

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

INSEA



Projet de Fin d'Études

*Modélisation interne du risque Marché
et du risque Opérationnel dans le cadre de
la réglementation Bâle II*

Préparé par : Mlle Aicha EL FARISSI

Mr Hassan AMARDOUL

**Sous la direction de : Mr Abdelaziz CHAOUBI (INSEA)
Mr Khalid LAKSIOUAR (SGMB)**

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

Diplôme d'Ingénieur d'État

Option : Actuariat -Finance

Devant le jury composé de :

- **Mr Abdelaziz CHAOUBI (INSEA)**
- **Mr Khalid LAKSIOUAR (SGMB)**

Juin 2007

Résumé et mots clés

Les banques sont confrontées à un ensemble de risques financiers qui peuvent menacer leur solvabilité. Afin d'éviter les crises qui peuvent être engendré par ces risques et d'assurer la stabilité du système bancaire, il convient d'exiger une allocation d'un certain montant en fonds propres. Ainsi, ces derniers doivent être suffisants pour absorber les pertes que les banques sont susceptibles d'enregistrer.

La Value-at-Risk, qui se définit comme la perte potentielle maximale que peut subir la banque sur un horizon donné et à un niveau de probabilité donné, semble à nos jours le nouveau standard pour la mesure des risques bancaires. C'est pourquoi, les banques mènent actuellement un travail important qui consiste à modéliser le risque interne par la méthode Value-at-Risk.

L'objectif de l'étude est de procéder à la modélisation du risque par la Value-at-Risk et l'allocation optimale de fonds propres par le capital économique. L'évaluation concerne deux champs d'applications, il s'agit de la gestion du risque opérationnel et du risque marché. En effet, on a développé deux modèles internes de mesure, ensuite, on a traité la construction de la Value-at-Risk d'une manière détaillée.

Ce projet a, également, permis de dégager les difficultés survenues lors de l'implémentation des deux modèles, ainsi que l'intérêt des approches internes.

Mots clés : Risque marché ; Risque change ; Value at Risk (VaR) ; VaR historique ; VaR paramétrique ; VaR Monte Carlo ; Backtesting ; Risque opérationnel ; Loss Distribution Approach (LDA) , Exigence en fonds propres.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

En premier lieu à mes très chers parents :

*Pour l'amour et l'affection sans mesure qu'ils m'ont procurée tout au long de ma vie.
Pour leur sacrifice, leur confiance ainsi que leur patience. Qu'ils trouvent ici le témoignage de mon
entière gratitude et que dieu les protège.*

À mon grand frère Mohammed,

Qui n'a jamais économisé aucun effort pour que je puisse être ce que je suis.

À mes frères et mes sœurs,

Je les remercie pour leur gentillesse et leur encouragement.

À toute ma grande famille.

À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin à réaliser ce travail.

À tous mes ami(e)s,

*Je vous remercie pour chaque bel instant passé, chaque moment de
Joie vécu et que dieu sauvegarde notre amitié.*

Aicha

Dédicace

JE DÉDIE CE MÉMOIRE,

A mes très chers parents,

Qu'ils récoltent maintenant le fruit de leur patience et de leur amour.

A ma grande mère,

Source de joie et de bonheur

A mes frères,

Qui m'ont toujours aimé et soutenu.

A tous mes ami(e)s de l'INSEA,

Avec qui j'ai partagé le meilleur et le pire durant ces trois merveilleuses années de formations.

A tous ceux dont les bienfaits et l'amitié resteront à jamais dans ma mémoire.

Ce travail vous est dédié et je ne l'aurai certes pas réalisé sans vous à mes côtés.

Hassan

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement notre professeur M. Abdllaziz CHAOUBI d'avoir accepté l'encadrement de ce travail et de nous avoir aidé durant la période du stage par ses conseils de valeur et ses remarques constructives qui ont contribué à l'aboutissement de ce projet.

Nous remercions également M. Kfialid LAKSIOUAR, chef de département Outils, Méthodes et Reporting (OMR) de la direction des risques, de nous avoir accueilli au sein de la SGM B en mettant à notre disposition tous les moyens nécessaires pour la bonne conduite de ce projet.

Un très grand merci aux personnels de la DIRECTION DES RISQUES pour l'esprit de service qu'ils ont toujours eu à notre égard, notamment, M. Mustapha MEZNOUDI HOUARI, M. Mohamed CHARAA et Mme Rachida TAJEDDINE.

Nous conservons un remerciement spécial à M. ??? d'avoir accepté d'être membre de notre jury et aussi pour toutes ses observations et ses remarques qui vont nous permettre d'améliorer notre travail.

Nos gratitude à notre Corps professoral compétent et nos vénération pour notre honorable Institut qui nous a garanti toutes les chances pour un apprentissage de valeur.

Nos vifs remerciements vont finalement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Liste des figures

Figure 1 : Présentation du premier pilier selon Bâle II.	- 12 -
Figure 2 : Les trois piliers de Bâle II.	- 14 -
Figure 3 : Présentation graphique de la VaR.	- 30 -
Figure 4: Test de Q-Q plot appliqué aux rendements des cours de change EURO/MAD..	- 41 -
Figure 5 : Vecteur moyenne et matrice de variance-covariance des rendements des cours de change	- 42 -
Figure 6 : Interface de calcul de la VaR par VBA	- 50 -
Figure 7: Backtesting appliqué à la VaR paramétrique, historique et Monte Carlo.	- 55 -
Figure 8: Les parts marginaux du nombre et de montant des pertes par rapport au total des pertes.....	- 60 -
Figure 9: Fréquence des pertes des litiges commerciaux pour un $\lambda = 20$	- 62 -
Figure 10 : Représentation Q-Q Plot des lois Lognormale, Gamma, Weibull, et Pareto pour les pertes de type litiges commerciaux	- 64 -
Figure 11: Sévérité des pertes litiges commerciaux.....	- 66 -
Figure 12: Représentation graphique de la distribution agrégée.....	- 70 -
Figure 13: Rapport des écarts-type pour le bloc les litiges commerciaux	- 72 -
Figure 14 : Synthèse de l'allocation du capital économique par ligne métier et par type de risque.....	- 74 -
Figure 15 : Interface de la modalisation du risque opérationnel élaboré par VBA.....	- 75 -

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les huit lignes métiers retenues par Bâle	- 20 -
Tableau 2: Les coefficients de pondération selon les lignes métiers	- 21 -
Tableau 3: Matrice des pertes selon les ligne métier et les types de risque.....	- 23 -
Tableau 4: Comparaison entre les trois approches.	- 37 -
Tableau 5: Les défferentes devises utilisées dans notre porte feuille	- 40 -
Tableau 6: Positions en devise et calcul de la valeur de marché de portefeuille de change au 29/12/2006.	- 43 -
Tableau 7 : Synthèse de calcul de la VaR paramétrique.....	- 43 -
Tableau 8 : Test de ADF appliqué au cours de change EUR/MAD	- 44 -
Tableau 9: Pourcentage de chaque devise par rapport au position brute.....	- 45 -
Tableau 10 : Valeurs et variations de portefeuille de change entre le 01/01/04 et 29/12/06	- 46 -
Tableau 11 : Calcul de la VaR historique au 29/12/2006	- 46 -
Tableau 12 : Generation des nombres aleatoires selon la loi normale standard	- 47 -
Tableau 13 : Decomposition de Cholesky de la matrice Σ	- 48 -
Tableau 14: Calcul des scénarios des cours de change.....	- 49 -
Tableau 15: Calcul de la VaR Montee Carlo	- 49 -
Tableau 16: Comparaison des valeurs en risque calculées pour les trois approches... -	49 -
Tableau 17: Majorations du multiplicateur selon les zones de contrôle et les nombres d'exceptions	- 54 -
Tableau 18 : Calcul des exigences en fonds propres pour les trois approches.	- 56 -
Tableau 19: Estimation de maximum de vraisemblance de paramètre de la loi de poisson	- 62 -
Tableau 20: Statistique de Kolmogrov-Smirnov par type de risque.....	- 65 -
Tableau 21: Estimation du maximum de vraisemblance des paramètres de la loi Lognormale.....	- 65 -
Tableau 22 : Résultats de la simulation de Monte Carlo pour les litiges commerciaux -	70 -
Tableau 23 : Valeurs de la VaR pour les litiges commerciaux.....	- 72 -
Tableau 24: Allocation du capital économique	- 74 -

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	- 1 -
<i>Présentation de l'organisme d'accueil</i>	- 3 -
PARTIE I DISPOSITIF PRUDENTIEL DE BALE	- 6 -
<i>Introduction</i>	- 8 -
CHAPITRE 1 APERÇU SUR LE NOUVEL ACCORD DU COMITE DE BALE	- 9 -
I. Aperçu sur le comité de Bâle.....	- 9 -
II. Transition Bâle I à Bâle II	- 10 -
III. Les piliers de Bâle II	- 11 -
III.1. Le premier pilier : exigences minimales de fonds propres	- 11 -
III.2. Le deuxième pilier : processus de surveillance prudentielle.....	- 13 -
III.3. Le troisième pilier : discipline efficace du marché	- 13 -
IV. Transposition de Bâle II au Maroc	- 14 -
CHAPITRE 2 RISQUE MARCHE ET EXIGENCES PRUDENTIELLES	- 15 -
I. Définition du risque du marché	- 15 -
II. Approche standard	- 16 -
III. Approches internes	- 16 -
III.1. Normes générales	- 16 -
III.2. Exigences qualitatives.....	- 17 -
III.3. Exigences quantitatives.....	- 17 -
III.4. Facteurs de risque.....	- 18 -
CHAPITRE 3 RISQUE OPERATIONNEL ET EXIGENCES PRUDENTIELLES	- 19 -
I. Définition du risque opérationnel	- 19 -
II. Approches de mesure du risque opérationnel	- 21 -
II.1. Les approches forfaitaires	- 21 -
II.2. Approches avancées (AMA).....	- 22 -
III. Problématique	- 26 -
<i>Conclusion</i>	- 27 -
PARTIE II MODELISATION INTERNE DU RISQUE MARCHE	- 27 -
<i>Introduction</i>	- 29 -
CHAPITRE 1 APPROCHE THEORIQUE DE LA VALUE AT RISK (VAR)	- 30 -
I. la VaR : définition, avantages et inconvénients.....	- 30 -
I.1. Définition de la VaR :	- 30 -
I.2. Avantages et Inconvénients	- 31 -
II. La VaR analytique (ou paramétrique)	- 32 -
II.1. Hypothèses	- 32 -
II.2. Méthodologie	- 32 -
III. la VaR historique	- 34 -
III.1. Hypothèses	- 34 -
III.2. Méthodologie	- 34 -
IV. VaR Monte Carlo.....	- 35 -
IV.1. Hypothèse.....	- 35 -
IV.2. Méthodologie	- 35 -
V. Avantages et inconvénients des méthodes.....	- 37 -
CHAPITRE 2 APPLICATION DE LA VAR A UN PORTEFEUILLE DE CHANGE	- 38 -
I. Le marché de change au Maroc	- 38 -
I.1. Définition.....	- 38 -
I.2. Types d'opérations sur le marché de change.....	- 39 -
I.3. Les acteurs de marché de change	- 39 -
II. Description du portefeuille de change	- 40 -
III. Application de la VaR paramétrique	- 40 -
IV. Application de la VaR historique	- 44 -
IV.1. vérification de la stationnarité.....	- 44 -
IV.2. Calcul de la VaR historique	- 45 -
V. Application de la simulation Monte Carlo.....	- 46 -
V.1. Vérification des hypothèses de calcul.....	- 46 -
V.2. Calcul de la VaR Monte Carlo	- 47 -
VI. Comparaison des trois approches	- 49 -

VII.	Implémentation par VBA	- 50 -
CHAPITRE 3 BACKTESTING, STRESSTESTING ET CALCUL DES EXIGENCES EN FONDS PROPRES		- 52 -
I.	Stresstesting	- 52 -
II.	Backtesting	- 53 -
III.	Calcul des exigences en fonds propres et le multiplicateur	- 54 -
IV.	Application de contrôle ex-poste au portefeuille de change	- 55 -
V.	Calcul des fonds propres	- 56 -
<i>Conclusion</i>		- 57 -
PARTIE III MODELISATION INTERNE DU RISQUE OPERATIONNEL		- 59 -
<i>Introduction</i>		- 59 -
CHAPITRE 1 ESTIMATION DES DISTRIBUTIONS DES SEVERITES ET DES FREQUENCES		- 60 -
I.	Méthodologie	- 60 -
II.	Fréquence des pertes	- 61 -
II.1.	Estimation du modèle de fréquence	- 61 -
II.2.	Estimation de paramètre de la loi de poisson	- 61 -
III.	La sévérité des pertes	- 63 -
III.1.	Test d'adéquation graphique : Le Quantile-Quantile Plot	- 63 -
III.2.	Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov	- 64 -
Le principe de ce test est déjà traité dans le deuxième chapitre de la deuxième partie.		- 64 -
III.3.	Estimation du modèle de sévérité	- 65 -
CHAPITRE 2 DETERMINATION DE LA VAR : SIMULATION DE MONTE CARLO		- 67 -
I.	Génération des nombres aléatoires	- 67 -
I.1.	Simulation d'une variable aléatoire selon la loi de Poisson	- 67 -
I.2.	Simulation d'une variable aléatoire selon la loi Lognormale :	- 68 -
II.	Génération de la perte agrégée	- 68 -
III.	Calcul de la VaR opérationnel	- 72 -
IV.	Allocation du capital économique	- 72 -
V.	Implémentation de l'application par VBA	- 74 -
<i>Conclusion</i>		- 67 -
<i>Conclusion générale :</i>		- 77 -
<i>Références</i>		78
<i>Annexe 1</i>		81
<i>Annexe 2</i>		82

Introduction générale

L'importance grandissante des opérations du marché et des risques inhérents à ces opérations a suscité de nombreuses réflexions de la part des instances bancaires internationales.

Le marché financier devenant de plus en plus complexe et liquide, les menaces de la solvabilité des institutions financières provenant des activités de négociation ou des pertes directes ou indirectes et des défaillances attribuables à des procédures ou à des personnes, augmentent le besoin de détenir des méthodes de calcul et de contrôle efficaces des risques crédit, marché et opérationnel.

La réglementation prudentielle a considérablement évolué ces vingt dernières années sous l'impulsion des travaux du Comité de Bâle pour renforcer encore la solidité et la stabilité du système bancaire international, tout en continuant d'assurer un degré suffisant d'harmonisation et de convergence internationale sur une révision des règles relatives à l'adéquation des fonds propres des banques à dimension internationale.

Le Comité s'est employé à définir des normes beaucoup plus sensibles au risque, fondées sur des concepts éprouvés et tenant compte des spécificités locales des systèmes nationaux. Par ailleurs, le comité a conservé les éléments fondamentaux du dispositif de 1988 : l'obligation générale faite aux banques de détenir des fonds propres d'un niveau équivalant à 8 % au moins du total de leurs actifs pondérés en fonction des risques encourus par les banques à savoir le risque crédit, le risque marché et le risque opérationnel (le ratio de Mc Donough).

En 1993, une approche dite standard a été établie pour gérer le risque crédit et le risque marché, l'exigence en fonds propres est alors calculée d'une manière forfaitaire. Depuis l'amendement de Bâle en janvier 1996, les banques sont autorisées à calculer le niveau de fonds propres réglementaire par un modèle interne que l'on peut espérer plus précis et plus économique, mais qui doit remplir certains critères pour être homologué par la commission bancaire.

Les banques marocaines n'échappent pas à cette nouvelle réglementation puisqu'un circulaire de Bank Al Maghrib stipule qu'elles doivent disposer et appliquer la méthode standard d'ici fin 2007. Parallèlement, ces banques dirigent actuellement des travaux sérieux pour l'élaboration de leurs modèles internes de gestion des risques.

La méthode valeur en risque ou encore la Value-at-Risk mesure la perte maximale que la banque est susceptible de perdre sur une période donnée avec une probabilité donnée. Elle est la plus utilisée parmi les méthodes internes pour la gestion du risque de marché, elle permet de résumer le risque encouru en un seul chiffre donnant la perte potentielle éventuelle sur un horizon de temps fixé. Ils existent plusieurs approches VaR dont l'utilisation de l'une ou de l'autre dépend des caractéristiques de l'instrument financier étudié, de la précision recherchée et des contraintes d'implémentation constatées.

Nous nous intéresserons, à travers ce projet de fin d'étude, à la modélisation du risque par la Value-at-Risk et à l'allocation optimale de fonds propres par le capital économique associé. Nous mettrons le point sur deux champs d'applications, il s'agit de

la gestion du risque change et du risque opérationnel. Des applications numériques seront effectuées dans le but de ressortir les éléments nécessaires à cette gestion.

Dans la première partie, nous consacrerons le premier chapitre à un aperçu général sur le comité de Bâle et sur la gestion des différents risques, suivi par un deuxième chapitre où nous présenterons le risque marché, ainsi que les méthodes standards de calcul des exigences en fonds propres. Enfin, un troisième chapitre sera consacré au risque opérationnel : sa définition, ses types, et les approches standards et internes utilisées pour la détermination des fonds réglementaires et économiques pour ce genre de risque.

Nous rappellerons, dans la deuxième partie et dans le premier chapitre, les notions générales sur lesquelles nous allons travailler tout en présentant les concepts de la Value-at-Risk, ses divers types, ainsi que leurs avantages et inconvénients. Dans un deuxième chapitre, nous appliquerons les trois méthodes de la VaR sur un portefeuille de change, ce qui nécessitera par la suite une comparaison entre les trois méthodes et une analyse des résultats obtenus. Enfin nous développerons les deux procédures nécessaires de validation et de la vérification des modèles internes, il s'agit de backtesting et stress testing.

La troisième partie traitera la modélisation de risque opérationnel. A travers laquelle nous décrivons une méthodologie inspirée du domaine de l'assurance. L'approche retenue permettra de calculer la VaR et d'allouer le capital économique par le biais de la simulation de Monte Carlo, qui sera utilisée pour aboutir à la distribution des pertes agrégées, et par la suite aux objectifs finaux, soit la Value-at-Risk et le capital économique associé.

Au cours de ce projet, nous allons implémentés par VBA les différentes méthodes de la détermination de la VaR afin de faciliter les calculs de ces dernières.

Présentation de l'organisme d'accueil

Filiale du **Groupe Société Générale**, un des plus grands groupes bancaires de la zone Euro, la **Société Générale Marocaine de Banques (SGMB)** est présente au Maroc depuis plus de 90 ans et s'impose comme une banque de référence pour le développement de l'économie nationale. Avec un réseau de 220 agences qui ne cessent de s'accroître, la Société Générale Marocaine de Banques opère en tant que banque de détail et banque d'investissement.

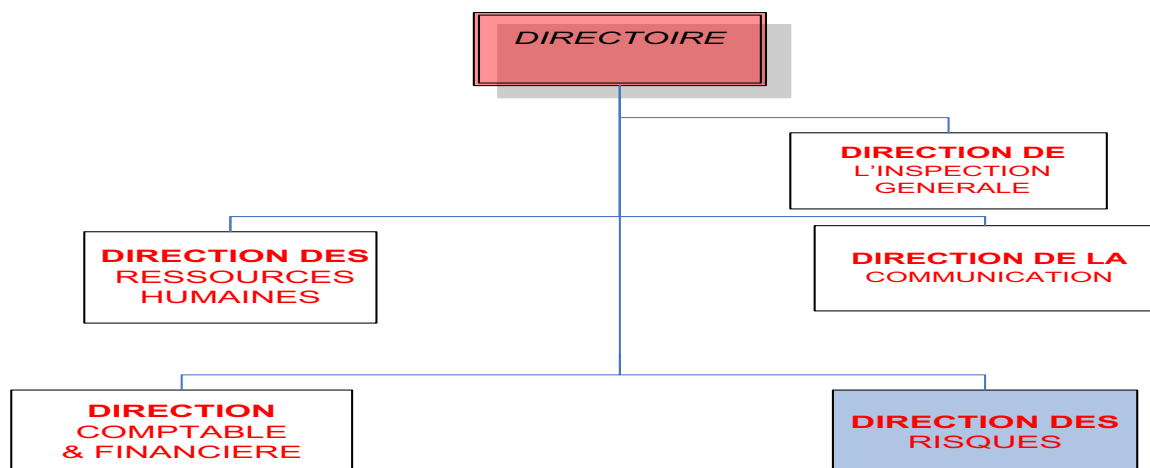
Le Groupe Société Générale Marocaine de Banques, premier groupe financier international du pays, s'appuie sur des pôles métiers reconnus pour leur expertise et sur une stratégie de synergie avec ses filiales spécialisées. Il offre à sa clientèle d'entreprises, une gamme de produits riche et diversifiée : opérations bancaires classiques, financement des investissements et du cycle d'exploitation, opérations à l'international, produits d'épargne et de placement, opérations de haut de bilan...

Les 3 valeurs essentielles du Groupe sont : professionnalisme, esprit d'équipe et innovation.

METIERS :

-  **Banque Commerciale**
-  **Banque de Financement et des Grandes Entreprises**
-  **Gestions Privée et Institutionnelle**

Structure de la SGMB



Vue l'importance que jouent les deux directions des risques et Financière dans la gestion des risques, et la coordination avec le Groupe SG, nous détaillerons les différentes tâches effectuées au niveau de chaque direction.

➤ **Direction des Risques :**

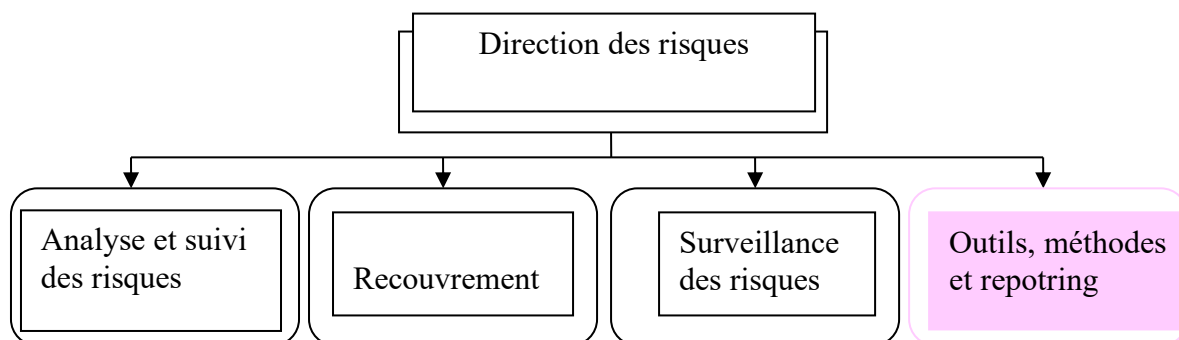
- ✓ A une autorité fonctionnelle (notamment choix des hommes, participation à la fixation d'objectifs et à leur suivi ainsi qu'aux évaluations annuelles) sur toutes les personnes intervenant dans la filière Risques au niveau des Délégations Régionales tant au niveau de l'octroi des crédits (RMCC et RMCP) que de la surveillance et du recouvrement (RCER).

➤ **Direction Comptable & Financière :**

- ✓ Assure la production, la validation et l'analyse:
 - des éléments de pilotage comptable et de gestion à usage de la Direction Générale.
 - des états financiers communiqués à l'ensemble des directions, aux autorités réglementaires (BAM) et au groupe Société Générale.
 - des risques structurels et opérationnels.
- ✓ Assume un rôle de coordination en matière de communication financière à l'égard des autres entités du groupe SG au Maroc.
- ✓ Définit, met en œuvre et contrôle les divers aspects de la gestion financière et assure le pilotage financier de l'implantation afin d'optimiser sa rentabilité.
- ✓ Met en place les outils de cohésion des données financières (règles de gestion, principes comptables, référentiels, indicateurs et axes d'analyse).
- ✓ Veille au respect des objectifs fixés pour la gestion de bilan, les ratios Bâle 2 (contrepartie, solvabilité, risques opérationnels).
- ✓ Joue le rôle de coordinateur et de superviseur de l'ensemble des contrôles internes de premier niveau, entrant dans le cadre de la Surveillance Permanente exercée par le Réseau et par le Siège et Filiales.

