramené à 100. La comparaison entre le cours des diverses obligations est donc simplifiée.

Pour que cette comparaison soit correcte, il faut que les cours n'incluent pas la fraction de l'intérêt annuel écoulé, appelé coupon couru. Ce type de cotation est appelé cotation au pied de coupon. La cote des obligations indique ainsi, à côté du cours exprimé en pourcentage du nominal, la portion de coupon couru, ramenée elle aussi en pourcentage du nominal.

Certains titres de dette sont cotés en taux de rendement actuariel, cette seconde méthode est équivalente à la première.

✓ Cotation au pied de coupon :

Le prix, exprimé en pourcentage du nominal, d'une obligation n'est rien d'autre que l'expression de la valeur actuelle de l'ensemble des flux auquel il donne droit, c'est-à-dire les flux d'intérêt (coupons) et le remboursement du nominal, qui a lieu généralement en une seule fois à l'échéance.

○ La détermination de la valeur actuelle des flux :

La valeur actuelle des flux à venir est déterminée en les actualisant. La convention du marché veut qu'on actualise tous les flux à un taux unique. Cela rend les choses plus faciles d'un point de vue calcul, mais cela ne correspond pas à la réalité économique des choses, puisqu'un flux prêté pendant un an ne le sera pas au même taux qu'un flux prêté durant cinq ans. Pourtant c'est cela que signifie l'actualisation de tous les flux au même taux. Ce taux d'actualisation est le taux de rendement de l'obligation.

- La formule utilisée pour l'actualisation des flux est la suivante:

$$P_{gross} = \sum_{n=1}^N \left( \frac{cpn_n}{(1+i)^{t_N}} \right) + \frac{C_N}{(1+i)^{t_N}}$$

Le prix de l'obligation est donc obtenu en faisant la somme des flux de coupon (cpn) et du remboursement (C), actualisés chacun au taux de rendement  $i$  sur la période  $t$ , qui est, pour chaque flux, la durée (en années) entre la date d'achat et la date de tombée du flux.

- Différence entre le prix coupon couru inclus (gross price) et le prix pied de coupon (clean price) :

Comme il a déjà été évoqué, le prix obtenu en appliquant la formule ci-dessus est le prix coupon couru inclus, en anglais gross price. Mais ce n'est pas le prix qu'on lira dans un journal économique ou sur une page Bloomberg, Reuters ou autre comme étant le prix coté de l'obligation. Le prix affiché est toujours le prix pied de coupon, ou clean price.

- La relation entre prix et taux de rendement

Il y a une relation étroite entre le prix et le taux de rendement du titre. Lorsque le taux de rendement augmente, le prix baisse et inversement.

- Exemple concret :

Valorisation de l'obligation OAT 4% 25-04-2014 (Code ISIN : FR0010061242) :

Exemple de l'OAT 4% 25/04/2014  
Date de calcul: 15 octobre 2009

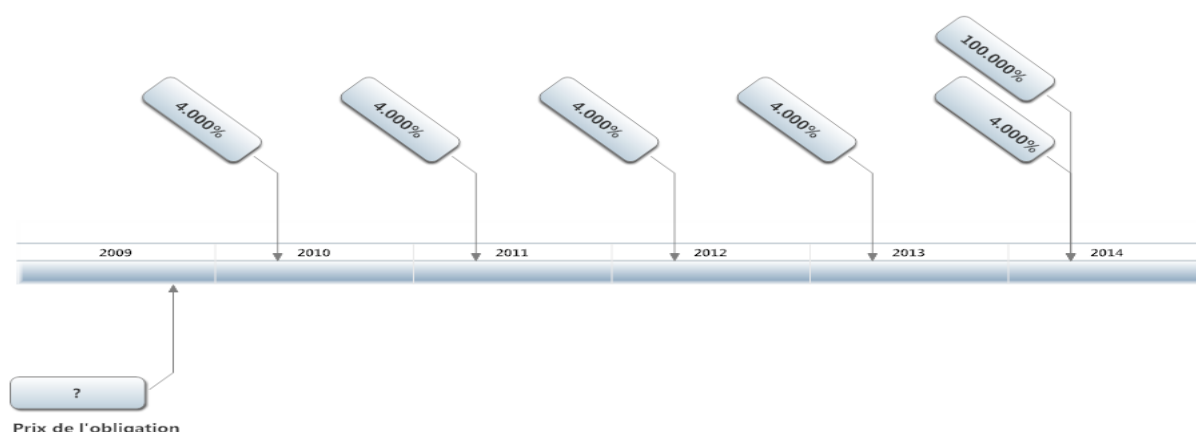


Figure 7: Cash flows de l'obligation OAT 4% 25/04/2014

Ce schéma montre les flux d'intérêts de 4% qui sont versés chaque année. Ce flux est majoré pour la dernière année du remboursement du principal de l'obligation, qui est de 100% du nominal, ce qui nous donne un flux de 104%.

En appliquant la formule d'actualisation des flux à l'exemple de l'OAT 4% 25-04-2014, et en fixant le taux de rendement à 2.450% et la date d'achat (date de valeur) au 15 octobre 2009, voici le résultat obtenu:

Tableau 24: Tableau des flux financiers de l'obligation

Tableau des flux financiers (Cash Flows) de l'obligation				
Flux	Flux (Cpn/C)	Période d'actualisation	Taux d'actualisation	Flux actualisé
<b>25/04/2010</b>	4.000	0.526027	2.450%	3.949
<b>25/04/2011</b>	4.000	1.526027	2.450%	3.855
<b>25/04/2012</b>	4.000	2.526027	2.450%	3.763
<b>25/04/2013</b>	4.000	3.526027	2.450%	3.673
<b>25/04/2014</b>	104.000	4.526027	2.450%	93.209
<b>Somme</b>				108.448

La valeur actuelle des flux futurs, et le prix coupon couru inclus de l'obligation, est de 108.448%. Afin d'obtenir le prix pied de coupon (ou clean price) qui est le prix réellement affiché, il faut soustraire les intérêts courus.

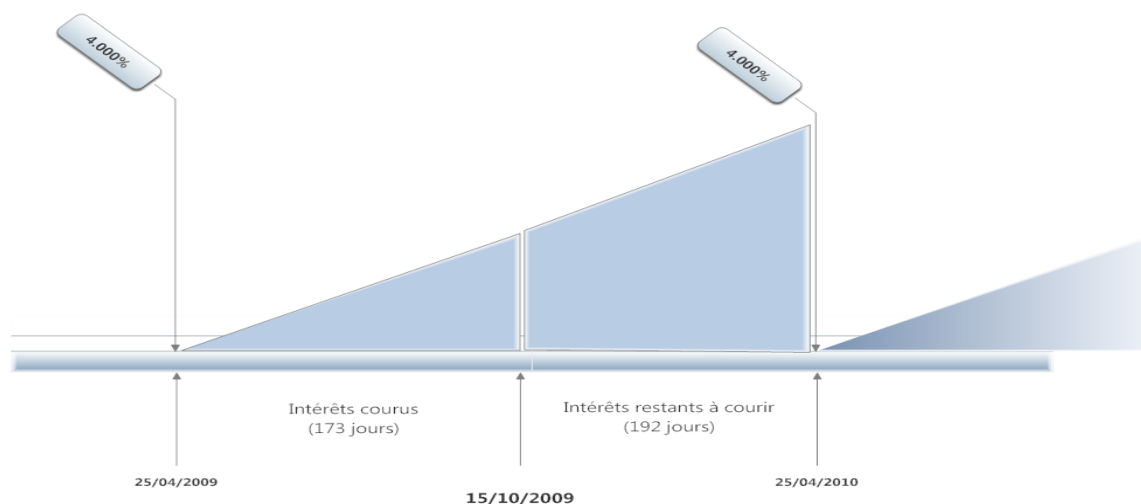


Figure 8: Coupon couru de l'obligation

Le triangle au-dessus de la ligne temps représente la valeur des intérêts courus, croissants de manière linéaire chaque jour. Cette valeur tombe à zéro à la date de tombée du coupon. L'acquéreur de l'obligation n'aura droit aux intérêts qu'à partir de la date d'acquisition (dans notre exemple le 15 octobre 2009). Comme il recevra, le 25 avril 2010, le coupon intégral couvrant la période du 25 avril 2009 au 25 avril 2010, il doit régler au vendeur la partie des intérêts correspondant à la période entre le 25 avril et le 15 octobre, qui est de 173 jours. Leur valeur est calculée en multipliant le coupon nominal, 4%, par la fraction (nombre de jours d'intérêts courus / nombre de jours de la période), soit  $(173/365)$ .

Elle ressort donc à  $4\% \times (173/365) = 1.896\%$

En déduisant cette valeur de notre prix coupon couru inclus, nous obtenons le prix pied de coupon, ou clean price :

$$108.448\% - 1.896\% = 106.552\%$$

## 2.1.2- Réalisation du « pricer » pour obligations

### 2.1.2.1- Conception du « pricer »

En vue de calculer le résultat d'un portefeuille obligataire, il est indispensable de procéder à la valorisation de chacune des obligations du portefeuille, et donc, la programmation d'un pricer s'impose.

Sachant que la valorisation au pied de coupon se fait via la formule :

$$P_{gross} = \sum_{n=1}^N \left( \frac{cpn_n}{(1+i)^{tN}} \right) + \frac{C_N}{(1+i)^{tN}}$$

En considérant le coupon couru dont la formule est :

$$Gross\ price - Clean\ price = Coupon\ couru$$

La formule montre bien qu'il est indispensable de calculer le taux d'actualisation précité dans la partie théorique, qui permet d'actualiser chaque flux car un flux prêté pendant un an ne le sera pas au même taux qu'un flux prêté durant 5 ans.

Le calcul des taux d'actualisation sera la première étape dans la réalisation du pricer, qui, elle, peut être divisée en étapes :

- ✓ Calcul des taux d'actualisation
- ✓ Calcul des flux
- ✓ Calcul du prix de l'obligation
  
- Calcul des taux d'actualisation :

En vue de calculer les différents taux d'actualisation des différentes maturités, on a besoin de la courbe des taux de rendement actuariel à terme relative à la classe

d'émetteur des obligations que l'on traite. Pour cette application il est question des bons du trésor marocain à taux fixe. La courbe des taux est disponible sur le site de la banque centrale.

On procède à des interpolations, par la suite, pour obtenir dans un premier temps les taux de rendements relatifs aux maturités proposées par l'état marocain qui sont de 13 semaines, 26 semaines, 52 semaines, 1 an, 2 ans, 5 ans, 10 ans, 15 ans, 20 ans et 30 ans. Puis, on ré interpole pour obtenir des taux de maturité inférieure à un an et des taux de maturité supérieur à un an.

A partir de ces taux de rendements actuariels, on calcul les taux d'actualisation qui ne sont que les taux zéro-coupon qu'on obtient grâce à la méthode du bootstrap.

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

On ne dispose donc que de 2 flux :

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

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

Méthode de calcul sur le cours terme :

Sur le court terme, les instruments sont généralement de type zéro-coupon.

En effet sur le moins d'un an, le remboursement du capital intervient en même temps que le paiement des intérêts. On a donc bien 2 flux. Le problème se situe uniquement au niveau de la conversion du taux monétaire en base actuarielle :

$$t_a = \left[ 1 + \frac{t_m \times n}{360} \right]^{\frac{1}{f}} - 1$$

Avec :

$t_m$  : le taux monétaire ;

$t_a$  : le taux actuariel ;

$n$  : le nombre de jours du placement ;

$f$  : la fraction d'année du placement (base exact/exact).

Méthode de calcul sur le long terme :

A partir du moment où l'on raisonne sur le plus d'un an, on se retrouve confronté au fait qu'interviennent généralement des règlements intermédiaires d'intérêts (détachement de coupons) généralement annuels.

Prenons un exemple : pour simplifier, nous raisonnerons sur un montant de départ de 100.

Supposons que l'on note les taux suivants sur le marché :

$$\begin{aligned} 1 \text{ an} &= 3,50\% \\ 2 \text{ ans} &= 4,75\% \\ 3 \text{ ans} &= 5,50\% \end{aligned}$$

Pour l'an, le problème ne se pose pas car il n'y a pas de flux intermédiaire. On doit seulement vérifier qu'ils sont bien exprimés en base exact/exact (dans le cas contraire, on effectuera une conversion).

Pour le 2 ans, nous avons un flux intermédiaire :

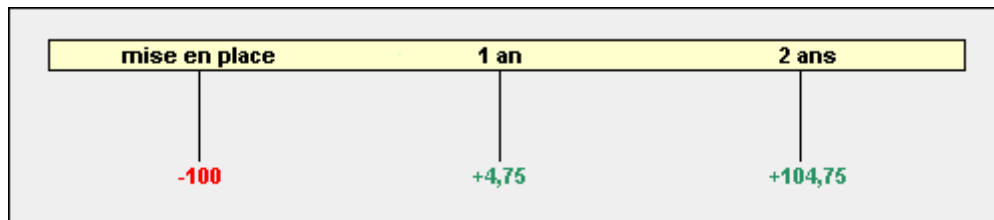


Figure 9: Schéma expliquant l'origine du taux ZC

Ce flux (4,75) devra être actualisé au taux zéro-coupon du 1 an (3,50%).

On se retrouve donc avec l'équation suivante :

$$100 = \frac{4,75}{(1 + 0,0350)^1} + \frac{104,75}{(1 + t_{z^2})^2}$$

Qui donne pour résultat  $t_{z^2} = 4,78\%$

Pour le 3 ans, nous avons 2 flux intermédiaires. Le premier flux doit être actualisé au taux zéro-coupon du 1 an et le deuxième flux au taux zéro-coupon du 2 ans.

On doit donc résoudre l'équation suivante :

$$100 = \frac{5,50}{(1 + 0,0350)^2} + \frac{5,50}{(1 + 0,0487)^2} + \frac{105,50}{(1 + t_{z3})^3}$$

Qui donne pour résultat  $t_{z3} = 5,57\%$

Les écarts entre les taux « couponnés » ont été volontairement écartés afin de faire ressortir les résultats des calculs des taux zéro coupon.

Une fois les taux d'actualisation obtenus on passe au calcul des flux.

- Calcul des flux :

Le calcul des flux est obtenu en faisant la somme des flux de coupon et du remboursement, qui seront ensuite actualisés chacun au taux zéro-coupon correspondant sur la période t.

- Calcul du prix de l'obligation :

Une fois les flux actualisés, on les somme pour obtenir le gross price. Et vu que le calcul est fait au pied de coupon donc il faudrait déduire le coupon couru pour aboutir au clean price.

Par la suite, il faut généraliser le processus à toutes les obligations du portefeuille pour enfin calculer le résultat du portefeuille qui nous permettra, ensuite, de calculer la VaR.

#### 2.1.2.2- « Pricer »

- Calcul des taux d'actualisation :

Dans un premier temps, et à partir de la courbe des taux de la banque centrale on obtient les taux comme suit :

- Mise au point d'une macro qui permet le téléchargement du taux Over-Night<sup>13</sup>.
- Mise au point d'une macro qui permet le téléchargement de la courbe des taux de Bank Al Maghrib.

Date	TMP
17/03/2014	0,03063
16/03/2014	0,03017
15/03/2014	0,03017
14/03/2014	0,03017
13/03/2014	0,03036
12/03/2014	0,03066
11/03/2014	0,03047
10/03/2014	0,0307
09/03/2014	0,03052
08/03/2014	0,03052

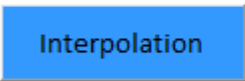
Echéance	Volume	TMP	Date de Valeur	Maturité
05/04/2014	209,99	0,03225	14/03/2014	22
18/05/2014	5948,31	0,03237	17/03/2014	62
28/06/2014	71,93	0,0325	17/03/2014	103
07/07/2014	2019,06	0,03256	17/03/2014	112
14/07/2014	710,84	0,03262	17/03/2014	119
02/08/2014	24,88	0,0326	17/03/2014	138
15/09/2014	20,41	0,033	17/03/2014	182
11/05/2015	38,26	0,0354	17/03/2014	420
14/12/2015	24,61	0,0369	17/03/2014	637
15/02/2016	70,98	0,03685	17/03/2014	700
14/03/2016	247,6	0,03715	14/03/2014	731
18/04/2016	280,74	0,03747	14/03/2014	766
19/11/2018	115,23	0,0424	17/03/2014	1708
14/04/2019	1048,5	0,04373	17/03/2014	1854
18/10/2019	23,58	0,04482	17/03/2014	2041

Figure 10: Interface de téléchargement des ON et de la courbe BAM

- Interpolation linéaire pour retrouver les taux relatifs aux maturités du tableau ci-dessous :

<sup>13</sup> L'over-night est l'instrument du marché monétaire présentant la durée de placement la plus courte. C'est le taux correspondant à la maturité un jour.

**Date de Valorisation** 22/05/2014



<i>Maturité</i>	<i>Taux(%)</i>	<i>Maturité</i>
13 sem.	3,25	91
26 sem.	3,3	182
52 sem.	3,45	364
2 ans	3,72	731
5 ans	4,35	1826
10 ans	5,08	3653
15 ans	5,72	5479
20 ans	4,99	7305
30 ans	4,14	10958

**Figure 11: Interface de l'interpolation linéaire**

On calcule ensuite les taux qui correspondent aux maturités {1Week, 1Month, 2Months, 13Weeks, 4Months, 5Months, 26Weeks, 7Months, 8Months, 9Months, 10Months, 11Months, 52Weeks, 1Year, 2Years, 3Years, 4Years, 5Years, 6Years, 7Years, 8Years, 9Years, 10Years, 11Years, 12Years, 13Years, 14Years, 15Years, 16Years, 17Years, 18Years, 19Years, 20Years, 21Years, 22Years, 23Years, 24Years, 25Years, 26Years, 27Years, 28Years, 29Years, 30Years}.

Puis, grâce au bootstrapping, calculer les taux Zéro-Coupons qui correspondent aux maturités précitées.

On obtient le tableau suivant :

	Tenor	Rate	ZC	Maturité	Date
Importer taux	MADBDT-ON	3,063	3,15413042	1	19/03/2014
	MADBDT-01W	3,07546667	3,16634454	7	25/03/2014
	MADBDT-01M	3,12533333	3,21508659	31	18/04/2014
Interpolation	MADBDT-02M	3,18766667	3,27575186	61	18/05/2014
	MADBDT-13W	3,25	3,33611825	91	17/06/2014
	MADBDT-04M	3,26703297	3,34906551	122	18/07/2014
	MADBDT-05M	3,28406593	3,36193275	153	18/08/2014
	MADBDT-26W	3,3	3,37389736	182	16/09/2014
	MADBDT-07M	3,32637363	3,39605546	214	18/10/2014
	MADBDT-08M	3,35192308	3,41739026	245	18/11/2014
	MADBDT-09M	3,37664835	3,43791369	275	18/12/2014
	MADBDT-10M	3,4021978	3,45899345	306	18/01/2015
	MADBDT-11M	3,42774725	3,4799428	337	18/02/2015
	MADBDT-52W	3,45	3,49808237	364	17/03/2015
	MADBDT-01Y	3,4508	3,49872778	365	18/03/2015
	MADBDT-02Y	3,72	3,72412471	731	18/03/2016
	MADBDT-03Y	3,93	3,94130863	1096	18/03/2017
	MADBDT-04Y	4,14	4,1624668	1461	18/03/2018
	MADBDT-05Y	4,35	4,38826652	1826	18/03/2019
	MADBDT-06Y	4,4962	4,54699725	2192	18/03/2020
	MADBDT-07Y	4,6421	4,70963732	2557	18/03/2021
	MADBDT-08Y	4,7879	4,87674097	2922	18/03/2022
	MADBDT-09Y	4,9338	5,04903075	3287	18/03/2023

Figure 12: Interface de calcul de la courbe ZC

- Calcul des flux :
  - Remboursement :

Il a été précité qu'il existait 3 types de remboursement. Selon le type de remboursement choisi, l'application fait le calcul de l'amortissement.

Pour ce faire, on calcul d'abord le nombre de flux de l'obligation, entre la date d'émission et la date d'échéance. Ce nombre de flux correspond aussi au nombre d'années de remboursement.