CONTEXTE GENERAL DU STAGE :

Le stage est effectué au sein de la Direction des Risques et précisément dans la division OUTILS METHODES ET REPORTING :



MISSIONS DES DIFFERENTS SOUS DIRECTIONS

➤ ANALYSE ET SUIVI DES RISQUES

- ✓ Evalue l'ensemble des risques de crédit (client/contrepartie et transaction) attachés à une opération,
- ✓ Contrôle la cohérence des décisions prises et recommande les modifications de structure et les protections souhaitables (garanties, covenants,) pour rester en conformité avec la politique de risque de la SGMB.
- ✓ Communique son avis sur l'acceptabilité des risques en rédigeant une évaluation de crédit dûment motivée et explicitée à destination du Comité compétent.
- ✓ Est compétente pour toutes les propositions de crédit, quelle que soit leur nature concernant toutes les contreparties ou groupe clients, qui n'entrent pas dans les limites des Directions opérationnelles.
- ✓ Fournit à la Direction Générale des informations sur la qualité globale du portefeuille de crédits de la banque et la stratégie à tenir en matière des risques.

➤ SURVEILLANCE DES RISQUES

- ✓ Détecte le plus tôt possible les irrégularités, en informe les Directions Opérationnelles et la Direction des Risques afin de pouvoir agir très en amont pour éviter une détérioration irrémédiable d'engagements qui se traduirait par des pertes pour la banque ou les filiales
- ✓ Suit particulièrement certains types d'engagements sensibles
- ✓ Prépare et valide les divers reporting risques à adresser périodiquement à BHFMRIS (irréguliers, sensibles, qualité globale du portefeuille, grands risques, provisions). Diligente et effectue régulièrement des audits de la filière risques dans les Délégations Régionales et notamment des dossiers autorisés dans le cadre de leurs limites à divers, et ce en étroite collaboration avec la Direction de l'Inspection Générale.

➤ RECOUVREMENT :

- ✓ Définit les procédures de recouvrement.
- ✓ Pilote et supervise l'action des RCER pour le recouvrement décentralisé dans les Directions Régionales aussi bien dans les phases pré contentieuses que contentieuses.
- ✓ Prend en charge les plus importants dossiers en recouvrement centralisé (selon une liste mise à jour régulièrement) et assure la coordination des actions des divers intervenants dans le processus de recouvrement (agences, DR , Direction des Risques, Directions opérationnelles, Direction Juridiques, etc).
- ✓ Prend en charge l'ensemble du travail administratif lié aux comptes en recouvrement (gestion des provisions, reportings relations avec les avocats et les tribunaux etc).
- ✓ Pilote, le cas échéant, en liaison avec les RCER, les actions de recouvrement de masse confiée à des sociétés de recouvrement externes.

➤ OUTILS METHODES REPORTING :

- ✓ Assure le rôle de maîtrise d'ouvrage (MO) ou de responsable de Projet Bancaire (RPB) des projets de risques menés au sein de la SGMB, en

coordination avec le Groupe SG, pour en assurer la conformité avec les règles de la Banque Normative édictées par BHFM.

- ✓ Assure le rôle de MO ou de RPB pour les aspects risques de contrepartie et de transactions relatifs au projet BALE II et à la mise en oeuvre des normes IAS ;
- ✓ Assure les travaux d'administration des outils risques (tel que STARWEB, DCCIT, COLLECTE, PROVWEB).
- ✓ Assure la cohérence et la mise à jour des référentiels communs entre la SGMB, le groupe SG, Sogelease Maroc, Sogebourse et Bank-Al Maghrib.
- ✓ Elabore et valide divers états de reporting concernant tant les risques de contrepartie que les risques de marchés et les risques pays.
- ✓ Propose les évolutions des outils et/ou de nouveaux outils pour l'amélioration du suivi des risques et en rédige l'expression de besoin.

Partie I

Dispositif prudentiel de Bâle

- *Aperçu sur le nouvel accord du comité de Bâle*
- *Risque du marché et exigences prudentielles*
- *Risque opérationnel et exigences prudentielles*

Introduction

Parmi les principales activités des banques, nous pouvons citer : la collecte des dépôts, l'octroi des crédits, les diverses activités du marché. Ces activités, naturellement risquées (le débiteur peut être partiellement ou totalement défaillant, changement des taux d'intérêt sur le marché, pertes dues aux sinistres qui touchent les biens physiques de la banque...) entraînent la nécessité de la mise à la disposition des banques des outils de contrôle et de mesures de prudence. C'est pour cette raison que le Comité de Bâle a mis en place un ensemble de recommandations internationales pour la gestion de ces divers risques (crédit, marché et opérationnel).

Dans cette première partie, nous présenterons, d'une manière générale, un aperçu global sur le comité Bâle, ainsi que sa transition au Maroc. Puis nous intéressons aux risques de marché et opérationnels, pour présenter les différentes approches standards et internes, afin de déterminer les exigences en fonds propres.

CHAPITRE 1

Aperçu sur le nouvel accord du comité de Bâle

L'objectif de ce chapitre est de présenter un aperçu général sur le nouvel accord de Bâle. Pour se faire, et après avoir exposé l'accord de Bâle I, on traitera sa transposition au Maroc.

I. Aperçu sur le comité de Bâle

L'ensemble des activités des banques est régulé par les autorités de surveillance qui mettent en place et vérifient l'application d'une réglementation bancaire. Cette réglementation a pour mission de promouvoir la stabilité et la sécurité du système financière en édictant des normes prudentielles qui s'appliquent aux banques et en menant des actions de supervisions préventives.

Dans le but de proposer des évolutions dans la supervision et le contrôle du système financier international, les gouverneurs des banques centrales de G10¹ ont institué en juin 1974 le comité des règles des pratiques des contrôles des opérations bancaires, plus connu par le comité de Bâle. Il a pour vocation, notamment :

- De renforcer, à l'échelle mondiale, la solidité et la stabilité bancaire et de réduire les disparités entre les réglementations nationales.
- De faciliter l'échange d'informations sur les activités des banques à vocation internationale.
- D'améliorer les techniques de contrôle bancaire.

Le comité de Bâle a mis en place le premier accord de Bâle (Accord de Bâle 1) appelé également ratio de « Cooke ». Ce ratio de solvabilité établissait un minimum d'exigence de couverture de risque de crédit par des fonds propres.

Le risque de crédit peut être défini comme le risque de pertes lié au défaut d'un emprunteur sur un engagement de remboursement de dettes qu'il a contractées. En général :

- Il correspond à l'incapacité du débiteur à faire face à ces obligations.
- Il provient de l'incertitude pesant sur le taux de recouvrement une fois le défaut survenu.

Le ratio Cooke a été complété en 1996 par un « Amendement à l'accord sur les fonds propres pour son extensions au risque de marché » élargissant ainsi l'assiette des risques à ceux de l'activité de marché.

Le risque marché représente la perte due aux variations des taux d'intérêts, des taux de change, des prix des matières premières et des prix des actions.

¹ Il se décompose des pays suivants : Allemane, Belgique, Canada, Etats-Unis, France, Italie, Japon, Pays Bas, Royaume –Unis, Suède et Suisse.

Ce ratio correspond à une couverture minimale de 8% des risques de contrepartie par les fonds propres :

$$\frac{\text{Total des fonds propres}}{\text{Risque Marché} + \text{Risque Crédit}} \geq 8\%$$

Les fonds propres sont définis comme étant les ressources dont dispose l'établissement en dehors de celles qu'il emprunte à des tiers.

Le comité de Bâle a été amené à préciser une classification des fonds propres obligatoires; il cite trois catégories d'éléments pouvant être inclus dans leurs calculs.

Les deux premières apparaissent déjà dans l'accord 1988 ; la troisième catégorie est intégrée dans le cadre de l'Amendement 1996 et destinée exclusivement à couvrir les risques de marché :

- **Catégorie 1** : fonds propres de base comprennent notamment le capital social et les bénéfices non distribués.
- **Catégorie 2** : fonds propres complémentaires contiennent les réserves non publiées, les réserves de réévaluation, les provisions générales, les instruments hybrides dette/capital et la dette subordonnée à long terme.
- **Catégorie 3** : fonds propres sur complémentaire consistent en la dette subordonnée à court terme.

II. Transition Bâle I à Bâle II

Le ratio « Cooke » a montré ses limites, sous l'effet, particulièrement, de la globalisation financière qui s'est accompagnée de l'apparition de nouveaux risques et qui a entraîné de nombreuses crises financières.

On peut citer notamment l'obsolescence des pondérations des établissements (les pondérations ne dépendent pas du rating externe ou interne), la négligence de certains risques tels que le risque opérationnel qui est un risque de pertes directes ou indirectes d'une inadéquation ou d'une défaillance attribuable à des organisations, des procédures, des personnes, des systèmes internes ou à des événements extérieurs.

De plus, la sophistication des pratiques développées par les banques pour l'évaluation et la maîtrise de leurs risques, a rendu nécessaire la mise en place d'un nouveau dispositif plus adapté au contexte des marchés internationaux.

Ainsi en juin 1999, le comité de Bâle a proposé un amendement au ratio Cooke censé introduire une plus grande sensibilité aux risques, et qui permet d'appréhender de manière plus exhaustive l'ensemble des risques encourus.

En juin 2004, le comité de Bâle a publié la version définitive du nouvel accord de Bâle. Ce dernier plus connu sous le nom de l'accord Bâle II, a instauré un nouveau ratio de solvabilité, le ratio « Mc Donough » qui intègre en plus le risque opérationnel. Ce ratio devra remplacer le ratio « Cooke » :

$$\frac{\text{Total des fonds propres}}{\text{Risque Marché} + \text{Risque Crédit} + \text{Risque Opérationnel}} \geq 8\%$$

Cette réforme a pour principaux objectifs de :

- Définir un cadre plus complet pour l'appréciation des risques bancaires
- Définir un capital réglementaire plus en ligne avec le capital économique
- Mettre en place un cadre d'analyse qui se base sur l'évaluation interne des banques
- Enrichir le contenu de la communication financière en matière de risques
- Étendre son application à toutes les banques
- Renforcer le rôle des régulateurs
- Définir un ratio plus sensible aux risques réellement assumés par les banques et plus exhaustif tel que le risque opérationnel.

On entend par le capital économique les fonds propres calculés à partir des modèles internes élaborés par les établissements financiers. Ils sont supposés plus rationnels par rapport aux fonds propres réglementaires ou forfaitaires, car ces derniers ne tiennent pas compte des spécificités de chaque banque (la nature du portefeuille de la banque, la signature (rating)...).

III. Les piliers de Bâle II

L'accord Bâle II vise à optimiser l'alignement des exigences en fonds propre sur les risques supportés par les banques et à assurer encore de meilleures conditions de concurrence au niveau international. Trois piliers indissociables sont à la base de ce nouveau dispositif qui renforce les synergies entre le contrôle interne et externe des risques.

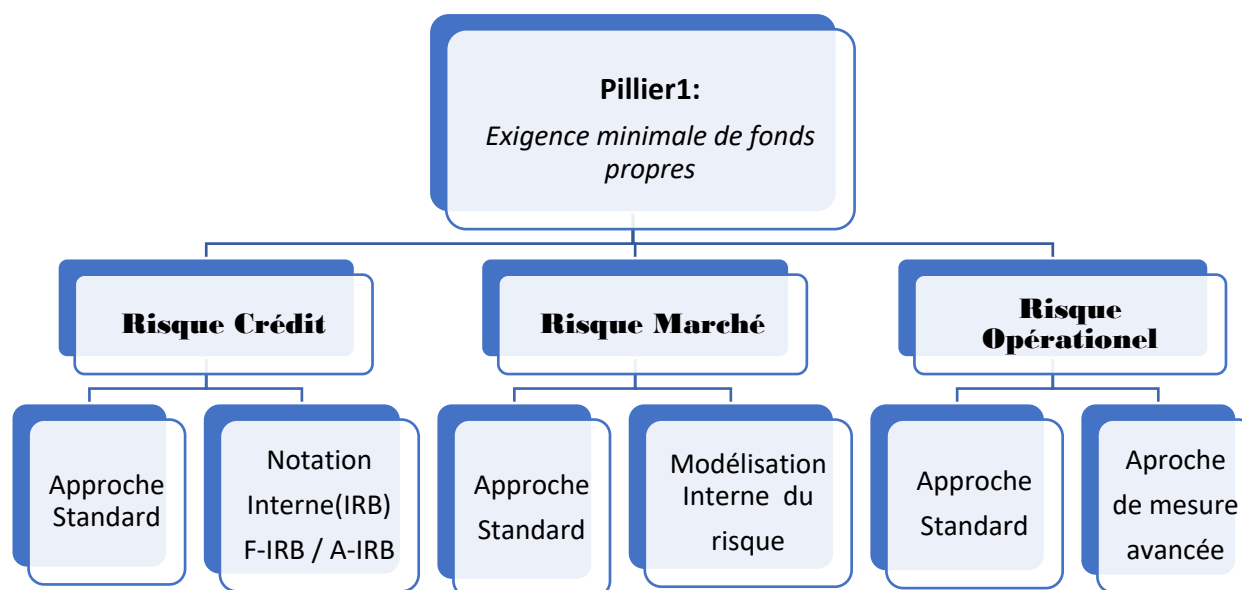
III.1. Le premier pilier : exigences minimales de fonds propres

Il s'agit d'évaluer les exigences minimales en fonds propres pour couvrir les risques de crédit, de marché et opérationnel.

On distingue entre des méthodes simples standardisées, et complexes spécifiques à chaque établissement, qui tiennent compte de la structure de chaque système bancaire,

Ces approches sont illustrées par le schéma suivant :

Figure 1 : Présentation du premier pilier selon Bâle II.



Risque crédit

Le Comité propose de donner aux banques le choix entre deux grandes méthodes de calcul des exigences de fonds propres relatives à leur risque de crédit. La première consiste à évaluer ce risque selon une approche standard, relativement simple, s'appuyant sur des évaluations externes du crédit.

La seconde méthode de calcul permettrait aux banques d'utiliser leur système de notation interne, à savoir les approches F-IRB et A-IRB (Foundation Internal Rating Based Approach et Advanced Internal Ratings Based Approach), c'est la banque elle-même qui, à l'aide de notation interne, évalue les facteurs de risque.

La prise en considération de notations internes pour déterminer les exigences réglementaires en matière de fonds propres tient compte de deux faits : d'une part, seule une faible minorité de débiteurs-principalement les grandes entreprises-ont une notation externe, et d'autre part, dans le cadre de la nouvelle méthode standardisée la répartition des débiteurs entre quelques catégories peu nombreuses de pondération du risque reste relativement schématique. Pour les approches compliquées internes, Bâle II reprend uniquement des méthodes que les banques, bien gérées, appliquent depuis longtemps pour octroyer et surveiller les crédits, établir une tarification du risque, gérer le portefeuille de crédit et déterminer les provisions requises.

Risque marché

La réglementation des risques de marché a connu après l'entrée en vigueur de Bâle II quelques changements notamment la prise en considération de la notation externe pour le calcul de risque spécifique et une délimitation du portefeuille de négociation.

S'agissant du risque marché, les méthodes simples sont faciles à appliquer, les calculs sont simplifiés, sauf, qu'elles requièrent habituellement d'avantages de fonds propres. Quant aux méthodes complexes, elles doivent être validées par les autorités de surveillance, elles

sont des méthodes de gestion de risque développées en interne et requièrent moins de fonds propres.

Risque opérationnel

La nécessité de mesurer le risque opérationnel provient des préconisations du comité de Bâle, qui oblige les banques d'allouer une quantité de capital adéquate pour couvrir leur risque opérationnel.

Le dispositif de calcul des fonds propres prévu par Bâle II propose aux banques deux méthodes d'évaluation : méthodes forfaitaires à savoir :

- ☞ L'indicateur de base qui consiste à l'application d'un ratio forfaitaire (15%) au Produit Net Bancaire des trois derniers exercices.
- ☞ L'approche standard qui permet d'appliquer un coefficient différent selon les lignes métiers.

Et les méthodes avancée dite aussi AMA (Advanced Measurement Approach) permet à l'établissement de construire sa propre méthode interne d'évaluation du risque opérationnel.

III.2. Le deuxième pilier : processus de surveillance prudentielle

L'objectif principal du deuxième pilier est de s'assurer que les banques évaluent, au mieux, l'adéquation de leurs fonds propres en regard de leur profil de risque.

Le deuxième pilier repose sur les quatre principes de base suivants :

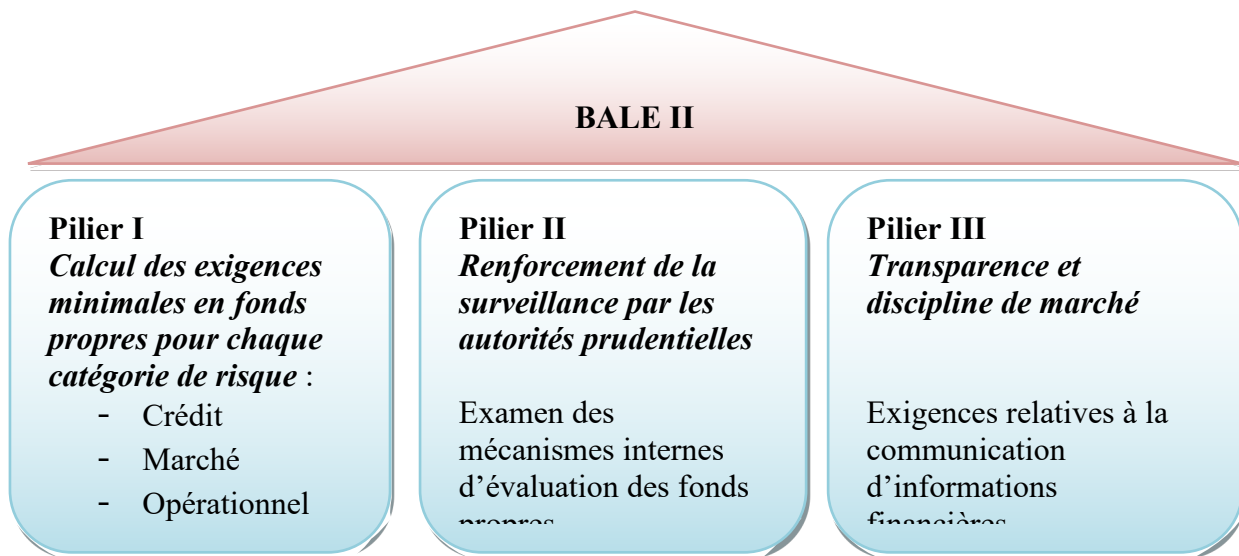
- Les banques doivent développer leurs propres méthodes de certification de l'adéquation de leurs capitaux avec leur profil de risque, ainsi qu'une stratégie pour maintenir leurs niveaux de capitaux.
- Les superviseurs doivent réviser et évaluer les stratégies et certification internes des banques pour l'adéquation des capitaux, tout autant que leur capacité à contrôler et assurer leur conformité avec les ratios de capital réglementaire. Les superviseurs devront prendre les sanctions nécessaires s'ils ne sont pas satisfaits avec les résultats de ce processus.
- Les superviseurs doivent attendre des banques qu'elles opèrent au-dessus des ratios minimums de capital réglementaire et doivent avoir la capacité de réclamer aux banques de garder le capital en excès du minimum.
- Les superviseurs doivent chercher à intervenir à un stade précoce pour empêcher le capital de tomber sous les niveaux minima requis pour supporter les caractéristiques de risque d'une banque en particulier, et doivent exiger une action rapide pour y remédier si le capital n'est pas maintenu ou restauré.

III.3. Le troisième pilier : discipline efficace du marché

Ce pilier vise à promouvoir ainsi une plus grande transparence, fondée sur la publication par les banques d'informations quantitatives et qualitatives sur la nature et le suivi de leurs risques ainsi que sur le calcul de leurs fonds propres : fournir des informations sur la structure du capital, la politique vis-à-vis de chaque type de risque, les méthodes de mesure et de gestion des risques...

Le schéma suivant résume les trois piliers de Bâle II.

Figure 2 : Les trois piliers de Bâle II.



Source : La réforme du ratio de solvabilité bancaire

IV. Transposition de Bâle II au Maroc

En vue d'adopter les meilleures pratiques en matière de gestion des risques, Bank Al-Maghrib a utilisé une démarche, pour la transition du nouvel accord Bâle II, qui tient compte de la réalité et la structure du système bancaire au Maroc. Cette démarche est ouverte sur les différentes approches de calcul des fonds propres réglementaires prévues par le comité de Bâle.

La banque centrale a arrêté un calendrier pour la transposition du nouvel accord ; qui oblige les banques d'appliquer ce ratio à partir de 2007 pour les approches standards et qu'à partir de 2009 pour les approches modèles internes.

Bank Al-Maghrib, a fixé des propriétés pour mettre le système de supervision en conformité avec l'ensemble des principes du Comité de Bâle et de renforcer le cadre réglementaire et la transparence financière.

Pour améliorer la supervision et faciliter le déroulement du cet accord, des nouvelles dispositions ont été introduites dans le projet de texte de la loi bancaire.

D'autre part, Bank Al-Maghrib a publié, le 7 décembre 2004, des recommandations générales relatives au système de notation interne des entreprises par les établissements de crédit.

Dans le cadre de la transposition de l'accord Bâle II, Bank Al-Maghrib a mis en consultation, auprès de la profession bancaire, l'ensemble du cadre prudentiel régissant les dispositifs précités relatifs aux trois piliers.

CHAPITRE 2

Risque marché et exigences prudentielles

Dans ce chapitre, on va présenter le risque marché, tout en donnant sa définition, les approches standards de calcul des exigences en fonds propres et enfin les normes générales, quantitatives et qualitatives des approches internes.

I. Définition du risque du marché

« Le risque du marché, défini comme le risque de pertes sur des positions du bilan et du hors bilan à la suite de variations des prix du marché, recouvre :

Les risques relatifs aux instruments liés aux taux d'intérêt et titres de propriété du portefeuille de négociation.

Le risque de change et le risque sur produits de base encourus pour l'ensemble de la banque. »²

On entend par instrument financier : « tout contrat qui donne lieu à la fois à un actif financier pour une partie et à un passif financier ou un instrument du capital pour une autre partie. »³

Par portefeuille de négociation, on entend les positions d'une banque sur les instruments financiers (y compris les positions sur les produits dérivés, et les instruments du hors bilan) qui sont détenus en vue de les céder à court terme et/ou dans l'intention de bénéficier de l'évolution favorable des cours actuels ou à court terme, ou d'assurer des bénéfices d'arbitrage, et il contient les éléments suivants :

- Les titres de transactions
- Les titres de placement
- Les produits dérivés sensible aux variations du prix du sous-jacent.
- Les opérations de cessions temporaires de titres et de change à terme
- Les autres opérations interbancaires
- Les produits de base, y compris les métaux précieux à l'exception de l'Or.
- Les instruments de dérivés de crédit.

Le risque du marché recouvre les risques suivants:

- Le risque du taux d'intérêt : il représente le risque inhérent à la détention, dans le portefeuille de négociation, de titres de créance et

² Source : bibliographie 3

³ Source : bibliographie 4

d'autres instruments liés aux taux d'intérêt ou à la prise de position sur de tels titres ou instruments.

- 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 position sur de tels titres et instruments.
- Le risque de change : le risque lié aux positions concertantes la détention de devise.
- Le risque sur les produits de base : c'est le risque inhérent à la détention ou à la prise de position sur les produits de base et les métaux précieux à l'exception de l'Or.
- Risques sur options : ce risque est lié à la détention des options associées à chacune des catégories de risques précédents.

Afin de déterminer les exigences en fonds propres, on distingue entre les approches standards propres à chaque type de risque, et des approches internes propres à chaque banque. Nous présenterons, ci-dessous, le cas du risque change comme exemple d'étude du risque marché.

II. Approche standard

Pour calculer l'exigence en fonds propres concernant le risque du change, on suit les deux étapes suivantes :

➤ **Première étape : Calcul de la position nette**

On détermine les positions de change en distinguant les positions longues (avoirs) et les positions courtes (engagements). On calcule ensuite le total des positions longues et des positions courtes.

La position nette sur or est calculée séparément et convertie en dirham.

➤ **Deuxième étape : Calcul de l'exigence en fonds propres**

L'exigence en fonds propres représente 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 ;
- La valeur absolue de la position nette sur or.

III. Approches internes

Un modèle interne est un élément de réponse dans le cadre d'un modèle d'allocation de fonds propres. Les banques qui choisissent utiliser cette approche doivent recevoir l'autorisation des autorités de contrôle (BAM), basée sur la réalisation d'un certain nombre de normes générales et d'exigences qualitatives et quantitatives.

III.1. Normes générales

Pour utiliser l'approche interne, Bank Al-Maghrib exige la réalisation des conditions minimales suivantes :

- Le système de gestion des risques doit reposer sur des principes sains et mis en œuvre de manière intègre.

- Les modèles de l'établissement ont fait la preuve sur une durée significative qu'ils mesurent les risques avec une précision raisonnable ;
- L'établissement effectue régulièrement des simulations de crise selon les modalités précisées.
- Bank Al-Maghrib sera en droit d'imposer une période préalable de suivi et de tests en situation réelle avant que les modèles internes d'une banque ne soient utilisés pour la détermination des exigences de fonds propres.

III.2. Exigences qualitatives

Les systèmes de gestion des risques de marché doivent respecter certains critères qualitatifs tels que :

- La banque doit disposer d'une unité de contrôle des risques, responsable de la configuration et de l'exploitation du système de gestion des risques, indépendante des unités de négociation. Cette unité doit effectuer régulièrement (au moins trimestriellement) des contrôles ex-post de la performance du modèle de la banque.
- Le conseil d'administration et la direction générale doivent être activement associés au processus de contrôles des risques et le considérer comme un aspect essentiel de l'activité de l'établissement.
- Les rapports quotidiens doivent être revus par des responsables disposant de l'expertise et de l'autorité suffisantes pour exiger au besoin une réduction des positions prises par un opérateur voire une diminution du degré d'exposition global de la banque.
- Les modèles internes doivent être étroitement intégrés à la gestion journalière des risques.
- Le système de mesure des risques doit être utilisé conjointement avec les limites opérationnelles.
- Un programme rigoureux de simulations de crise doit régulièrement compléter l'analyse des risques fondée sur les résultats quotidiens des modèles internes. (stresstesting)*
- Les établissements doivent disposer d'un programme de vérification du respect des règles et procédures internes relatives au fonctionnement du système de mesure des risques. Ce système fait l'objet d'une documentation décrivant les principes de base et le détail des techniques de mesure utilisées. (backtesting)*

III.3. Exigences quantitatives

Le choix des modèles est laissé aux établissements financiers. Mais ils doivent respecter les règles qui suivent :

* Il sera traité dans le chapitre quatre de la deuxième partie

- La perte potentielle (VaR) est calculée quotidiennement, avec un niveau de confiance unilatéral de 99%, et pour une période de détention des positions d'au moins dix jours ouvrables.
- La période d'observation (échantillon historique) pour le calcul de la perte potentielle doit être au minimum d'un an.
- Les établissements doivent mettre à jour leurs séries de données au moins une fois tous les trois mois.
- Les établissements peuvent prendre en compte les corrélations empiriques entre tous les facteurs de risques sous réserve que le système de mesure de celles-ci soit fiable, appliqué de manière intègre et que la qualité des estimations soit suffisante.
- Les modèles doivent appréhender avec précision les risques particuliers liés au caractère non linéaire du prix des options.
- Chaque établissement doit satisfaire, sur une base journalière, à l'exigence de fonds propres correspondant à la valeur la plus élevée entre :
 - œ La perte potentielle du jour précédent.
 - œ La moyenne des pertes potentielles sur les soixante derniers jours ouvrables, à laquelle est appliqué un facteur de multiplication. Ce facteur sera proportionnel à la qualité de son système de gestion des risques, avec un minimum de 3. Les banques seront tenues de majorer ce facteur par un compliment directement lié aux performances des modèles évalués a posteriori. Le compliment ira de 0 à 1 et reflétera les contrôles ex post*.

III.4. Facteurs de risque

La commission Bancaire propose de définir les facteurs de risque comme les paramètres de marché qui affectent la valeur des positions de négociation de l'établissement, les grandes catégories de facteurs sont : les taux d'intérêt, les cours de change, les prix des titres de propriété et de produits de base, et la volatilité des options correspondantes.

Donc les banques doivent prévoir pour chaque type de risque les facteurs de risques les plus pertinent qu'elles doivent intégrer au niveau de leur modèle interne.

* Backtesting : il sera traité dans le troisième chapitre de la deuxième partie.

CHAPITRE 3

Risque opérationnel et exigences prudentielles

Le risque opérationnel prend de plus en plus une importance croissante. On le trouve à l'origine de nombreuses défaillances. Ses facteurs potentiellement aggravants s'accroissent : augmentation de la taille des banques, alourdissement de la pression concurrentielle, complexification des nouveaux produits, vulnérabilité des systèmes d'information face à l'erreur et à la malveillance.

D'autant que, contrairement aux autres risques, celui-ci est difficile à cerner, car à la fois multiforme (défaut de qualité, problèmes technologiques, etc.) et diffus à tous les échelons et dans toutes les activités d'un établissement.

De ce fait et afin d'assurer l'équilibre et la stabilité des institutions financières, l'élaboration d'une stratégie couvrant ce risque est devenue une nécessité primordiale.

I. Définition du risque opérationnel

Le risque opérationnel se définit comme le risque de pertes directes ou indirectes résultantes de procédures internes inadéquates ou défaillantes, du personnel, des systèmes ou d'événements extérieurs. On peut considérer comme réalisation d'un risque opérationnel :

- Tout événement qui perturbe le déroulement normal des processus métier.
- Et qui génère des pertes financières ou une dégradation de l'image de la banque (bien que cette dernière conséquence ait été explicitement exclue de la définition du comité de Bâle, elle n'en reste pas moins au centre des préoccupations).

Il est nécessaire de préciser les types de pertes que comprend cette définition. Le comité de Bâle a retenu sept types de pertes et a adopté une classification des événements générateurs de pertes :

Fraude interne : Pertes dues à des actes visant à frauder, détourner des biens ou à tourner des règlements, la législation ou la politique de l'entreprise (à l'exception des atteintes à l'égalité et des actes de discrimination) impliquant au moins une partie interne à l'entreprise.

Fraude externe : Pertes dues à des actes visant à frauder, détourner des biens ou contourner la législation de la part d'un tiers.

Pratiques en matière d'emploi et sécurité sur le lieu de travail : Pertes résultant d'actes non conformes à la législation ou aux conventions relatives à l'emploi, la santé ou la sécurité, de demandes d'indemnisation au titre d'un dommage personnel ou d'atteintes à l'égalité ou actes de discrimination.

Clients, produits et pratiques commerciales : Pertes résultant d'un manquement, non intentionnel ou dû à la négligence, à une obligation professionnelle envers des clients spécifiques (y compris exigences en matière de confiance et de conformité) ou de la nature ou conception d'un produit.

Dommmages causés sur des actifs : Destruction ou dommages résultant d'une catastrophe naturelle ou d'autres sinistres.

Dysfonctionnement de l'activité et des systèmes : Pertes résultant de dysfonctionnements ou de l'activité ou des systèmes.

Exécution, livraison et gestion des processus : Pertes résultant d'un problème dans le traitement d'une transaction ou dans la gestion des processus ou des relations avec les contreparties commerciales et fournisseurs.

Le comité de Bâle a retenu aussi un découpage de la banque en huit lignes d'activités qu'on peut résumer dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Les huit lignes métiers retenues par Bâle

Lignes métiers	Activités concernées
<ul style="list-style-type: none"> Financement des entreprises 	Fusions acquisitions, engagement, privatisations, titrisation, recherche, titres de dettes (Etat, haut rendement), actions prêts consortiaux, introductions en bourse, placements sur le marché secondaire.
<ul style="list-style-type: none"> Activités de marché 	Valeurs à revenu fixe, actions, changes, matières premières, crédit, financement, titres sur position propre, prêts et pensions, courtages, titres de dette, courtage de premier rang.
<ul style="list-style-type: none"> Banque de détail 	prêts et dépôts, services bancaires, fiducie et gestion de patrimoines, conseils en placements, cartes commerçant/commerciales/ d'entreprise / de clientèle et commerce de détail.
<ul style="list-style-type: none"> Banque commerciale 	Financements de projets, immobilier, financement d'exportations et du commerce, affacturage, crédit-bail, prêts, garanties, lettres de change.
<ul style="list-style-type: none"> Banque de flux (paiements et règlements) 	Paiements et recouvrements, transferts de fonds, compensation et règlement.
<ul style="list-style-type: none"> Services financiers 	Dépôts fiduciaires, certificats de titres en dépôt, prêts de titres (clients), opérations de sociétés, agents émetteurs et payeurs.
<ul style="list-style-type: none"> Gestion d'actifs 	Gestion centralisée, séparée, de détail, institutionnelle, fermée, ouverte, capital investissement.
<ul style="list-style-type: none"> Courtage de détail 	Exécution et service complet

Source : Notice technique de Bank Al- Maghrib relative aux exigences en fonds propres sur les risques de crédit, marché et opérationnels

II. Approches de mesure du risque opérationnel

L'accord Bâle II exige l'allocation de fonds propres à la couverture contre le risque opérationnel et c'est pour cette raison qu'il propose aux banques deux types de méthodes : standards (forfaitaires) et avancées de complexité croissante. La méthode adoptée doit être uniforme dans un groupe bancaire.

II.1. Les approches forfaitaires

II.1.1. l'indicateur de base

Cette méthode consiste en l'application d'un ratio forfaitaire (15%) au Produit Net Bancaire des trois derniers exercices. Plus exactement, la formule est donnée par :

$$K_{ib} = \left[\sum_{i=1}^n (PNB_i * \alpha) \right] / n$$

Où :

- K_{IB} : Exigence de fonds propres.
- $PNB_{1...n}$: Produit net bancaire positif.
- n : Nombre d'année pour lesquelles le produit net bancaire est positif au cours des 3 dernières années.
- α : 15%.

C'est l'approche utilisée actuellement par la SGMB avec $\alpha = 15.5\%$.

II.1.2. L'approche standard

Cette méthode permet d'appliquer un coefficient différent selon les lignes métiers. L'éligibilité à cette méthode impose de disposer de données chiffrées des pertes supportées par chaque ligne métier du fait du risque opérationnel. Les coefficients de pondération pour chaque ligne de métier sont donnés par le tableau suivant:

Tableau 2: Les coefficients de pondération selon les lignes métiers

Lignes de métiers	Coefficient
Financement des entreprises	18%
Négociation et vente (marché des capitaux)	18%
Banque de détail	12%
Banque commerciale	15%
Païement et règlement	18%
Courtage de détail	12%
Service d'agence	15%
Gestion d'actifs	12%

Source : Notice technique de Bank Al- Maghrib relative aux exigences en fonds propres sur les risques de crédit, marché et opérationnels

L'exigence en fonds propres est obtenue en appliquant la formule suivante :

$$KTSA = \left(\sum_{\text{années 1-3}} \max[\sum (PNB_{1-8} * \beta_{1-8}), 0] \right) / 3$$

Où

- KTSA : exigence de fonds propres
- $PNB_{1...8}$: produit net bancaire positif sur une année donnée pour chacune des 8 lignes de métier
- $\beta_{1...8}$: coefficients spécifiques.

II.1.3. Approche standard alternative (ASA)

Dans cette approche, la banque est tenue de ventiler ses activités suivant les lignes de métiers. Le calcul de l'exigence de fonds propres au titre des risques opérationnels est identique à celui de l'approche standard sauf pour deux lignes de métiers : banque de détail et banque commerciale.

Pour ces deux lignes de métiers, les encours de crédit bruts, multipliés par un facteur de 0.035, sont utilisés au lieu du PNB comme indicateur de risque.

Ainsi pour les exigences de fonds propres de ces deux lignes de métiers on a :

$$K_{NI} = \beta_{NI} * m * EC_{NI}$$

- K_{NI} : exigence de fonds propres pour la ligne de métier concernée
- EC_{NI} : encours total de crédits accordés à la ligne de métier concernée, calculé en moyenne sur les 3 dernières années
- β_{NI} : facteur spécifique pour la ligne de métier
- m : 0.035

Aux fins de l'ASA, le total des prêts et avances dans l'activité de détail comprend l'ensemble des montants tirés sur les portefeuilles de crédit suivants : détail ; PME assimilées à la clientèle de détail ; acquisition de créances sur la clientèle de détail. Pour la banque commerciale, le total des prêts et avances comprend les montants tirés sur les portefeuilles de crédit suivants : entreprises ; emprunteurs souverains ; banques ; financement spécialisé ; PME assimilées aux entreprises ; acquisition de créances sur les entreprises. La valeur comptable des titres détenus dans le portefeuille bancaire doit également être incluse.

De même, les banques qui ne sont pas en mesure d'affecter le produit brut aux six autres lignes de métier peuvent agréger le produit brut total correspondant et lui appliquer un bêta de 18 %.

Comme dans l'approche standard, l'exigence de fonds propres totale ASA représente la somme des exigences de fonds propres pour chacune des huit lignes de métiers.

II.2. Approches avancées (AMA)

Selon les AMA (Advanced Measurement Approach), l'exigence de fonds propres réglementaire équivaut à la mesure du risque opérationnel produite par le système interne de

la banque, sur la base des critères quantitatifs et qualitatifs décrits dans le chapitre concernant le risque du marché, sous réserve de l'autorisation de la banque centrale.

Dans le cadre de l'approche avancée, la banque pourra, donc, calculer elle-même sa charge de capital ou exigence de fonds propres, sur la base d'une Value at Risk (VaR) qu'elle estimera.

Selon cette approche, l'exigence des fonds propres est obtenue par un modèle interne qui satisfait les critères dictés par le comité Bâle dans le cadre des approches internes propres aux banques, le modèle doit prendre en considération les critères suivants :

- Des données internes (trois ans d'historique nécessaire) et externes.
- Des évaluations de l'environnement de contrôle.
- Une prise en compte possible des assurances.
- La banque doit calculer son exigence de fonds propres en agrégeant les pertes attendues (PA) et les pertes inattendues (PI), sauf si elle peut démontrer que son mode de fonctionnement interne couvre adéquatement PA.
- la charge en capital calculée avec une méthode AMA ne peut être inférieure à celle donnée par la méthode SA (approche standard) de plus de 25% :

$$FP_{AMA} \geq 75\% FP_{SA}$$

Nous présenterons ci-dessous trois méthodes internes pour estimer l'exigence en fonds propres :

II.2.1. Approche IMA (Internal Measurement Approach)

La méthode Internal Measurement Approach (IMA) est calculée à partir de la formule suivante :

$$UL = EL * \xi * RPI$$

Où EL est la perte espérée, ξ le facteur d'échelle et RPI l'indice de profil de risque. Cette charge en capital est calculée pour chaque ligne métier (business line) et chaque type de risque :

Tableau 3: Matrice des pertes selon les ligne métier et les types de risque

Type de risque	Ligne métier		Total
	1	2..... j..... J	
1	UL(1,1)	UL(1,2).....UL(1,j).....UL(1,J)	UL (1,.)
2			
i	UL(i,1)	UL(i,2)UL(i,j).....UL(i,J)	UL (i,.)
I	UL(I,1)	UL(I,2).....UL(I,j).....UL(I,J)	UL (I,.)
Total	UL(.,1)	UL(.,2)UL(.,j).....UL(.,J)	UL (.,.)

Source : bibliographie 10

Pour une ligne métier i et un type de risque j , on a :

$$UL(i,j) = EL(i,j) * \xi(i,j) * RPI(i,j)$$

La charge en capital au titre du risque opérationnel est calculée en faisant la somme des différentes charges en capital $UL(i,j)$.

- ❖ $EL(i,j)$ est la perte espérée, le Comité de Bâle propose qu'elle soit calculée à partir de la formule suivante :

$$EL(i,j) = EI(i,j) * PE(i,j) * LGE(i,j)$$

Détaillons ces différents paramètres :

- $EI(i,j)$ est l'indicateur d'exposition.
- $PE(i,j)$ est la probabilité d'occurrence d'une perte unitaire.
- $LGE(i,j)$ est le montant de la perte unitaire
- ❖ $\xi(i,j)$ est le facteur d'échelle. La valeur de celui-ci est déterminée par les autorités réglementaires.

C'est d'ailleurs le seul coefficient qui n'est pas propre à l'établissement financier.

- ❖ $RPI(i,j)$ est l'indice de profil de risque. Pour l'instant, le Comité de Bâle n'a proposé aucune formule pour le calculer. Le but de cet indice est de prendre en compte les propriétés leptokurtiques de la distribution réelle des pertes de la banque. Il permet de convertir le facteur d'échelle exogène en un facteur d'échelle propre à la ligne métier et au type de risque de la banque.

On remarque que ces paramètres (EI , PE , LGE , RPI) sont différents pour chaque ligne métier et chaque type de risque. Le Comité de Bâle retient un découpage de la banque en huit lignes métiers. Avec sept types de risque, on obtient donc un découpage matriciel de 56 cellules. Ce qui signifie plus de 280 paramètres pour calculer la perte. On voit mal comment les autorités réglementaires vont être capables de calculer les 56 paramètres de facteur d'échelle.

II.2.2. Approche LDA (Loss Distribution Approach)

L'approche LDA, appelée aussi la méthode statistique, est une approche actuarielle très ancienne largement utilisée en assurance. Elle constitue véritablement la méthode de référence pour le calcul de risque avec un modèle interne. Elle est appelée aussi la méthode statistique.

L'idée générale est de modéliser la perte liée au risque opérationnel pour une période donnée et d'en déduire la valeur en risque. La difficulté provient du fait que cette perte ne correspond pas forcément à une seule occurrence. La perte totale est en fait le résultat de plusieurs pertes successives. La perte totale est donc une perte agrégée.

Celle-ci se définit par :

- le nombre de pertes individuelles,
- le montant de chaque perte individuelle.

Dans le cadre d'un modèle probabiliste, le nombre de pertes est aléatoire. A priori, on ne sait pas combien de fraudes vont avoir lieu pour une durée donnée. On va donc modéliser

ce nombre de pertes par un processus de comptage, et la distribution de ce nombre de pertes est appelée la distribution de la fréquence des pertes. On suppose alors que les pertes individuelles sont indépendantes et identiquement distribuées. La distribution du montant d'une perte individuelle est appelée la distribution de la sévérité des pertes. La perte agrégée est la somme aléatoire des pertes individuelles. La distribution de la perte agrégée est donc une distribution composée.

On considère différentes lignes de métiers ($i = 1 \dots I$) et différents types de risques ($j = 1 \dots J$).

Soit $\mu(i, j)$ la variable aléatoire représentant le montant d'une perte pour la ligne métier i et le type de risque j . La distribution de la sévérité des pertes est notée F_{ij} . On suppose que le nombre d'occurrences entre les dates t et $t+T$ est aléatoire. La variable aléatoire de comptage $N(i, j)$ a une fonction de probabilité p_{ij} . La distribution de la fréquence

des pertes P_{ij} correspond alors $P_{ij}(n) = \sum_{k=0}^n p_{ij}(k)$.

La perte pour la ligne de métier i et le type de risque j entre les dates t et $t + T$ est donc

$$\delta(i, j) = \sum_{n=0}^{N_{ij}} \mu_n(i, j) \text{ soit } G_{ij} \text{ la distribution de probabilité de } \delta(i, j).$$

$G_{i,j}$ est la distribution composée suivante :

$$(*) G_{ij}(x) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} P_{ij}(n) F_{ij}^{n*}(x) & x > 0 \\ P_{ij}(0) & x = 0 \end{cases}$$

Dans de nombreux cas, il n'est pas possible d'obtenir une formulation analytique de G_{ij} . (La démonstration de cette formule(*) est développée dans l'annexe).

Dans ce cas, nous pouvons approximer cette distribution en utilisant la méthode de Monte Carlo ou d'autres méthodes (la plus célèbre est l'algorithme de Panjer).

II.2.3. L'approche Scorecards

La méthode des scorecards offre une alternative intéressante, puisqu'elle s'appuie non pas sur des données de pertes effectivement constatées, mais sur des indicateurs de risque, qui incorporent donc une vision "a priori" des risques opérationnels.

Pour mieux comprendre l'approche, voici la formule proposée par l'IIF (Institute of International Finance).

$$CaR = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^n EI(i, j) \cdot \omega(i, j) \cdot RS(i, j)$$

Avec **CaR** la charge en capital pour la banque, **EI** l'indicateur d'exposition (Exposure Indicator), **RS** le score de risque (Risk Score) et ω le facteur d'échelle.

III. Problématique

Les établissements de crédit sont soumis à une réglementation prudentielle, qui impose une exigence minimale de fonds propres pour toutes les opérations bancaires et financières qui présentent un risque. C'est le fameux Accord de Bâle de 1988 dont le principal intérêt est de fixer un ratio de solvabilité (ratio Cooke). Celui-ci impose que le rapport des fonds propres sur les encours pondérés de crédit soit supérieur à 8%. Les encours pondérés de crédit doivent s'interpréter comme la mesure de risque crédit. En janvier 2001, le Comité de Bâle propose une modification de l'Accord de 1988 et un nouveau ratio de solvabilité, le ratio Mc Donough. Ce ratio tient compte, en plus de risque crédit, le risque marché et le risque opérationnel. Par rapport au ratio Cooke, le ratio Mc Donough élargit le périmètre des risques retenus sans modifier le niveau d'exigence minimale en fonds propres.

Pour pallier ces trois risques, il existe deux méthodes de calcul des exigences en fonds propres : une approche standard qui ne tient pas compte des effets de diversification et de la nature du portefeuille de la banque, et une approche interne jugée plus intéressante et plus rationnelle que la méthode standardisée dans le but où elle permet de mieux appréhender le risque. Dans ce sens, la SGMB vise l'application de l'approche avancée à l'horizon 2008 afin de se conformer aux exigences du groupe SG, sa société mère.

Généralement, les approches forfaitaires, actuellement utilisées à la SGMB, requièrent d'avantage des fonds propres, et ne donnent pas une mesure juste du risque. C'est pour cette raison que ce présent travail va être élaboré pour mettre en œuvre des méthodes internes, d'une part, pour le risque change à travers la value at risk, et d'autre part, l'approche LDA pour le risque opérationnel, afin de réduire les fonds propres alloués aux risques.

Conclusion

Cette première partie nous a permis, tout d'abord, de traiter l'accord de Bâle, ses évolutions ainsi que les révisions qu'il a subit, en particulier, l'introduction du risque opérationnel au niveau du ratio Mc Donough, et l'utilisation des systèmes de notation. Ensuite nous avons défini les différents risques que peut subir un établissement financière, nous nous sommes retardés sur le risque marché et le risque opérationnel, objet principal de notre projet, puis, nous avons bien détaillé les approches standards servant aux calculs des exigences en fonds propres, et nous avons introduit les approches internes.

Dans la deuxième partie, nous allons étudier les modèles internes utilisés pour déterminer des exigences en fonds propres pour les deux risques : risque marché plus précisément le risque change.

Partie II

Modélisation interne de risque marché

- *Approche théorique de la Value at Risk (VaR).*
- *Application de la VaR à un portefeuille de change.*
- *Backtesting, stresstesting et calcul des exigences en fonds propres.*

Introduction

Ces dernières années un concept s'est imposé. C'est celui de la Value-at-Risk, une description concise du risque par un seul chiffre. Selon Paul Glasserman [2005] deux événements ont concouru à l'adoption généralisée de la VaR dans le secteur financier : le premier qui date de 1995 consistait en la proposition de nouvelles règles (amendant l'accord de Bâle de 1988), qui imposaient aux établissements financiers un niveau de fonds propres proportionnel aux risques résultant de leurs engagements. Cette proposition a intensifié la recherche en interne par les banques de systèmes fiables et surtout crédibles pour calculer leur VaR. Le deuxième événement est la popularisation via Internet en 1994 par la banque américaine JP Morgan de son système RiskMetrics (données financières et méthodologies nécessaires au calcul de la VaR d'un portefeuille).

Dans cette partie, nous présentons dans le premier chapitre, la notion de VaR et ses différentes approches, à savoir la méthode historique, la méthode paramétrique et la méthode de monte Carlo. Nous présenterons, par la suite, la marché de change et les différents résultats obtenus en appliquant la VaR sur le risque lié à ce marché.. Le dernier chapitre présente les techniques de validation des trois approches et le calcul des exigences en fonds propres.

CHAPITRE 1

Approche théorique de la Value at Risk (VaR)

Dans ce chapitre, on va s'intéresser à la Value at Risk. On présentera donc trois mesures qui nous seront utiles par la suite dans la modélisation du risque marché. Il s'agit de l'approche historique, paramétrique et Monte Carlo ainsi que leur hypothèses, avantages et inconvénients.

I. la VaR : définition, avantages et inconvénients

I.1. Définition de la VaR :

La Valeur en Risque, plus connue sous le nom anglais Value-at-Risk ou VaR, est définie comme la perte maximale potentielle qui ne devrait être atteinte qu'avec une probabilité donnée sur un horizon temporel donné.