La feuille de calcul dédiée au remboursement donne le résultat du remboursement inscrits dans un tableau selon le type de remboursement :

Tableau 26: Tableau d'amortissement In Fine

Nominal	100000
taux de coupon	7,32
Maturité	16

Types d'Amortissement
In Fine
Amortissement Constant
Annuité Constante

### Tableaux d'amortissement

In Fine					
Année	Capital	Intérêt	Amortissement	Annuité	Capital Restant
1	100 000,00	9 144,99	0	9 144,99	100000,00
2	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
3	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
4	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
5	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
6	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
7	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
8	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
9	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
10	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
11	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
12	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
13	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
14	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
15	100 000,00	7 320,00	0	7 320,00	100000,00
16	100 000,00	7 320,00	100 000,00	107 320,00	0,00
17	-	-	0	-	-
18	-	-	0	-	-

Amortissement Constant					
Année	Capital	Intérêt	Amortissement	Annuité	Capital Restant
1	100 000,00	9 144,99	6 250,00	15 394,99	93750,00
2	93 750,00	6 862,50	6 250,00	13 112,50	87500,00
3	87 500,00	6 405,00	6 250,00	12 655,00	81250,00
4	81 250,00	5 947,50	6 250,00	12 197,50	75000,00
5	75 000,00	5 490,00	6 250,00	11 740,00	68750,00
6	68 750,00	5 032,50	6 250,00	11 282,50	62500,00
7	62 500,00	4 575,00	6 250,00	10 825,00	56250,00
8	56 250,00	4 117,50	6 250,00	10 367,50	50000,00
9	50 000,00	3 660,00	6 250,00	9 910,00	43750,00
10	43 750,00	3 202,50	6 250,00	9 452,50	37500,00
11	37 500,00	2 745,00	6 250,00	8 995,00	31250,00
12	31 250,00	2 287,50	6 250,00	8 537,50	25000,00
13	25 000,00	1 830,00	6 250,00	8 080,00	18750,00
14	18 750,00	1 372,50	6 250,00	7 622,50	12500,00
15	12 500,00	915,00	6 250,00	7 165,00	6250,00
16	6 250,00	457,50	6 250,00	6 707,50	0,00
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-

Tableau 25: Amortissement constant

**Tableau 27: Amortissement à annuités constantes**

Annuité constante		Annuité Constante					
	10811,3015	Année	Capital	Intérêt	Amortissement	Annuité	Capital Restant
1		1	100 000,00	9 144,99	1 666,32	10 811,30	98 333,68
2		2	98 333,68	7 198,03	3 613,28	10 811,30	94 720,41
3		3	94 720,41	6 933,53	3 877,77	10 811,30	90 842,64
4		4	90 842,64	6 649,68	4 161,62	10 811,30	86 681,02
5		5	86 681,02	6 345,05	4 466,25	10 811,30	82 214,77
6		6	82 214,77	6 018,12	4 793,18	10 811,30	77 421,59
7		7	77 421,59	5 667,26	5 144,04	10 811,30	72 277,55
8		8	72 277,55	5 290,72	5 520,58	10 811,30	66 756,96
9		9	66 756,96	4 886,61	5 924,69	10 811,30	60 832,27
10		10	60 832,27	4 452,92	6 358,38	10 811,30	54 473,89
11		11	54 473,89	3 987,49	6 823,81	10 811,30	47 650,08
12		12	47 650,08	3 487,99	7 323,32	10 811,30	40 326,77
13		13	40 326,77	2 951,92	7 859,38	10 811,30	32 467,38
14		14	32 467,38	2 376,61	8 434,69	10 811,30	24 032,69
15		15	24 032,69	1 759,19	9 052,11	10 811,30	14 980,59
16		16	14 980,59	1 096,58	9 714,72	10 811,30	5 265,86
17		17	-	-	-	-	-
18		18	-	-	-	-	-

- Intérêts :

Les intérêts sont calculés en multipliant le taux de coupon par la valeur faciale. Le problème se pose uniquement lorsque le premier flux est versé après plus d'un an de l'émission. Dans ce cas de figure, le premier coupon, considéré comme exceptionnel, est calculé proportionnellement à la maturité de ce coupon.

Les intérêts et le remboursement sont sommés avant d'être actualisé par la suite.

- Calcul du prix de l'obligation :

L'interface du pricer est la suivante :

Code ISIN		MA0000050015	
-----------	--	--------------	--

Bonds_Name	FPCT CREDILOG I P2
FaceValue	100000
IssueDate	12-avr.-02
MaturityDate	12-juil.-18
CouponRate	7,32
Type d'amortissement	In Fine
Date Premier flux	12/07/2003
Premier coupon	9,144986301

Jouissance	Échéance	Date Valo	Nombre de flux
28/06/2013	12-juil.-18	24/05/2014	5

MR	Base
365	365

Flux n°	MR i	Date CF	Amort	CF	Tx ZC	CF Actualisé
1	49	12/07/2014	0		7320	3,25148575
2	414	12/07/2015	0		7320	3,52890387
3	780	12/07/2016	0		7320	3,75328091
4	1145	12/07/2017	0		7320	3,97099836
5	1510	12/07/2018		100000	107320	4,19277964
6	-	-	0	-	-	0
7	-	-	0	-	-	0
8	-	-	0	-	-	0
9	-	-	0	-	-	0
10	-	-	0	-	-	0
11	-	-	0	-	-	0

Figure 13: Interface du pricer

Cette interface de calcul du prix d'une obligation permet à l'utilisateur de taper un code ISIN dans le champ qui lui est réservé, et grâce à la fonction de recherche verticale, les attributs qui correspondent au code ISIN sont affichés chacun dans la cellule qui lui est assignée. Un mode de remboursement est choisi dans la liste déroulante. Automatiquement, la date du premier flux et le taux du premier coupon sont affichés et le nombre de flux restants est calculé.

Le pricer affiche les dates des flux restants ainsi que le montant du flux qui est ensuite actualisé via le taux zéro-coupon correspondant à la maturité du flux.

La somme des flux actualisée donne le dirty price qui est ensuite transformé en clean price comme expliqué dans la partie conception du pricer.

Coupon unitaire	0,02005479
Coupon couru	6,33731507
Clean price	111782,572
Clean price %	111,782572

Dirty price	118119,887
-------------	------------

Figure 14: Dirty price, clean price

Le dirty price est la somme des flux actualisés.

Le clean price est le dirty price escompté du coupon couru.

Ainsi, on obtient un pricer permettant le calcul du prix d'une obligation à une date de valorisation. Cela permet aussi de calculer le résultat d'un portefeuille obligataire, chose importante dans le calcul de la VaR.

## 2.2- Facteur de risque

Le facteur de risque considéré pour les bons du trésor est le taux, étant donné que l'obligation est un produit de taux et que ce dernier est responsable des variations des prix des obligations.

## 2.3- Application de la VaR historique à un portefeuille obligataire

### 2.3.1- Vérification des hypothèses

Suivant la démarche expliquée précédemment, sous Eviews on a testé toutes les valeurs du portefeuille de devises, le test de dickey-Fuller a montré qu'aucune série de taux propre aux maturités suivantes 1 mois, 13 semaines, 26 semaine, 1 an, 2 ans, 3ans, 4 ans, 5ans, 7 ans, 9 ans, 10 ans, 15 ans, 20 ans et 30 ans n'est pas stationnaire. Ci-dessous figure le test effectué sous Eviews relatif à la série de taux de maturité 1 mois.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on M1		
Null Hypothesis: M1 has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 5 (Automatic based on SIC, MAXLAG=22)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.467786	0.5129
Test critical values:		
1% level	-2.566853	
5% level	-1.941082	
10% level	-1.616525	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Augmented Dickey-Fuller Test Equation		
Dependent Variable: D(M1)		
Method: Least Squares		
Date: 06/06/14 Time: 23:42		
Sample (adjusted): 1/07/2011 5/11/2014		

Figure 15: Test ADF sur 1 Month

### 2.3.2- Application de la VaR

On considère un portefeuille obligataire contenant trois bons du trésor dont les caractéristiques sont les suivantes :

Bonds_Name	FaceValue	IssueDate	MaturityDate	CouponRate
BTN TRES 28/06/14 15Y 07,15	250000	28/06/1999	28/06/2014	7,15

Bonds_Name	FaceValue	IssueDate	MaturityDate	CouponRate
BTN TRES 05/04/24 20Y 06,10	100000	05/04/2004	05/04/2024	6,1

Bonds_Name	FaceValue	IssueDate	MaturityDate	CouponRate
BTN TRES 04/12/36 30Y 4.50%	100000	04/12/2006	04/12/2036	4,5

Figure 16: Portefeuille obligataire

Pour calculer la VaR historique du portefeuille obligataire, la première étape est de calculer les valeurs que prend le portefeuille à chacune des dates entre le 02/01/2012 et le 30/04/2014 pour ensuite procéder au calcul des variations du portefeuille.

La date de valorisation est supposée être le 30/02/2014.

Le portefeuille est le suivant :

Portefeuille									
Désignation	MA0002003012			MA0002003012			MA0002008029		
Séance	Clean price	Face value	Valeur de marché	Clean price	Face value	Valeur de marché	Clean price	Face value	Valeur de marché
30/04/2014	100,6170216	250000	251542,5541	112,0053973	100000	112005,3973	89,51130644	100000	89511,30644
29/04/2014	100,6255521	250000	251563,8802	111,0303589	100000	111030,3589	89,5770798	100000	89577,0798
28/04/2014	100,6359956	250000	251589,989	111,0291009	100000	111029,1009	89,58794869	100000	89587,94869
27/04/2014	100,647144	250000	251617,8599	111,0343578	100000	111034,3578	89,59359371	100000	89593,59371
26/04/2014	100,6575734	250000	251643,9335	111,0338668	100000	111033,8668	89,60316149	100000	89603,16149
25/04/2014	100,6680026	250000	251670,0064	111,0333758	100000	111033,3758	89,6127335	100000	89612,7335
24/04/2014	100,6749921	250000	251687,4803	111,6037177	100000	111603,7177	89,58933027	100000	89589,33027
23/04/2014	100,6849216	250000	251712,304	111,5907661	100000	111590,7661	89,60687694	100000	89606,87694
22/04/2014	100,694925	250000	251737,3126	111,590852	100000	111590,852	89,61684754	100000	89616,84754
21/04/2014	100,7064319	250000	251766,0796	111,0188444	100000	111018,8444	89,66023147	100000	89660,23147
20/04/2014	100,7188596	250000	251797,1489	111,0224166	100000	111022,4166	89,66678227	100000	89666,78227
19/04/2014	100,7292345	250000	251823,0863	111,02205	100000	111022,05	89,67638036	100000	89676,38036
18/04/2014	100,7396082	250000	251849,0205	111,0216835	100000	111021,6835	89,68598267	100000	89685,98267
17/04/2014	100,749936	250000	251874,8399	111,4368436	100000	111436,8436	89,73920203	100000	89739,20203
16/04/2014	100,760309	250000	251900,7724	111,4356038	100000	111435,6038	89,77321006	100000	89773,21006
15/04/2014	100,7733948	250000	251933,4871	110,8610997	100000	110861,0997	89,81657309	100000	89816,57309
14/04/2014	100,7835617	250000	251958,9043	110,7781179	100000	110778,1179	89,839199	100000	89839,199
13/04/2014	100,7939546	250000	251984,8864	110,2678839	100000	110267,8839	89,89976719	100000	89899,76719

Tableau 28: Valeurs de marché des BDT

**Tableau 29: P&L du portefeuille obligataire**

Séance	Valeur de marché du portefeuille	Valeur du portefeuille	P&L
30/04/2014	453059,2578	453059,2578	887,938972
29/04/2014		452171,3188	-35,7197402
28/04/2014		452207,0386	-38,7728589
27/04/2014		452245,8114	-35,1503277
26/04/2014		452280,9618	-35,1539191
25/04/2014		452316,1157	-564,412639
24/04/2014		452880,5283	-29,4187471
23/04/2014		452909,9471	-35,0650768
22/04/2014		452945,0121	499,856636
21/04/2014		452445,1555	-41,1923249
20/04/2014		452486,3478	-35,1688253
19/04/2014		452521,5167	-35,1700089
18/04/2014		452556,6867	-494,198827
17/04/2014		453050,8855	-58,7007917
16/04/2014		453109,5863	498,426395
15/04/2014		452611,1599	34,9386447
14/04/2014		452576,2212	423,683782

On procède au calcul de la VaR à un horizon d'un jour en utilisant la fonction centile d'Excel et ce, pour les niveaux de confiance 90%, 95%, 99% et 99,5%.

**Tableau 28: VaR historique à horizon 1 jour du portefeuille BDT**

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
120,919796	259,794673	779,963265	1069,95111

0,02669%	0,05734%	0,17215%	0,23616%
----------	----------	----------	----------

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,027% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,057% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,17% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,24% de mon portefeuille

Grâce à la formule de passage de la VaR à un horizon d'un jour à la VaR à un horizon de 10 jours on obtient :

**Tableau 29: VaR historique à horizon 10 jours du portefeuille BDT**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
382,38197	821,542892	2466,46041	3383,48248

0,08440%	0,18133%	0,54440%	0,74681%
----------	----------	----------	----------

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,08% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,18% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,54% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,75% de mon portefeuille

### 2.3.3- Comparaison de la VaR historique à la Var Paramétrique et Monte Carlo

#### 2.3.3.1- Application de la Var paramétrique au portefeuille obligataire

##### ✓ Vérification des hypothèses

Suivant les démarches détaillées plus haut, on constate que la normalité des rendements de toutes les séries de taux de différentes maturités est rejetée. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l'objectif étant d'établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

Ci-dessous un exemple du test appliqué à la série de taux de maturité 1 mois:

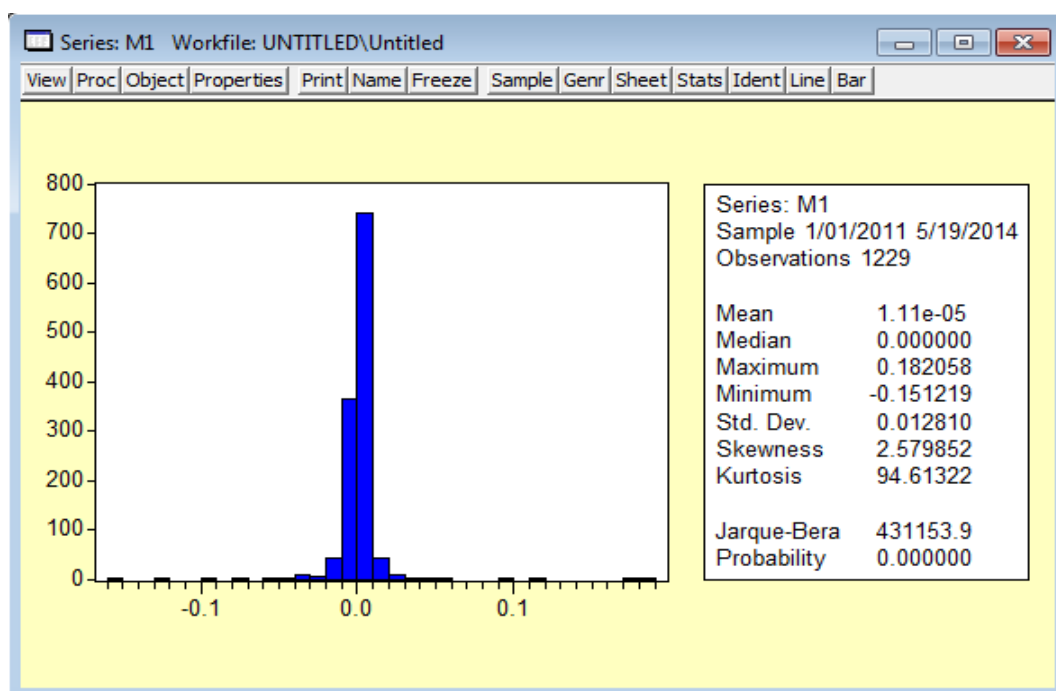


Figure 17: Test Jarque-Bera sur 1 Month

✓ Application de la VaR paramétrique

Afin de calculer la VaR paramétrique du portefeuille obligataire on commence par calculer les rendements relatifs aux taux ZC pour chaque date, puis la moyenne des rendements de chaque facteur de risque. On considère 13 facteurs de risque : { 1Month, 13 Weeks, 26 Weeks, 1 Year, 2 Years, 3 Years, 4 Years, 5 Years, 7 Years, 9 Years, 10 Years, 15 Years, 20 Years}. On obtient les tableaux ci-dessous :

Tableau 30: Prix ZC et rendements

Désignation	1 Month				13 Weeks				26 Weeks			
	Date	Taux ZC	Prix ZC	Rendements	R-Rm	Taux ZC	Prix ZC	Rendements	R-Rm	Taux ZC	Prix ZC	Rendements
30-avr-14	3,16739881	0,88786018	0	-0,884921455	3,19071043	0,69960727	6,66508E-15	-0,683313634	3,25022676	0,48602072	0	-0,461270261
29-avr-14	3,16739881	0,88786018	-1,41414E-05	-0,884933596	3,19071043	0,69960727	0	-0,683313634	3,25022676	0,48602072	-0,00242024	-0,4636905
28-avr-14	3,16669166	0,88787273	4,58946E-05	-0,88487556	3,19071043	0,69960727	-0,000618129	-0,683931763	3,22962221	0,48719986	0,002426111	-0,458844149

**Tableau 31: Vecteur moyenne des rendements**

Portfeuille	Vecteur $\mu$ des rendements (Transposée)
1 Month	0,884921455
13 Weeks	0,683313634
26 Weeks	0,461270261
1 Year	0,204909484
2 Years	0,037982052
3 Years	0,006944401
4 Years	0,001219063
5 Years	0,000205787
7 Years	5,78759E-06
9 Years	1,02826E-07
10 Years	2,33571E-08
15 Years	2,32578E-12
20 Years	6,38286E-16

Ensuite, on procède au calcul de la matrice variance-covariance :

**Tableau 32: Matrice variance-covariance**

Matrice variance-covariance	1 Month	13 Weeks	26 Weeks	1 Year	2 Years	3 Years	4 Years	5 Years	7 Years	9 Years	10 Years	15 Years	20 Years
1 Month	0,783074336	0,60465709	0,40814808	0,18126623	0,03346795	0,00598689	0,00091354	-5,362E-05	-1,39425E-05	0,0001502	9,1277E-05	-0,00405451	0,00031942
13 Weeks	0,604657094	0,46689321	0,31515577	0,13996676	0,02584464	0,00462546	0,00070823	-3,8722E-05	-7,81438E-06	0,000118598	7,2655E-05	-0,00312882	0,00025862
26 Weeks	0,408148077	0,31515577	0,21273784	0,09448268	0,0174483	0,00312832	0,00048818	-1,1209E-05	1,19665E-05	9,75988E-05	6,5822E-05	-0,00211008	0,00020403
1 Year	0,181266231	0,13996676	0,09448268	0,04198069	0,00777368	0,00142175	0,00025415	3,4512E-05	5,27136E-05	9,38359E-05	7,9352E-05	-0,00083403	0,00018116
2 Years	0,033467951	0,02584464	0,0174483	0,00777368	0,00157187	0,00041753	0,00019	0,00010869	0,000141482	0,000168476	0,00017146	7,9156E-05	0,00022198
3 Years	0,005986888	0,00462546	0,00312832	0,00142175	0,00041753	0,00025629	0,00024683	0,00025009	0,000283432	0,000277578	0,00025739	0,00035031	0,00027273
4 Years	0,000913539	0,00070823	0,00048818	0,00025415	0,00019	0,00024683	0,00033804	0,0004415	0,000468453	0,000412207	0,00035039	0,00050488	0,00030303
5 Years	-5,362E-05	-3,8722E-05	-1,1209E-05	3,4512E-05	0,00010869	0,00025009	0,0004415	0,00068109	0,000694532	0,000568326	0,00044926	0,00063804	0,00030593
7 Years	-1,3942E-05	-7,8144E-06	1,1967E-05	5,2714E-05	0,00014148	0,00028343	0,00046845	0,00069453	0,000866081	0,0009762	0,00100463	0,00085159	0,00027112
9 Years	0,0001502	0,0001186	9,7599E-05	9,3836E-05	0,00016848	0,00027758	0,00041221	0,00056833	0,0009762	0,001472646	0,00175184	0,00104456	0,0001481
10 Years	9,1277E-05	7,2655E-05	6,5822E-05	7,9352E-05	0,00017146	0,00025739	0,00035039	0,00044926	0,001004626	0,001751838	0,00219675	0,00113462	5,2357E-05
15 Years	-0,00405451	-0,00312882	-0,00211008	-0,00083403	7,9156E-05	0,00035031	0,00050488	0,00063804	0,000851591	0,001044559	0,00113462	0,02176318	-0,00136257
20 Years	0,00031942	0,00025862	0,00020403	0,00018116	0,00022198	0,00027273	0,00030303	0,00030593	0,000271124	0,000148099	5,2357E-05	-0,00136257	0,00679344

On procède ensuite au calcul de la VaR paramétrique en passant par le calcul des vecteurs suivants :

**Tableau 33: Vecteurs servant au calcul de la VaR**

	Z $\alpha$	$V^t \cdot \Sigma \cdot V^{tT}$	$\mu \cdot V^{tT}$
90%	1,29	48207256799,56050000000000	219523,425
95%	1,65		
99%	2,33		
99,50%	2,58		

Valeur du portefeuille	463413,6958
------------------------	-------------

La VaR à horizon 1 jour est :