Statistiquement, la VaR peut être défini comme étant un quantile de la distribution des pertes théoriques, résultants des mouvements possibles des facteurs de risque, sur un horizon de temps h fixé.

$$VaR = F^{-1}(\alpha)$$

Où $F(\cdot)$ désigne la fonction de répartition associée à la distribution de perte et profit.

Le P&L d'un portefeuille de valeur P , sur un horizon de h jours est donné par :

$$P\&L(t, h) = \Delta h P_t = P_{t+h} - P_t$$

Par définition, la VaR sur h jours avec un niveau de confiance de $(1-\alpha)$ est la valeur R telle que la probabilité de perdre R au plus, au delà de h jours, est égale à $(1-\alpha)$.

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

Présentation graphique de la VaR

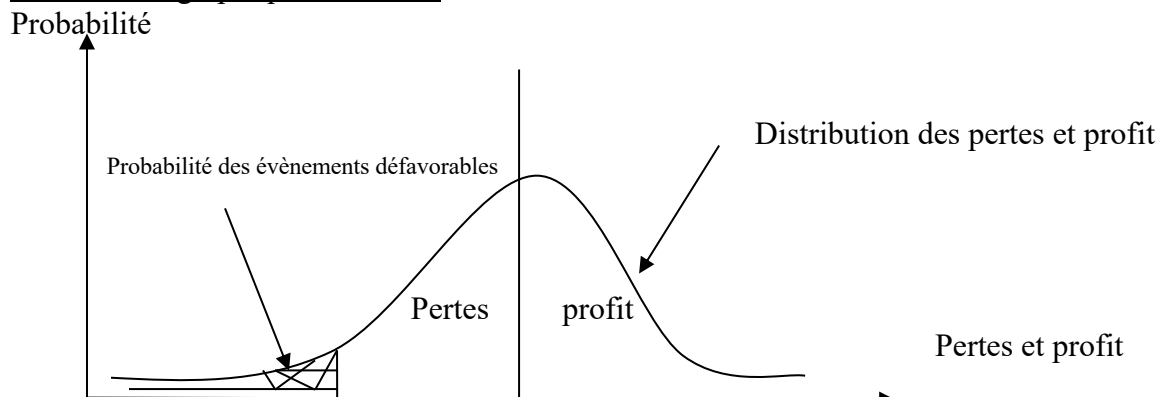


Figure 3 : Présentation graphique de la VaR

Propriété de la VaR

- La VaR est croissante avec le niveau de confiance et l'horizon de détention.
- Il est démontré que $VaR_{\alpha,h} = \sqrt{h} \cdot VaR_{\alpha,1}$. Ainsi Nous calculerons désormais la VaR sur un jour et celle sur 10 jours est obtenue en multipliant la première par racine de 10.(Scaling Factor)

La VaR permet donc de donner une vision globale du risque marché d'un portefeuille.

Pour interpréter le chiffre VaR, trois éléments s'avèrent indispensables :

- Il est essentiel de déterminer la période de détention h ou « holding period » qui correspond à la période sur laquelle la variation de la valeur du portefeuille est mesurée ; elle dépend surtout de la fréquence de reconstitution du portefeuille et de la liquidité des actifs financiers qui y sont contenus.
- Le niveau de confiance $1 - \alpha$ du chiffre VaR, qui correspond à la probabilité de ne pas dépasser cette mesure de risque. Donc, plus ce niveau est important, plus la VaR sera élevée. Ce niveau de confiance dépend de l'aversion au risque du détenteur du portefeuille.
- Pour le calcul de la VaR, nous devons spécifier les facteurs de marché qui affectent la valeur du portefeuille. Ces facteurs dépendent du type de marché considéré. Le calcul de la VaR dépend alors de la méthodologie utilisée.

Généralement, on a le choix entre trois familles de méthodes :

- la VaR analytique (ou paramétrique) ;
- la VaR historique (ou non paramétrique) ;
- la VaR Monté Carlo.

On note que les deux premières méthodes utilisent les données du passé pour estimer les variations potentielles de la valeur du portefeuille. On suppose donc que le futur se comporte comme le passé : il faut donc faire l'hypothèse que la série temporelle des valeurs du portefeuille est stationnaire. C'est la raison pour laquelle l'approche Value-at-Risk n'est utilisée que dans les conditions normales du marché hors chocs macroéconomiques ou politiques.

I.2. Avantages et Inconvénients

La Value-at-Risk comporte plusieurs avantages:

- Elle est un outil de gestion d'un portefeuille d'instruments financiers pour optimiser le couple risque/rendement.
- Elle permet la fixation des limites internes et l'allocation de fonds propres.
- Elle résume les différents risques de marché auxquels le portefeuille de négociation est soumis en un seul nombre.

Néanmoins, il y a quelques inconvénients qu'on peut relever :

- La VaR ne fait pas de distinctions entre la liquidité des différentes positions de marché, et elle capte seulement les risques à court terme dans des conditions normales de marché ;
- Ensuite les hypothèses nécessaires pour l'utilisation de chaque modèle de VaR, ne sont pas toutes vérifiées dans la réalité. Ceci aura un impact sur la valeur mesurée du risque.
- Les modèles VaR n'intègrent pas les coûts de détention ou de liquidation des positions de marché.

II. La VaR analytique (ou paramétrique)

II.1. Hypothèses

Le calcul de la VaR paramétrique repose sur deux principales hypothèses :

- La normalité du rendement du portefeuille d'actifs. Cette normalité peut se traduire par la multinormalité du vecteur des rendements des prix des actifs ou des facteurs de risque composant ce portefeuille.
- Chaque actif peut être décomposé linéairement en deux facteurs de risque. Cette décomposition permet de faciliter la valorisation du portefeuille d'actifs considéré.

II.2. Méthodologie

On note p_t la valeur d'un portefeuille d'actifs ou de facteurs de risque à l'instant t .

On définit, à chaque instant, sur un horizon de h jours, la fonction profit-perte (P&L) par la variation de la valeur de portefeuille entre t et $t+h$:

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

Et les rendements de portefeuille sont donnés par : $r_{t+h} = \frac{\Delta_h P_t}{P_t}$

Soient $V_1^t, V_2^t, \dots, V_n^t$, les valeurs des actifs composant le portefeuille à l'instant t (n étant le nombre d'actifs). Ainsi, on a :

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

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

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

Ainsi, la variation de la valeur du portefeuille entre t et $t+h$ s'écrit :

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

Et soient $V^t = (V_1^t, V_2^t \dots V_n^t)$ et $R^{t+h} = (R_1^{t+h}, R_2^{t+h} \dots R_n^{t+h})$ les vecteurs respectifs des valeurs et des rendements des actifs composant le portefeuille. La variation de la valeur du portefeuille peut donc s'écrire sous la forme suivante :

$$\Delta_h P_t = R^{t+h} * V^{t^T} \quad \text{Avec } V^{t^T} \text{ le transposé de } V^t$$

D'où le résultat suivant : $R^{t+h} \sim N(\mu; \Sigma)$

D'après l'hypothèse de la multinormalité du vecteur des rendements des actifs ou des facteurs de risque composant le portefeuille, on écrit :

Où μ : Le vecteur moyen des rendements
 Σ : La matrice de variance-covariance des rendements.

Ainsi on a aussi le résultat suivant : $R^{t+h} * V^{t^T} \sim N(\mu.V^{t^T}; V^t.\Sigma.V^{t^T})$

Alors, la VaR peut s'écrire :

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

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

Ainsi, la VaR peut être définie comme suit :

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

Avec Z_{α} : le centile d'ordre 100α , de la loi normale standard.

✓ Calcul de la matrice variance-covariance :

Le calcul de la VaR paramétrique se base sur l'estimation de la matrice variance-covariance des rendements des actifs ou des facteurs de risques à partir de l'historique de leur prix.

L'estimateur de la matrice des variance-covariance est donné par la formule suivante :

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

Avec T est la longueur de l'historique pris en compte.

i et j deux actifs ou facteurs de risque.

III. la VaR historique

III.1. Hypothèses

Contrairement à la VaR paramétrique, la VaR historique est entièrement basée sur les variations historiques des facteurs de risque.

Statistiquement parlant, cette hypothèse se traduit par la stationnarité historique des rendements ou des facteurs de risque, c'est-à-dire que la tendance et le comportement des volatilités des facteurs de risques seront répétés dans l'avenir (le passé est le garant de l'avenir). Cette hypothèse est rarement vérifiée en réalité.

III.2. Méthodologie

La VaR historique est une méthode d'évaluation à partir de l'historique, qui repose sur le calcul des variations des facteurs de risques les plus pertinents (taux d'intérêt, taux de change ...), puis la classification des variations calculées dans l'ordre croissant : de la plus grande perte au profit maximal, et enfin la détermination de celle qui correspond au pourcentage de risque de perte.

Concrètement, les étapes de la détermination de la VaR à l'instant t_0 , au seuil $\alpha\%$ et à l'horizon h sont :

- Recueillir les rendements historiques sur h jours pour chaque facteur de risque impactant la valeur du portefeuille (taux d'intérêt, taux de change...). Supposons pour cela qu'on dispose d'un historique de taille $N+1$.
- Calculer par la suite, pour chaque instant t appartenant à l'ensemble $\{t_{0-h}, t_{0-2h}, \dots, t_{0-(N+1)h}\}$, la variation du portefeuille. On obtiendra alors N pertes.

$$\{P_1, P_2, \dots, P_N\}$$

- A partir de l'historique, on construit implicitement une distribution empirique de la variation de la valeur du portefeuille qu'on classe selon l'ordre croissant

$$P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_N$$

De celle-ci, nous pouvons extraire le quantile à $\alpha\%$, telle que :

$$\text{Prob}(P \leq P_i) = \alpha = \frac{i}{N} \quad P_i \text{ est la valeur à déterminer.}$$

On distingue entre deux cas :

- 1) $i = N * \alpha$ est un nombre entier : la VaR sera la valeur absolue de la $(N\alpha)$ ème plus petite valeur. Par exemple, si l'on a 100 données historiques et que le niveau de confiance est de 99%, il faudrait prendre la première valeur.
- 2) $i = N * \alpha$ n'est pas un nombre entier, il faudra alors calculer la VaR par interpolation linéaire moyennant la formule suivante :

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

Avec n^* l'entier le plus proche de la valeur $N \times \alpha$.

IV. VaR Monte Carlo

IV.1. Hypothèse

La VaR Monte Carlo suppose que chacun des facteurs de risque marché suit une loi paramétrique connue (généralement la loi normale), dont les paramètres sont estimés sur la base des données historiques.

IV.2. Méthodologie

La VaR Monte-Carlo est basée sur la simulation des facteurs de marché dont la loi de distribution est donnée à priori, de préférence admissible avec l'historique. Nous pouvons alors valoriser le portefeuille avec les facteurs simulés, en générant un grand nombre de scénario, nous pouvons alors déterminer les variations simulées du portefeuille, que nous assimilons à des pertes ou gains potentiels. Il suffit ensuite de calculer le quantile correspondant tout comme pour la méthode historique. Les deux méthodes sont donc très semblables. La seule différence est la simulation des facteurs utilisés.

Considérons un portefeuille avec K facteurs de risque corrélés entre eux notés $F_1, F_2 \dots F_K$.

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

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

Soit $R^{t+h} = (R_1^{t+h}, R_2^{t+h} \dots R_n^{t+h})$ le vecteur des rendements des K facteurs de risque.

On a $R_i^{t+h} \sim \mathfrak{N}(\mu, \Sigma)$ avec μ le vecteur des rendements moyens $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K)$

Et

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{1,1} & \sigma_{1,2} & \dots & \sigma_{1,I} \\ \sigma_{2,1} & \sigma_{2,2} & \dots & \sigma_{2,I} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \sigma_{J,1} & \dots & \dots & \sigma_{J,I} \end{bmatrix}$$

la matrice des variances covariances des rendements.

La simulation Monte Carlo se fait en cinq étapes que nous allons décrire comme suit :

- Étape1 : Génération des vecteurs aléatoires issus de la loi choisie .Cette étape consiste à la génération de K variables aléatoires indépendantes que nous représenterons par le vecteur $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_k)$. Chaque vecteur ligne Z généré est appelé scénario simulé.
- Étape2 : Décomposition de Cholesky.

Proposition :

Toute matrice D semi définie positive peut être factorisée sous la forme : $D = AA^T$

Où A est une matrice carrée, qu'on peut considérer, comme étant une «matrice racine carrée» de D. La matrice A n'est pas unique. Ainsi, plusieurs factorisations d'une matrice donnée D sont possibles. Ces factorisations sont connues sous le nom de factorisations de Cholesky.

Lorsque D est une matrice définie positive alors la matrice A est unique.

La matrice variance covariance a les mêmes propriétés que D. On lui effectue alors une décomposition de Cholesky telle que $\Sigma = AA^T$: Avec

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,I} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,I} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ a_{J,1} & \dots & \dots & a_{J,I} \end{bmatrix}$$

Les coefficients de la matrice A sont donnés par les relations suivantes

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

Avec $\sigma_{ij} = \text{cov}(R_i, R_j)$

- Étape 3 : Calcul des scénarios des rendements

Soit $r = (r_1, r_2, \dots, r_k)$ le vecteur des rendements simulés sur h jours. Chaque vecteur simulé représente un scénario des rendements. Ces scénarios sont calculés comme suit : On cherche à générer des vecteurs aléatoires issus de la loi choisie à partir des vecteurs aléatoires Z générés au niveau de la première étape (scénarios simulés). Cette transformation se fait de la manière suivante : $r = AZ^T + \mu$.

Avec A la matrice de factorisation de Cholesky de la matrice de variance-covariance .

- Étape 4 : Calcul des scénarios des facteurs de risque.

Soit $f = (f_1 \dots f_k)$ le vecteur des rendements simulés. On utilise l'expression inverse du calcul des rendements pour déterminer les facteurs de risque simulés. Cette expression est la suivante :

$$f_i = F_i^{réf} \cdot \exp(r_i)$$

Avec $F_i^{réf}$ est le facteur de risque i de référence servant à calculer les scénarios des facteurs de risque. On prend généralement F_i comme ceux du jour de calcul de la VaR).

- Étape 5 : Calcul de la VaR.

A partir des scénarios simulés des facteurs de risque, on calcule la valeur du portefeuille pour chaque scénario. Ensuite, on calcule les variations de la valeur du portefeuille et on les ordonne, puis il suffit de prendre le centile d'ordre α de cette distribution. Ce centile correspond à la valeur de la VaR à l'horizon h et au $\alpha\%$ seuil.

V. Avantages et inconvénients des méthodes

Le tableau suivant résume les différents avantages et inconvénients des trois approches de la VaR.

Tableau 4: Comparaison entre les trois approches.

Approche	Avantages	Inconvénients
<i>Paramétrique</i>	Paramètres faciles à estimer. Implémentation aisée.	Ne traite pas bien les options. Sous-estime les événements rares, car l'hypothèse de normalité n'est pas toujours.
<i>Historique</i>	Facile à expliquer et à appliquer Implémentation relativement aisée. Aucune hypothèse sur les lois de distribution.	Nécessite beaucoup de données historiques. Le passé peut ne plus se reproduire.
<i>Monte Carlo</i>	Un outil de gestion très puissant et flexible. Les options peuvent être correctement traitées.	Choix des modèles délicats. Requiert une puissance et un temps de calcul importants. Complexe théoriquement et pratiquement.

CHAPITRE 2

Application de la VaR à un portefeuille de change

L'objectif de ce chapitre est d'appliquer les méthodes de la VaR sur un portefeuille de change afin de gérer les risques liés aux cours de change. Pour se faire, et après avoir présenté un aperçu général sur le marché de change, on détaillera la méthodologie suivie pour déterminer la VaR de chaque approche et enfin une comparaison de ces dernières.

I. Le marché de change au Maroc

I.1. Définition

Le marché des changes est un marché « virtuel » où s'échangent les différentes devises internationales. Il constitue l'un des marchés les plus animés dans le monde, vue l'importance des échanges internationaux. Les opérations sur ce marché se font par télex ou par SWIFT pour les correspondants étrangers. Le respect des engagements verbaux est vital pour la bonne tenue de marché, ce qui explique l'importance de la réputation des intervenants. Il fonctionne en continu, ce qui donne la possibilité aux opérateurs d'acheter ou de vendre des devises à n'importe quelle heure.

Au Maroc, l'ouverture du marché des changes a eu lieu en Juin 1996 permettant aux différents opérateurs économiques d'opérer avec une certaine marge de liberté fixée par les autorités monétaires à savoir, Bank Al Maghrib (BAM), et l'office des changes. Les cours de change sont publiés par la banque centrale tous les jours ouvrables de 8h 30 à 15h30.

Sur le marché marocain, les transactions portent sur 16 devises.

On entend par le cours d'une devise le prix de cette devise par rapport à une autre. Cette cotation résulte en principe de la confrontation de l'offre et de la demande sur le marché. On distingue entre deux types de cotation :

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

Sur le marché de change, il n'existe pas pour une devise, un seul prix mais deux : un cours d'achat et un cours de vente permettant la réalisation de deux types d'opérations : la vente (Ask) de devises et l'achat (Bid) de devises. Le spread d'une cotation est la différence entre l'Ask et le Bid.

Le risque de change est le risque de détention de position en devise (y compris l'or).

Par position de change, on entend la différence entre les devises à recevoir et les devises à livrer, si le passif l'emporte sur l'actif, on dit que c'est une position courte, et inversement.

I.2.Types d'opérations sur le marché de change

Il existe quatre types d'opérations sur le marché de change :

- Opération au comptant

Le marché au comptant ou spot consiste en l'achat ou la vente d'une devise, instantanément, contre une autre à un prix fixé aujourd'hui (j) et dont la livraison se fera dans deux jours (j+2).

La livraison ne se fait pas physiquement mais simplement en débitant ou en créditant les différents comptes de chaque contrepartie.

Le risque lié aux opérations de change au comptant est principalement le risque dû à des fluctuations défavorables des cours de change.

On parle alors de la volatilité de la devise, caractérisée par l'écart-type des rendements de la devise.

- Opération à terme

Un contrat de change à terme ou forward est un accord d'échange à une date future, d'un montant dans une devise donnée contre un autre libellé dans une autre devise, à un cours de change fixé d'avance. Il peut s'agir d'une vente à terme ou d'un achat à terme.

Au Maroc la maturité maximale pour un contrat forward est d'une année (365 jours).

- Opération de swap

Le swap est un contrat qui permet d'échanger les conditions de prix d'un engagement financier. C'est un échange de devise avec promesse de faire l'opération inverse à une échéance déterminée à l'avance. L'échéance de swap ne doit pas dépasser un an.

- Opération de dépôts

Ce sont les opérations de trésorerie en devises concrétisées par des emprunts en devises (avance en devises) et des prêts. Ce marché est aussi appelé marché interbancaire. Il est organisé selon des règles très précises quant aux taux, durées et calculs d'intérêt.

I.3.Les acteurs de marché de change

On distingue entre les principaux acteurs du marché de change suivants :

- La clientèle privée constituée des entreprises d'import-export, des investisseurs sur le marché des capitaux.
- Les banques commerciales : interviennent pour leur propre compte ou sont parfois des intermédiaires entre la clientèle privée et le marché.
- Banque Al Maghrib. BAM intervient pour réguler le marché dans le cadre de sa politique monétaire et pour fixer les cours de change aussi. En principe les cours ne devraient pas être fixés par la Banque Centrale mais déterminés par le libre jeu de l'offre et de la demande.

- Les courtiers jouent un rôle très important en tant que formateurs et intermédiaires, ils informent les opérateurs des cours auxquels ils sont prêts à vendre ou à acheter les différentes monnaies.

II. Description du portefeuille de change

Notre portefeuille est composé de 17 positions de change, 16 positions longues et une seule courte, au 29 Décembre 2006.

Nous avons identifié les différents facteurs de risques qui sont de l'ordre de dix-sept (17) cours de change.

Ce sont ces taux de change qui représentent le prix de nos actifs c'est-à-dire les devises. Les différentes devises des dix-sept positions composant notre portefeuille sont représentées par le tableau suivant :

Tableau 5: les différentes devises utilisées dans notre portefeuille

Devises	Noms Complets
AED	Emirates Arabes Unis Dinnars
BHD	Bahrein Dinnars
CAD	Canada Dollars
CHF	Suisse Francs
DKK	Danemark Couronnes
DZD	Algérie Dinnar
EUR	euro européen
GBP	Royaume-Uni livres
JPY	Japon yen
KWD	Koweït Dinnar
LYD	Lybie dinnars
NOK	Norvège Couronnes
QAR	Qatar Riyals
SAR	Arabie Saoudite Riyals
SEK	Souède couronnes
TND	Tunisie Dinnars
USD	Etats-Unis Dollars

Source : Documents SGMB.

L'historique des cours de change, correspond aux devises constituant le portefeuille, s'étale sur une période de trois ans : de 01 Janvier 2004 au 29 Décembre 2006. Il s'agit des cours de change journalières.

III. Application de la VaR paramétrique

A partir des cours de change historique des dix-sept devises considérées, on calcule les rendements en utilisant la formule suivante :

$$R = {}_t \frac{C_t - C_{t-1}}{C_t} \quad \text{avec } C_t \text{ le cours de change à l'instant } t$$

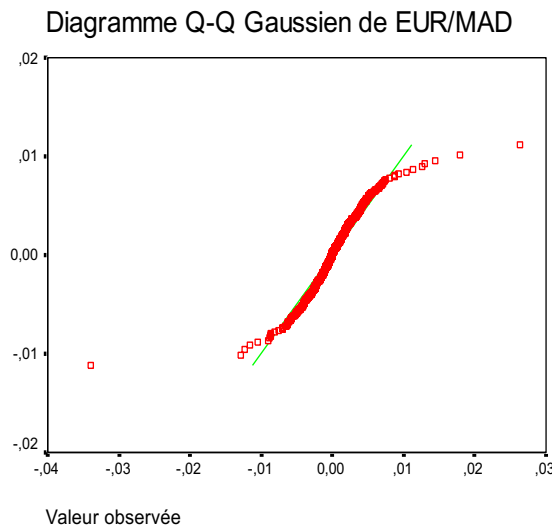
Tout d'abord, on doit s'assurer de la normalité des rendements des cours de change. Pour ce faire, on utilise deux tests d'adéquation

➤ **Tests de normalité des rendements : test de Q-Q plot**

Le Q-Q Plot est utilisé comme outil d'adéquation graphique. On trace les quantiles de la distribution des rendements contre les quantiles de la distribution normale standard.

Si les rendements des cours de change correspondent à la distribution normale standard, les points se concentrent autour d'une droite.

Figure 4: Test de Q-Q plot appliqué aux rendements des cours de change EURO/MAD



On constate, d'après ce graphique, que les points sont concentrés autour de la droite, donc on accepte l'hypothèse de la normalité de la distribution des rendements de l'EUR.

Les tests de normalité effectués pour les seize autres rendements des cours de change montrent l'adéquation de la loi normale standard à nos séries des rendements. Ces tests sont représentés en annexe 2.

Afin de s'assurer de l'adéquation de la loi normale standard à nos séries des rendements, on adopte un autre test plus puissant :

➤ **Test de Kolmogorov –Smirnov**

Le test de Kolmogorov-Smirnov permet de vérifier l'adéquation de la distribution empirique à une loi donnée.

Etant donnée une fonction de répartition F cible de la loi normale standard, on souhaite savoir si l'échantillon Y_1, \dots, Y_N observé peut être considéré comme issu de cette loi.

Si l'on note \hat{F} la distribution associée aux rendements enregistrés, le test à mener est

le suivant :
$$H_0: \hat{F} = F \quad \text{Contre} \quad H_1: \hat{F} \neq F$$

Ce test est fondé sur l'utilisation de la fonction de répartition empirique F_N de l'échantillon Y_1, \dots, Y_N :

$$F_N(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 1_{\{y_i \leq y\}}$$

et sur l'utilisation de la distance $d(F_N, F)$:

$$d(F_N, F) = \sup_y |F_N(y) - F(y)|$$

Dans la pratique $d(F_N, F)$ peut se calculer de la façon suivante :

$$d(F_N, F) = \max[d_+(F_N, F), d_-(F_N, F)]$$

Où $d_+(F_N, F) = \max_{1 \leq i \leq N} \left[\frac{i}{N} - F(y_{(i)}) \right]$ et $d_-(F_N, F) = \max_{1 \leq i \leq N} \left[F(y_{(i)}) - \frac{i-1}{N} \right]$

$y_{(1)}, \dots, y_{(N)}$ représentant la statistique d'ordre associée à y_1, \dots, y_N

Si $d_k(F_N, F)$ est supérieur à la valeur critique à un niveau α alors on rejette l'hypothèse

$$H_0: \hat{F} = F$$

Dans notre cas, on s'intéresse à savoir si les rendements des cours de change sont distribués selon la loi normale standard.

Au niveau de chaque bloc, le test peut se faire facilement sur Excel en passant par les étapes suivantes :

1. Trier l'échantillon des rendements par ordre croissant
2. Calculer d_+ et d_-
3. Calculer $d = \max(d_+, d_-)$
4. Déterminer la valeur critique dans la table statistique de Kolmogorov-Smirnov
5. Si d est plus petite que la valeur critique, alors l'échantillon est bon.

L'application de ce test à la série des rendements des cours de change donne la valeur $d=0.19$ pour les rendements de l'EURO, cette valeur est inférieure à la valeur tabulée qui est de l'ordre 0.27. Donc on accepte l'ajustement de la loi normale standard.

L'application de ce test aux autres séries confirme l'adéquation de la loi normale standard.

Grâce à la matrice des rendements historiques calculés, on estime la moyenne et la matrice de variance-covariance des dix-sept devises. Les résultats sont données par la figure ci-dessous :

Figure 5 : Vecteur moyenne et matrice de variance-covariance des rendements des cours de change

	QAR	AED	LYD	BHD	DZD	KWD	NOK	TND	EUR	USD	JPY	DKK	GBP	SEK	CHF	CAD	SAR
μ	-2E-05	-2E-05	2E-05	4E-08	2E-05	-6E-06	3E-05	-5E-05	1E-05	-2E-05	-1E-04	9E-06	6E-05	2E-05	-2E-05	7,3E-05	-2E-05
Σ	2,2E-05	2E-05	6E-06	2E-05	1E-05	1E-05	6E-07	2E-06	2E-06	2E-05	7E-06	2E-06	5E-06	6E-07	1E-06	9,2E-06	2E-05
AED	1,8E-05	2E-05	5E-06	2E-05	9E-06	2E-05	7E-07	2E-06	2E-06	2E-05	8E-06	2E-06	4E-06	7E-07	1E-06	9,4E-06	2E-05
LYD	6E-06	5E-06	6E-05	4E-06	1E-05	8E-06	1E-06	3E-06	2E-06	8E-06	7E-06	2E-06	4E-06	5E-07	7E-07	4,2E-06	7E-06
BHD	1,9E-05	2E-05	4E-06	4E-05	9E-06	1E-05	-2E-07	5E-06	1E-06	1E-05	6E-06	1E-06	4E-06	-7E-08	6E-07	8,3E-06	2E-05
DZD	9,7E-06	9E-06	1E-05	9E-06	1E-04	1E-05	5E-07	1E-06	1E-06	1E-05	9E-06	1E-06	2E-06	6E-09	1E-06	9,2E-06	1E-05
KWD	1,5E-05	2E-05	8E-06	1E-05	1E-05	2E-05	3E-07	8E-06	9E-07	1E-05	6E-06	9E-07	3E-06	-3E-07	2E-07	7,2E-06	2E-05
NOK	6E-07	7E-07	1E-06	-2E-07	5E-07	3E-07	2E-05	4E-06	9E-06	2E-06	7E-06	9E-06	7E-06	1E-05	1E-05	6,8E-06	1E-06
TND	2,1E-06	2E-06	3E-06	5E-06	1E-06	8E-06	4E-06	7E-05	3E-06	5E-06	5E-06	3E-06	3E-06	3E-06	3E-06	2,9E-06	9E-07
EUR	1,9E-06	2E-06	2E-06	1E-06	1E-06	9E-07	9E-06	3E-06	9E-06	3E-06	7E-06	9E-06	7E-06	9E-06	9E-06	5,6E-06	2E-06
USD	1,6E-05	2E-06	2E-06	1E-06	1E-06	9E-07	9E-06	3E-06	9E-06	3E-06	7E-06	9E-06	7E-06	9E-06	9E-06	5,6E-06	2E-06
JPY	7,4E-06	8E-06	7E-06	6E-06	9E-06	6E-06	7E-06	5E-06	7E-06	9E-06	2E-05	7E-06	9E-06	7E-06	8E-06	9,3E-06	8E-06
DKK	2E-06	2E-06	2E-06	1E-06	1E-06	9E-07	9E-06	3E-06	9E-06	3E-06	3E-06	7E-06	9E-06	7E-06	9E-06	5,6E-06	2E-06
GBP	4,7E-06	4E-06	4E-06	4E-06	2E-06	3E-06	7E-06	3E-06	7E-06	5E-06	9E-06	7E-06	1E-05	7E-06	8E-06	7E-06	4E-06
SEK	6,2E-07	7E-07	5E-07	-7E-08	6E-09	-3E-07	1E-05	3E-06	9E-06	2E-06	7E-06	9E-06	7E-06	1E-05	9E-06	5,4E-06	7E-07
CHF	9,7E-07	1E-06	7E-07	6E-07	1E-06	2E-07	1E-05	3E-06	9E-06	2E-06	8E-06	9E-06	8E-06	9E-06	1E-05	5,4E-06	1E-06
CAD	9,2E-06	9E-06	4E-06	8E-06	9E-06	7E-06	7E-06	3E-06	6E-06	1E-05	9E-06	6E-06	7E-06	5E-06	5E-06	2,1E-05	1E-05
SAR	2E-05	2E-05	7E-06	2E-05	1E-05	2E-05	1E-06	9E-07	2E-06	2E-05	8E-06	2E-06	4E-06	7E-07	1E-06	9,7E-06	2E-05

Ensuite, on calcule la valeur de portefeuille en dirhams pour chaque devise composant notre portefeuille, en multipliant la position longue ou courte par les cours de 29/12/2006.

Tableau 6: Positions en devise et calcul de la valeur de marché de portefeuille de change au 29/12/2006.

	Position longue	Position Courte	cours de 29/12/2006	Position en MAD
AED	157,14	0,00	2,324	365,16
BHD	390 504,60	0,00	2,303	899 421,92
CAD	259,68	0,00	6,626	1 720,58
CHF	95,24	0,00	22,440	2 137,13
DKK	6 887,62	0,00	0,119	81,89
DZD	507,38	0,00	29,259	14 845,24
EUR	142 749,68	0,00	1,352	1 930,45
GBP	4 343,33	0,00	6,520	28 320,59
JPY	0,00	-3 364 734,20	11,141	-37 484 821,36
KWD	177 468,73	0,00	8,459	1 501 207,58
LYD	12 634 440,48	0,00	0,071	8 969,22
NOK	170 162,86	0,00	1,494	2 542,52
QAR	90 929,60	0,00	16,590	1 508 564,77
SAR	121 792,22	0,00	1,232	1 500,85
SEK	235 133,97	0,00	6,933	1 630 163,65
TND	144 125,16	0,00	7,290	1 050 733,80
USD	556 199,92	0,00	2,255	1 254 508,36
			Valeur totale de portefeuille	-29 577 807,65

Ainsi, la valeur de portefeuille au 29/12/2006 est déterminée par la somme de toutes les valeurs en MAD. Elle est de l'ordre de - 29 577 807,65 dirhams.

Après la détermination de vecteur des positions en MAD nommé V^t , la matrice de variance covariance Σ et le vecteur moyenne des rendements historique des cours de change μ , on peut aisément calculer la $VaR_{h,\alpha}$ en utilisant la formule suivante :

$$VaR_{0.01;1_{jour}} = Z_{0.01} \sqrt{(V^t \cdot \Sigma \cdot V^{t^T})} - \mu \cdot V^{t^T}$$

Les résultats de la VaR de portefeuille de change aux niveaux de confiance de 99% à l'horizon de 24h et de 10 jours sont présentés par le tableau qui suit :

Tableau 7 : Synthèse de calcul de la VaR paramétrique

Date de Valorisation	29/12/2006
Seuil de Confiance	1%
Quantile de la loi normale	2,326
VaR 24 h	232 408
VaR 10 jours	734 939
VaR/position brute (10 jours)	1,62 %
VaR/Valeur Portefeuille (10jours)	-2,48 %

Nous signalons que la VaR sur 10 jours est obtenue en multipliant la VaR à 24 h par racine de 10 (selon la deuxième propriété de la VaR).

On constate d'après ce tableau que la VaR sur 10 jours, pour un seuil de confiance de 1% représente 2.48 % de la valeur totale de portefeuille, autrement pour une valeur de portefeuille de change de 100 dirhams, la banque peut perdre au maximum sur 10 jours 2.48 dirhams avec un niveau de confiance de 99%.

IV. Application de la VaR historique

IV.1. vérification de la stationnarité

Tout d'abord, nous avons testé la stationnarité des cours historiques de change pour les différentes devises retenues. Pour ce faire, nous avons utilisé le test de Dickey Fuller Augmentée (DFA). Ce test permet de mettre en évidence le caractère stationnaire ou non d'une chronique par la détermination d'une tendance déterministe ou stochastique.

Le principe de ce test est simple, on teste l'hypothèse nulle H_0 : existence d'une racine unitaire contre l'hypothèse alternative H_1 : pas de racine unitaire.

Si l'hypothèse (H_0) est vérifiée, la chronique n'est pas stationnaire

La statistique de Dickey et Fuller établit des tables analogues aux tables du t de Student..

Si $t_{statistic} \geq t_{tabulé}$ alors on accepte l'hypothèse H_0 ; il existe une racine unité, le processus n'est donc pas stationnaire.

Les résultats de ce test réalisé par le logiciel EVIEWS ont montré que seulement trois séries des cours de change : EUR, DKK et GBP qui sont stationnaires.

On présente ci-dessous le résultat de test appliqué à l'EUR. Les autres tests relatifs aux seize devises restantes sont exposés en annexe 2.

Tableau 8 : Test de ADF appliqué au cours de change EUR/MAD

Null Hypothesis: EUR has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 5 (Automatic based on SIC, MAXLAG=21)		
	t-Statistic	Prob.
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.234002	0.0184
Test critical values:	1% level	-3.436154
	5% level	-2.863991
	10% level	-2.568126

Source : EvIEWS

Ce tableau nous donne la statistique de Student t-Statistic associée à la variable EUR. Celle-ci est égale à -3.234. Pour tester l'hypothèse H_0 , on utilise alors les seuils tabulés par Dickey et Fuller et pour une taille d'échantillon infinie, on trouve pour un seuil de 5% $t_{tabulé}$

= -2.863991. Ainsi, dans ce cas $t\text{-Statistic} < t_{\text{tabulé}}$, on rejette l'hypothèse nulle de racine unitaire. Le cours de change EUR/MAD est alors stationnaire.

Sur dix-sept devises seulement trois sont stationnaires. Ce résultat peut engendrer un biais dans l'estimation de la VaR, mais vu que la part de l'EUR dans notre portefeuille dépasse 80%, l'impact des autres devises sera négligeable.

Tableau 9: Pourcentage de chaque devise par rapport au position brute

Devises	Position en MAD	%
AED	365,16	0,00%
BHD	899 421,92	1,98%
CAD	1 720,58	0,00%
CHF	2 137,13	0,00%
DKK	81,89	0,00%
DZD	14 845,24	0,03%
EUR	1 930,45	0,00%
GBP	28 320,59	0,06%
JPY	37 484 821,36	82,58%
KWD	1 501 207,58	3,31%
LYD	8 969,22	0,02%
NOK	2 542,52	0,01%
QAR	1 508 564,77	3,32%
SAR	1 500,85	0,00%
SEK	1 630 163,65	3,59%
TND	1 050 733,80	2,31%
USD	1 254 508,36	2,76%
position brute	45 391 835,06	100,00%

IV.2. Calcul de la VaR historique

Le calcul de la VaR historique ne nécessite que l'historique des cours de change, pour la calculer on procède comme suit:

Tout d'abord, on calcule la valeur journalière du portefeuille en dirhams, du 01/01/2004 au 29/12/2006, telle que la valeur de portefeuille le jour j est égale à la somme des valeurs des positions en dirhams obtenues par la multiplication des positions en devise par le cours de change de même jour.

Ensuite, on calcule les variations quotidiennes des ces valeurs entre l'instant j et $j-1$, ces variations représentent un historique de pertes ou de profit (P&L). Ces dernières sont données par le tableau suivant :

Tableau 10 : Valeurs et variations de portefeuille de change entre le 01/01/04 et 29/12/06

Date	Valeur de portefeuille	P\$L
1-janv.-04	-29 291 510,48	0,00
2-janv.-04	-29 284 656,76	6 853,72
3-janv.-04	-29 584 860,24	-61 196,82
4-janv.-04	-29 597 235,32	-12 375,08
-	-	-
-	-	-
-	-	-
27-déc.-06	-29 583 309,83	18 661,39
28-déc.-06	-29 541 386,28	41 923,55
29-déc.-06	-29 577 807,65	-36 421,37

Enfin, et à partir de vecteur des variations composé de 806 observations et moyennant la fonction centile (matrice ; α) disponible en EXCEL, on détermine la VaR historique, qui n'est autre que le quantile correspondant au seuil de confiance de 1%.

La VaR est ainsi donnée à un niveau de confiance de 99% et pour un horizon de 24h, les résultats trouvés sont représentés par le tableau ci- dessous :

Tableau 11 : Calcul de la VaR historique au 29/12/2006

Date de valorisation	29/12/2006
Seuil de confiance	1%
Quantile de la loi normale	2,326
VaR 24 h	-265 829,62
VaR 10 jours	-840 627,08
VaR/Valeur Portefeuille (10jours)	2,84%

La VaR sur 10 jours est de -840 627,08 dirhams, elle ne représente que 2,84% de la valeur totale de portefeuille de change.

V. Application de la simulation Monte Carlo

V.1. Vérification des hypothèses de calcul

Le test de la multinormalité des rendements des cours de change était déjà effectué dans la partie concernant l'application de l'approche paramétrique (I.1) de ce chapitre.(ces tests sont présentés en annexe 2).

Les résultats de ces tests ont montré que les rendements des cours de change suivent la loi normale, et vu aussi que plusieurs analystes de la VaR supposent que la distribution des rendements des titres qui constituent un portefeuille est normale, et pour des raisons de

simplification des calculs, nous allons opter la multinormalité des rendements des cours de change.

V.2. Calcul de la VaR Monte Carlo

Comme cité auparavant, la méthode Monte Carlo se fait en cinq étapes que nous appliquons à notre portefeuille de change.

Premièrement, on généré, moyennant EXCEL, pour 17 variables, 5000 scénarios des rendements issus de la loi normale standard, on obtient alors une matrice $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_{17})$ d'ordre $[5000 ; 17]$ sous la forme suivante :

Tableau 12 : Generation des nombres aleatoires selon la loi normale standard

num	QAR	AED	LYD	BHD	DZD	KWD	NOK	TND	EUR	USD	JPY	DKK	GBP	SEK	CHF	CAD	SAR
1	0,4	1,2	-0,5	0,7	-0,1	1,6	-1,0	-1,7	1,5	0,7	1,3	1,8	0,8	1,1	-1,0	1,1	0,2
2	-2,1	0,0	1,0	1,9	0,3	-0,7	0,3	0,4	0,8	-0,6	-0,5	-0,2	0,4	-0,2	0,5	-2,1	-1,2
3	0,1	1,0	-1,4	-1,7	1,5	-1,2	-0,3	0,2	0,3	-1,3	0,9	0,1	0,2	-1,0	-2,3	-1,0	1,3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4998	0,75	1,4	0,2	1,5	-0,4	-1,2	0,15	0,9	-0,4	0,05	-0,2	0,85	-0,7	-0	0,6	0,71	-0,9
4999	1,03	-1	1,3	0	1	-0,6	0,05	-0,9	0,5	-0,3	-0,2	0,88	-0,9	-1	2,06	-2,1	-0,9
5000	0,02	1,5	2	-0,3	0,2	-0,5	-0,9	0,1	-0,1	0,36	0,5	1,22	0,39	1,7	-1	-0,5	0,48
μ	0	0	0	0,1	0	-0	-0	-0,1	0	-0	-0	0,03	0,01	0	0,05	-0,1	-0
σ	1,01	1	1	1	1	0,99	0,96	1	1	0,98	1	1	0,99	1	1,02	0,97	0,99

Il est clair d'après ce tableau que les 5000 variables simulées suivent la loi normale de moyenne 0 et de variance 1.

Deuxièmement, on effectue la décomposition de Cholesky de la matrice de variance covariance Σ des rendements des cours de change, sous la forme suivante $\Sigma = AA^t$.

Les résultats de calcul de la matrice A sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 13 : Decomposition de Cholesky de la matrice Σ

A	QAR	AED	LYD	BHD	DZD	KWD	NOK	TND	EUR	USD	JPY	DKK	GBP	SEK	CHF	CAD	SAR
QAR	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AED	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LYD	0,35	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BHD	0,87	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DZD	0,55	0,5	0,3	0,3	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KWD	0,7	0,7	0,2	0,4	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOK	0,13	0,1	0,1	0,1	0,04	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TND	0,28	0,3	0,1	0,2	0,06	0,51	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EUR	0,09	0,1	0	0	0,02	0,06	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
USD	0,81	0,8	0,2	0,5	0,16	0,78	0,3	0,1	0,38	0	0	0	0	0	0	0	0
JPY	0,63	0,6	0,2	0,4	0,15	0,57	0,5	0,2	0,78	2	0,01	0	0	0	0	0	0
DKK	0,1	0,1	0	0	0,02	0,06	0,5	0,1	1	2,5	0,17	0	0	0	0	0	0
GBP	0,21	0,2	0,1	0,1	0,03	0,17	0,4	0,1	0,87	2,2	0,21	0,88	0	0	0	0	0
SEK	0,07	0,1	0	0	0,02	0,05	0,6	0,1	1,08	2,7	0,18	1,08	0,6	0	0	0	0
CHF	0,15	0,2	0	0,1	0,04	0,12	0,5	0,1	1,03	2,6	0,31	1,04	0,6	0,64	0	0	0
CAD	0,57	0,6	0,2	0,3	0,14	0,54	0,6	0,1	0,82	2,1	0,45	0,84	0,7	0,65	0,72	0,01	0
SAR	0,9	0,9	0,2	0,5	0,14	0,8	0,2	0,1	0,27	0,7	0,42	0,28	0,3	0,13	0,31	0,47	0,01

Troisièmement, on calcule, grâce à EXCEL, à partir de la formule suivante :

$$r = AZ^t + \mu$$

les scénarios des rendements selon la loi normale de paramètres μ et Σ .

μ : le vecteur moyenne des rendements des cours de change

Σ : la matrice de variance covariance des rendements des cours de change

A : la matrice de factorisation de Cholesky

Quatrièmement, en utilisant la formule inverse de celle permettant de calculer les rendements des cours de change, on a pu calculer les scénarios des cours de change moyennant la relation suivante :

$$f_i = F_i^{réf} \cdot \exp(r_i)$$

$F_i^{réf}$ étant le cours de change de la devise i à la date de valorisation (29/12/2006) et les r_i les rendements des cours de change de la devise i générés dans la troisième étape.

Ainsi, on obtient 5000 valeurs de cours de change pour chacune des dix-sept devises retenues présentées dans le tableau qui suit :

Tableau 14: Calcul des scénarios des cours de change.

	QAR	AED	LYD	BHD	DZD	KWD	NOK	TND	EUR	USD	JPY	DKK	GBP	SEK	CHF	CAD	SAR
1	2,33	2,3	6,6	22,5	0,12	29,5	1,35	6,42	11,2	8,49	0,07	1,5	17	1,24	6,91	7,34	2,26
2	2,3	2,3	6,68	22,7	0,12	29,2	1,35	6,54	11,2	8,43	0,07	1,49	17	1,23	6,95	7,2	2,24
3	2,33	2,3	6,55	22,2	0,12	29,1	1,35	6,53	11,2	8,4	0,07	1,49	17	1,23	6,87	7,25	2,27
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4998	2,35	2,3	6,62	22,4	0,12	29,3	1,35	6,59	11,1	8,51	0,07	1,49	17	1,24	6,96	7,29	2,25
4999	2,34	2,3	6,59	22,4	0,12	29,3	1,35	6,54	11,1	8,45	0,07	1,49	17	1,23	6,91	7,32	2,24
5000	2,31	2,3	6,64	22,5	0,12	29,5	1,35	6,51	11,2	8,47	0,07	1,49	17	1,24	6,97	7,16	2,25

Cinquièmement et dernièrement, nous avons calculé pour chaque scénario de cours de change simulé, la valeur de portefeuille, on obtient donc, 5000 valeurs simulées. De la même façon que la VaR historique, on calcule les variations de ces valeurs et en utilisant la fonction centile on trouve les résultats suivants :

Tableau 15: Calcul de la VaR Monte Carlo

Date de valorisation	29/12/2006
Seuil de confiance	1%
Quantile de la loi normale	2,326
VaR 24 h	-324 219,56
VaR 10 jours	-1 025 272,26
VaR/Valeur Portefeuille (10jours)	3,47%

Ce tableau affiche la VaR sur 10 jours qui de l'ordre de **-1 025 272,26** dirhams obtenue en multipliant la VaR sur 24 h par racine de 10 ($\sqrt{10}$), ces deux valeurs sont calculés pour un niveau de confiance de 99%. On note aussi que la part de la VaR Monte Carlo sur 10 jours ne représente que 3.47 % de la valeur de portefeuille.

VI. Comparaison des trois approches

Le tableau ci-dessous représente une synthèse des résultats trouvés de la valeur en risque des les trois méthodes, ainsi que leurs part par rapport à la valeur de portefeuille de change.

Tableau 16: Comparaison des valeurs en risque calculées pour les trois approches.

date de valorisation	29/12/2006		
seuil de confiance (α)	1%		
l'horison (h)	10 jours		
Approche standard (EFP)	2 998 785,71		
valeur de portefeuille (VP)	-29 577 807,65		
Approches	Paramétrique	Historique	Monte Carlo
VaR (en DH)	-734 939	-840 627,08	-1 025 272,26
VaR/VP	2,48 %	2,84%	3,47%

On constate d'après ces résultats que les deux approches historique et paramétrique donnent à peu près les mêmes valeurs. Les deux VaR paramétrique et historique représentent, seulement et respectivement 2,48%, et 2,84% de la valeur totale de portefeuille pour un horizon de 10 jours et pour un seuil de confiance de 1%. Par contre la VaR calculée par la simulation de Monte Carlo est un peu grande par rapport aux deux premières approches, elle représente presque 4% de la valeur de portefeuille.

On peut donc conclure que l'approche paramétrique est la plus économique parmi les trois.

VII. Implémentation par VBA

L'application a été programmée sur Excel par programmation du VisualBasic. Nous présentons une première interface invitant l'utilisateur à introduire un certain nombre de paramètres utiles pour le déclenchement du programme.

Figure 6 : Interface de calcul de la VaR par VBA

Devises	Positions en dir	Tx change	Positions(en MA)	position en unité de devise
QAR	157	2,32	365,16	157,14
AED	390 505	2,30	899 421,92	390 504,60
LYD	260	6,63	1 720,58	259,68
BHD	95	22,44	2 137,13	95,24
DZD	6 888	0,12	81,89	688,76
KWD	507	29,26	14 845,24	507,38
NOK	142 750	1,35	1 930,45	1 427,50
TND	4 343	6,52	28 320,59	4 343,33
EUR	-3 364 734	11,14	-37 484 821,36	-3 364 734,20
USD	177 469	8,46	1 501 207,58	177 468,73
JPY	12 634 440	0,07	8 969,22	126 344,40
DKK	170 163	1,49	2 542,52	1 701,63
GBP	90 930	16,59	1 508 564,77	90 929,60
SEK	121 792	1,23	1 500,85	1 217,92
CHF	235 134	6,93	1 630 163,65	235 133,97
CAD	144 125	7,29	1 050 733,80	144 125,16
SAR	556 200	2,26	1 254 508,36	556 199,92

HYPOTHESES	
Date de VaR	29-déc.-06
Date début(jr ouvré):	2-janv.-04
Date fin(jr ouvré):	29-déc.-06
Nombre_jrs	1093
Alpha	1,00%
Niveau_conf	99,00%
Quantile	2,33

VaR paramétrique(output)	
VaR 24h=	232 408 Dirhams
VaR10j=	734 939 Dirhams
VaR EUR=	-259 309 Dirhams
VaR USD=	5 792 Dirhams

VaR historique(output)	
VaR 24h=	-265 706 Dirhams
VaR 10j=	-840 237 Dirhams

Par un simple clic sur le bouton **Input**, on obtient la VAR historique et paramétrique, pour une journée ainsi que pour 10 jours au seuil de 1%.