**Tableau 34: VaR paramétrique à horizon 1 jour**

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
63710,9237	142753,067	292054,894	346945,272
13,74817%	30,80467%	63,02250%	74,86729%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 13,74% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 30,80% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 63,02% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 74,86% de mon portefeuille

On peut facilement retrouver la VaR à 10 jours d'horizon :

**Tableau 35: VaR paramétrique à horizon 10 jours**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
201471,631	451424,836	923558,668	1097137,28
43,47555%	97,41292%	199,29464%	236,75116%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 43,47% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 97,41% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 199,29% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 236,75% de mon portefeuille

### 2.3.3.2- Application de la VaR Monte Carlo au portefeuille obligataire

#### ✓ Vérification des hypothèses

Faisant appel au test de normalité pour vérifier l'hypothèse de la VaR de Monte Carlo, On constate que la normalité des rendements relatifs au test définis plus haut est largement rejetée pour toutes les séries de taux des différentes maturités. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l'objectif étant d'établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

Ci-dessous un exemple du test appliqué à la série de taux de maturité 1 mois:

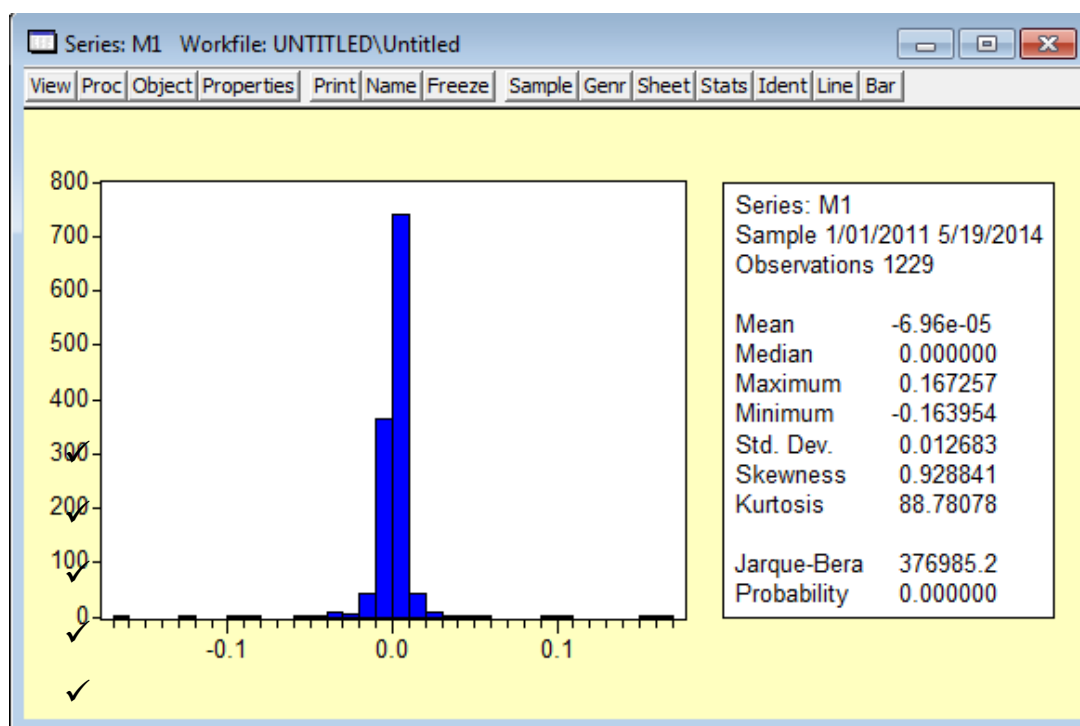


Figure 18: Test Jarque-Bera sur 1 Month

✓ Application de la VaR Monte Carlo

Afin de calculer la VaR Monte Carlo du portefeuille obligataire, on procède par étapes :

- Etape 1 : Génération du vecteur  $Z \sim MN(0,1)$

Grâce à la fonction Aléa d'Excel, on peut générer un nombre réel aléatoire distribué de manière symétrique, supérieur ou égal à 0 et inférieur à 1. Ce nombre généré est considéré comme une probabilité. On utilise alors la fonction Loi.Normal.Standard.Inverse.N qui prend le nombre généré comme paramètre pour renvoyer la valeur d'une variable aléatoire suivant une loi normale standard (ou centrée réduite). On réitère l'opération 1100 fois pour les 13 Tenors du portefeuille obligataire. On obtient le tableau suivant:

**Tableau 36: Le vecteur normal Z des facteurs de risque**

Désignation	1 Month		13 Weeks		26 Weeks		1 Year		2 Years		3 Years		4 Years	
	Aléa 1	Z1	Aléa 2	Z2	Aléa 3	Z3	Aléa 4	Z4	Aléa 5	Z5	Aléa 6	Z6	Aléa 7	Z7
1,00	0,39510681	-0,26603322	0,33974116	-0,41316964	0,26221385	-0,6365351	0,47690602	-0,05792039	0,17622987	-0,92982878	0,83747243	0,9841228	0,76921391	0,73626051
2,00	0,37508217	-0,31842269	0,72932316	0,61076725	0,85138991	1,04241312	0,97623627	1,98156937	0,184552	-0,89815298	0,50332102	0,00832467	0,06823371	-1,48907573
3,00	0,48089449	-0,04790874	0,67378159	0,4503795	0,05203372	-1,62544653	0,80250354	0,8505976	0,39339501	-0,27048128	0,25842687	-0,64820288	0,15972056	-0,99560702
4,00	0,41763247	-0,20795394	0,97041343	1,8869048	0,0974146	-1,29642472	0,02721679	-1,92337019	0,4511406	-0,12278015	0,61789028	0,29994457	0,1075759	-1,2395232
5,00	0,40387658	-0,24332561	0,96777765	1,84909079	0,51726037	0,04327884	0,93795817	1,53785672	0,98758408	2,24400888	0,10874225	-1,23324465	0,61555319	0,29382239
6,00	0,64139282	0,36218423	0,63571023	0,34701567	0,01495925	-2,17116779	0,33622353	-0,42279196	0,07486194	-1,44050745	0,7162645	0,57178006	0,10472429	-1,25508312
7,00	0,90835935	1,33071959	0,51788697	0,04485102	0,10520355	-1,2524468	0,32856043	-0,44389174	0,49339682	-0,01655247	0,38824273	-0,28390204	0,43369506	-0,1669745

- Etape 2 : Factorisation de Cholesky

On récupère la matrice de variance-covariance calculée à partir des données historiques, puis on la factorise pour obtenir la matrice de Cholesky.

**Tableau 37: Matrice de Cholesky**

Matrice de Cholesky	1 Month	13 Weeks	26 Weeks	1 Year	2 Years	3 Years	4 Years	5 Years	7 Years	9 Years	10 Years
1 Month	0,884914875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 Weeks	0,683294078	0,001552974	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26 Weeks	0,461228632	0,00062718	0,002364562	0	0	0	0	0	0	0	0
1 Year	0,204840303	0,000381304	0,001787849	0,00421863	0	0	0	0	0	0	0
2 Years	0,037820532	0,001350767	0,001496737	0,00552845	0,010336695	0	0	0	0	0	0
3 Years	0,006765496	0,001696789	0,002880582	0,00713575	0,011183302	0,004832892	0	0	0	0	0
4 Years	0,001032347	0,00182694	0,004603513	0,00800139	0,009419385	0,01263171	0,000365506	0	0	0	0
5 Years	-6,05934E-05	0,00172623	0,006620846	0,00816105	0,005187903	0,023226101	0,001037422	0,00047688	0	0	0
7 Years	-1,57557E-05	0,001900487	0,007629979	0,00985512	0,00712099	0,02242443	0,001868962	0,001240006	0,012187474	0	0
9 Years	0,000169734	0,001686953	0,007720001	0,01057737	0,008682291	0,016295589	0,003157675	0,002488513	0,030655964	0,001188169	0
10 Years	0,000103148	0,001400332	0,00734532	0,01056202	0,009314218	0,01109529	0,004139606	0,003569036	0,042218492	0,002658767	0,000248599
15 Years	-0,004581814	0,001225414	0,001021422	0,02423075	0,01115447	0,016272419	-0,004999158	0,001057793	0,013645153	0,010031738	-0,001318639
20 Years	0,000360962	0,007709516	0,013832728	0,01885611	0,007059349	0,000798786	-0,007010156	-0,001522318	-0,007227691	0,001669414	0,005229757

- Etape 3 : Calcul du vecteur des rendements

En multipliant la matrice de Cholesky et le vecteur multinormale Z, on obtient le vecteur des rendements. Cela revient à multiplier la première ligne de la matrice de Cholesky par le vecteur multinormale Z pour obtenir le rendement R<sub>1</sub> relatif au Tenor 1 Month. On réitère l'opération pour obtenir les autres composantes du vecteur des rendements R. On obtient 1100 scénarios pour chaque facteur de risque considéré.

**Tableau 38: Rendements simulés**

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
-0,23541675	-0,18242056	-0,12446639	-0,05603424	-0,02150391	-0,0103902	-0,00048137	0,01284774	-0,00597696	-0,03723373	-0,05786593	0,00256161	0,02561149
-0,28177697	-0,21662783	-0,14401775	-0,05476973	-0,00798662	0,00602072	0,01254203	0,01829618	0,01771333	0,0124301	0,00782657	0,03270839	0,06249747
-0,04239516	-0,03203633	-0,02565788	-0,00895961	-0,00172984	-0,00433007	-0,01100302	-0,02045564	-0,00489529	0,02460661	0,0458325	-0,07863839	0,08197457
-0,18402154	-0,13916338	-0,09779636	-0,05230966	-0,01915896	-0,01558787	-0,01594592	-0,01541825	-0,03612755	-0,06238046	-0,07678489	-0,21816587	0,0092995
-0,21532245	-0,16339136	-0,11096669	-0,0425728	0,02505736	0,03172502	0,0212978	-0,0001101	0,03936305	0,09871471	0,13627613	0,03790448	0,01324041
0,32050221	0,24801724	0,16213352	0,06865692	-0,0063104	-0,01957828	-0,01917492	-0,01190694	-0,0233291	-0,0389698	-0,04904784	-0,01405886	-0,0979819
1,17757356	0,90934247	0,61083262	0,26849031	0,04588939	0,00074662	-0,01166482	-0,01841816	-0,02576849	-0,03113763	-0,03270216	-0,1405016	-0,0391299
1,16333944	0,89818703	0,60273572	0,26629981	0,02581686	-0,02912219	-0,05217959	-0,07103742	-0,07063219	-0,05664022	-0,04589967	0,1435219	-0,12641258
0,63885533	0,49348702	0,33199044	0,14841245	0,02203939	-0,01197756	-0,03301769	-0,05563301	-0,04004193	-0,00649883	0,01672565	-0,08691308	-0,11392174
-0,23355196	-0,1817046	-0,12296156	-0,05455066	-0,00721944	0,00338774	0,00822056	0,01267664	0,01793248	0,02279514	0,02488901	0,15650301	0,01123251
-1,00605672	-0,77439645	-0,52437567	-0,23168602	-0,05405645	-0,02144165	-0,01613765	-0,01442068	-0,01273574	-0,00571471	0,0007654	-0,05876533	-0,0729619
0,69898838	0,54176519	0,36264436	0,15976048	0,01230763	-0,00864747	-0,00231097	0,01458055	-0,00286146	-0,03363115	-0,05531182	-0,09525336	-0,06443072

- Etape 4 : Calcul des scénarios du facteur de risque

Le facteur de risque est dans le cas de l'obligation le taux de celle-ci. Les taux de référence sont ceux observés le jour du calcul de la VaR. On se sert de la formule présentée dans la partie théorique pour calculer les taux ZC simulés :

**Tableau 39: Taux ZC de référence**

30/04/2014												
R1 réf	R2 réf	R3 réf	R4 réf	R5 réf	R6 réf	R7 réf	R8 réf	R9 réf	R10 réf	R11 réf	R12 réf	R13 réf
3,14618653	3,19071043	3,22962221	3,35668194	3,54325064	3,7082821	3,88669843	4,05750194	4,30602426	4,56642338	4,70237537	5,51016749	6,32225312

Taux ZC simulés												
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
2,486247	2,65866212	2,85165284	3,17376547	3,4678703	3,66995178	3,88482794	4,10996797	4,28036408	4,39952482	4,43799121	5,5243005	6,4862668
2,37361502	2,56925447	2,79644066	3,17778128	3,51506474	3,73067597	3,93575248	4,132422	4,38297784	4,6235387	4,73932326	5,69337609	6,72998636
3,01559131	3,09011178	3,14781098	3,32674172	3,53712668	3,69225968	3,84416741	3,9753463	4,28499655	4,68018145	4,92291228	5,09345627	6,86235185
2,61736885	2,77619202	2,92872978	3,18560845	3,47601181	3,65092606	3,82521297	3,99542217	4,15323473	4,29027062	4,35481829	4,430131	6,38132114
2,53671172	2,70973878	2,89041034	3,21677778	3,63315685	3,82781347	3,97036433	4,05705523	4,47890272	5,04019602	5,38891416	5,72303636	6,40651898
4,33487728	4,08883807	3,79809142	3,59523692	3,52096171	3,63638642	3,81288127	4,009476	4,2067313	4,39189354	4,47729887	5,43324279	5,73216762
10,2140544	7,92154345	5,94884918	4,3905007	3,70963674	3,71105183	3,84162421	3,98345421	4,19648196	4,42642667	4,55108477	4,78790725	6,07964163
10,0696962	7,83366622	5,90087642	4,38089385	3,63591728	3,60184616	3,68909243	3,779267	4,01237304	4,31496862	4,49141642	6,36056318	5,57149308
5,95985661	5,22644135	4,50125211	3,89372162	3,62220863	3,66413088	3,76046408	3,83793512	4,13700915	4,53684319	4,78168709	5,05148337	5,64152214
2,49088765	2,66056632	2,85594735	3,17847749	3,51776248	3,7208661	3,91878096	4,10926485	4,38393845	4,67171112	4,82088148	6,44366857	6,39366821

**Tableau 40: Taux ZC simulés**

- Etape 5 : Calcul de la VaR

Une fois les prix simulés sont calculés, le calcul de la VaR Monté Carlo est similaire à celui de la VaR historique. On Calcule la valeur du portefeuille pour chaque scénario en sommant les flux actualisés des bons de trésor du portefeuille. L'actualisation se fait grâce aux taux interpolés à partir des scénarios de taux (le vecteur R).

Enfin, on procède au calcul des variations en calculant la différence entre la valeur de portefeuille simulée et la valeur réelle du portefeuille au 30/04/2014. On obtient 1100 variations. Grâce à la fonction Centile on calcule alors la VaR d'un horizon d'un jour et à un seuil de confiance  $\alpha\%$  ( $\alpha$  prend les valeurs suivantes : 90%,95%, 99% et 99,9%)

**Tableau 41: VaR MC à horizon 1 jour appliquée au portefeuille BDT**

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
2999,6578	3156,2587	3498,78	4598,78

0,66209%	0,69665%	0,77226%	1,01505%
----------	----------	----------	----------

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,66% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,69% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,77% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 1,015% de mon portefeuille

Afin d'obtenir la valeur de la VaR à un horizon de 10 jours on passe par la formule de transformation précitée dans la partie théorique et on obtient :

**Tableau 42: VaR MC à horizon 10 jours appliquée au portefeuille BDT**

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
9485,750849	9980,96638	11064,1138	14542,6193
2,09371%	2,20302%	2,44209%	3,20987%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 2,09% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 2,20% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 2,44% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 3,21% de mon portefeuille

### 2.3.3.3- Comparaison des différentes méthodes

La VaR historique représente 0.08% du portefeuille, beaucoup moins que le pourcentage des autres VaR du portefeuille. C'est donc la VaR historique qui donne les meilleurs résultats et qui permettra de faire des économies en fonds propres.

### ***Section 3 : Application de la VaR a un portefeuille de change.***

#### *3.1- Introduction générale au marché des changes*

##### *3.1.1- Le Marché international des changes*

Le marché des changes est le marché financier le plus important au monde. C'est probablement le seul véritable marché global en mesure de fonctionner sans la moindre interruption.

Le marché des changes est un marché informel qui repose essentiellement sur :

- Une bonne qualité de l'information ;
- Un système de circulation des fonds ;
- Un système clé de cotation ;
- Une organisation appropriée ;
- Une déontologie très stricte.

Ce marché fonctionne 24 heures sur 24 heures, du lundi au vendredi avec un déplacement géographique afin de garantir aux cambistes de change de chaque continent le droit de sommeil. Ainsi la structure actuelle des marchés des changes couvre véritablement le monde entier.

Au niveau international, le marché des changes le plus actif est celui de Londres, suivi par ceux des Etats-Unis, du Japon, de Singapour, de la Suisse, de Hong Kong, de l'Allemagne, de la France et enfin de l'Australie.

##### *3.1.2- Le Marché des changes Marocain :*

###### *3.1.2.1- Régime de change applicable au Maroc :*

Parmi les multiples régimes de change à savoir le régime de change flottant, le régime de change lié et le régime de change fixe, le Maroc a opté pour un régime intermédiaire de parité fixe avec un rattachement de la monnaie nationale, dans des

marge de fluctuation inférieurs à +/-0.6% de part et d'autre du taux central, à un panier de monnaie.

### *3.1.2.2- Composition du panier :*

Afin de réduire au maximum les fluctuations volatiles du dirham marocain en termes de taux de change par rapport aux principales monnaies internationales, le panier de cotation marocain regroupe principalement les devises qui reflètent la structure des échanges du Maroc avec l'extérieur.

Aujourd'hui le panier marocain est composé de l'Euro et du Dollar Américain, les devises des principaux partenaires commerciaux du Maroc, avec des pondérations respectives de 80% et 20%.

### *3.1.2.3- Mécanisme de cotation :*

Les taux de change établis par Bank Al-Maghrib sont cotés à l'incertain, et donc le nombre d'unités de monnaie nationale nécessaire pour obtenir une unité de monnaie étrangère se calcul selon la formule suivante :

$$1 \text{ USD} = (1/((1/(\text{cours de référence USD})) \times 20\% + [(1/(\text{cours de référence EUR})) \times 80\%] \times \text{cours EURUSD}) ) \text{DH}$$

La banque centrale communique quotidiennement de 8h30 à 15h30, en faisant appel à un système de multi-fixing, la cotation des cours de change virement de 16 devises contre le dirham Marocain.

### *3.1.3- Position de change, risque de change et fonctionnement du marché de change spot et Forward.*

#### *3.1.3.1- Concept de position de change :*

La position de change est un concept essentiel pour comprendre les opérations en devises, cette position permet de mesurer le risque de change. La position de change est la différence positive ou négative entre les avoirs (créances) libellés en devises étrangères et les engagements (dettes) libellés en devise étrangères. On distingue deux positions :

- « Courte » si les avoirs en une devise donnée sont inférieurs aux engagements dans cette même devise.
- « Longue » si les avoirs en une devise donnée sont inférieurs aux engagements dans cette même devise.

### *3.1.3.2- Risque de change :*

A chaque type de position est associé un niveau de risque ou de sensibilité : à position longue, risque long, et à position courte, risque court.

En risque long, l'entreprise craint une baisse de la devise et profite de la hausse. En risque court, la hausse de la devise lui est défavorable, et la baisse lui est favorable. Le risque de change passe au tout premier plan des préoccupations des entreprises ayant :

- Un large courant d'importation et d'exportation avec l'étranger
- Une forte activité financière en devise.
- Un fort développement multinational de l'entreprise.

Les uns et les autres sont soumis à un risque de change dont ils peuvent se protéger par des opérations de couverture sur le marché des changes.

### *3.1.3.3- Fonctionnement du marché des changes au comptant :*

Une opération de change au comptant est un accord bilatéral d'échanger une certaine quantité de devise A contre une devise B, à un prix fixé (cours de change), l'échange effectif aura lieu deux jours ouvrables plus tard par transfert d'un compte bancaire à un autre.

Avant de voir comment les devises sont cotées il faut identifier chaque devise selon son code ISO. Cette norme permet d'éviter les confusions attachées à certains noms de devises comme le dollar ou la livre, qui sont fréquemment utilisés dans la plupart des marchés de change mondiaux et avec des cotations différentes.

Ci-après les codes ISO des principales devises mondiales sur le marché FOREX :

**Tableau 43: Codes ISO des devises**

Nom de la devise	Code ISO
<b>L'euro</b>	EUR
<b>Le dollar américain</b>	USD
<b>Le yen japonais</b>	JPY
<b>Le dollar canadien</b>	CAD
<b>La livre anglaise</b>	GBP
<b>Le franc suisse</b>	CHF
<b>Le rouble russe</b>	RUB
<b>Le yuan chinois</b>	CNY
<b>Le dollar australien</b>	AUD
<b>Le real brésilien</b>	BRL
<b>Le dirham marocain</b>	MAD

Les cotations des différentes devises mondiales sont présentées par un couple appelé fourchette de cotation qui présente le cours vendeur appelé Bid et le cours acheteur appelé Ask.