Le bouton **sauver VaR** nous permet d'enregistrer les valeurs ainsi calculées dans une autre feuille Excel pour une utilisation ultérieure : backtesting.

Enfin, le bouton **restaurer** permet d'initialiser les cases à 0 pour un nouveau calcul pour une autre journée ou pour un nouveau portefeuille.

Il est aussi très important de s'assurer de l'adéquation de la méthode à choisir pour bien estimer le risque encouru en détenant ce portefeuille de change, le stress testing et le

backtesting ont pour objectif de tester la validité de modèle choisi. dans le chapitre qui suit, nous allons représenter les différents tests pour confirmer les décisions d'un gestionnaire sur un modèle de Value at Risk.

CHAPITRE 3

Backtesting, stresstesting et calcul des exigences en fonds propres

Les autorités prudentielles (BAM) exigent que des tests rigoureux, comme le backtesting et le stresstesting soient faits régulièrement afin de vérifier la validité et la stabilité du modèle interne à travers des diverses conditions et crise de marché. Ces tests sont obligatoires car la VaR est une mesure statistique locale et surtout très volatile.

I. Stresstesting

Quand nous mesurons la VaR, nous choisissons typiquement un intervalle de 99%, certains facteurs de risque, un nombre de scénarios prés déterminé..., cependant, nous devons aussi s'intéresser aux expositions au-delà de ces paramètres.

Les fluctuations de certains événements peuvent faire sombrer un établissement financier. Des événements tels que le crack boursier d'octobre 1987, survenant peut être une fois par an ou chaque dix ans au maximum. Néanmoins, la rareté de ces événements ne les rends pas moins intéressants, nous devons être sur que le capital provisionné nous protégera suffisamment contre ces événements et nous devons donc pour cela mesurer précisément la perte potentielle dans de telles circonstances.

Malheureusement, le problème avec ces événements rares est que leur probabilité de réalisation est difficile à mesurer. Plus nous avançons dans la « queue » de la distribution des variations des prix ou du P&L, plus le nombre d'observations est petit, ce qui illustre la difficulté de mesurer exactement la probabilité associée à ces événements. De temps à autre, les marchés subissent d'importantes ruptures et c'est pour identifier ce type de risque qu'une mesure complémentaire du risque a été développée, connue sous le nom de stress test. Cette nouvelle technique permet d'estimer les pertes encourues si le marché passait soudainement de la situation courante à une situation anormale.

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de réévaluer les portefeuilles sous différents scénarios "extrêmes", sans considérer leur probabilité exacte. C'est le but du stress test.

Le stress test, parfois appelé analyse de scénario, examine par simulation l'effet sur le portefeuille d'importants mouvements de variables financières clés. Cela consiste à spécifier subjectivement des scénarios d'intérêt afin d'estimer les changements possibles dans la valeur du portefeuille.

Bien que la démarche paraisse relativement simple, cependant, elle pose de sérieux problèmes analytiques dans le sens où, on doit déterminer les données extrêmes sur lesquelles on souhaite faire l'essai.

Les analyses de scénario sont aussi employées afin d'examiner les effets de la violation des hypothèses sous-jacentes aux calculs Value-at-Risk.

Pour les différentes méthodologies qui se basent sur des données historiques nous pouvons évaluer cette violation en changeant la corrélation employée comme input dans

le calcul de VaR, en examinant directement l'impact sur le portefeuille d'une dévaluation des facteurs de risque.

II. Backtesting

Les autorités Bancaires nécessitent la mise en œuvre de tests sur des données réelles : Backtesting. Cet exercice est essentiel, car il donne, a posteriori, une image de la qualité de la mesure de risque. Il repose sur la notion du nombre d'exceptions, c'est-à-dire le nombre de fois où la perte réelle observée est supérieure au montant prévu et calculé par le modèle interne.

Il s'agit donc pour un historique de n jours de comparer pour chaque journée t , la VaR calculée pour un niveau de confiance de 99% sur un horizon d'une journée, avec la distribution P&L. Cette comparaison doit être faite sur une période minimale de 250 jours.

On rappelle que P&L d'une journée t est la différence de la valeur réelle du portefeuille en t et sa valeur en $t-1$.

Dans les conditions normales du marché, une VaR quotidienne avec un seuil de confiance de 1% donne un niveau de perte qui va être dépassé en moyenne une fois dans chaque cent (100) journées.

Dans le cadre de l'accord de Bâle, les banques sont tenues d'effectuer le Backtesting à partir des résultats réels et/ou hypothétiques, sur une base trimestrielle en utilisant les douze derniers moins de données.

Selon le nombre d'exceptions enregistrées obtenues par la comparaison entre les profits et pertes (P&L) journalières sur le portefeuille et les VaR correspondantes, le comité Bâle définit alors trois zones pour évaluer les résultats des contrôles ex post et pour appliquer le complément éventuel au coefficient multiplicateur¹.

Le nombre total d'exceptions peut être vu comme une variable aléatoire suivant une loi binomiale, la probabilité de « succès » (exception ou dépassement de la VaR) est égale à $p = 0,01$ pour une VaR de 1% et le nombre d'observations de cette loi est exactement n (le nombre de jours du Backtesting (250 par exemple)). Le nombre moyen d'exception est donc $n \cdot p = 2.5$ et la variance des pertes exceptionnelles est $n \cdot p \cdot (1 - p) = 2,475$ ce qui correspond à un écart type de 1.57.

En utilisant le fait que la loi binomiale converge vers la loi normale pour un n grand et un p petit. L'un intervalle de confiance à 99% du nombre d'exceptions pour un modèle VaR valide est :

$$[(n \cdot p - Z_{\alpha} \cdot \sqrt{n \cdot p \cdot (1 - p)} ; (n \cdot p + Z_{\alpha} \cdot \sqrt{n \cdot p \cdot (1 - p)})]$$

Avec Z_{α} le quantile d'ordre $\alpha = 1\%$ de la loi normale standard.

Cet intervalle est égal dans notre exemple à :

$$[2.5 - 2,326 \cdot 1.57 ; 2.5 + 2,326 \cdot 1.57] = [-1.15 ; 6,15]$$

Ça veut dire que pour 250 observations, nous sommes à 99% sûrs d'observer un nombre d'exceptions entre 0 et 6 si notre modèle de calcul de la VaR est valide.

¹ : Il sera traité dans le paragraphe consacré au calcul de fonds propres

Cet exemple nous montre que le Backtesting n'est pas à 100% tranchant quant à la validité du modèle puisqu'il dépend de la période considérée et de niveau de confiance adopté.

III. Calcul des exigences en fonds propres et le multiplicateur

Les établissements financiers calculent l'exigence de fonds propres (EFP) de la façon suivante :

$$EFP = \max[VaR_t; (3 + \text{complément}) * \frac{1}{60} \sum_{i=t-60}^{t-1} VaR_i]$$

Tout établissement financier est assujéti à une exigence de fonds propres égale au plus élevé des deux montants suivants:

- la mesure de la valeur en risque du jour précédent, calculée suivant les modalités exposées dans la présente partie,
- la moyenne des mesures de la valeur en risque quotidiennes au cours des soixante jours ouvrables précédents, multipliée par un facteur appelé multiplicateur variant entre deux valeurs 3 et 4, déterminé par les autorités prudentielles.

Le facteur de multiplication est majoré d'un facteur complémentaire, variant entre 0 et 1 conformément au tableau ci-après, en fonction du nombre de dépassement,

Tableau 17: Majorations du multiplicateur selon les zones de contrôle et les nombres d'exceptions

Zone	Nombre de dépassements	Facteur complémentaire
Verte	moins de 5	0
	5	0,4
Jaune	6	0,5
	7	0,65
	8	0,75
	9	0,85
Rouge	10 ou plus	1

Source : notice technique de Bank Al-Maghrib sur les exigences en fonds propres

Il y a dépassement lorsque la variation de valeur du portefeuille sur un jour j est supérieure à la mesure de la valeur en risque (« value-at-risk ») de même jour j.

Le complément est directement lié aux performances du modèle évaluées à posteriori, et il peut éventuellement être nul si le backtesting donne satisfaction.

Pour tout établissement financier, il est important de veiller à ce que la mesure des risques de marché ne soit ni sur-estimée, ni sous-estimée. Ceci dans l'objectif de ne pas défavoriser ou favoriser l'activité Marché au détriment des autres activités de la banque. Et vu que, d'une part le calcul des fonds propres est étroitement lié à au modèle utilisé par les banques, et étant donné, d'autre part qu'il n'y a pas de modèle imposé, les organismes de la réglementation sont amenés à trouver un moyen de valider de nombreux modèles adoptés par les banques. C'est pour cette raison que les autorités prudentielles attribuent automatiquement un coefficient multiplicateur variant de 3 à 4 selon le nombre de dépassement.

Lorsque la mesure de risque est sous-estimée, le régulateur peut augmenter le coefficient jusqu'à 4 (zone rouge), dans ce cas, la banque est tenue de revoir son modèle.

Par contre si le modèle utilisé est jugé de bonne qualité selon le backtesting c'est –à-dire se situe dans la zone verte avec un maximum de 4 dépassements, le compliment attribué sera nul.

Entre ces deux zones, se trouve la zone jaune où le nombre de pertes excédent la VaR calculée varie entre 5 et 9, le multiplicateur est majoré, dans ce cas, par une valeur allant de 0.4 à 0.85 selon le nombre d'exceptions.

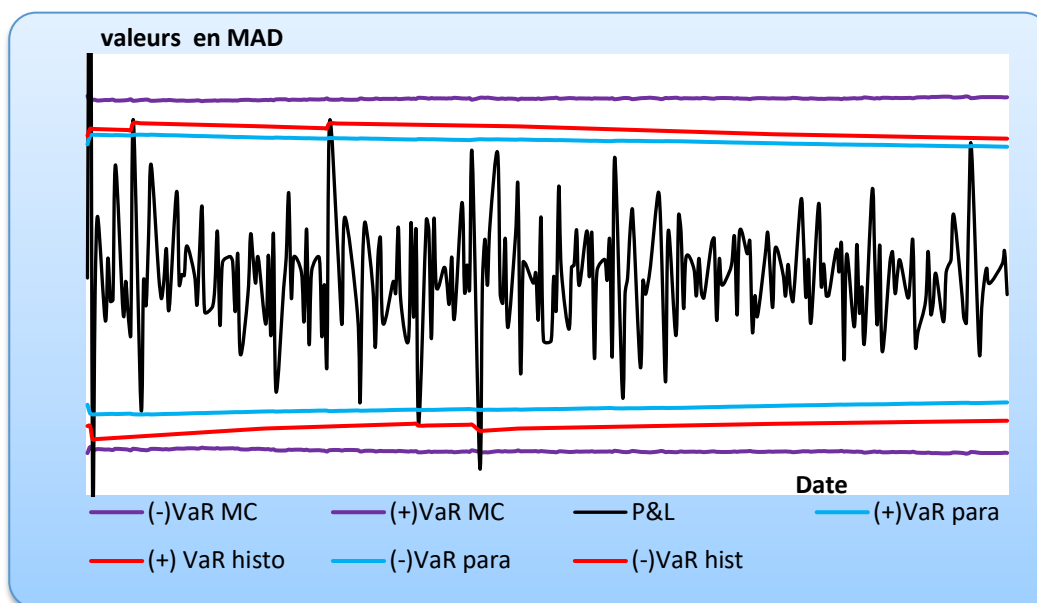
Au coefficient multiplicateur, s'ajoute d'autres critères qualitatifs et quantitatifs, traités dans la première partie, qui doivent être respectés par les banques afin de la validation de leurs modèles.

IV. Application de contrôle ex-poste au portefeuille de change

Pour notre portefeuille de change, on compare les pertes journalières (P&L) avec les VaR à 99% sur un horizon de 24 h. Cette comparaison journalière est effectuée du 2 janvier 2006 au 29 décembre 2006, c'est-à-dire 255 jours ouvrables.

Le backtesting appliqué à la VaR paramétrique, historique et Monte Carlo donne les résultats illustrés par le graphique suivant :

Figure 7: Backtesting appliqué à la VaR paramétrique, historique et Monte Carlo.



On constate trois dépassements des pertes par rapport aux valeurs de la VaR paramétrique, autrement les pertes enregistrées dépassent, sur 255 observations trois fois la valeur de la VaR calculée.

Théoriquement, on confirme alors que le backtesting pour cette approche est satisfaisant.

Pour les deux autres approches : historique et Monte Carlo, le backtesting enregistre deux dépassements, c'est-à-dire qu'on se situe dans la zone verte avec un complément nul, le résultat est donc parfait.

Une comparaison des trois méthodes, montre que les résultats de calcul de la VaR sont valides et satisfaisants. Ainsi, avec seulement deux dépassements sur 255 observations et une part de 2.84 % de la valeur totale de portefeuille, l'approche historique est la meilleure parmi les trois approches.

V. Calcul des fonds propres

Selon le contrôle ex-poste les trois modèles sont situés dans la zone verte qui correspond à une majoration nulle du multiplicateur, en utilisant la formule de calcul des exigences en fonds propres donnée comme suit :

$$EFP = \max[VaR_t; (3 + \text{complément}) * \frac{1}{60} \sum_{i=t-60}^{t-1} VaR_i]$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : calcul des exigences en fonds propres pour les trois approches.

Date de valorisation	29/12/2006		
Seuil de confiance (α)	1%		
L'horizon (h)	10 jours		
Approche standard (EFP)	2 998 785,71		
Valeur de portefeuille (VP)	-29 577 807,65		
	<i>approches</i>		
	<i>Monte Carlo</i>	<i>Historique</i>	<i>Paramétrique</i>
EFP	968 853,49	705 552,88	805 110,73
Gain en FP	67,69%	76,47%	73,15%
EFP/VP	3,28%	2,39%	2,72%

On remarque, d'après ces résultats, que les trois méthodes de mesure de risque conduisent à des fonds propres exigibles moins élevés que ceux fournis par la méthode standard exigée par de Bâle II (8% de maximum des positions courte et longue). Afin d'illustrer ce constat, on utilise le ratio suivant :

$$\text{Gain en FP} = \frac{EFPS - EFP}{EFPS}$$

Telle que

EFPS : exigences en fonds propres standard

EFP : exigences en fonds propres

FP : fonds propres

Ce ratio est de l'ordre de 68% pour l'approche Monte Carlo, 76.5% pour l'approche historique et 73% pour la méthode paramétrique, Ces modèles nous permettent alors d'économiser un minimum 68% des fonds propres en adoptant la simulation de Monté Carlo.

D'après les résultats trouvés précédemment, la meilleure méthode à utilisée pour la SGMB est l'approche historique puisque les exigences en fonds propres évaluer moyennant cette approche ne représentent que **2.39%** de la part de portefeuille et permet d'économiser **76%** des fons propres par rapport à l'approche standard.

Conclusion

Dans cette partie on a rappelé les grands fondements des trois méthodes de la valeur en risque, suivie par un aperçu générale sur le marché de change, ensuite, on a essayé de modéliser le risque change en adoptant ces méthodes. L'élaboration de ces derniers s'est basée sur certaines hypothèses et approximations qui représentent d'avantages des simplifications. Chose qui a certes des points forts, mais présente quand même certains inconvénients au niveau de la vérification des hypothèses de base. Enfin, et dans le but de valider les résultats trouvés, une technique dite backtesting a été mise en œuvre pour vérifier la qualité de nos modèles internes et déterminer les exigences en fonds propres, les résultats sont satisfaisants et on a opté pour l'approche historique comme meilleure mesure interne d'un portefeuille de change détenu par la SGM.B.

Partie III

Modélisation interne du risque opérationnel

- *Estimation des distributions des sévérités et des fréquences*
- *Détermination de la VaR: simulation de Monte Carlo*

Introduction

Comme nous l'avons déjà vu dans la première partie, la modélisation interne du risque opérationnel se fait selon trois méthodes: IMA (Internal Measurement Approach), LDA (Loss Distribution Approach) et Scorecards.

Vu que les deux méthodes IMA et Scorecards font appel à un grand nombre de paramètres, nous adopterons l'approche statistique LDA. Cette dernière est basée sur la distribution de la perte totale (perte agrégée) modélisée en fonction des deux distributions de la fréquence et de la sévérité des pertes, liées à chaque ligne de métier et à chaque type de risque, en utilisant la simulation de Monté Carlo.

Cette méthode nous permet de calculer la Value at Risk (VaR), et en déduire le capital économique à allouer.

CHAPITRE 1

Estimation des distributions des sévérités et des fréquences

I. Méthodologie

Le principe de la méthode consiste à déterminer, en premier lieu, la distribution de la fréquence des pertes (nombre d'occurrences) et celle de la sévérité (montant des pertes).

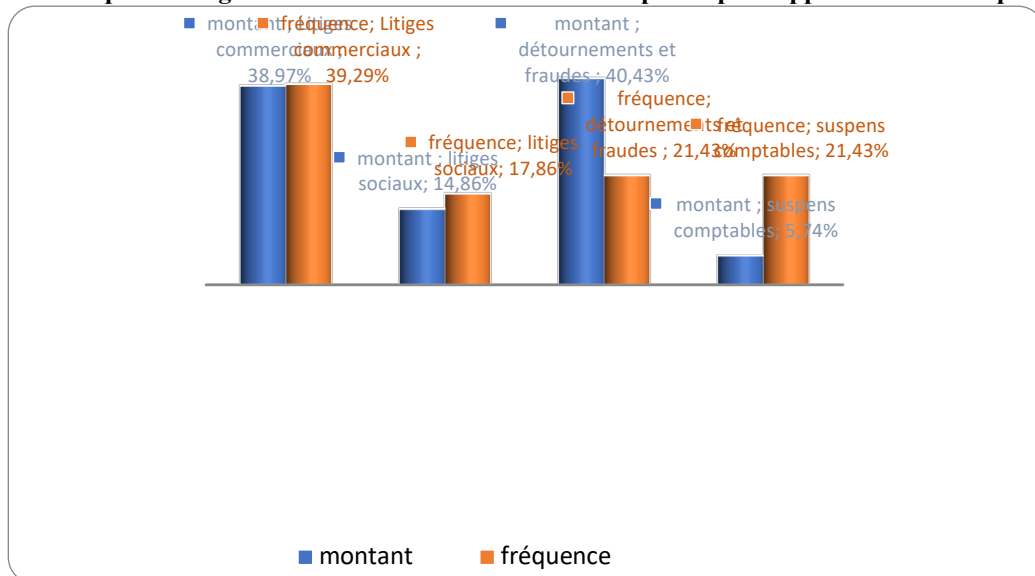
Pour se faire, l'élaboration d'une matrice bloc des lignes métiers et des types de risques s'avère nécessaire afin d'estimer les paramètres des distributions adéquates modélisant la fréquence et la sévérité des pertes.

Par ailleurs, le risque opérationnel est caractérisé par l'existence d'événements extrêmes. Pour de nombreux types de risque, quelques pertes suffisent à représenter plus de 90% des pertes totales. Donc le capital économique sert à couvrir ces quelques pertes extrêmes. Pour ces types de risque, la fréquence a une faible influence.

▪ Description des pertes à titre de risque opérationnel

D'après les données disponibles sur le risque opérationnel, nous constatons que la SGMB ne fait pas de distinction entre les huit lignes métiers définies par Bâle II, (agrégées selon une seule ligne métier), ceci d'une part. D'autre part, une analyse synthétique de ces données permet d'obtenir les parts marginales du nombre et de montant des pertes par rapport au total des pertes présenté par la figure suivante :

Figure 8: Les parts marginales du nombre et de montant des pertes par rapport au total des pertes.



La figure ci-dessous montre que les types de risques subis par la banque sont essentiellement le détournement et les fraudes, avec une part de 40.43% du montant total des pertes, et les litiges commerciaux, qui représentent 39% des pertes. Ce qui nous fait quatre blocs (ligne de métier-type de risque) à traiter.

II. Fréquence des pertes

Le nombre de pertes est une variable aléatoire qu'on va modéliser par un processus de comptage. La distribution de ce nombre est appelée distribution de la fréquence des pertes (loss frequency distribution).

II.1. Estimation du modèle de fréquence

Nous notons $N(t)$ la fréquence d'arrivée des événements. C'est la variable aléatoire représentant le nombre d'occurrences pendant une durée déterminée. Elle variable suit une loi de poisson, appelé aussi la loi des événement rares, de paramètre λ , à estimer.

La fonction de repartition de la loi de poisson est donnée par la formule suivante

$$P(N = k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad k = 0, 1, \dots$$

II.2. Estimation de paramètre de la loi de poisson

Afin d'estimer le paramètre de la loi de poisson, on utilise la méthode du maximum de vraisemblance.

La fonction de vraisemblance est caractérisée par la formule suivante :

$$\begin{aligned} L(\lambda) &= \prod_{k=0}^{k_0} P(N = k)^{n_k} \\ &= \prod_{k=0}^{k_0} e^{-\lambda n_k} \frac{\lambda^{kn_k}}{k!} \end{aligned}$$

Avec k_0 le nombre d'événements maximal observé pour l'activité bancaire en question. Et n_k le nombre d'activité ayant eu k événements sur une période. Dans notre cas, il est égal à 1.

Étant donné que la fonction de vraisemblance est une fonction croissante, le maximum de $L(\lambda)$ est atteint au même point que celui du logarithme népérien de cette fonction qui est désigné par $l(\lambda)$.

$$\begin{aligned} l(\lambda) &= \ln \{L(\lambda)\} \\ &= \sum_{k=0}^{k_0} \{-\lambda n_k + kn_k \ln(\lambda) - \ln(k!)\} \end{aligned}$$

On dérive par rapport à λ :

$$\frac{dl(\lambda)}{d\lambda} = \sum_{k=0}^{k_0} \left(-n_k + \frac{kn_k}{\lambda} \right) = 0$$

On trouve cet estimateur $\hat{\lambda}$:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{k=0}^{k_0} kn_k}{\sum_{k=0}^{k_0} n_k}$$

on présente dans ce tableau l'estimation de paramètre de la loi de poisson au niveau de chaque type de risque.

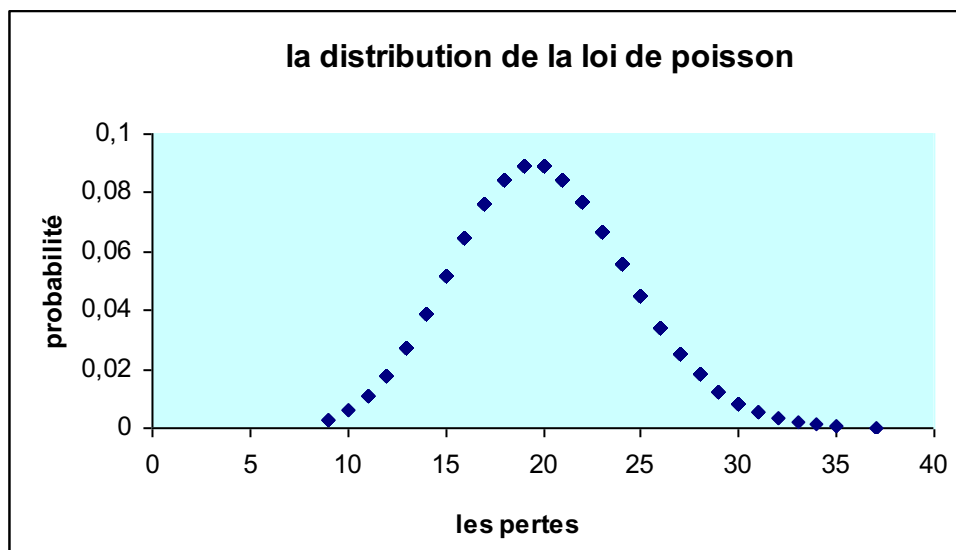
Tableau 19: Estimation de maximum de vraisemblance de paramètre de la loi de poisson

Types de risque	Litiges commerciaux	Détournement et fraude	Litige sociaux	Suspens comptable
estimation	20	13	14	9

Vu l'importance des litiges commerciaux en montant et en fréquence, notre étude se limitera à la représentation des résultats de ce type de risque,. Les mêmes traitements seront appliqués sur les autres blocs.

Le graphique ci-dessous, nous illustre la distribution de la loi de poisson pour un lambda de 20 estimé par la méthode de vraisemblance.

Figure 9: Fréquence des pertes des litiges commerciaux pour un $\lambda = 20$



III. La sévérité des pertes

En fait, le risque opérationnel est sûrement le risque qui présente le plus d'événements rares.

Le choix de la distribution de sévérité est donc crucial. Généralement, les distributions les plus utilisées pour modéliser ces montants sont: Lognormale, Gamma, pareto, et Weibull.

Ces différentes lois sont caractérisées par des queues épaisses, qui tiennent compte des valeurs extrêmes.

En effet, pour des seuils de confiance élevés, la valeur en risque dépend fortement des queues de distribution. Le choix donc d'une modélisation n'est donc pas neutre sur la mesure de risque.

La grande difficulté de modélisation de ces pertes est de fournir une estimation de la distribution.

- qui ne sous-estime pas les risques extrêmes afin de ne pas sous-estimer la charge en capital,
- qui ne sur-estime pas les risques extrêmes afin de ne pas sur-estimer la charge en capital.

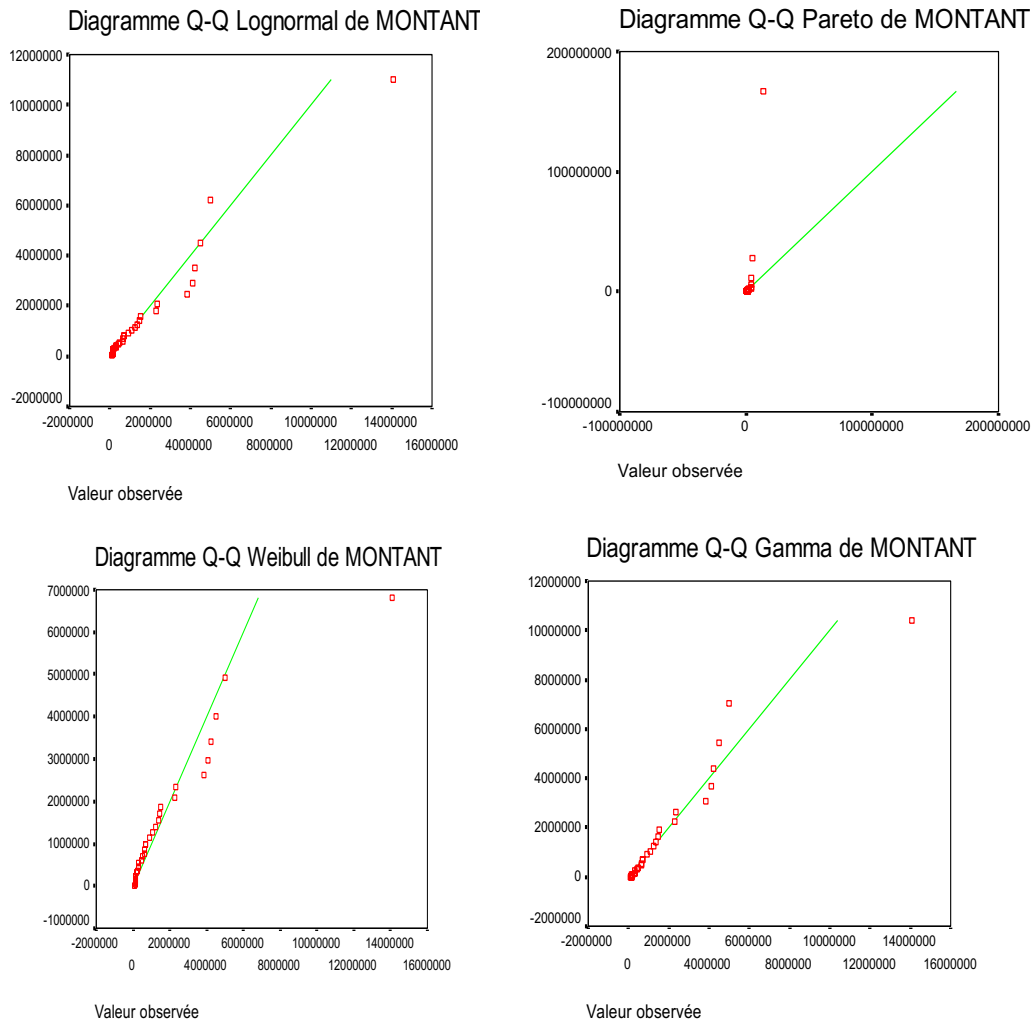
Dans le but d'obtenir la mesure de risque la plus juste possible et d'adopter la loi qui modélise mieux notre distribution des tests d'adéquation s'avère nécessaire. Il s'agit des tests d'adéquation graphiques et du test de Kolmogorov-Smirnov.

III.1. Test d'adéquation graphique : Le Quantile-Quantile Plot

Le Q-Q Plot est utilisé comme outil d'adéquation graphique. On trace les quantiles de la distribution de la variable du montant des pertes contre les quantiles de la distribution à tester en utilisant l'outil SPSS.

Si le montant des pertes correspond à la distribution à tester, les points se concentrent autour d'une droite.

Figure 10 : Représentation Q-Q Plot des lois Lognormale, Gamma, Weibull, et Pareto pour les pertes de type *litiges commerciaux*



On constate que pour les trois graphes : Weibull, Gamma et la Lognormale, les points se concentrent autour d'une droite. Mais cette concentration est sensiblement plus élevée en nombre pour la loi Lognormale. Ce qui nous incite à opter pour la loi Lognormale à l'issue de ce test. Donc, d'après ce test, on peut dire que les pertes de types litiges commerciaux à une distribution lognormale.

Pour plus de précision, afin de confirmer l'ajustement de cette variable à la loi lognormale, nous effectuons un autre test plus développé.

III.2. Test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov

Le principe de ce test est déjà traité dans le deuxième chapitre de la deuxième partie.

On s'intéresse à savoir si le montant des pertes s'adapte mieux à la loi lognormale, de fonction de répartition est donné par

$$F(y) = \Phi\left(\frac{\ln(y) - \mu}{\sigma}\right) \quad \text{avec } y > 0$$

Nous représentons dans le tableau qui suit les valeurs de la distance finale calculées pour les différents blocs et à un niveau de confiance de 99%.

Tableau 20: Statistique de Kolmogrov-Smirnov par type de risque

Types de risque	Litiges commerciaux	Détournement et fraude	Litige sociaux	Suspens comptable
La statistique 'd'	0.118	0.162	0.24	0.158

Ce tableau nous donne la statistique de kolmogorov Smirnov associée à la variable : montant des pertes. On utilise alors les seuils tabulés par kolmogorov Smirnov et pour une taille d'échantillon infinie, on trouve à 1% $d_{\text{tabulé}} = 0.27$. Ainsi, dans ce cas $d < d_{\text{tabulé}}$ au niveau de chaque type de risque. Nous constatons que ces valeurs n'appartiennent pas aux régions critiques et nous acceptons finalement l'adéquation des quatre échantillons de pertes à la loi Lognormale.

III.3. Estimation du modèle de sévérité

Parmi les lois traitées, on a opté pour la loi Lognormale. Cette loi se caractérise par deux paramètres, et l'estimation par la méthode du maximum de vraisemblance de ces paramètres est donnée par :

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln(y_j)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\ln(y_j) - \hat{\mu})^2$$

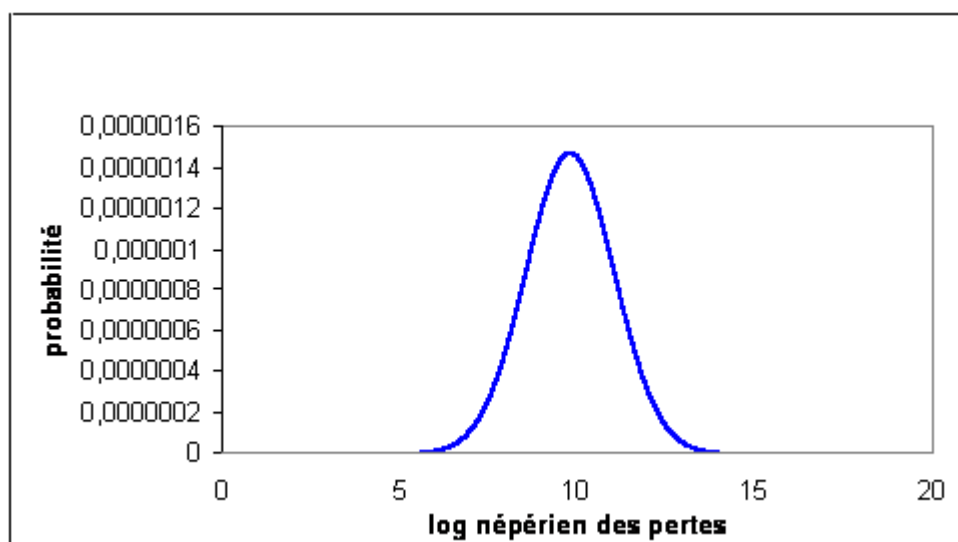
Le tableau ci-dessous donne l'application numérique de l'estimation de la moyenne et l'écart-type pour les quatre blocs concernés.

Tableau 21: Estimation du maximum de vraisemblance des paramètres de la loi Lognormale

Types de risque	Litiges commerciaux	Détournement et fraude	Litige sociaux	Suspens comptable
La moyenne estimée	13.42	13.86	13.44	12.56
L'écart-type estimé	1.34	1.64	1.11	0.79

Une fois que nous avons estimé les paramètres de la sévérité des pertes, nous représentons graphiquement les distributions des montants de pertes au titre du risque opérationnel. Voici la représentation concernant les litiges commerciaux.

Figure 11: Sévérité des pertes litiges commerciaux



Pour des raisons de simplifications, nous avons représenté le Log népérien des pertes, qui représente la même allure que celles des montants.

La modélisation des fréquences et des sévérités des pertes vont nous servir à la détermination des pertes agrégées, c'est l'objectif de deuxième chapitre.

CHAPITRE 2

Détermination de la VaR : simulation de Monte Carlo

Après avoir déterminé, dans le chapitre précédent, les distributions adéquates des fréquences et des sévérités de chaque bloc. Nous développerons, dans ce chapitre, la méthode de simulation de Monte Carlo afin de calculer la perte agrégée et en déduire par la suite la VaR et le capital économique associé.

I. Génération des nombres aléatoires

La méthode de Monte Carlo est un moyen très efficace de contourner les problèmes d'inexistence ou de complexité de certaines formes analytiques de lois de distribution, il consiste à observer le comportement d'une série de nombres aléatoires qui simule le fonctionnement du problème réel.

I.1. Simulation d'une variable aléatoire selon la loi de Poisson

On utilise ici la méthode de simulation par inversion de la fonction de répartition. Si U est uniformément distribué sur $[0,1]$, alors si l'on définit X par

$$F(X-1) = \sum_{i < X} p_i < U < \sum_{i \leq X} p_i$$

X est distribuée suivant

$$F: \text{pr}(X=i) = \text{pr}(X \leq i) - \text{pr}(X \leq i-1) = F(i) - F(i-1) = p_i$$

L'algorithme suivant permet d'inverser la distribution F d'une loi de poisson

Dans le cas de la loi de Poisson de paramètre λ

$$p_0 = e^{-\lambda} \quad \text{Et} \quad p_{i+1} = \frac{\lambda}{i+1} p_i$$

L'algorithme s'écrit :

- œ Initialiser $X \leftarrow 0, P \leftarrow e^{-\lambda}$ et $S \leftarrow P$;
- œ Simuler $U \sim U(0,1)$
- œ Tant que $S < U, X \leftarrow X+1, P \leftarrow \frac{\lambda}{X} P$ et $S \leftarrow S+P$
- œ Retourner X

I.2. Simulation d'une variable aléatoire selon la loi Lognormale :

L'intérêt de la méthode de simulation par inversion de la fonction de répartition est d'exhiber une relation fonctionnelle simple entre une loi élémentaire (loi uniforme $[0,1]$) et une loi plus complexe que l'on souhaite simuler.

Ainsi, si on peut simuler des nombres aléatoires selon la loi normale, le passage à une simulation selon la loi Lognormale se fait par l'exponentielle.

Plus concrètement, il est possible de simuler de façon exacte deux lois normales centrées réduites indépendantes à partir de deux lois iid $U[0,1]$: si U_1 et U_2 sont deux lois uniformes sur $[0,1]$ et indépendantes, alors les variables X_1 et X_2 définies par :

$$X_1 = \sqrt{-2 \ln U_1} \cos 2\pi U_2$$

$$X_2 = \sqrt{-2 \ln U_2} \cos 2\pi U_1$$

sont indépendantes, de loi $N(0,1)$

La génération de nombre aléatoire se fait à l'aide d'EXCEL.

II. Génération de la perte agrégée

Le calcul de la variable simulé des pertes agrégées, nécessite, d'une part, la génération d'un vecteur V des nombres aléatoire selon la loi de poisson,

$$V = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ - \\ - \\ - \\ N_{MAX} \end{bmatrix}$$

Les éléments de ce vecteur représentent la fréquence des pertes.

Et d'autre part, la génération d'une matrice M des nombre aléatoire selon la loi Lognormale : pour ligne i on génère N_i montant (Y_{ij}) selon cette loi.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & - & Y_{1N_1} \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \\ Y_{N_{\max} 1} & - & - & - \end{bmatrix}$$

Une fois que ces deux champs sont générés, on somme les montants des pertes générées au niveau de chaque ligne, et on obtient un vecteur S de Nmax scénarios constitué des montants agrégés :

$$S = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ - \\ - \\ P_{N_{\max}} \end{bmatrix}$$

Le tableau suivant synthétise la procédure précédente

Tableau : description de Monte Carlo
M

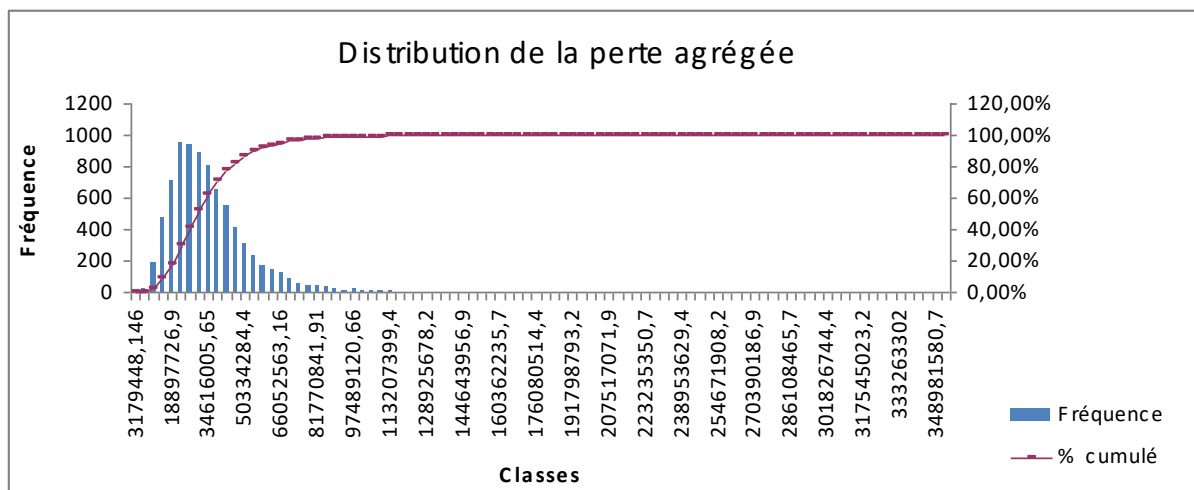
S	V									
X ₁	N ₁	Y ₁₁	Y ₁₂	-	-	-	Y _{1N1}	0	0	0
X ₂	N ₂					Y _{2N2}	0	0	0	0
X ₃	N ₃									
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X _{max}	N _{max}	Y _{1Nmax}	-	-	-	-	y _{1Nmax}	0	0	0

Comme exemple de calcul, on présente dans le tableau qui suit les résultats de la simulation de Monte Carlo pour le bloc litiges commerciaux :

Tableau 22 : Résultats de la simulation de Monte Carlo pour les litiges commerciaux

scénarios	S	V	montants							
1	38841076,8	20	1862157	607296	-	-	0	0	0	0
2	22581611	23	181767	920785	-	-	1737842	1174764	424470,2	
3	35653119,7	17	1832360	2746879	-	-	0	0	0	0
4	65999284,2	28	3289315	590221	-	-	18380631	1507908	414536,4	163162,2
5	49773051,6	22	8249142	2299550	-	-	129315,3	33762,45	0	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6998	31591507	21	382195,9	395912	-	-	283331,1	29973507	410659,7	158170,2
6999	103518157	15	124222,3	1390493	-	-	3258760	0	0	0
7000	9896139,15	9	3609546	336723	-	-	1023873	0	0	0

Par conséquent, on trace la distribution des pertes (le vecteur S), ainsi que la distribution cumulé. Pour un premier scénario du bloc litiges commerciaux on obtient le graphique suivant :

Figure 12: Représentation graphique de la distribution agrégée.

Certes, le problème est résolu après la détermination de la pertes agrégée, donc, on peut en tirer facilement la VaR, mais il faut tout d'abord s'assurer de la convergence de la simulation de Monte Carlo, autrement dit, il faut déterminer le nombre minimal d'itérations à générer.

➤ Convergence de Monte Carlo

Dans le but de ne pas sous-estimer la Value-at-Risk, il faut tester la convergence de notre simulation. À cet égard, on va calculer le rapport entre l'écart-type estimé et l'écart-type théorique, et ce dernier devrait converger vers 1 à partir d'un certain nombre de simulations.

Il faut tout d'abord déterminer l'écart-type théorique de la distribution de la perte agrégée. Pour se faire, on suit le raisonnement ci-dessous :

On a
$$S = \sum_{j=1}^N Y_j$$

Espérance :

L'espérance de S est obtenue par

$$\begin{aligned} E[S] &= E \left[\sum_{j=1}^N Y_j \right] \\ &= E_N \left[E \left[\sum_{j=1}^N Y_j / N \right] \right] \end{aligned}$$

Comme la variable aléatoire N est indépendante des variables aléatoires Y_1, \dots, Y_N , on a

$$E[S] = E_N \left[\sum_{j=1}^N E[Y_j] \right]$$

et étant donné que ces mêmes variables sont identiquement distribuées, on obtient :

$$\begin{aligned} E[S] &= E \left[\sum_{j=1}^N E[Y_j] \right] \\ E[S] &= E \left[\sum_{j=1}^N E[Y] \right] \\ &= E[N \cdot E[Y]] \\ &= E[N] \cdot E[Y] \end{aligned}$$

et alors l'espérance théorique de la perte agrégée est donnée par :

$$E[S] = \lambda \cdot \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

Variance :

Par définition, l'expression de la variance de S est :

$$\begin{aligned} Var(S) &= E_N \left[N \cdot Var(S/N) \right] + Var_N \left[E(S/N) \right] \\ &= E_N \left[N \cdot Var(Y) \right] + Var_N \left[N \cdot E(Y) \right] \end{aligned}$$

L'expression de la variance de S devient donc :

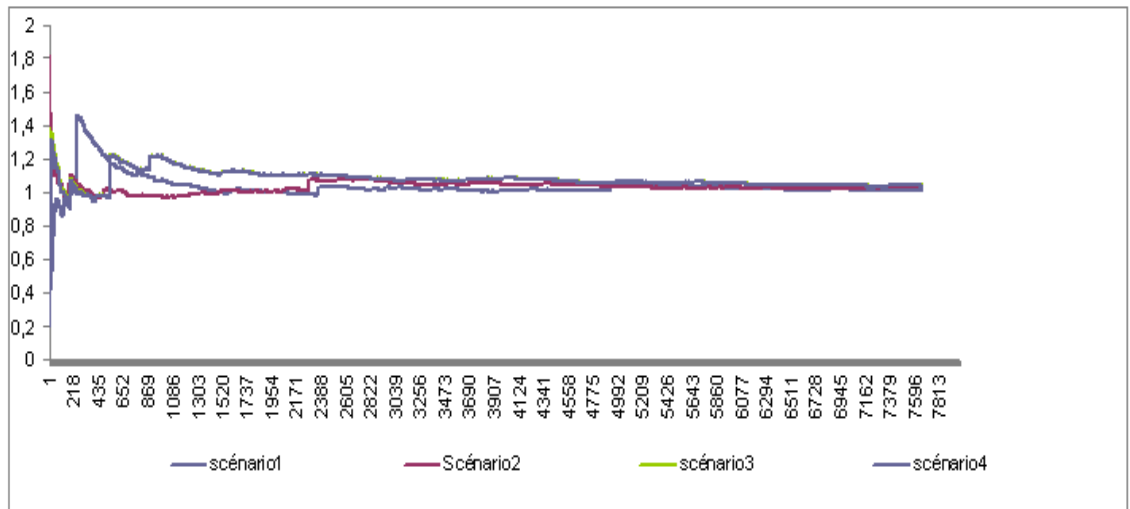
$$Var(S) = E(N) \cdot Var(Y) + Var(N) \cdot E(Y)^2$$

Et alors la variance théorique de la perte agrégée est donnée par :

$$Var(S) = \left(\sqrt{\lambda} \cdot \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \right)^2$$

Après avoir obtenu la variable de perte agrégée simulée pour différents scénarios, nous pouvons calculer l'écart-type estimé relatif à l'avancement de la simulation. C'est à dire que pour chaque nombre de simulations, nous obtenons un échantillon de taille égale à ce nombre et à partir duquel nous estimons notre écart-type. Par la suite, nous rapportons les écart-types estimés à l'écart-type théorique qui est calculé à partir de la formule de variance ci-haut.

Finalement, nous représentons ces résultats par le graphe ci-dessous pour y voir plus clair en terme de convergence.

Figure 13: Rapport des écarts-type pour le bloc les litiges commerciaux

Nous pouvons déduire de cette figure que, pour les quatre scénarios, le rapport écart-type estimé/écart-type théorique converge vers 1 à partir de 7400 simulations environ. Ce qui justifie par la suite le calcul de Value-at-Risk opérationnel sans sous-estimation.

Nous avons fait cette analyse de convergence au niveau de chaque bloc (ligne de métier et type de risque). Et nous remarquons, à la suite d'une représentations similaires que les trois autres analyses retiennent environ 8000 simulation en terme de convergence.

III. Calcul de la VaR opérationnel

Au niveau de chaque bloc (Ligne de métier – Type de risque), nous avons calculé la VaR à un niveau de confiances de 99%, pour les différents scénarios. Nous reportons les résultats du calcul dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Valeurs de la VaR pour les litiges commerciaux

	scénario 1	scénario 2	scénario 3	scénario 4
VaR en Dirhams	8 646 491	8 303 294	8 786 614	8 786 614

IV. Allocation du capital économique

La mesure du risque opérationnel correspond au quantile $\alpha=1\%$ d'après le document consultatif du comité de Bâle est alors, la charge en capital réglementaire (Capital-At-Risk) correspond à la valeur en risque (VaR) au seuil de confiance α :

$$\text{CaR} = G^{-1}(\alpha)$$

CaR : Charge en capital (Capital-At-Risk)

Une fois que, la VaR est calculée au niveau de chaque bloc, l'allocation du capital économique se fait par une méthode ascendante qui comporte deux étapes :

➤ **Allocation par type de risque**

L'allocation de capital économique par type de risque est une méthode compliquée. Elle consiste à calculer ce capital au niveau de chaque ligne métier, après avoir calculé la charge en capital pour chaque bloc.

Supposant que la contribution est linéaire, le capital à allouer, au niveau de la ligne i , est donné par la relation suivante :

$$EC(i, \alpha) = \sum_{j=1}^k \delta(i, j, \alpha) * VaR_{(i, j)}$$

Avec

$$\delta(i, j, \alpha) = \frac{VaR_{(i, j)}}{\sum_j VaR_{(i, j)}}$$

$EC(i, \alpha)$ désigne le capital économique pour la i -ème ligne d'activité.

➤ **Allocation par ligne métier**

Il s'agit d'allouer de façon efficiente les fonds propres entre les différentes activités. On utilise la VaR comme outil de mesure pour savoir combien il faut allouer de capital économique à chaque activité bancaire (ligne métier).