L'image ci-dessous est un aperçu d'un exemple de cotation du dollar américain contre le yen :

Time 21:13:01 To 21:21:31 Min Vol		Date 3/17 To 3/17 Price Range		JPY	
USDJPY		USD-JPY X-RATE		PRICE 78.32	
Date	Time	Bid/Trd/Ask	Date	Time	Bid/Trd/Ask
03/17	21:20:36	76.60/76.80	03/17	21:20:33	76.70/76.80
03/17	21:20:36	76.60/76.80	03/17	21:20:33	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.57/76.80	03/17	21:20:33	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.57/76.81	03/17	21:20:33	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.57/76.81	03/17	21:20:32	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.57/76.81	03/17	21:20:32	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.55/76.81	03/17	21:20:32	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.55/76.82	03/17	21:20:32	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.55/76.82	03/17	21:20:32	76.70/76.80
03/17	21:20:35	76.50/76.82	03/17	21:20:32	76.70/76.85
03/17	21:20:35	76.50/76.82	03/17	21:20:31	76.70/76.90
03/17	21:20:35	76.60/76.82	03/17	21:20:31	76.71/76.94
03/17	21:20:34	76.70/76.82	03/17	21:20:31	76.71/76.99

Figure 19: Cotation du Dollar contre le Yen

### 3.1.3.4- Fonctionnement du marché des changes à terme :

Le marché des changes à terme est un marché où deux contreparties négocient l'achat et la vente de devises pour une durée ultérieure. On fixe aujourd'hui le cours de change auquel s'échangeront les devises (supérieur à deux jours) dans une semaine, dans un mois, dans un an (opérations financières). Il convient de noter que le marché des changes à terme remplit principalement une fonction de couverture contre le risque de change. Outre cette fonction, ce marché permet la spéculation si l'achat ou la vente de devises à terme n'a pas pour support une transaction commerciale ou financière.

## 3.2- Pricing des cotations de change et application de la VaR

### 3.2.1- Pricing des cotations de change au comptant

Selon un système de multi-fixing, BAM communique aux établissements de crédit tout au long de la journée des cotations de différentes devises contre le MAD, à partir des cotations de devises internationales avec un spread de 6%. A ce spread il faut rajouter la commission de 1% de l'office des changes.

Par abus de langage le MAD peut être vue comme combinaison linéaire de l'EUR et du Dollars avec des proportions respectives de a et b :

$$MAD = a \times EUR + b \times USD$$

Chaque cambiste de change utilise un pricer pour rendre les cotations statiques de change fournies par BAM flottantes, en d'autre terme pour donner des prix vendeur et acheteur à sa clientèle à n'importe quel moment du jour.

Faisant appel à des données (input) le cambiste utilise des formules pour calculer les cotations et aboutir à des résultats (outputs).

- Inputs :
  - Le cambiste change a besoin des cotations du fixing fournies par BAM à savoir le Bid et le Ask.
  - Les cotations des différentes devises mondiales fournies par des logiciels d'information (Bloomberg, telerate ou Reuters)
  - Les pondérations d'EUR et de USD en pourcentage à savoir les coefficients de régression a et b que les cambistes choisissent de modifier mais qui tournent autour de 20% et 80% pour donner une cotation plus fiable.
  - Marge import et marge export (le bénéfice tiré des opérations)
- Calculs :
  - La formule suivante sert à calculer la cotation de la moyenne de la fourchette bid-ask appelée mid, du dollar américain contre le dirham marocain à tout instant t, chose qui permet au cambiste change de se détacher des cotations au fixing fournies par BAM pour passer à des cotations flottantes propres à la banque où le cambiste exerce :

$$USDMAD(mid) = \frac{1}{\left[ \frac{1}{USDMAD(BAM)} \times Pond(USD) + \frac{1}{EURMAD(BAM)} \times Pond(EUR) \times EURUSD(bloomberg) \right]}$$

- D'autre part la formule ci-dessous permet d'avoir des cotations d'EUR contre le dirham marocain toujours en mid :

$$EURMAD(mid) = EURUSD(bloomberg) \times USDMAD(mid)$$

- Finalement la Var qui correspond à la variation des cotations de devises contre le dirham marocain s'obtient de la sorte :

$$Var(DEVMAD) = \frac{DEVMAD(mid) - DEVMAD(BAM)}{DEVMAD(BAM)}$$

- Outputs :

Interbank :

- Les deux formules suivantes représentent le passage des cotations mid exposés en haut vers des cotations de bid (acheteur) et ask (vendeur) des devises contre le dirham marocain pour l'interbancaire :

$$DEVMAD(bid) = DEVMAD(BAMbid) \times (1 + Var) \times (1 + Marge(export))$$

$$DEVMAD(ask) = DEVMAD(BAMask) \times (1 + Var) \times (1 + Marge(import))$$

Ci-dessous une capture d'écran de l'interface du Pricer des cotations de change au comptant :

Pricer des cotations de change Spot				
Interbank				
Marge	0	0		
Fixing BAM	ASK	BID	Mid	
USDMAD BAM	8,1726	8,1238	8,1482	
EURMAD BAM	11,265	11,198	11,2315	
Cotation Bloomberg	ASK	BID	Mid	
EURUSD	1,3721	1,3720	1,37205	
Spot	ASK	BID	Mid	Var
USDMAD	8,182231114	8,133373605	8,15780236	0,001178464
EURMAD	11,22629763	11,15952782	11,1929127	-0,00343563

Figure 20: Interface du pricer de cotations de change au comptant (Interbank)

Les marges sont des champs à libre disposition du cambiste qui dépendent du marché des changes national et du niveau de gain espéré par la banque sur opérations de change spot (au comptant).

Clientèle :

- De même les deux formules suivantes représentent le passage des cotations mid exposées en haut vers des cotations de bid (acheteur) et ask (vendeur) des devises contre le dirham marocain pour la clientèle de la banque :

$$DEVMAD(bid) = DEVMAD(BAMbid) \times (1 + Var) \times (1 + Marge(export)) \times (1 - 0,001)$$

$$DEVMAD(ask) = DEVMAD(BAMask) \times (1 + Var) \times (1 + Marge(import)) \times (1 + 0,001)$$

Pour les cotations de change au comptant pour la clientèle de la banque le pricer est donné comme suit :

Currency Pricing		Pricer des cotations de change Spot		
Clientèle				
Marge	0	0		
Fixing BAM	ASK	BID	Mid	
USDMAD BAM	8,1726	8,1238	8,1482	
EURMAD BAM	11,265	11,198	11,2315	
Cotation Bloomberg	ASK	BID	Mid	
EURUSD	1,3721	1,3720	1,37205	
Spot	ASK	BID	Mid	Var
USDMAD	8,190413345	8,125240231	8,15780236	0,001178464
EURMAD	11,23752393	11,14836829	11,1929127	-0,00343563

Figure 21: Interface du pricer de cotations de change au comptant (Clientèle)

Généralement les marges introduites par les cambistes dans les transactions de change interbancaire sont moins élevées que ceux cotées pour la clientèle de la banque.

### 3. 2.2- Change et facteur de risque

Les facteurs de risque relatifs à notre portefeuille de change ne sont autres que les cours des cotations des différentes devises constituant les valeurs du portefeuille, à savoir les cours des devises suivantes :

USD
EUR
GBP
AED
CAD
CHF
DKK
DZD
JPY
KWD
LYD
MRO
NOK

SAR
SEK
TND

Figure 22: Facteurs de risque relatifs au portefeuille

### 3.2.3- Application de la VaR à un portefeuille de devises

#### 3.2.3.1- Vérification des hypothèses de calcul

Suivant la démarche expliquée précédemment, sous Eviews on a testé toutes les valeurs du portefeuille de devises, le test de dickey-Fuller a montré que seules les valeurs de cotations des devises CAD, DZK et MRO sont stationnaires selon le test d'Augmented Dickey-Fuller.

Ci-dessous figure le test effectué sous Eviews relatif à la devise CAD. (En annexe 2 se trouve le reste des tests pour toutes les devises du portefeuille change).

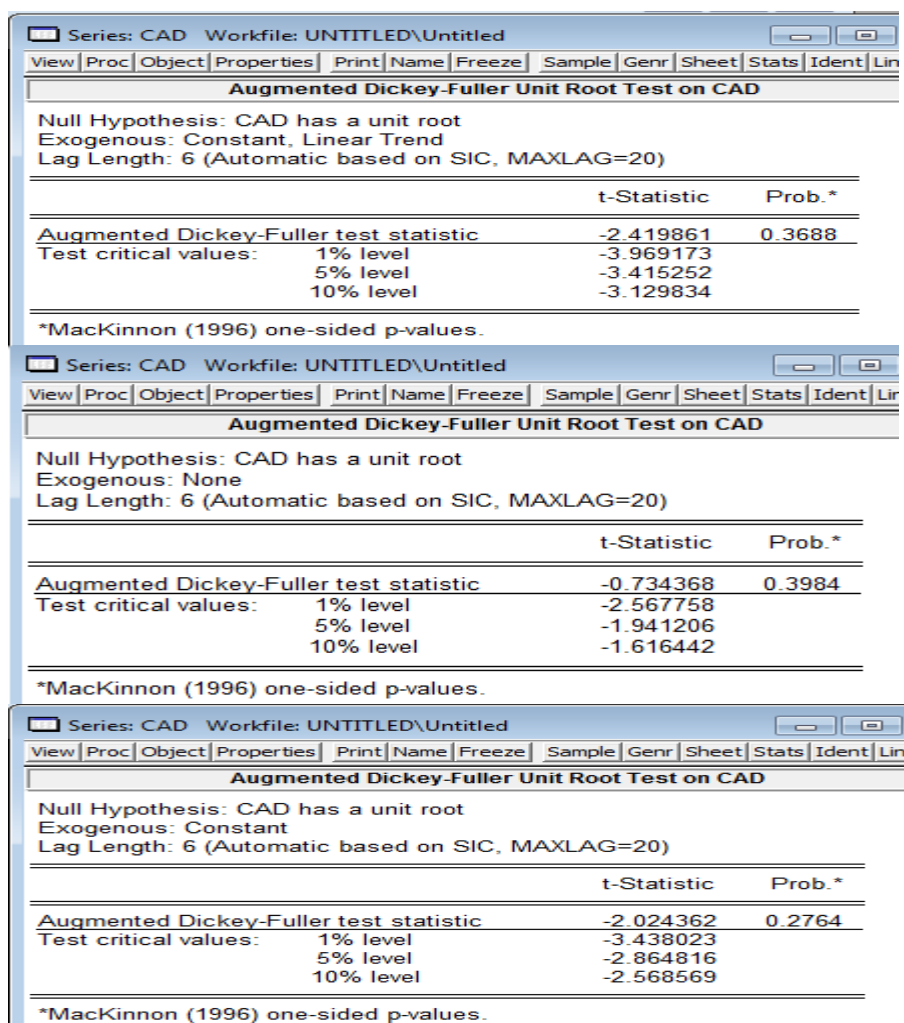


Figure 23: ADF sur la devise CAD

### 3.2.3.2- Application de la VaR historique

En suivant les mêmes démarches utilisées pour calculer la VaR des portefeuilles actions et BDT, on calcul la VaR historique du portefeuille de devises.

Dans un premier temps, on s'est donné un portefeuille constitué des cotations mid réelles de 16 devises sur une période allant du 03/01/2011 au 30/04/2014.

On commence par valoriser la valeur quotidienne du portefeuille sachant qu'on a considéré des positions statiques sur toute la période de valorisation donnée par le tableau suivant :

**Tableau 44: Positions relatives aux différentes devises**

Devise	Positions
USD	23 584 123,00
EUR	8 795 234,00
GBP	158 963,00
AED	2 369 753,00
CAD	- 82 423,00
CHF	170 598,00
DKK	135 852 963,00
DZD	- 82 654,00
JPY	- 3 698,00
KWD	23 987,00
LYD	4 659,00
MRO	236 987,00
NOK	536 923,00
SAR	231 596,00
SEK	- 963 159,00
TND	- 30 753,00

En multipliant les positions de chaque devise par la cotation correspondante et relative à chaque jour et en sommant les valeurs du même jour du portefeuille.

**Tableau 45: Valeurs journalières du portefeuille**

PriceDate	Somme journalière des valeurs de portefeuille
03-janv-11	20612620256
04-janv-11	20615651034
05-janv-11	20561535084
06-janv-11	20544628698
07-janv-11	20526293189
10-janv-11	20513015015
12-janv-11	20542506729
13-janv-11	20622811745
14-janv-11	20632715539
17-janv-11	20610700625
18-janv-11	20645858385
19-janv-11	20655417559
20-janv-11	20644981452
21-janv-11	20670848546
24-janv-11	20691537874
25-janv-11	20697068708

Une fois ces données en main, sans tarder on procède au calcul les (P&L) du portefeuille donné par le tableau suivant :

**Tableau 46: P&L du portefeuille**

PriceDate	Valeur initial du portefeuille	20612620256	valeur du portefeuille à PriceDate	P&L
03-janv-11			20612620256	-
04-janv-11			20615651034	3030777,67
05-janv-11			20561535084	-54115949,6
06-janv-11			20544628698	-16906385,8
07-janv-11			20526293189	-18335509
10-janv-11			20513015015	-13278174,3
12-janv-11			20542506729	29491714,1
13-janv-11			20622811745	80305016
14-janv-11			20632715539	9903793,69
17-janv-11			20610700625	-22014914,1
18-janv-11			20645858385	35157760,7
19-janv-11			20655417559	9559173,94
20-janv-11			20644981452	-10436107,4
21-janv-11			20670848546	25867094
24-janv-11			20691537874	20689327,7
25-janv-11			20697068708	5530834,46
26-janv-11			20703653562	6584854,22
27-janv-11			20712853952	9200389,69
28-janv-11			20695168833	-17685118,5
31-janv-11			20707704952	12536118,5
01-févr-11			20718681607	10976655,2
02-févr-11			20733596981	14915374,2

En considérant les 836 variations obtenues, on calcule le quantile des différents intervalles de confiance de niveau 90%, 95%, 99% et 99.5%. En faisant appel à la fonction Excel « centile » qui renvoie le  $(1-\alpha)^{\text{ème}}$  centile du vecteur des variations le calcul se fait sans difficulté.

Ainsi on arrive à avoir les différents montants de VaR correspondant, respectivement aux niveaux de confiance 90%, 95%, 99% et 99,5% à un horizon de 1 jour.

**Tableau 47: VaR à horizon 1 jour**

25180983,02	32440677,8	57388138,23	62766962,59
0,12216%	0,15738%	0,27841%	0,30451%
J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,12216% de mon portefeuille			
J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,15738% de mon portefeuille			
J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,27841% de mon portefeuille			
J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,30451% de mon portefeuille			

Pour passer de la VaR sur l’horizon de 1 jour à celle de 10 jours on passe par la formule de passage détaillée dans la partie théorique :

**Tableau 48: VaR à horizon 10 jours**

VaR (10jr ; 90%)	VaR (10jr ; 95%)	VaR (10jr ; 99%)	VaR (10jr ;99,5%)
79629260,05	102586430,7	181477227,5	198486563,6
0,38631%	0,49769%	0,88042%	0,96294%
J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,38631% de mon portefeuille			
J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,49769% de mon portefeuille			
J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,88042% de mon portefeuille			
J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,96294% de mon portefeuille			

### 3.2.4- Comparaison de la VaR historique à la VaR paramétrique et à la VaR de Monte Carlo

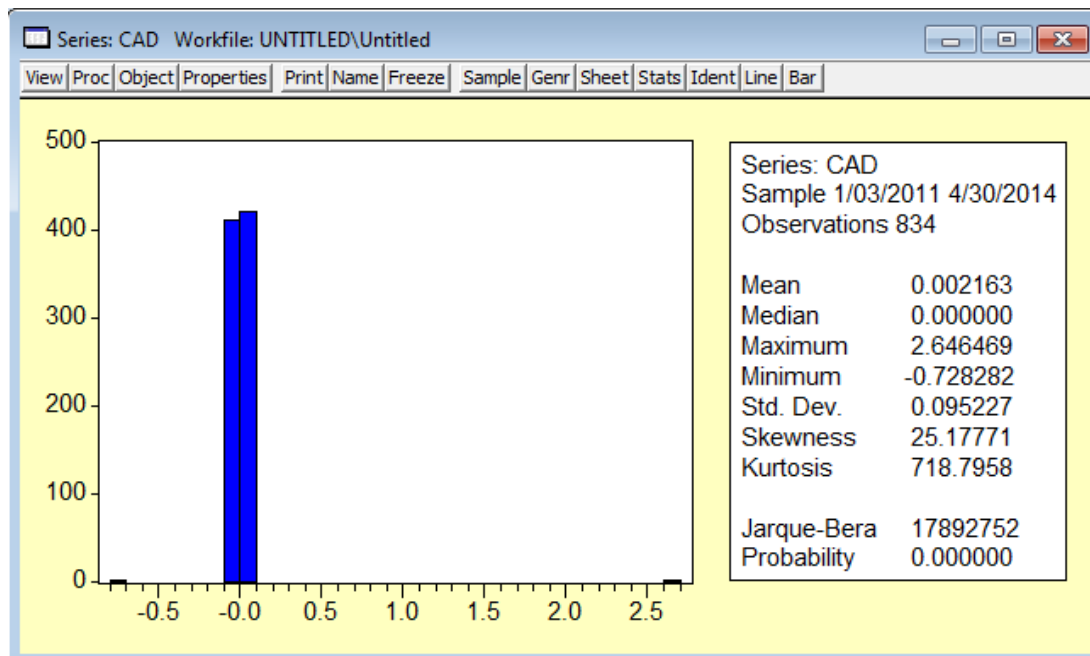
#### 3.2.4.1- Application de la VaR paramétrique à un portefeuille action

##### ✓ Vérification des hypothèses

Suivant les démarches détaillées plus haut, on constate que la normalité des rendements des cotations de toutes les devises constituant le portefeuille de devises sont rejetées. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l’objectif étant d’établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

Appliqué aux valeurs du portefeuille action les résultats sont attachés en annexe 2. Ci-dessous un exemple du test appliqué aux cotations de CAD (le reste des résultats sont en annexe 2) :

**Tableau 49: Test de Jarque-Bera sur la devise CAD**



✓ Application de la VaR paramétrique

Pour calculer la VaR paramétrique relative au portefeuille de devises on procède au calcul des rendements des différentes devises par rapport à chaque date avant de calculer la moyenne de ces rendements pour chaque devise :

Partie II : Application de la VaR aux différents portefeuilles et validation du modèle VaR

Devise	Positions	cours de change (Mid) au 30 avril 2014	positions en MAD au 30 avril 2014	Vecteur $\mu$ des rendements (transposée)
USD	23 584 123,00	8,11	191 241 294,99	-2,19481E-05
EUR	8 795 234,00	11,24	98 884 815,86	9,485E-06
GBP	158 963,00	13,67	2 173 342,14	7,37092E-05
AED	2 369 753,00	2,21	5 231 703,70	-2,31736E-05
CAD	- 82 423,00	7,39	609 093,61	0,002163302
CHF	170 598,00	9,21	1 571 634,08	5,35731E-05
DKK	135 852 963,00	160,62	20 462 173 287,06	7,33539E-06
DZD	- 82 654,00	1,03	85 274,13	-9,67105E-05
JPY	- 3 698,00	7,93	29 320,89	-0,000242216
KWD	23 987,00	28,86	692 204,85	-2,5306E-05
LYD	4 659,00	6,45	30 059,87	-1,81579E-05
MRO	236 987,00	2,71	641 429,01	-8,64552E-05
NOK	536 923,00	136,86	72 943 674,17	-5,30221E-05
SAR	231 596,00	2,16	500 733,71	-2,19717E-05
SEK	- 963 159,00	124,43	119 845 874,37	4,91676E-06
TND	- 30 753,00	5,07	156 046,87	-0,000154716
Valeur totale du portefeuille au 30 avril 2014			20 715 358 569,57	

Tableau 50: Vecteur moyenne des rendements

Tableau 51: Vecteur R-Rm

Séance	USD			EUR			GBP			AED		
	cotations de clôture	rendements	R-Rm	cotations de clôture	rendements	R-Rm	cotations de clôture	rendements	R-Rm	cotations de clôture	rendements	R-Rm
03/01/2011	8,3824	-		11,1625	-		12,958	-		2,2822	-	
04/01/2011	8,3682	-0,00169403	-0,0016721	11,167	0,00040314	0,00039365	13,039	0,006250965	0,00617726	2,27835	-0,001687	-0,0016638
05/01/2011	8,4787	0,013204751	0,0132267	11,1345	-0,0029104	-0,00291985	13,128	0,006825677	0,00675197	2,30845	0,01321132	0,013234489
06/01/2011	8,5195	0,004812058	0,00483401	11,1225	-0,0010777	-0,00108722	13,1945	0,005065509	0,0049918	2,31955	0,00480842	0,004831595
07/01/2011	8,56075	0,004841833	0,00486378	11,1105	-0,0010789	-0,00108838	13,305	0,008374702	0,00830099	2,33075	0,00482852	0,004851696
10/01/2011	8,5858	0,002926145	0,00294809	11,103	-0,000675	-0,00068452	13,321	0,001202555	0,00112885	2,3376	0,00293897	0,002962142
12/01/2011	8,5203	-0,00762888	-0,0076069	11,1225	0,00175628	0,001746797	13,3445	0,001764132	0,00169042	2,31975	-0,007636	-0,00761286
13/01/2011	8,3726	-0,01733507	-0,0173131	11,1655	0,00386604	0,003856552	13,2665	-0,0058451	-0,0059188	2,27955	-0,0173295	-0,01730628

La matrice de la variance-covariance se présente ainsi :

Tableau 52: Matrice de variance-covariance

Matrice de variance co-variance	USD	EUR	GBP	AED	CAD	CHF	DKK	DZD	JPY	KWD	LYD	MRO	NOK	SAR	SEK	TND
USD	3,574E-05	-7,849E-06	1,429E-05	3,376E-05	1,649E-05	-9,278E-07	-7,164E-06	2,855E-05	5,14E-05	3,144E-05	4,105E-05	3,579E-05	-7,24E-06	3,575E-05	-7,301E-06	2,3761E-05
EUR	-7,849E-06	1,735E-06	-3,157E-06	-7,44E-06	-3,63E-06	1,663E-07	1,579E-06	-6,284E-06	-1,148E-05	-6,934E-06	-9,069E-06	-7,903E-06	1,663E-06	-7,876E-06	1,611E-06	-5,221E-06
GBP	1,429E-05	-3,157E-06	1,878E-05	1,404E-05	-2,63E-05	2,629E-06	-2,768E-06	1,154E-05	2,596E-05	1,316E-05	1,755E-05	1,522E-05	-1,87E-06	1,43E-05	-4,449E-07	9,3873E-06
AED	3,376E-05	-7,44E-06	1,404E-05	3,327E-05	1,483E-05	2,66E-06	-6,778E-06	2,72E-05	4,967E-05	2,997E-05	3,899E-05	3,453E-05	-8,91E-06	3,377E-05	-7,184E-06	2,2955E-05
CAD	1,649E-05	-3,63E-06	-2,63E-05	1,483E-05	0,0090464	-4,63E-06	-3,744E-06	1,846E-05	1,908E-05	1,671E-05	1,904E-05	2,704E-05	5,156E-06	1,64E-05	8,52E-06	1,7493E-05
CHF	-9,278E-07	1,663E-07	2,629E-06	2,66E-06	-4,63E-06	4,049E-05	2,892E-07	-8,705E-07	1,453E-05	4,078E-07	6,559E-07	1,549E-06	-6,03E-06	-9,28E-07	-1,881E-06	-6,127E-07
DKK	-7,164E-06	1,579E-06	-2,768E-06	-6,778E-06	-3,744E-06	2,892E-07	1,497E-06	-5,756E-06	-9,861E-06	-6,258E-06	-8,106E-06	-7,146E-06	1,454E-06	-7,189E-06	1,536E-06	-4,819E-06
DZD	2,855E-05	-6,284E-06	1,154E-05	2,72E-05	1,846E-05	-8,705E-07	-5,756E-06	3,103E-05	4,012E-05	2,53E-05	3,277E-05	2,842E-05	-5,78E-06	2,862E-05	-6,338E-06	2,4812E-05
JPY	5,14E-05	-1,148E-05	2,596E-05	4,967E-05	1,908E-05	1,453E-05	-9,861E-06	4,012E-05	0,0001363	4,812E-05	6,698E-05	5,511E-05	-1,36E-05	5,156E-05	-9,119E-06	3,2874E-05
KWD	3,144E-05	-6,934E-06	1,316E-05	2,997E-05	1,671E-05	4,078E-07	-6,258E-06	2,53E-05	4,812E-05	2,897E-05	3,68E-05	3,17E-05	-6,77E-06	3,152E-05	-6,516E-06	2,1508E-05
LYD	4,105E-05	-9,069E-06	1,755E-05	3,899E-05	1,904E-05	6,559E-07	-8,106E-06	3,277E-05	6,698E-05	3,68E-05	5,359E-05	4,241E-05	-9,21E-06	4,111E-05	-8,531E-06	2,6883E-05
MRO	3,579E-05	-7,903E-06	1,522E-05	3,453E-05	2,704E-05	1,549E-06	-7,146E-06	2,842E-05	5,511E-05	3,17E-05	4,241E-05	4,584E-05	-9,02E-06	3,586E-05	-7,326E-06	2,257E-05
NOK	-7,243E-06	1,663E-06	-1,867E-06	-8,91E-06	5,156E-06	-6,03E-06	1,454E-06	-5,782E-06	-1,361E-05	-6,769E-06	-9,205E-06	-9,023E-06	2,514E-05	-7,284E-06	1,212E-05	-5,475E-06
SAR	3,575E-05	-7,876E-06	1,43E-05	3,377E-05	1,64E-05	-9,28E-07	-7,189E-06	2,862E-05	5,156E-05	3,152E-05	4,111E-05	3,586E-05	-7,28E-06	3,588E-05	-7,386E-06	2,3777E-05
SEK	-7,301E-06	1,611E-06	-4,449E-07	-7,184E-06	8,52E-06	-1,881E-06	1,536E-06	-6,338E-06	-9,119E-06	-6,516E-06	-8,531E-06	-7,326E-06	1,212E-05	-7,386E-06	1,98E-05	-4,885E-06
TND	2,376E-05	-5,221E-06	9,387E-06	2,296E-05	1,749E-05	-6,127E-07	-4,819E-06	2,481E-05	3,287E-05	2,151E-05	2,688E-05	2,257E-05	-5,47E-06	2,378E-05	-4,885E-06	2,943E-05

On calcule ensuite la VaR paramétrique déjà expliquée dans la partie théorique :

**Tableau 53: Vecteur servant au calcul de la VaR paramétrique**

	$Z_{\alpha}$	$V^t \cdot \Sigma \cdot V^{tT}$	$\mu \cdot V^{tT}$
90%	1,29	5,73325E+14	-4197,38276
95%	1,65		
99%	2,33		
99,50%	2,58		
<b>Valeur du portefeuille</b>		<b>20 715 358 569,57</b>	

Ainsi la VaR à l'horizon d'un jour est donnée par :

**Tableau 54: VaR paramétrique à horizon 1 jour**

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
30892222,35	39512136,29	55794195,97	61780247,32
0,14913%	0,19074%	0,26934%	0,29823%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,14913% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,19074% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,26934% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,29823% de mon portefeuille

On passe à la VaR à 10 jours en multipliant la VaR à horizon d'un jour par  $\sqrt{10}$  :

Tableau 55: VaR paramétrique à horizon 10 jours

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
97689784,61	124948345,9	176436739,5	195366295,9
0,47158%	0,60317%	0,85172%	0,94310%
J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,47158% de mon portefeuille			
J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,60317% de mon portefeuille			
J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,85172% de mon portefeuille			
J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,94310% de mon portefeuille			

### 3.2.4.2- Application de la VaR Monte Carlo

#### ✓ Vérification des hypothèses

Faisant appel au test de normalité pour vérifier l'hypothèse de la VaR de Monte Carlo, on constate que la normalité des rendements relative aux tests définis plus haut est largement rejetée pour toutes les devises du portefeuille change. Malgré la non vérification des hypothèses de normalité on continue le calcul de la VaR l'objectif étant d'établir un guide pratique de validation des modèles internes (VaR).

Appliqué aux valeurs du portefeuille de devises les résultats sont attachés en annexe 2. Ci-dessous un exemple du test appliqué aux cotations de CAD (le reste des résultats se trouve en annexe 2) :

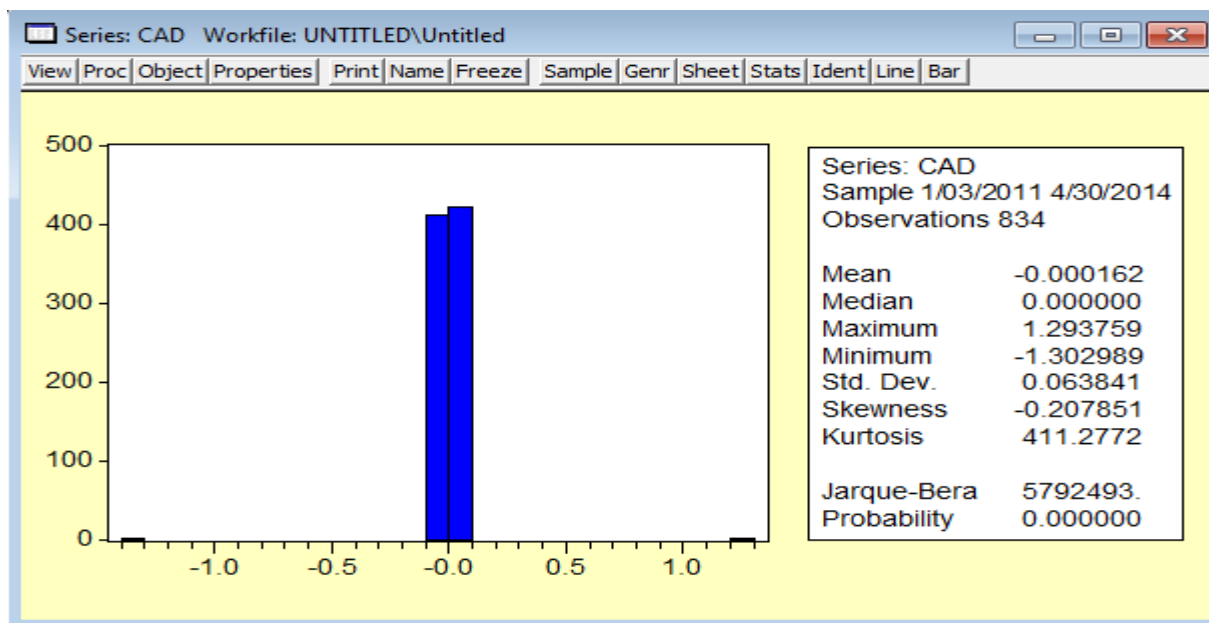


Figure 24: test de Jarque Bera sur CAD

✓ Application de la VaR de Monte Carlo

Suivant les étapes suivantes on calcule la VaR Monte Carlo du portefeuille devise :

- Etape 1 : Génération du vecteur  $Z \sim MN(0,1)$

Grâce à la fonction Aléa d'Excel, on peut générer un nombre réel aléatoire distribué de manière symétrique, supérieur ou égal à 0 et inférieur à 1. Ce nombre généré est considéré comme une probabilité. On utilise alors la fonction Loi.Normal.Standard.Inverse.N qui prend le nombre généré comme paramètre pour renvoyer la valeur d'une variable aléatoire qui suit une loi normale standard (ou centrée réduite). On réitère l'opération 1600 fois pour les 16 devises du portefeuille. On obtient le tableau suivant :

Tableau 56: Le vecteur normal Z

Désignation	USD		EUR		GBP		AED	
	Aléa 1	Z1	Aléa 2	Z2	Aléa 3	Z3	Aléa 4	Z4
1,00	0,26417214	-0,630535497	0,34209377	-0,40675554	0,46311987	-0,09257685	0,08395485	-1,37895153
2,00	0,59422209	0,238419401	0,81838478	0,90922677	0,26792311	-0,619106471	0,65438103	0,39717565
3,00	0,53871141	0,097187896	0,32543685	-0,45254875	0,39262787	-0,272476384	0,8563412	1,06402448
4,00	0,54870103	0,122380163	0,55368046	0,13496559	0,23322148	-0,728278753	0,95044592	1,64919267
5,00	0,82743959	0,944095562	0,41592126	-0,21233906	0,11555459	-1,197506538	0,5138892	0,03482209
6,00	0,51298365	0,032550939	0,18899605	-0,88160195	0,2261191	-0,751688844	0,80424102	0,85686778
7,00	0,09854851	-1,289866457	0,8996272	1,27943021	0,15055781	-1,034043946	0,27744535	-0,59044747
8,00	0,72999103	0,612785871	0,54266434	0,10714831	0,56329022	0,159316446	0,25550141	-0,65727699
9,00	0,71966306	0,58184085	0,58320242	0,2100929	0,53695503	0,092765405	0,56876581	0,17323287
10,00	0,31114603	-0,492604504	0,09130188	-1,33278077	0,10488731	-1,254185393	0,42987034	-0,17670428
11,00	0,78357336	0,784318428	0,06462111	-1,51709693	0,07530087	-1,437409226	0,21902656	-0,77548502
12,00	0,33807657	-0,41771822	0,15833527	-1,00132328	0,92463941	1,436988755	0,52527665	0,06340162
13,00	0,09159959	-1,330969095	0,66286724	0,42030108	0,83977381	0,993528669	0,81739969	0,90549988
14,00	0,03813254	-1,772780546	0,57566576	0,19081761	0,08704692	-1,35916649	0,4398892	-0,15125013
15,00	0,69663791	0,51475509	0,41600371	-0,21212769	0,7511178	0,678011505	0,40591361	-0,23806946
16,00	0,3428844	-0,40460376	0,74645342	0,66337072	0,66534596	0,427097809	0,87190508	1,1354428
17,00	0,3926242	-0,272485942	0,80970687	0,87681659	0,94984847	1,643386189	0,78287322	0,78193367

## - Etape 2 : Factorisation de Cholesky

On récupère la matrice de variance-covariance calculée à partir des données historiques, puis on la factorise pour obtenir la matrice de Cholesky.

Tableau 58: Matrice variance-Covariance

Matrice de variance co-variance	USD	EUR	GBP	AED	CAD	CHF	DKK	DZD
USD	3,5741E-05	-7,8486E-06	1,4294E-05	3,3758E-05	1,6494E-05	-9,2782E-07	-7,1638E-06	2,8554E-05
EUR	-7,8486E-06	1,7348E-06	-3,157E-06	-7,4404E-06	-3,63E-06	1,6633E-07	1,5793E-06	-6,2843E-06
GBP	1,4294E-05	-3,157E-06	1,8777E-05	1,4036E-05	-2,6305E-05	2,6288E-06	-2,7681E-06	1,1539E-05
AED	3,3758E-05	-7,4404E-06	1,4036E-05	3,3275E-05	1,4826E-05	2,6605E-06	-6,7777E-06	2,7199E-05
CAD	1,6494E-05	-3,63E-06	-2,6305E-05	1,4826E-05	0,00904644	-4,6296E-06	-3,7437E-06	1,8465E-05
CHF	-9,2782E-07	1,6633E-07	2,6288E-06	2,6605E-06	-4,6296E-06	4,0494E-05	2,8924E-07	-8,705E-07
DKK	-7,1638E-06	1,5793E-06	-2,7681E-06	-6,7777E-06	-3,7437E-06	2,8924E-07	1,497E-06	-5,7565E-06
DZD	2,8554E-05	-6,2843E-06	1,1539E-05	2,7199E-05	1,8465E-05	-8,705E-07	-5,7565E-06	3,1032E-05
JPY	5,1405E-05	-1,1482E-05	2,5962E-05	4,9674E-05	1,9084E-05	1,4531E-05	-9,8607E-06	4,0115E-05
KWD	3,1436E-05	-6,9343E-06	1,3156E-05	2,9969E-05	1,6708E-05	4,0781E-07	-6,2577E-06	2,5299E-05
LYD	4,1051E-05	-9,0686E-06	1,7546E-05	3,8994E-05	1,904E-05	6,5591E-07	-8,1059E-06	3,2767E-05
MRO	3,5789E-05	-7,9029E-06	1,5219E-05	3,4526E-05	2,7036E-05	1,549E-06	-7,1464E-06	2,842E-05
NOK	-7,2431E-06	1,6633E-06	-1,8669E-06	-8,9098E-06	5,1559E-06	-6,0303E-06	1,4539E-06	-5,7821E-06
SAR	3,5749E-05	-7,876E-06	1,4297E-05	3,3766E-05	1,6397E-05	-9,2803E-07	-7,1892E-06	2,8622E-05
SEK	-7,3012E-06	1,6105E-06	-4,4487E-07	-7,1836E-06	8,5197E-06	-1,8808E-06	1,536E-06	-6,3383E-06
TND	2,3761E-05	-5,221E-06	9,3873E-06	2,2955E-05	1,7493E-05	-6,1274E-07	-4,8193E-06	2,4812E-05

Tableau 57: Matrice Cholesky portefeuille devises

Matrice de Cholesky	USD	EUR	GBP	AED	CAD	CHF	DKK	DZD
USD	0,00597839	0	0	0	0	0	0	0
EUR	-0,00131283	0,0001063	0	0	0	0	0	0
GBP	0,00239093	-0,00017026	0,00360988	0	0	0	0	0
AED	0,0056466	-0,00025744	0,00013629	0,00114276	0	0	0	0
CAD	0,002759	-7,4063E-05	-0,00911781	0,0004117	0,09463361	0	0	0
CHF	-0,00015519	-0,00035199	0,00081442	0,00291855	2,1099E-05	0,00558251	0	0
DKK	-0,00119828	5,841E-05	2,9591E-05	-4,6131E-07	-1,726E-06	1,8114E-05	0,00023771	0
DZD	0,00477619	-0,00013148	2,6967E-05	0,00016784	5,7637E-05	-0,00012334	-0,0001009	0,00285396
JPY	0,00859843	-0,00182277	0,00141084	0,00040331	8,3731E-05	0,00231005	0,00195953	-0,00028728
KWD	0,00525833	-0,0002914	0,00014786	0,00015936	3,6571E-05	9,5841E-05	0,00022838	5,1946E-05
LYD	0,0068666	-0,00050759	0,00028856	4,4335E-05	2,822E-05	0,000211	0,00058702	-9,5868E-06
MRO	0,00598646	-0,0004113	0,00023141	0,00051256	0,0001309	0,00011574	0,0001793	-0,00010291
NOK	-0,00121155	0,00068394	0,00031754	-0,00169404	0,0001283	-0,00023193	-0,00018353	0,00011061
SAR	0,00597971	-0,00024173	-1,1443E-05	-5,2625E-05	-2,1346E-06	1,3946E-05	-4,0627E-05	1,2914E-05
SEK	-0,00122127	6,7683E-05	0,00068884	-0,00031858	0,00019344	-0,00030126	0,00022661	-0,00017062
TND	0,00397449	-2,9672E-05	-3,3371E-05	0,00044615	6,3794E-05	-0,00022976	-0,00020839	0,00199676

- Etape 3 : Calcul du vecteur des rendements

En multipliant la matrice de Cholesky et le vecteur multinormale  $Z$ , on obtient le vecteur des rendements. Cela revient à multiplier la première ligne de la matrice de Cholesky par le vecteur multinormale  $Z$  pour obtenir le rendement  $R_1$  relatif à l'USD. On réitère l'opération pour obtenir les autres composantes du vecteur des rendements  $R$ . On obtient 1600 scénarios pour chaque devise du portefeuille.