Après avoir calculé le capital en risque au niveau de chaque activité, la méthode la plus simple pour allouer le capital économique est de considérer la linéarité de contribution. Alors on a :

$$EC(\alpha) = \sum_i \delta(i, \alpha) * EC(i, \alpha)$$

Avec

$$\delta(i, \alpha) = \frac{EC(i, \alpha)}{\sum_{i=1}^I EC(i, \alpha)}$$

En effet, la SGMB ne dispose que d'une seule ligne métier dont quatre types de risque, donc $\delta(i, \alpha) = 1$

Le capital économique associé au niveau de confiance de 99% est représenté par le tableau suivant :

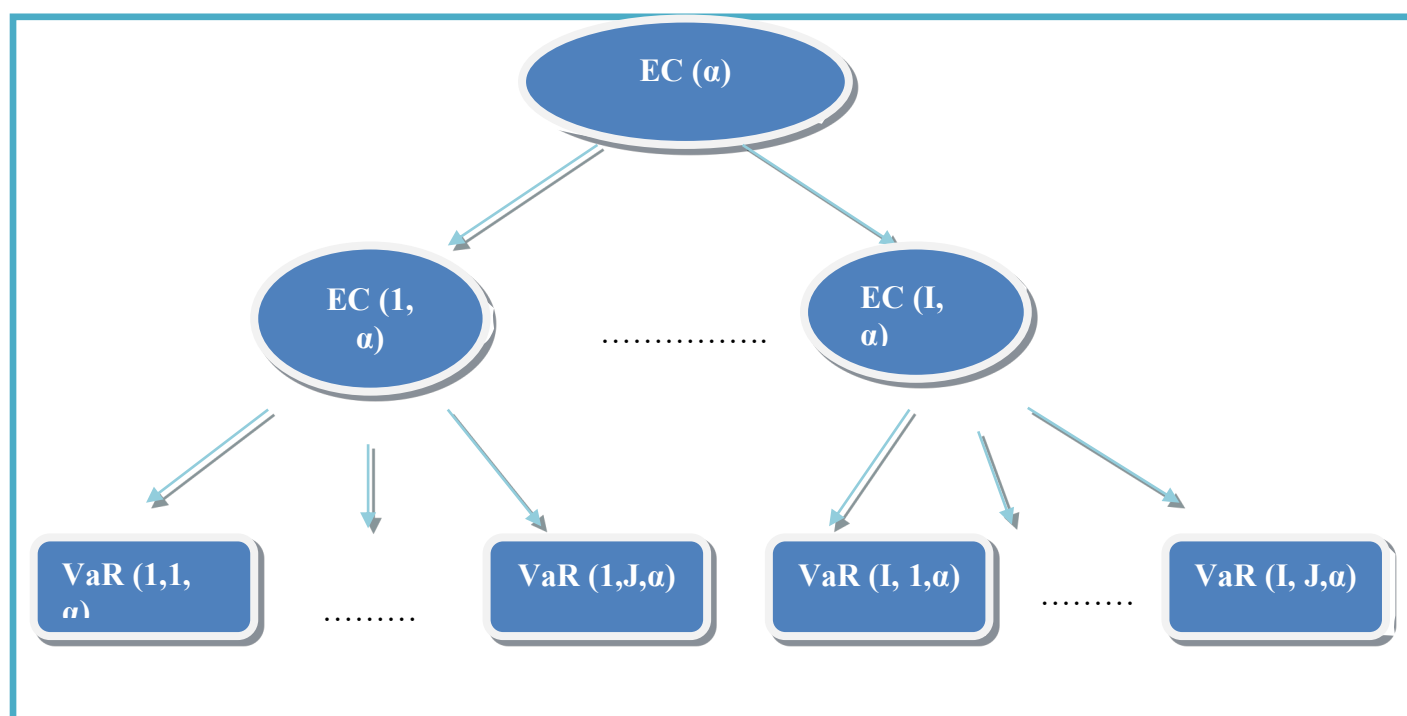
Tableau 24: Allocation du capital économique

Types de risque	Litiges commerciaux	Détournement et fraude	Litige sociaux	Suspens comptable
$VaR(1, j, \alpha)$	8 646 491	5 816 065,37	4 436 044,43	742 676,98
$\delta(1, j, \alpha)$	44,02%	29,61%	22,59%	3,78%

D'où le capital économique à allouer est de l'ordre de **6 558 559,16 dirhams**.

$$EC(\alpha) = 6\,558\,559,16 \text{ dirhams}$$

Figure 14 : Synthèse de l'allocation du capital économique par ligne métier et par type de risque



Source : Introduction à la Gestion des Risques (Bibliographie10)

Ces résultats sont les plus importants par rapport à la stratégie d'allocation de fonds propres de la banque. Ils permettent d'agréger les informations concernant le risque opérationnel en un seul chiffre au niveau de chaque activité (dans notre cas une seule activité). Ainsi, nous avons pu calculer de cette façon les fonds propres à allouer pour la couverture du risque opérationnel.

V. Implémentation de l'application par VBA

Nous avons implémenté la modélisation de risque opérationnel par VBA, dont l'interface est présentée par la figure suivante :

Figure 15 : Interface de la modalisation du risque opérationnel élaboré par VBA



En cliquant sur le bouton « *Générer les pertes agrégées* », on obtient, à la fois, 8000 nombres aléatoire suivant la loi de poisson de paramètre « lamda », et pour chaque nombre simulé, nous générons un échantillon de taille égale à ce nombre des montants des pertes selon la loi lognormale de paramètres (moyenne ; écart-type).

Par la suite, le programme fait la somme de ces montants au niveau de chaque ligne, pour obtenir finalement un vecteur colonne des pertes agrégées selon une distribution donnée, dont on calcule le centile pour déterminer la VaR (Output) à un niveau de confiance de 99%.

Le bouton « *Histogramme de la perte agrégée* » permet de visualiser l'histogramme de la perte agrégée ainsi que la perte agrégée cumulée.

Le bouton « *Sauver ce Scénario* » donne la possibilité d'enregistrer un scénario avec les paramètres des lois et le nombre d'itérations donné.

Enfin, pour initialiser les calculs afin de calculer la VaR pour d'autres paramètres, il suffit de cliquer sur « *Initialiser* » pour remettre tout à « 0 ».

Conclusion

Dans cette partie, nous avons montré comment l'approche retenue (LDA) appliquée au risque opérationnel fournit des VaR et un capital économique fiable pour gérer efficacement le risque dans le cadre de la nouvelle réglementation. En effet, le point fort de cette méthodologie est de fournir une vision quantifiée du risque par la modélisation de la distribution des pertes agrégées. Pour obtenir cette distribution, nous avons tout d'abord fait ressortir les éléments théoriques nécessaires pour la modélisation. Dans un deuxième temps, nous avons développé notre modèle à travers la fréquence et la sévérité des pertes. Nous y avons procédé à des tests d'adéquation de loi, puis à des estimations par la méthode du maximum de vraisemblance, pour opter finalement pour la loi de Poisson (Fréquence des pertes) et une loi Lognormale (Sévérité des pertes). Ensuite, nous avons utilisé la simulation de Monte Carlo pour générer des scénarios selon les deux lois adoptés. Pour faciliter cette opération, nous avons implémenté ces procédures par VBA. Enfin, on a déterminé la VaR correspondante et le capital économique à allouer.

Conclusion générale

La nouvelle réforme du ratio Mc Donough proposée par le comité de Bâle repose sur une philosophie visant d'une part à faire converger le capital économique et d'autre part, à inciter à l'utilisation progressive des méthodes internes les plus avancées en matière de mesure du risque marché, opérationnel et de crédit.

Les gestionnaires du risque de la SGMB peuvent trouver là un outil pour développer un modèle interne qui atteint un niveau acceptable de sophistication. En effet, il semble clair que l'adoption des modèles internes développés à travers ce mémoire est envisageable à la banque.

Toutefois, ils restent certains points à éclaircir en termes d'hypothèses de base et de validation de ces modèles. Ces derniers demandent une bonne maîtrise des outils statistiques et la gestion des bases de données qui peuvent être des sources d'erreurs dans le calcul de la Value-at-Risk. Nous l'avons déjà vu à travers cet étude, cette mesure pose de nombreux problèmes statistiques au niveau de l'implémentation.

Au terme de ce projet, nous avons défini d'un coté les différentes catégories de risque financier tout en focalisant notre étude sur le risque change et le risque opérationnel, ainsi que sur les méthodes standards de calcul des exigences en fonds propres. De l'autre coté, nous avons donné un aperçu large sur les différentes méthodes de calcul de la VaR. les calculs effectués ont montré que l'approche Monte Carlo et l'historique sont celles qui s'ajustent mieux pour le backtesting c'est-à-dire celles qui représentent moins de dépassements. Cependant ces approches représentent des inconvénients notamment le coût pour l'approche Monte Carlo, et la dépendance avec l'historique pour la deuxième approche.

Pour le risque opérationnel, dont la gestion au niveau de la SGMB est un peu lourde, nous avons développé l'approche LDA, en effet, nous avons modélisé la distribution de la fréquence et de la sévérité des pertes au niveau de chaque bloc en utilisant des tests statistiques d'adéquation, par la suite nous avons calculé la VaR correspondante par la méthode de Monte Carlo dont le cout présente le majeur inconvénient et la réduction des exigence en fonds propre le majeur avantage.

En perspective, le présent travail doit être une référence pour la SGMB, afin de mettre en œuvre les modèles internes d'ici 2008, et il doit être généralisé pour la gestion des autres risques marché (taux, titre de créances, options ...) et risque crédit.

Références

Bibliographie

Ouvrages

- [1] Didier MARTEAU, « *Gestion des risques sur opérations du marché* » ; éditions ESKA, 1997.
- [2] Bank Al-Maghrib, « *Circulaires 26/G/2006 du gouvernement de Bank Al-Maghrib relatives aux exigences en fonds propres portant sur les risques de crédit, de marché et opérationnels.* »
- [3] Bank Al-Maghrib, « *Circulaires du gouvernement de Bank Al-Maghrib relatives au coefficient minimum de solvabilité des établissements de crédit* »
- [4] Bank Al-Maghrib, « *Notices techniques n° B3/DSB/2006 fixant les modalités d'application de la circulaire 26/G/2006 relative aux exigences en fonds propres sur les risques de crédit, marché et opérationnels* ».
- [5] Xavier Bruckert, Didier Marteau, Dahlia Trang, « *Le marché des changes et la zone franc* » ; EDICEF 1989.
- [6] Patrice FONTAINE ; « *Gestion de risque de change* » ECONOMICA, 1996.

Notes de Cours

- [7] Ab. CHAOUBI, « *Inférence statistique* » ; notes de cours de la 1^{ème} année.
- [8] Mohammed CHATER, « *monnaie et banque* » ; notes de cours de la 2^{ème} année.
- [9] Gh. ABDALAOUI, « *Simulation I* » ; notes de cours de la 2^{ème} année.
- [10] Thierry RONCALLI ; « *Introduction à la Gestion des Risques* » ; Cours ENSAI de 3^{ème} année ; Octobre 2001.
- [11] MICHEL DENUIT ; « *Principes fondamentaux de la théorie de risque* » ; 2003.
- [12] Thierry RONCALLI ; « *Modélisation des Evénements Rares pour la Gestion des Risques* », janvier 2002.

Projets de fin d'études

- [13] Nabil AYOUB, Nabi Issa COLIBALY, « *Gestion du risque de marché : Value-at-Risk sur les options de change* », juin 2005.
- [14] Saadia ALIAT, Khadija ABBUQ; « *Valeur à risque et mesure du risque de taux d'intérêt Cas d'un portefeuille obligataire de la BMCE* », juin 2005.
- [15] Sami MISSAOUI ; « *Value-at-Risk et allocation du capital économique : Application à la gestion du risque opérationnel et de crédit* », juin 2004.

Articles

- [16] BCV, les cahiers de la finance, « *La Value at Risk* », Mai 2002.

-
- [17] Université d'Orléans, Master Econométrie et Statistique Appliquée « *Définition de la Value-at-Risk* », novembre 2006.
- [18] Riskpartner, « *Le risque opérationnel tel que définit par Bâle II* », novembre 2002.
- [19] Antoine Frachot, Olivier Moudoulaud, Thierry Roncalli ; Groupe de Recherche Opérationnelle, Crédit Lyonnais, France ; « *Loss Distribution Approach in Practice* »;Mai, 2003
- [20] A. Frachot, P. Georges & T. Roncalliy, « *Loss Distribution Approach for operational risk* »; Avril 2001.
- [21] G. Ribouet & T. Roncalliy ; Groupe de Recherche Opérationnelle, Crédit Lyonnais, France ; « *Value at Risk (mesure de capital économique)- les risques de marché* » ; Grand Prix de la Recherche Financière , Septembre 1999.

Sites WEB

www.businessfunctions.com

www.aiaccess.net

www.bis.org

www.riskmetrics.com

Annexes

Annexe 1

Démonstration de la distribution de la perte agrégée :

Soient ζ_n la perte potentielle du n-ième événement, N_t le nombre d'événements survenants, et S_t la perte totale enregistrée.

$$S_t = \sum_{n=0}^{N_t} \zeta_n$$

$$F_\zeta(u) = E(e^{iu\zeta_t})$$

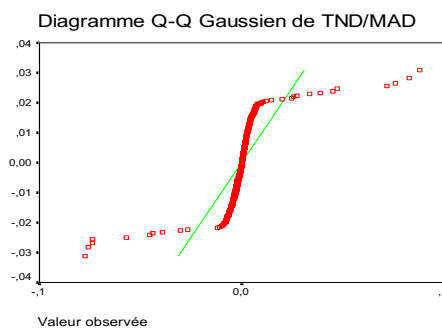
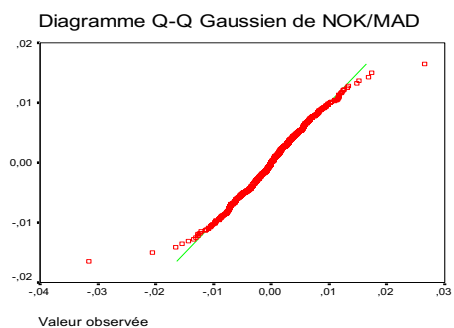
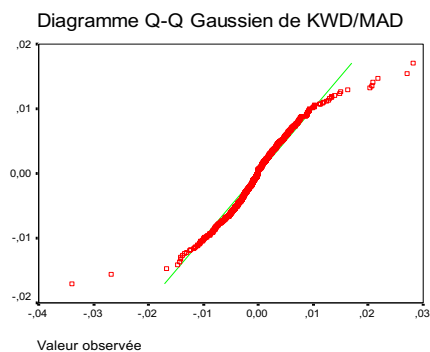
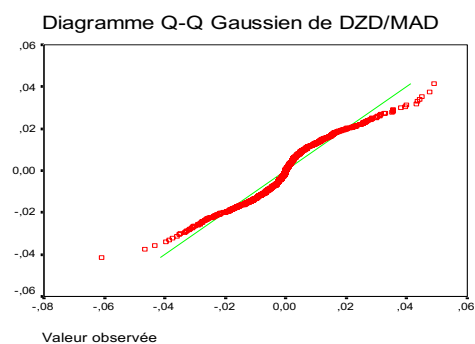
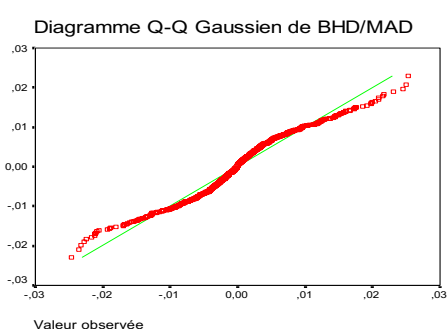
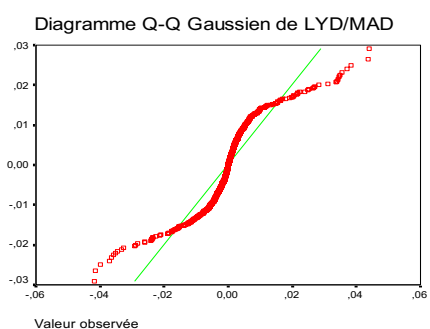
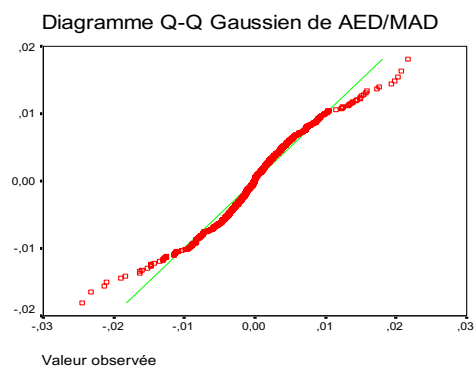
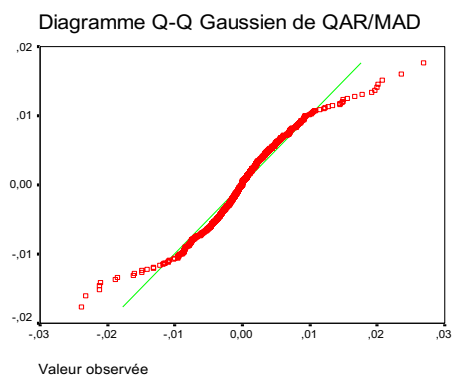
Le calcul de la fonction caractéristique de la perte totale s'écrit :

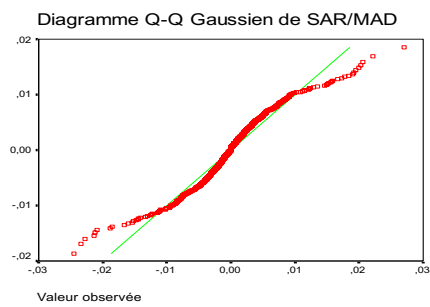
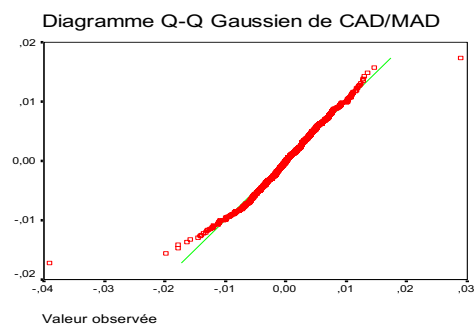
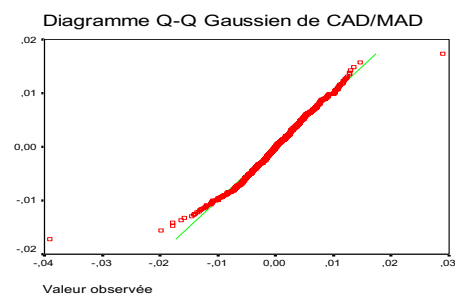
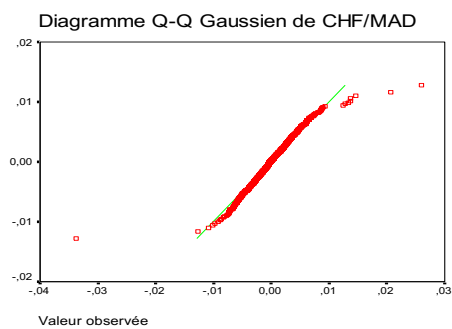
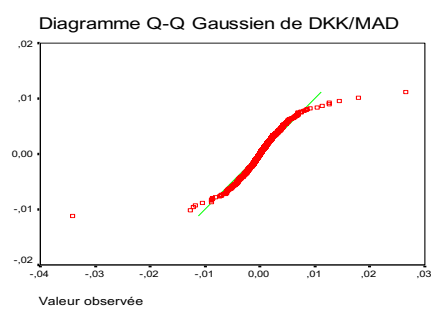
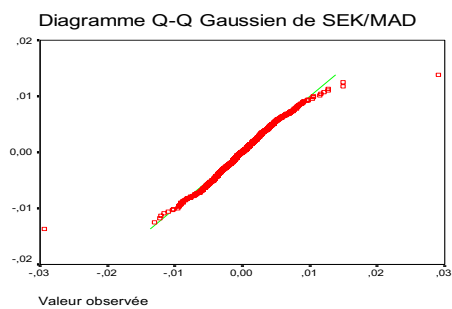
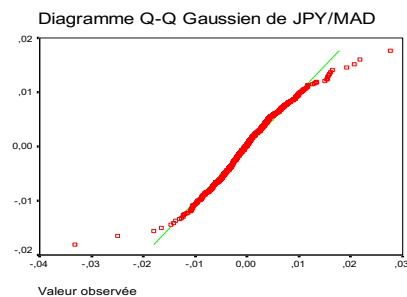
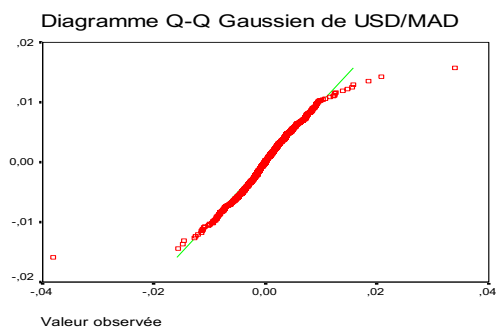
$$\begin{aligned} E(e^{iuS_t}) &= E\left(e^{iu \sum_{n=0}^{N_t} \zeta_n}\right) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} E\left(e^{iu \sum_{n=0}^k \zeta_n} \mathbf{1}_{[N_t=k]}\right) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} E\left(e^{iu \sum_{n=0}^k \zeta_n}\right) \cdot E(\mathbf{1}_{[N_t=k]}) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} E\left(\prod_{n=0}^k e^{iu\zeta_n} \cdot P(N_t = k)\right) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} (E(e^{iu\zeta_1}))^k \cdot P(N_t = k) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} (F_\zeta(u))^k \cdot P(N_t = k) \end{aligned}$$

Après une transformation du produit en convolution, on obtient :

$$G_{S_t}(u) = \sum_{k=0}^{\infty} F_\zeta^{n*}(u) \cdot p(k)$$

Annexe 2

Les tests de normalité des redemets des cours de change



Les tests de la stationnarité des cours de change :**1. AED « non stationnaire »**

Null Hypothesis: AED has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.089112	0.2493
Test critical values:	1% level		-3.436132	
	5% level		-2.863981	
	10% level		-2.568121	

2. RAS « non stationnaire »

Null Hypothesis: ARS has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.128271	0.2336
Test critical values:	1% level		-3.436132	
	5% level		-2.863981	
	10% level		-2.568121	

3. RAS « non stationnaire »

Null Hypothesis: BHD has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.352367	0.1559
Test critical values:	1% level		-3.436138	
	5% level		-2.863984	
	10% level		-2.568122	

4. DKK “stationnaire”

Null Hypothesis: DKK has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.062644	0.0298
Test critical values:	1% level		-3.436154	
	5% level		-2.863991	
	10% level		-2.568126	

5. DZD “non stationnaire”

Null Hypothesis: DZD has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.716116	0.0716
Test critical values:	1% level		-3.436154	
	5% level		-2.863991	
	10% level		-2.568126	

6. GBP “stationnaire”

Null Hypothesis: GBP has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-4.357619	0.0004
Test critical values:	1% level		-3.436127	
	5% level		-2.863979	
	10% level		-2.568120	

7. JPY “non stationnaire”

Null Hypothesis: JPY has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-0.948846	0.7727
Test critical values:	1% level		-3.436132	
	5% level		-2.863981	
	10% level		-2.568121	

8. KWD “non stationnaire”

Null Hypothesis: KWD has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.208170	0.2036
Test critical values:	1% level		-3.436132	
	5% level		-2.863981	
	10% level		-2.568121	

9. LYD “ non stationnaire”

Null Hypothesis: LYD has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-3.556894	0.0068
Test critical values:	1% level		-3.436149	
	5% level		-2.863989	
	10% level		-2.568125	

10. NOK “ non stationnaire”

Null Hypothesis: NOK has a unit root				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.606509	0.0919
Test critical values:	1% level		-3.436127	
	5% level		-2.863979	
	10% level		-2.568120	

11. QAR “ non stationnaire”

Null Hypothesis: QAR has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.096386	0.2463
Test critical values:	1% level		-3.436132	
	5% level		-2.863981	
	10% level		-2.568121	

12. SAD “ non stationnaire

Null Hypothesis: SAD has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 3 (Automatic based on SIC, MAXLAG=21)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.830328	0.0544
Test critical values:	1% level		-3.436143	
	5% level		-2.863986	
	10% level		-2.568124	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				

13. SEK “non stationnaire”

Null Hypothesis: SEK has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.628540	0.4676
Test critical values:	1% level		-3.436154	
	5% level		-2.863991	
	10% level		-2.568126	

14. SHF “ non stationnaire”

Null Hypothesis: SHF has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.739831	0.0677
Test critical values:	1% level		-3.436143	
	5% level		-2.863986	
	10% level		-2.568124	

15. TND “ non stationnaire”:

Null Hypothesis: TND has a unit root				
Lag Length: 14 (Automatic based on SIC, MAXLAG=21)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-1.072720	0.7283
Test critical values:	1% level		-3.436205	
	5% level		-2.864013	
	10% level		-2.568138	

16. USD “ non stationnaire”

Null Hypothesis: USD has a unit root				
Exogenous: Constant				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-2.197627	0.2074
Test critical values:	1% level		-3.436127	
	5% level		-2.863979	
	10% level		-2.568120	