Partie II : Application de la VaR aux différents portefeuilles et validation du modèle VaR

R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
-0,0037696	0,0007845	-0,0017725	-0,0050441	0,0124308	-0,0072144	0,0005011	0,0001916	-0,0016996	-0,0038752	-0,0063402	-0,0040949	0,0033552	-0,0033564	-0,0005634	-0,0001833
0,0014254	-0,0002164	-0,0018197	0,0014817	0,1239788	0,0004963	-0,0005177	0,0024699	-0,0009041	0,0002321	0,002267	-0,0007714	0,0005065	0,0010209	0,0023916	0,0002546
0,000581	-0,0001757	-0,0006742	0,0018441	0,0726754	0,0039265	-0,0003799	0,0044382	0,00456	0,0015452	0,0011984	-0,0006426	-0,0049865	0,001005	-0,0003384	0,0072662
0,0007316	-0,0001463	-0,0023594	0,0024417	-0,1128313	-0,0085459	-0,0003998	0,0052036	-0,0130652	7,229E-05	-0,001663	0,0032146	-0,0079635	0,0006311	-0,0006989	0,0026497
0,0056442	-0,001262	-0,0020294	0,0052622	0,1315233	0,003907	-0,0011434	0,0045943	0,0091486	0,0058282	0,0024842	0,0013217	-0,0006593	0,005604	0,0006021	0,003311
0,0001946	-0,0001365	-0,0024856	0,0012875	0,0949951	-0,0027189	-4,073E-05	0,0034483	-0,0025394	-0,0023987	-0,002167	0,0024577	-0,001182	0,0003261	0,0065791	-0,0031179
-0,0077113	0,0018294	-0,0070346	-0,0084284	-0,0021741	0,0050264	0,0013853	-0,0054466	-0,020151	-0,0064381	-0,0099307	-0,0068839	-0,0008358	-0,0080006	-0,0015156	-0,0075969
0,0036635	-0,0007931	0,002022	0,0027032	0,1536754	0,0014444	-0,0011574	0,0072528	0,0039259	0,0039232	0,0012602	0,0027022	0,0062902	0,003583	0,0008266	0,0055951
0,0034785	-0,0007415	0,0016902	0,0034419	-0,0061305	-0,0058153	-0,0006372	0,0026832	0,0018414	0,0021864	0,0011575	0,0009871	-0,0023263	0,0034261	-0,0031469	0,0001006
-0,002945	0,000505	-0,0054783	-0,0028113	0,1139975	-0,0050242	0,000524	-0,0066791	-0,0004394	-0,0035223	-0,0005411	-0,005095	-0,0051022	-0,0024983	-0,0038326	-0,00678
0,004689	-0,0011909	-0,0030553	0,0037372	-0,0533656	-0,0013076	-0,0015722	0,0064627	-0,0023153	0,0036951	0,0058595	0,006244	0,0037325	0,0050729	0,0034915	0,0078353
-0,0024973	0,0004419	0,0043591	-0,0018326	-0,075545	0,0081042	0,0004797	0,0015375	0,0061357	-0,0002017	-0,0017798	-0,0057777	0,0002179	-0,0013584	0,0020402	-0,0047148
-0,007957	0,001792	0,0003327	-0,0064535	0,1354029	-0,0074821	0,0016968	-0,0066553	-0,0131312	-0,0065352	-0,0047913	-0,0086018	-0,0002928	-0,0084731	-0,000582	-0,0028772
-0,0105984	0,0023476	-0,0091775	-0,0104174	-0,0374333	0,0011608	0,0022791	-0,0100227	-0,0263011	-0,0101757	-0,012506	-0,0093897	0,0048847	-0,0107347	-0,0014427	-0,0073449
0,0030774	-0,0006983	0,0037144	0,0027816	-0,0047436	-0,007499	-0,0001679	0,0074193	0,0028544	0,0027258	0,0046446	0,005313	-0,0025587	0,0032798	-0,0108329	0,006932
-0,0024189	0,0006017	0,0004614	-0,0010997	-0,0685835	0,0088318	0,0005846	-0,0041827	-0,0057962	-0,0017122	-0,0050431	-0,0047595	-0,0063564	-0,002509	-0,0036895	-0,0035062
-0,001629	0,0004509	0,0051316	-0,0006468	0,0784319	0,0040102	0,000234	-0,0044748	-0,0047462	-0,0025311	-0,00202	-0,0028436	0,0009484	-0,0018956	-0,0007749	-0,0052044
-0,0011747	0,0003123	0,0039856	-0,0029597	0,0138712	-0,0054299	0,0001167	-0,0022233	-0,0004434	-0,002237	-0,0043138	-0,0112265	0,0143143	-0,0015499	0,0060372	0,0020613
-0,0068129	0,0014735	-0,0024346	-0,0081991	-0,0272305	-0,0009595	0,0013829	-0,0039895	-0,0067538	-0,0070074	-0,006336	-0,0088585	0,0004183	-0,0068073	-0,0010032	-0,0067742

Tableau 59: Vecteur des rendements

- Etape 4 : Calcul des scénarios du facteur de risque

Le facteur de risque est, dans le cas de la devise, la cotation de celle-ci. Les cotations de référence sont celles observées le jour du calcul de la VaR, et les quantités utilisées pour le calcul des VaR historique et paramétrique sont maintenues. En appliquant la formule exposée dans la partie théorique, on obtient :

30/04/2014								
R1 réf	R2 réf	R3 réf	R4 réf	R5 réf	R6 réf	R7 réf	R8 réf	R9 réf
8,1089	11,243	13,672	2,2077	7,38985	9,2125	150,62	1,0317	7,92885
Positions								
23 584 123,00	8 795 234,00	158 963,00	2 369 753,00	-82 423,00	170 598,00	135 852 963,00	-82 654,00	-3 698,00
R10 réf	R11 réf	R12 réf	R13 réf	R14 réf	R15 réf	R16 réf		
28,8575	6,452	2,7066	135,855	2,1621	124,43	5,0742		
23 987,00	4 659,00	236 987,00	536 923,00	231 596,00	-963 159,00	-30 753,00		

Tableau 60: Cotations de référence et positions

Partie II : Application de la VaR aux différents portefeuilles et validation du modèle VaR

Prix simulés															
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
8,07839035	11,2518241	13,6477878	2,19659221	7,48228472	9,14627677	150,695494	1,03189764	7,91586067	28,7458875	6,41122218	2,69553932	136,311586	2,15485521	124,35991	5,07327012
8,12046637	11,2405678	13,6471442	2,21097354	8,3652504	9,21707305	150,542049	1,03425136	7,92168491	28,8641997	6,46664305	2,70451304	135,923832	2,16430835	124,727945	5,07549206
8,11361286	11,2410248	13,6627857	2,21177491	7,94690771	9,24874444	150,562789	1,0362891	7,96508822	28,9021261	6,45973669	2,70486139	135,179246	2,16427404	124,387903	5,11120455
8,11483493	11,2413551	13,6397807	2,21309702	6,60136276	9,13410676	150,559791	1,03708253	7,82593165	28,8595862	6,44127942	2,71531457	134,777409	2,16346487	124,343069	5,08766311
8,15479741	11,2288202	13,6442818	2,21934793	8,42860084	9,24856358	150,447875	1,03645087	8,00172092	29,0261774	6,46804806	2,71017959	135,765457	2,17425037	124,504939	5,09102872
8,11047816	11,241466	13,6380595	2,21054425	8,12627383	9,18748659	150,613865	1,03516027	7,90874065	28,788362	6,43803349	2,71326029	135,694519	2,16280528	125,251333	5,05840373
8,04661015	11,2635866	13,5761605	2,18917082	7,37380083	9,25892199	150,828792	1,02609602	7,77067503	28,6723102	6,38824438	2,68803202	135,741502	2,14487083	124,241552	5,03579803
8,1386612	11,2340868	13,6996727	2,21367588	8,61739504	9,22581605	150,445775	1,03921549	7,9600393	28,9709373	6,46013574	2,71392373	136,712253	2,16986062	124,532902	5,10267031
8,13715568	11,2346661	13,6951285	2,21531187	7,34468541	9,15908169	150,524055	1,03447198	7,94346368	28,9206637	6,45947244	2,709273	135,539332	2,16952028	124,039046	5,07471063
8,08505458	11,2486795	13,5973053	2,20150223	8,28216973	9,16633083	150,698945	1,02483217	7,92536694	28,7560346	6,44850976	2,69284505	135,163607	2,15670519	123,954025	5,03991322
8,14701158	11,2296181	13,6302915	2,21596605	7,00582429	9,20046148	150,383389	1,03838912	7,9105138	28,9643299	6,48991669	2,72355282	136,363023	2,17309596	124,865201	5,11411397
8,08867506	11,2479699	13,7317278	2,20365786	6,8521499	9,28746309	150,692271	1,03328741	7,97764885	28,8516794	6,44052696	2,69100715	135,884606	2,15916502	124,68412	5,05033233
8,04463311	11,2631657	13,6765494	2,19349853	8,46136346	9,14382882	150,875793	1,02485648	7,82541546	28,6695247	6,42116028	2,68341816	135,815234	2,14385766	124,357599	5,05962127
8,0234127	11,2694256	13,5470991	2,18482092	7,11833726	9,22320052	150,963673	1,02141119	7,72303094	28,5653448	6,37181365	2,68130473	136,52023	2,13901454	124,25061	5,03706698
8,13389281	11,2351514	13,7228777	2,21384943	7,35487871	9,14367421	150,594709	1,03938298	7,95151447	28,9362668	6,48203644	2,72101841	135,507837	2,16920299	123,089339	5,10949639
8,08930926	11,2497669	13,6783103	2,20527359	6,90001751	9,29422331	150,708072	1,02739372	7,88302549	28,8081339	6,41954358	2,69374841	134,994189	2,15668217	123,971765	5,05643979
8,09570114	11,248071	13,7423401	2,2062725	7,99278585	9,24951775	150,655256	1,0270937	7,89130757	28,7845513	6,43898019	2,6989144	135,983909	2,15800536	124,333619	5,04786027
8,09938027	11,2465117	13,7265995	2,20117558	7,49307028	9,16261237	150,637573	1,02940881	7,92533533	28,793018	6,42422748	2,67638419	137,813651	2,1587515	125,183482	5,08467028
8,05384282	11,2595787	13,638755	2,18967282	7,19133576	9,20366448	150,828437	1,0275922	7,87548069	28,6559894	6,4112494	2,68272935	135,911835	2,14743193	124,305234	5,0399424

Tableau 61: Prix simulés

- Etape 5 : Calcul de la VaR

Une fois les prix simulés sont calculés, le calcul de la VaR Monté Carlo est similaire à celui de la VaR historique. On Calcule la valeur du portefeuille pour chaque scénario en multipliant le prix de chaque devise par sa quantité pour obtenir le volume. On somme ensuite les 16 volumes relatifs aux 16 devises pour chaque scénario.

Enfin, on procède au calcul des variations en calculant la différence entre la valeur de portefeuille simulée et la valeur réelle du portefeuille au 30/04/2014. On obtient 1600 variations. Grâce à la fonction Centile on calcule alors la VaR d'un horizon d'un jour et à un seuil de confiance  $\alpha\%$  ( $\alpha$  prend les valeurs suivantes : 90%,95%, 99% et 99,9%)

Simulation	Valeur du portefeuille	Valeur du portefeuille au 30/04/2014	P&L
1,00	20 725 229 129,69	20 715 358 569,57	9 870 560,12
2,00	20 704 694 243,41		- 10 664 326,16
3,00	20 707 325 813,39		- 8 032 756,18
4,00	20 706 870 880,46		- 8 487 689,11
5,00	20 692 762 627,63		- 22 595 941,94
6,00	20 713 608 299,47		- 1 750 270,10
7,00	20 742 495 377,44		27 136 807,88
8,00	20 692 598 557,33		- 22 760 012,24
9,00	20 703 144 165,92		- 12 214 403,65
10,00	20 725 544 979,34		10 186 409,77
11,00	20 683 899 108,37		- 31 459 461,20
12,00	20 724 567 557,29		9 208 987,72
13,00	20 748 672 920,54		33 314 350,98
14,00	20 760 728 011,79		45 369 442,22
15,00	20 713 567 139,72		- 1 791 429,85
16,00	20 726 945 031,02		11 586 461,45
17,00	20 720 004 671,80		4 646 102,23
18,00	20 717 844 728,67		2 486 159,10
19,00	20 742 627 802,97		27 269 233,40

Tableau 62: P&L du portefeuille de devises

VaR sur horizon 1jr et 90%	VaR sur horizon 1jr et 95%	VaR sur horizon 1jr et 99%	VaR sur horizon 1jr et 99,5%
32 002 784,85	40 627 462,28	56 441 824,88	63 185 560,02

0,154488%	0,196122%	0,2724637%	0,30501794%
-----------	-----------	------------	-------------

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,15% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,196% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,2720% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,305% de mon portefeuille

Tableau 63: VaR à 1 jour d'horizon

Afin d'obtenir la valeur de la VaR à un horizon de 10 jours on passe par la formule de transformation précitée dans la partie théorique et on obtient :

VaR sur horizon 10jr et 90%	VaR sur horizon 10jr et 95%	VaR sur horizon 10jr et 99%	VaR sur horizon 10jr et 99,5%
101 201 691,60	128 475 316,36	178 484 721,90	199 810 284,91
0,48853459%	0,62019354%	0,86160576%	0,96455142%

J'ai moins de 10% de chance de perdre plus de 0,48% de mon portefeuille

J'ai moins de 5% de chance de perdre plus de 0,62% de mon portefeuille

J'ai moins de 1% de chance de perdre plus de 0,861% de mon portefeuille

J'ai moins de 0,5% de chance de perdre plus de 0,964% de mon portefeuille

**Tableau 64: VaR à 10 jours d'horizon**

### 3.2.4.3- Comparaison des différentes méthodes

La VaR historique affiche un pourcentage du portefeuille inférieur aux autres VaR. Le pourcentage du portefeuille s'élève à 0.38%. C'est donc la mesure qui permettra d'économiser le plus en fonds propres.

## ***Conclusion***

Malgré la non vérification des hypothèses relatives à chaque méthode de calcul de VaR, on a supposé que toutes les hypothèses étaient pleinement vérifiées, le but étant de répondre à la problématique de validation du modèle interne propre à la banque. Les résultats trouvés dans ce chapitre nous permettront ainsi de répondre au problème posé dans le prochain chapitre.

## ***Chapitre 2 : Validation du modèle VaR***

La validation du modèle VaR est la partie la plus importante pour l'obtention de l'autorisation d'utiliser le modèle pour déterminer les exigences en fonds propres de la banque. En effet, le modèle VaR ne peut être validé par BAM qu'après réalisation d'un backtesting visant à déterminer si le nombre de fois où le P&L est supérieur à la VaR est en accord avec le niveau de confiance choisi. Aussi, le stresstesting permet de traiter d'éventuelles situations de crise et de déterminer la VaR qui pourrait être enregistrée dans ces cas-là. Ce chapitre se scinde en deux sections :

Section 1 : Dispositif de contrôle

Section 2 : Application du Backtesting

## ***Section 1 : Dispositif de contrôle***

L'autorisation d'un modèle par l'autorité prudentielle, Bank Al-Maghrib en l'occurrence, engendre une mise en place d'une procédure de vérification ex-post de l'adéquation du modèle interne de la banque. La procédure en question est communément appelé backtesting, et permet d'apprécier la qualité de la mesure du risque. Elle repose sur le principe du nombre d'exceptions, en d'autres termes, le nombre de fois où la perte réelle observée est supérieure au montant déterminé par le modèle interne. Après la réalisation du backtesting, et si ce dernier affiche un nombre d'exceptions supérieur à la limite fixée, Bank Al-Maghrib est habilitée à invalider le modèle.

La validation du modèle VaR repose sur un principe simple de comparaison entre l'historique des VaR calculées, selon le modèle adopté, sur une période d'un an au minimum et le P&L. Il s'agit donc de comparer pour chaque journée  $t$ , d'un historique donné, la  $VaR_t$  et le  $P\&L_t$ .

Une VaR d'un horizon d'un jour avec un niveau de confiance de 99% donne le niveau de perte qui sera dépassé, dans des conditions normales de marché, en moyenne une fois dans un intervalle de temps de 100 jours.

Supposons que le test soit fait sur un intervalle de temps de 1000 jours à un niveau de confiance de 99%, un modèle de VaR est surestimé s'il affiche moins de 10 exceptions et il est sous-estimé s'il en affiche plus. Le nombre de dépassements observés ex-post est fonction de l'intervalle de temps et du niveau de confiance utilisé. Le nombre idéal de dépassements se calcul comme suit :

*Nombre idéal de dépassements = Nombre d'observations  $\times$  (1 – Niveau de confiance)*

Dans le cas de l'exemple précité, on avait :  $10 = 1000 \times (1 - 99\%)$

Les banques sont tenues d'effectuer une analyse ex-post sur une base trimestrielle en utilisant les douze derniers mois de données. Selon le nombre de dépassements, trois zones sont définies. La zone dans laquelle le modèle d'une banque se trouve détermine le niveau du multiplicateur.

- Calcul du multiplicateur

Comme indiqué dans la partie théorique, les exigences en fonds propres d'une banque à une date donnée s'élèvent à la valeur maximale entre la VaR de la date en question et la moyenne des VaR quotidiennes des 60 derniers jours ouvrables multipliée par un multiplicateur égal au chiffre trois augmenté d'un complément.

$$FP = \max (VaR_t, (3 + Complément) \times \frac{1}{60} \sum_{i=t-60}^{t-1} VaR_i)$$

Le complément est directement lié aux performances du modèle, évaluées à posteriori, et pourra éventuellement être nul si les contrôles ex-post sont satisfaisants.

Il est évident que le niveau de fonds propres requis est étroitement lié au calcul de la VaR et donc au modèle adopté par l'établissement. Or, aucun modèle n'est imposé aux banques, l'autorité de réglementation se doit de trouver un moyen de valider chacun des modèles internes adoptés par les banques lorsque ceux-ci sont jugés adéquats. Des pénalités ont été prévues par le comité de Bâle pour les institutions financières qui utiliseraient des modèles de VaR qui sous-estiment le risque.

Parmi les sanctions, on retrouve l'accroissement du niveau du coefficient multiplicateur dans le calcul des capitaux requis pour couvrir la partie des risques non prise en compte par les modèles VaR.

Dans cette optique, Bank Al-Maghrib n'autorise l'utilisation des modèles internes que si les établissements financiers prévoient une procédure de vérification régulière à posteriori pour vérifier la précision du modèle. C'est sur la base de ces contrôles ex-post que la banque centrale définit le niveau du coefficient multiplicateur qui intervient dans le calcul des exigences en fonds propres.

Le tableau ci-après donne selon le nombre de dépassements, le niveau du complément qui est compris entre 0 et 1 et qui s'ajoute au chiffre trois pour former le multiplicateur.

Zone	Nombre de dépassements	Complément
Verte	0	0
	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
Jaune	5	0,4
	6	0,5
	7	0,65
	8	0,75
	9	0,85
Rouge	10 ou plus	1

Tableau 65: Zones de dépassements du Backtesting

Selon la zone dans laquelle se trouve le modèle, Bank Al-Maghrib agira différemment :

- ✓ Zone verte : Le modèle se situe dans cette zone s'il affiche au plus 4 dépassements. Le modèle ne présente alors aucun problème de précision de la mesure du risque.
- ✓ Zone jaune : Le modèle se situe dans cette zone lorsque le nombre de pertes excédant la VaR se trouve entre 5 et 9 sur une période de 250 jours. Lorsque le modèle se trouve dans cette zone, le coefficient multiplicateur est majoré afin de rendre le modèle fiable à 99%.
- ✓ Zone rouge : Les modèles qui se trouvent dans cette zone manquent de précision. Ils sous-estiment les pertes effectives du portefeuille. Dans ce cas le coefficient multiplicateur devient égal à 4 et les modèles doivent être revus.

Dans le cas où le backtesting affiche un nombre très important de dépassements, Bank Al-Maghrib peut ne plus accepter que le modèle serve à calculer les exigences en fonds propres.

- Le Stress testing

Les stress tests traitent des scénarios de crise qui permettent de mesurer la résilience des établissements de crédit en cas de perturbations exceptionnelles d'amplitudes variées. Ils constituent un outil indispensable dans la gestion des risques au sein des établissements financiers. Le dispositif de stress test sert à la fois à fixer des limites et à garantir l'adéquation du capital par rapport aux différents types de risques. On distingue deux types de stress tests, les stress tests historiques et les stress tests théoriques.

i) Les stress tests historiques

Cette méthode consiste à étudier depuis 1995, date qui coïncide avec la globalisation des marchés financiers et de leurs encadrements règlementaires élargis, les grandes crises économiques ayant affecté les marchés financiers. En effet, l'analyse des évolutions de prix des actifs financiers (actions, taux d'intérêt, taux de change, spread de crédit, etc.) durant chacune de ces crises permet de déterminer des scénarios de variation de ces principaux facteurs de risque qui, appliqués aux positions de marché de la banque pourraient causer des pertes significatives.

La figure ci-dessous présente les différentes crises historiques qui ont perturbé les marchés financiers et à partir desquelles les établissements de crédit estiment les cours des actifs à utiliser dans le calcul de leur stress test historique.

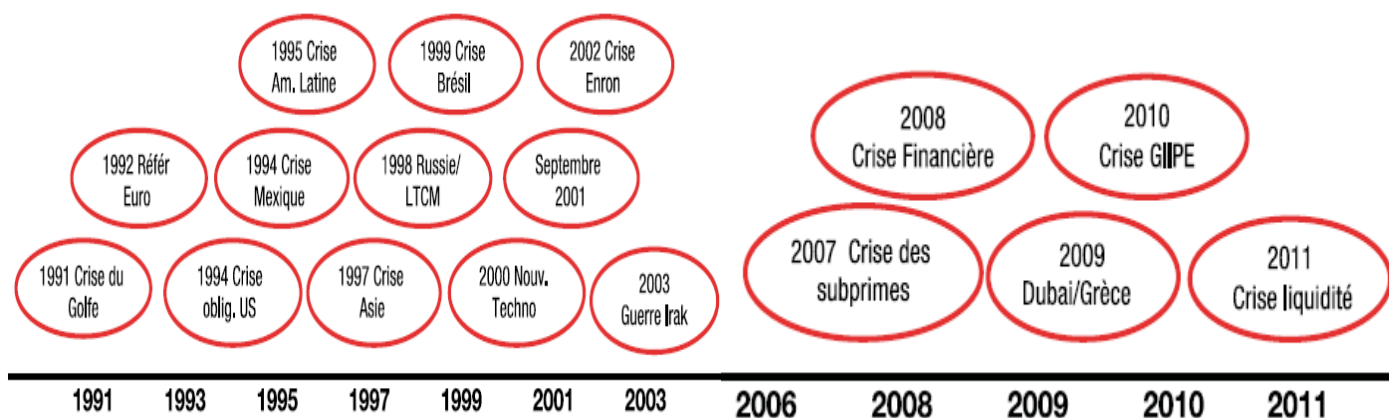


Figure 25: Crises historiques

## ii) Les stress tests théoriques

Ce test est relatif à chaque établissement, les scénarios théorique y sont définis en interne et en collaboration avec les économistes du groupe afin d'identifier des séquences d'évènements pouvant survenir et de nature à conduire à des crises majeures (par exemple une attaque terroriste majeure, une déstabilisation politiques des pays pétroliers, ...etc).

Comme les scénarios du groupe CDG Capital sont confidentiels on s'est basé sur un rapport publié par la Société Générale pour mettre le point sur quelques exemples réels de scénarios théoriques propres à ladite banque.

- **Crise au Moyen-Orient** : Déstabilisation du Moyen-Orient conduisant à un choc de forte amplitude sur le pétrole et l'ensemble du marché de l'énergie, effondrement des marchés actions, pentification de la courbe de taux d'intérêt.
- **Attaque terroriste** : Attaque terroriste majeure aux Etats-Unis entraînant un effondrement des marchés actions, une forte baisse des taux d'intérêt, un fort écartement des spreads de crédit et une brusque baisse du dollar américain.
- **Crise obligataire** : Crise du marché obligataire (décorrélation des rendements des obligations et des actions), forte hausse des taux d'intérêt américain et hausse plus modérée des autres taux d'intérêt, baisse modérée des marché d'actions, flight to quality avec écartement modéré des spreads de crédit, hausse du dollars américain.
- **Crise du dollar américain** : effondrement de la devise américaine à la suite de la forte détérioration de la balance commerciale et du crédit public américain, hausse des taux d'intérêt et resserrement des spreads de crédit américain.
- **Crise de la zone euro** : sortie de certains pays de la zone euro suite à une très forte appréciation de l'euro par rapport au dollar américain : baisse des taux de change EUR, forte baisse des actions EUR et hausse des actions américaines, fort écartement des spreads de crédit EUR.

- **Déboucement des opérations de pilotage japonaises (Yen Carry Trade Unwinding)** : Changement de politique monétaire au japon entrainant l'abandon des stratégies d'opérations de portage avec le yen : fort écartement des spreads de crédit, baisse des taux d'intérêt JPY et hausse des taux longs USD et EUR, flight to quality.

Toujours en se servant des documents propre à la Société Générale, ci-dessous une comparaison entre la moyenne des stress tests historiques et ceux théoriques en 2012.

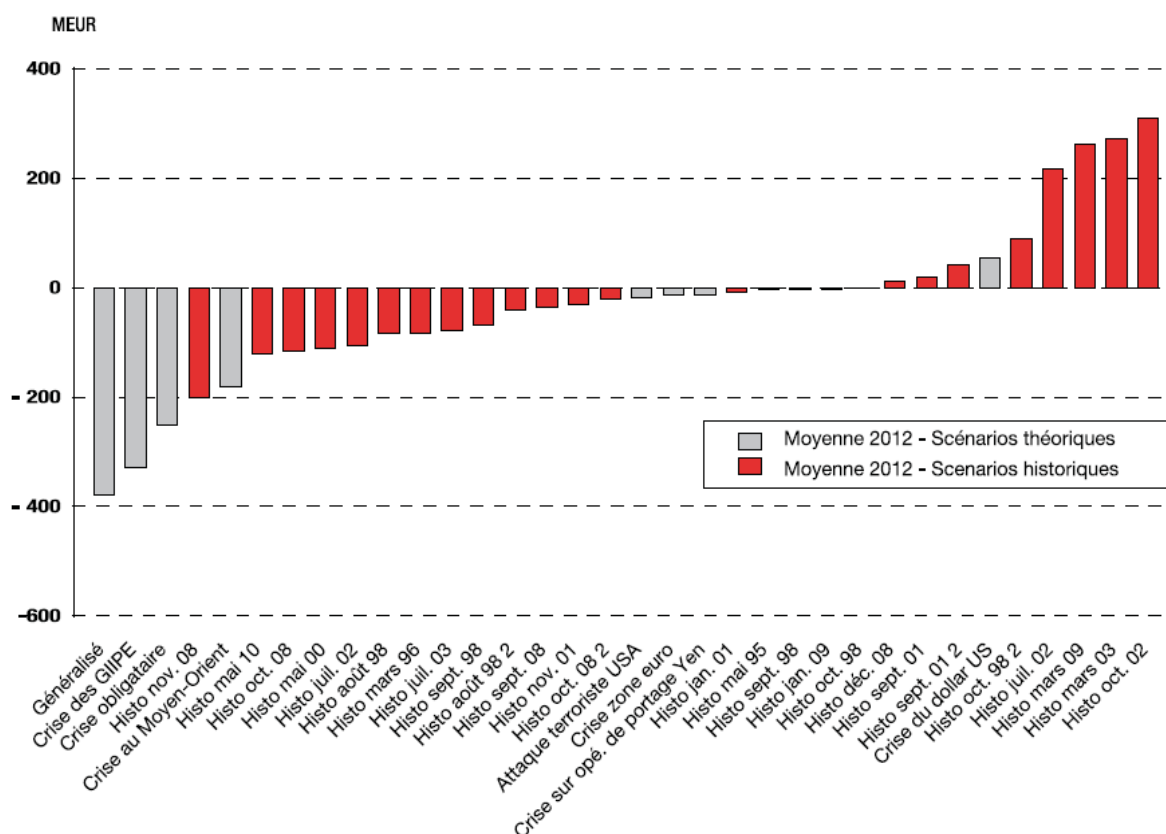


Figure 26: Comparaison entre la moyenne des tests historiques et ceux théoriques

Comme le graphique le montre les pertes potentielles les plus élevées sont relatives aux scénarios théoriques.

### iii) Méthodologie :

Lors d'une soudaine perturbation du marché ou lors d'une variation anormale des cours des actifs du marché, les stress tests sont le moyen le plus adéquat pour estimer les paramètres du marché à temps pour couvrir les positions concernés.

Cette mesure constitue avec la mesure VaR, l'un des axes majeurs du dispositif de contrôle des risques. Elle se base sur les principes suivants :

- Les risques propres à chaque activité de marché sont mesurés quotidiennement, pour tous les produits, en se basant sur les scénarios historiques ainsi que théoriques.
- Une limite en stress test est conçue pour l'activité globale du groupe, puis est déclinée sur les différentes lignes de métiers. Elle encadre le résultat le plus défavorable issu des scénarios historiques et théoriques.

Vu que les scénarios adoptés par la CGD Capital sont confidentiels, on n'a pas pu inclure les stress tests dans la partie application.

## ***Section 2 : Application du Backtesting***

Cette section traitera du backtesting qui sera appliqué à la VaR historique de chacun des trois portefeuilles. Il est important de rappeler que le backtesting confronte la VaR calculée aux pertes effectivement réalisées sur le portefeuille sur une période relativement longue. Cette méthode permet de vérifier l'adéquation des modèles VaR par rapport à ce qui se passe en réalité.

Les établissements mettent en place un processus de backtesting régulier, fiable, constant, documenté et examiné par l'audit interne. Ce backtesting s'effectue quotidiennement, sur la base de la VaR à un jour et sur un intervalle de confiance de 99% et sur une période minimale de 250 jours ouvrables.

Deux approches de backtesting peuvent être utilisées :

- Un backtesting réel qui consiste à comparer, pour chaque jour ouvrable, la VaR calculée sur la base des positions en fin de journée à la variation sur un jour de la valeur du portefeuille réellement constatée à la fin du jour ouvrable suivant ;
- Un backtesting hypothétique qui consiste à comparer, pour chaque jour ouvrable, la VaR calculée sur la base des positions en fin de journée à la variation sur un jour de la valeur du portefeuille du jour ouvrable suivant, en supposant que les positions restent inchangées.

### ***2.1- Application du backtesting au portefeuille d'actions***

Afin de réaliser le backtesting sur la VaR historique, on a comparé les 300 derniers P&Ls aux VaR à un horizon d'un jour et de niveau de confiance de 99% calculées sur une période de 300 jours.

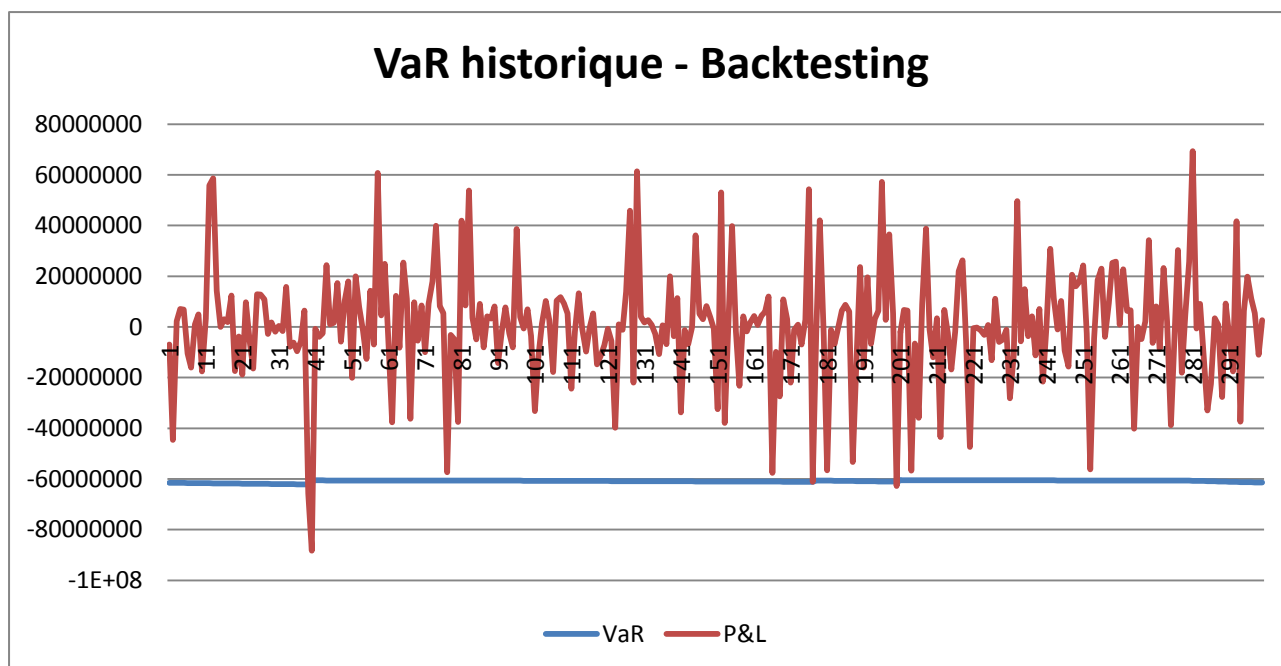


Figure 27: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille actions

Un niveau de confiance de 99% assure un dépassement pour chaque 100 observations. On remarque qu'il y a 2 dépassements et donc le backtesting donne un résultat parfait qui confirme le niveau de confiance de 99% considéré pour le calcul de la VaR.

## 2.2- Application du backtesting au portefeuille obligataire

Afin de réaliser le backtesting sur la VaR historique, on a comparé les 300 derniers P&Ls aux VaR à un horizon d'un jour et de niveau de confiance de 99% calculées sur une période de 300 jours.

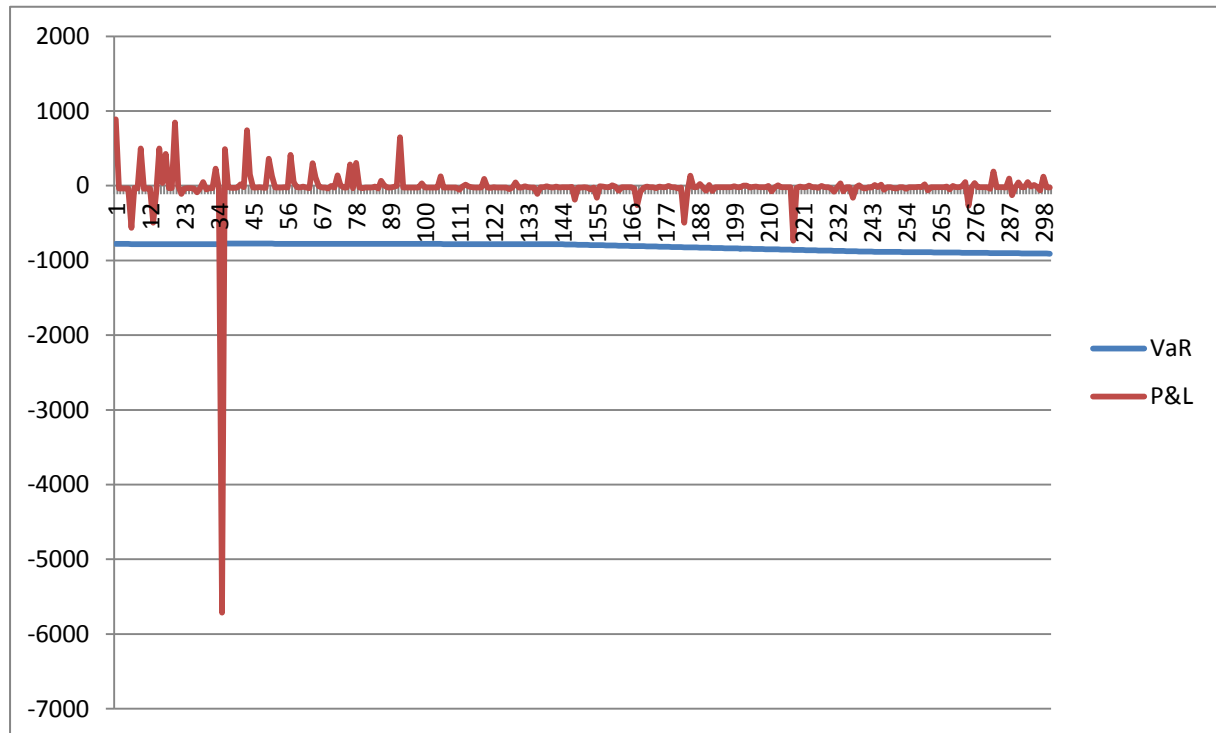


Figure 28: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille de BDT

Un niveau de confiance de 99% assure un dépassement pour chaque 100 observations. On remarque qu'il y a un seul dépassement et donc le backtesting donne un résultat parfait qui confirme le niveau de confiance de 99% considéré pour le calcul de la VaR.

### 2.3- Application du backtesting au portefeuille de devises

Afin de réaliser le backtesting sur la VaR historique, on a comparé les 300 derniers P&Ls aux VaR à un horizon d'un jour et de niveau de confiance de 99% calculées sur une période de 300 jours.

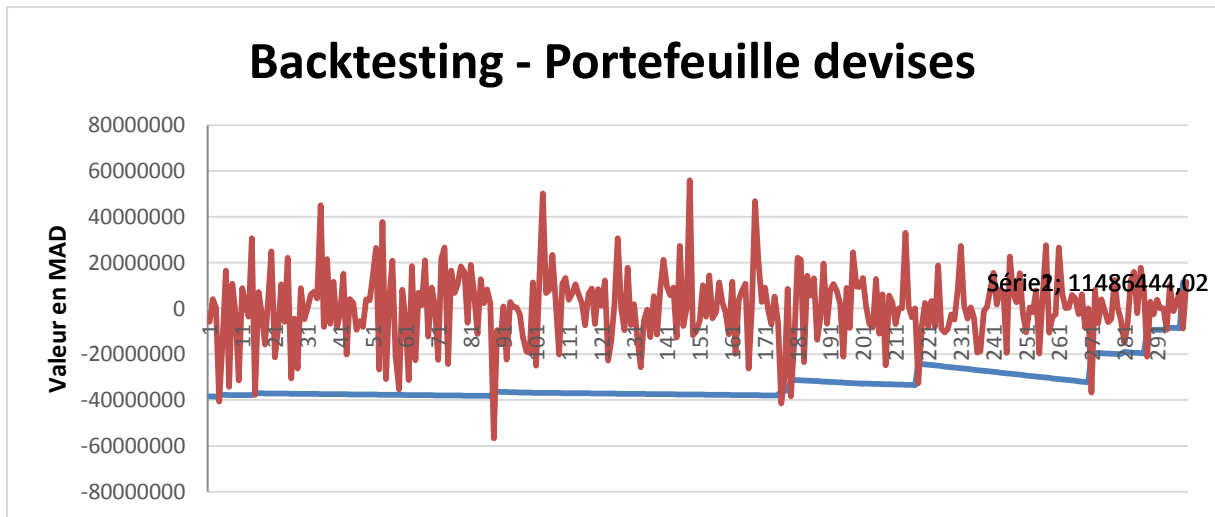


Figure 29: Backtesting de la VaR historique appliquée au portefeuille de devises

Un niveau de confiance de 99% assure un dépassement pour chaque 100 observations. On remarque qu'il y a 8 dépassements et donc le backtesting sous-estime le risque. Ces résultats peuvent s'expliquer par la grande dépendance de l'approche historique des données et aussi par la non stationnarité des séries des taux de change.

### ***Section 3 : Comparaison entre l'approche standard et l'approche modèle interne***

#### ***3.1- Calcul des exigences en fonds propres selon l'approche modèles internes***

Après l'application du Backtesting aux trois portefeuilles, on peut déterminer le niveau du coefficient multiplicateur puis calculer les exigences en fonds propres. Le backtesting montre que la VaR historique appliquée au portefeuille d'actions et au portefeuille obligataire se trouve dans la zone verte, cependant pour le portefeuille de devises elle se trouve dans la zone jaune.

On procède au calcul des exigences en fonds propres pour chacun des portefeuilles en appliquant la formule donnée dans la première partie et explicités plus haut dans ce chapitre.

- Portefeuille d'actions

Portefeuille d'actions au 30/04/2014	
Approche historique	
Exigences en fonds propres	<b>184168709,2</b>
Pourcentage du portefeuille	6,2723%

184168709,2	moyenne des 60 VaR
61520944,82	VaR au 30/04/2014
184168709,2	Max

**Figure 30: EFP du portefeuille actions selon l'approche historique**

- Portefeuille obligataire

Approche historique	
Exigences en fonds propres	<b>2336,823861</b>
Pourcentage du portefeuille	0,5158%

2336,823861	moyenne des 60 VaR
779,9632655	VaR au 30/04/2014
2336,823861	Max

**Figure 31: EFP du portefeuille BDT selon l'approche historique**

- Portefeuille de devises

Portefeuille de devises au 30/04/2014	
Approche historique	
Exigences en fonds propres	222241378
Pourcentage du portefeuille	1,0669%

Figure 32: EFP du portefeuille de devises selon l'approche historique

### 3.2- Calcul des exigences en fonds propres selon l'approche standard

Afin de montrer l'importance du passage de l'approche standard à l'approche modèles internes dans l'appréhension du risque, il est indispensable de procéder au calcul des exigences en fonds propres selon l'approche standard et pour les trois portefeuilles pour pouvoir se prononcer et désigner l'approche la plus avantageuse et la moins consommatrice en fonds propres pour les banques.

- Application de l'approche standard au portefeuille d'actions

L'exigence en fonds propres relative aux titres de propriété, les actions dans ce cas-ci, correspond à la somme des exigences en fonds propres requises au titre du risque spécifique et celles requises au titre du risque général. Etant donné que l'on s'intéresse au risque de marché avant tout et l'on ne dispose pas de données concernant le risque spécifique, l'exigence en fonds propres pour le portefeuille d'actions sera réduite aux exigences en fonds propres requises au titre du risque général et qui se calcule comme suit :

$$FP = 8\% \times \text{Position nette globale sur titres de propriété}$$

Cela revient à calculer le montant correspondant à 8% de la valeur du portefeuille au 30/04/2014, ce qui donne :

Portefeuille d'actions au 30/04/2014	
Approche Standard	
Exigences en fonds propres	234899136,6
Pourcentage du portefeuille	8,0000%

Figure 33: EFP du portefeuille actions selon l'approche standard

- Application de l'approche standard au portefeuille obligataire

L'exigence en fonds propres relative aux produits de taux correspond à la somme des exigences en fonds propres au titre du risque spécifique et des exigences en fonds propres au titre du risque général. Etant donné que l'on s'intéresse aux bons du trésor qui sont supposés ne présenter aucun risque de défaut, l'exigence en fonds propres correspond alors uniquement aux exigences en fonds propres au titre du risque général. Ces exigences se calculent selon la méthode de l'échéancier présentée dans la partie théorique et qui consiste en le calcul de la valeur de marché de chaque bon du trésor et de la pondérer avec le coefficient correspondant à sa durée résiduelle. Les pondérations figurent dans le tableau de la partie théorique.

Portefeuille BDT au 30/04/2014	
Approche Standard	
Exigences en fonds propres	10073,96589
Pourcentage du portefeuille	2,2235%

Figure 34: EFP du portefeuille de BDT selon l'approche standard

- Application de l'approche standard au portefeuille de devises

L'exigence en fonds propres relative au portefeuille de devises correspond à la somme des deux éléments suivants :

- ✓ Le montant le plus élevé du total des positions nettes courtes ou du total des positions nettes longues en devises ;
- ✓ La valeur absolue de la position nette sur or.

Portefeuille de devises au 30/04/2014	
Approche Standard	
Exigences en fonds propres	<b>1666886734</b>
Pourcentage du portefeuille	8,0023%

Figure 35: EFP du portefeuille de BDT selon l'approche standard

### 3.3- Comparaison entre les deux approches

- Comparaison entre l'approche modèle interne et l'approche standard pour le portefeuille d'actions

Lorsque l'on compare l'approche modèle interne, plus précisément la méthode historique, à l'approche standard, il est clair que l'approche qui consomme le moins de fonds propres est l'approche modèle interne.

Portefeuille d'actions au 30/04/2014		
	Approche historique	Approche Standard
Exigences en fonds propres	<b>184168709,2</b>	<b>234899136,6</b>
Pourcentage du portefeuille	6,2723%	8,0000%

Figure 36: Comparaison des deux approches pour le portefeuille actions

- Comparaison entre l'approche modèle interne et l'approche standard pour le portefeuille obligataire

Lorsque l'on compare l'approche modèle interne, plus précisément la méthode historique, à l'approche standard, il est clair que l'approche qui consomme le moins de fonds propres est l'approche modèle interne.

Portefeuille d'actions au 30/04/2014		
	Approche historique	Approche Standard
Exigences en fonds propres	<b>2336,823861</b>	<b>10073,96589</b>
Pourcentage du portefeuille	0,5158%	2,2235%

Figure 37: Comparaison des deux approches pour le portefeuille BDT

- Comparaison entre l'approche modèle interne et l'approche standard pour le portefeuille de devises

Lorsque l'on compare l'approche modèle interne, plus précisément la méthode historique, à l'approche standard, il est clair que l'approche qui consomme le moins de fonds propres est l'approche modèle interne.

Portefeuille de devises au 30/04/2014		
	Approche historique	Approche Standard
Exigences en fonds propres	<b>222241378</b>	<b>1666886734</b>
Pourcentage du portefeuille	1,0669%	8,0023%

Figure 38: Comparaison des deux approches pour le portefeuille de devises

## ***Conclusion***

Ce chapitre met l'accent sur l'application du backtesting aux différents portefeuilles afin de permettre le calcul des exigences en fonds propres selon les deux approches : standard et modèle interne. Les résultats se sont avérés satisfaisants, étant donné que pour le portefeuille actions ainsi que le portefeuille BDT le modèle est situé en zone verte et donc le coefficient complémentaire est nul. Pour le portefeuille de devises le modèle se situe en zone jaune et le coefficient complémentaire n'est pas nul et représente une pénalité pour la banque mais qui permet le redressement du niveau de fonds propres qu'il faudra allouer à la couverture des risques.

### ***Conclusion de la partie II :***

Après avoir calculé les VaR historiques des différents portefeuilles, il a fallu procéder au calcul des exigences en fonds propres selon l'approche standard ainsi que l'approche modèle interne. Les résultats étaient concluants et ont prouvé que l'approche modèle interne permet de faire des économies en fonds propres.

## Conclusion générale

Afin de dresser un bilan de notre travail, il paraît nécessaire de se poser la question sur le chemin parcouru tout au long des différentes parties de notre rapport et d'extraire les résultats auxquels on a abouti.

L'idée autour de laquelle s'articule ce rapport se résume en la question suivante : la VaR historique prise comme modèle interne permet-elle une consommation moindre en fonds propres dédiés à la couverture des risques.

Tout au long du rapport, on a commencé par la situation du modèle VaR historique dans son contexte réglementaire pour ensuite en exposer son fondement théorique et le comparer aux autres VaR.

Il a ensuite été question d'appliquer cette VaR historique aux différents portefeuilles pour pouvoir calculer les exigences en fonds propres selon les deux approches et conclure.

Cette analyse confirme que l'approche modèle interne, et plus précisément, le modèle VaR permet d'estimer le risque à sa juste valeur et d'allouer moins de fonds propres à la couverture des risques de marché. La banque peut donc allouer plus de fonds propres au financement de ses activités et optimiser son résultat.

## Bibliographie

- *Ouvrages et mémoires:*

- Bank Al Maghrib. Recueil des textes législatifs et réglementaires régissant l'activité des établissements de crédit et organismes assimilés. BAM : BAM, 2012, 544 p.
- GHEMA Naima. Etude de la Value at Risk et ses applications en Asset Management. INSEA, 2012, 124 p.
- JABRI Omar, HAFSI Samia. Contrôle prudentiel des risques de marché : Approche modèle interne appliquée aux portefeuilles de bons du trésor et de change. INSEA, 2006, 131 p.
- QUIRY Pascal, LE FUR Yann. Finance d'Entreprise Pierre Vernimmen. 11<sup>ème</sup> édition. Paris : Dalloz, 2013, 1207 p.

- *Webographie :*

- Agence Ecofin. Maroc : Bank Al Maghrib indique sa feuille de route des réformes Bâle III, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.agenceecofin.com/banques/1208-12898-maroc-bank-al-maghrib-indique-sa-feuille-de-route-des-reformes-bale-iii>
- RONCALLI Thierry. Introduction à la gestion des risques, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.univ-evry.fr/modules/ressources/download/default/m2if/roncalli/gdr.pdf>
- Fimarkets. Le risque de marché – principaux concepts. [en ligne]. Adresse URL : [http://www.fimarkets.com/pages/risque\\_marche.php](http://www.fimarkets.com/pages/risque_marche.php)
- Cambiste. Risques au pluriel. [En ligne]. Adresse URL : <http://www.cambiste.info/sdmpage/risques/risk30.php>
- Fimarkets. Le risque de marché – La Value at Risk. [En ligne]. Adresse URL : [http://www.fimarkets.com/pages/value\\_at\\_risk.php](http://www.fimarkets.com/pages/value_at_risk.php)
- Site web du comité de Bâle. Les accords de Bâle. [En ligne]. Adresse URL : <http://essectransac.com/wp-content/themes/arthemisia/images/2010/10/Les-Accords-de-B%C3%A2le.pdf>

## **Annexe 1 : Présentation de l'organisme**

### 1- Présentation de la Caisse de Dépôt et de Gestion :

#### 1-1- Création de la CDG et mission :

La Caisse de Dépôt et de Gestion est une institution financière, créée sous forme d'établissement public par le Dahir du 10 février 1959, elle a pour rôle de recevoir, conserver et gérer des ressources d'épargne qui, de par leur nature ou leur origine, requièrent une protection spéciale. Le groupe CDG est impliqué dans plusieurs projets structurants du Maroc, chose qui fait de lui le premier investisseur institutionnel du royaume.

#### 1-2- Les métiers du groupe CDG :

- Gestion de l'épargne :

Le rôle de la CDG dans la gestion d'épargne consiste à canaliser, sécuriser et gérer les fonds d'épargne et les dépôts réglementés et/ou confiés sous mandats. La CDG se charge ainsi de la centralisation des dépôts provenant des réserves de la sécurité sociale (CNSS), de la caisse d'épargne Nationale (CEN) et aussi de la gestion des fonds qui peuvent être des réserves et des excédents des régimes d'Assurance Maladie Obligatoire de base ou encore des fonds institutionnels.

- Prévoyance :

Le pôle prévoyance de la CDG s'occupe de la gestion de la retraite qui est une épargne à long terme. Les deux principaux acteurs du pôle prévoyance sont la Caisse Nationale de Retraites et d'assurance (CNRA) et le Régime Collectif d'Allocation de Retraite (RCAR).

- Banque, Finance et Assurance :

La CDG assure le métier à travers plusieurs de ses filiales dont le Groupe CDG Capital dans le secteur bancaire et Atlanta dans le secteur assurantiel.

- Développement territorial :

La CDG est un acteur très impliqué dans le développement territorial et grâce à ses nombreuses filiales, elle contribue à la construction du pays et au renforcement de son économie à travers la création d'infrastructures telles que Casanearshore et Technopolis, l'aménagement de certaines régions ainsi que la promotion et développement immobilier.

## 2- Présentation de CDG Capital Group :

### 2-1- Création et mission du groupe CDG Capital :

Le groupe CDG Capital est à 100% filiale de la Caisse de Dépôt et de Gestion (CDG), la stratégie de CDG Capital Group se fonde autour d'une mission duale : être leader des métiers de la gestion d'actifs et un acteur de référence de la banque d'investissement au Maroc.

Depuis sa création en 2006, CDG Capital Group a su s'imposer comme un acteur incontournable sur les trois compartiments de la banque d'investissement :

- Asset management services :
- Corporate & Investment Banking :
- Capital Investment :

### 2-2- Pôles d'expertise du groupe CDG Capital :

Les pôles d'expertise du groupe CDG Capital sont :

- Asset management services :

Ce pôle inclut les activités de Gestion d'actifs, de Banque Privée et de Services Financiers :

- Gestion d'actifs : La Gestion d'actifs est le métier « Core » de CDG Capital, cette activité est mise en œuvre aussi bien pour le compte du Groupe CDG que pour celui des investisseurs nationaux. Ce métier est exercé par les équipes du pôle Portfolio Management et la filiale CDG Capital Gestion.
  - Banque Privée : La Banque Privée fournit à sa clientèle fortunée les meilleures solutions pour structurer leur patrimoine et gérer leurs actifs.
  - Services Financiers : CDG Capital offre une gamme complète de services financiers adaptés pour accompagner efficacement les intermédiaires financiers, les investisseurs institutionnels (gestionnaires d'actifs, assureurs et mutuelles, caisses de retraite et fonds de pension, institutions nationales), les émetteurs et la clientèle privée. Les services financiers offerts sont : la conservation d'actifs, la sous-traitance, le contrôle dépositaire OPCVM ainsi que les services bancaires.
- Corporate & Investment Banking :

Ce pôle est dédié aux activités relatives au Corporate Finance et aux activités de marchés.

- Corporate Finance : Le Corporate Finance de CDG Capital assure différents types de prestations pour une clientèle Corporate et institutionnelle.

Les opérations du Corporate Finance sont :

\* Les opérations d'origination Debt & Equity :  
CDG Capital accompagne ses clients Corporate et institutionnels dans leurs opérations d'appel public à l'épargne sur le marché action ainsi que sur le marché de la dette.

\* Opérations de financements structurés : CDG Capital propose à certains de ses clients des solutions sur mesure et qui s'adaptent à leurs besoins.

\* Opérations de conseil et fusion & acquisition :  
CDG Capital accompagne ses clients Corporate et institutionnels dans des opérations de cession ou d'acquisition d'entreprises, de privatisation, de concession, de rapprochement ou d'alliance et joint-venture.

- Activités de Marchés : CDG Capital a développé un véritable pôle d'expertise et de savoir-faire dans le domaine des activités de marchés. Les produits proposés aux clients couvrent différentes classes d'actifs et intervient sur le marché monétaire, marché obligataire, marché action (grâce à la société de courtage CDG Capital Bourse), développe des produits structurés pour répondre à des besoins d'investissement et de couverture et enfin permet de placer différents types de papiers privés.
- Capital Investment :

CDG Capital encourage l'investissement et favorise l'éclosion d'entreprises innovantes à travers trois structures :

- CDG Capital Private Equity : CDG Capital Private Equity assure la gestion de quatre fonds d'investissement souscrits par des

investisseurs institutionnels. Ces fonds couvrent les activités du Capital investment.

- CDG Capital Real Estate : CDG Capital Real Estate est une société de gestion de véhicules d'investissement dans les secteurs immobilier, tertiaire et touristique.
- CDG Capital Infrastructures : CDG Capital Infrastructures est dédiée à la gestion de fonds d'investissement en infrastructures.

## *Annexe 2 : Tests statistiques*

### 1. Portefeuille Actions :

#### 1.1. Simulation historique :

Ce tableau représente les résultats du test d'Augmented Dickey-Fuller sans constante et sans trend et constante appliqué aux valeurs des sociétés cotées en bourse constituant le portefeuille actions.

	None	
	ADF Statistic	Probability
DOUJA PROM ADDOHA	-0.592909	0.4604
ATTIJARIWAFABANK	-0.581162	0.4654
BMCE BANK	-0.213939	0.6090
BCP	-0.213939	0.6090
ITISSALAT AL-MAGHRIB	-1.305381	0.1773
ATLANTA	-0.304966	0.5757
CENTRALE LAITIERE	0.404457	0.7998
COSUMAR	0.359176	0.7881
AFRIQUIA GAZ	-0.272158	0.5878
SAMIR	-2.810893	0.0049
LABEL VIE	-0.295178	0.5793

D'après les résultats ci-dessus on déduit que seules DOUJA PROM ADDOHA, ATTIJARIWAFABANK et SAMIR sont stationnaires selon le test de Dickey-Fuller sans constante et sans trend ni constante. Augmented Dickey-Fuller avec constante et avec constante et trend appliqué séparément à ces trois valeurs du portefeuille actions confirme la stationnarité de leurs valeurs.

	Trend and intercept	
	ADF Statistic	Probability
DOUJA PROM ADDOHA	-1.388417	0.8636
ATTIJARIWAFABANK	-3.633210	0.0279
ITISSALAT AL-MAGHRIB	-2.074831	0.5583
SAMIR	-1.326189	0.8803

	Intercept	
	ADF Statistic	Probability
DOUJA PROM ADDOHA	-1.459629	0.5535
ATTIJARIWAFABANK	-2.629315	0.0876
ITISSALAT AL-MAGHRIB	-1.957821	0.3057
SAMIR	-2.331811	0.1623

## 1.2. VaR paramétrique

	Mean	Std deviation	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Probability
DOUJA PROM ADDOHA	-4.61e-05	0.017413	0.110395	5.945479	210.1173	0.000000
ATTIJARIWAFABANK	-0.000136	0.011477	0.287529	4.870239	92.20269	0.000000
BMCE BANK	9.67e-05	0.015339	0.165093	7.502915	490.9452	0.000000
BCP	9.67e-05	0.015339	0.165093	7.502915	490.9452	0.000000
ITISSALAT AL-MAGHRIB	-0.000454	0.013258	-0.672748	11.29198	1699.497	0.000000
ATLANTA	8.98e-05	0.020686	0.051605	3.979610	23.36777	0.000008
CENTRALE LAITIERE	0.000512	0.016028	0.354650	10.48937	1362.968	0.000000
COSUMAR	0.000275	0.015196	0.619844	12.61986	2265.723	0.000000
AFRIQUIA GAZ	7.15e-05	0.016114	-0.369681	9.100965	909.5898	0.000000
SAMIR	-0.001418	0.021936	0.000288	4.268439	38.74861	0.000000
LABEL VIE	0.000112	0.020324	0.019640	5.876434	199.2996	0.000000

## 1.3. VaR de Monte Carlo :

	Mean	Std deviation	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Probability
DOUJA PROM ADDOHA	-0.000197	0.017410	-0.017531	5.887059	200.7669	0.000000
ATTIJARIWAFABANK	-0.000202	0.011463	0.222601	4.824254	84.92039	0.000000
BMCE BANK	-2.06e-05	0.015330	0.016325	7.477625	482.8755	0.000000
BCP	-2.06e-05	0.015330	0.016325	7.477625	482.8755	0.000000
ITISSALAT AL-MAGHRIB	-0.000542	0.013335	-0.875377	12.13586	2083.907	0.000000
ATLANTA	-0.000124	0.020689	-0.041168	4.006104	24.54152	0.000005
CENTRALE LAITIERE	0.000384	0.015993	0.128866	10.47393	1346.887	0.000000
COSUMAR	0.000160	0.015139	0.369124	12.06244	1991.039	0.000000
AFRIQUIA GAZ	-5.88e-05	0.016178	-0.561481	9.186838	952.2071	0.000000
SAMIR	-0.001660	0.021987	-0.108058	4.316371	42.85719	0.000000
LABEL VIE	-9.40e-05	0.020340	-0.129154	5.900872	204.2695	0.000000

## 2. Portefeuille de devise :

## 2.1. Simulation historique :

Ce tableau représente les résultats du test d'Augmented Dickey-Fuller sans constante et sans trend et constante appliqué aux valeurs des cotations de devises constituantes du portefeuille change.

None		
	ADF Statistic	Probability
USD	-0.376609	0.5487
EUR	0.301294	0.7727
GBP	0.373617	0.7920
AED	-0.287855	0.5822
CAD	-0.734368	0.3984
CHF	0.283697	0.7679
DKK	0.161774	0.7329
DZD	-0.955360	0.3031
JPY	-1.108392	0.2433
KWD	-0.402668	0.5386
LYD	-0.480097	0.5078
MRO	-0.737172	0.3971
NOK	-0.477219	0.5090
SAR	-0.377065	0.5485
SEK	-0.095518	0.6505
TND	-1.695791	0.0852

D'après les résultats ci-dessus on déduit que seules les cotations des devises CAD, DZK et MRO sont stationnaires suivant le test de Dickey-Fuller sans constante et sans trend et constante. Augmented Dickey-Fuller avec constante et avec constante et trend appliqué séparément à ces devises confirme la stationnarité des valeurs de cotations de ces trois devises.

Trend and Intercept		
	ADF Statistic	Probability
CAD	-2.419861	0.3688
DZD	-2.539702	0.3087
MRO	-3.794765	0.0172

Intercept		
	ADF Statistic	Probability

CAD	-2.024362	0.2764
DZD	-1.644334	0.4594
MRO	-2.799573	0.0587

## 2.2. Approche paramétrique

	Mean	Std deviation	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Probability
USD	-2.19e-05	0.005986	1.135874	46.17249	64948.62	0.000000
EUR	9.48e-06	0.001319	-0.596190	50.19246	77442.13	0.000000
GBP	7.37e-05	0.004338	0.210815	17.66166	7476.184	0.000000
AED	-2.32e-05	0.005775	0.792152	48.74943	72819.34	0.000000
CAD	0.002163	0.095227	25.17771	718.7958	17892752	0.000000
CHF	5.36e-05	0.006371	-2.186983	61.08510	117907.1	0.000000
DKK	7.34e-06	0.001225	-0.536988	29.11287	23735.47	0.000000
DZD	-9.67e-05	0.005577	0.132344	22.32906	12985.47	0.000000
JPY	-0.000242	0.011689	3.007810	162.5590	885960.5	0.000000
KWD	-2.53e-05	0.005389	1.160560	61.18314	117825.6	0.000000
LYD	-1.82e-05	0.007329	1.232236	98.09663	314468.1	0.000000
MRO	-8.65e-05	0.006779	1.215745	52.65576	85888.32	0.000000
NOK	-5.30e-05	0.005020	-0.734762	11.68823	2698.159	0.000000
SAR	-2.20e-05	0.005997	1.132433	45.87159	64047.83	0.000000
SEK	4.92e-06	0.004455	-0.133054	4.196215	52.18560	0.000000
TND	-0.000155	0.005431	0.458649	10.91817	2207.974	0.000000

## 2.3. Approche de Monte Carlo

	Mean	Std deviation	Skewness	Kurtosis	Jarque-Bera	Probability
USD	-3.98e-05	0.005970	0.744190	45.30105	62257.90	0.000000
EUR	8.62e-06	0.001319	-0.692756	50.30303	77822.50	0.000000
GBP	6.43e-05	0.004337	0.103486	17.45245	7259.840	0.000000
AED	-3.98e-05	0.005766	0.387321	47.84698	69911.83	0.000000
CAD	-0.000162	0.063841	-0.207851	411.2772	5792493.	0.000000
CHF	3.31e-05	0.006422	-2.724291	64.63138	133027.0	0.000000
DKK	6.59e-06	0.001225	-0.588108	29.17819	23862.17	0.000000
DZD	-0.000112	0.005578	-0.044728	22.10163	12679.58	0.000000
JPY	-0.000310	0.011598	0.370690	152.7928	779735.6	0.000000
KWD	-3.98e-05	0.005376	0.687418	60.15934	113600.6	0.000000
LYD	-4.49e-05	0.007314	0.192168	95.58351	297871.9	0.000000
MRO	-0.000109	0.006759	0.707844	51.69362	82464.29	0.000000
NOK	-6.56e-05	0.005030	-0.811556	11.86984	2825.471	0.000000
SAR	-3.99e-05	0.005982	0.742625	45.00086	61378.17	0.000000
SEK	-5.00e-06	0.004457	-0.154360	4.220470	55.07375	0.000000
TND	-0.000169	0.005426	0.380121	10.76498	2115.332	0.000000