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

INSEA

Projet de Fin d'Etudes

*****

Gestion du risque de marché

Préparé par : ***Mme Hafsa Ait Sidi B. Hachem***

Sous la direction de : ***M. Khalil Said*** **(INSEA)**
Mme Doha Alaoui mhamedi **(BCP)**

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

Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Actuariat-Finance

Devant le jury composé de :

- ***M. Khalil Said*** (INSEA)
- ***M. Marri Fouad*** (INSEA)
- ***Mme Doha Alaoui mhamedi*** (BCP)

Juin 2024 / PFE N° 1

Dédicace

À mes chères parents

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect ; mon amour et mon attachement à vous et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Puisse ce travail être le fruit de votre dévouement et de vos sacrifices et un témoignage de ma gratitude. Puisse ce travail, être preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à toi ma chère mère pour ta patience, ton grand sacrifice, tes prières et ta confiance en moi. J'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que Dieu vous garde et vous préserve à nous. À l'âme de mon père qui me manque trop, et qui a été et qui restera pour moi un exemple de courage et de sacrifice continu.

À mes chères sœurs (Nouhayla et Salma)

Je vous remercie énormément pour votre encouragement et confiance en moi, Je vous souhaite tout le bonheur du monde et plein de réussite dans votre vie.

À toute la famille EL Moulaoui

Merci de m'avoir soutenu, encouragé et aidé à avancer pour devenir ce que je suis aujourd'hui.

À tous mes amis

(Hasnae, Moufida, Manal, fatima-zahrae, Oumayma, Asmae, Salim…) Je vous remercie pour les moments agréables que j'ai passés avec vous, et pour votre encouragements et soutien moral.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'études.

En premier lieu, je remercie chaleureusement Mme Doha Alaoui Mhamedi, gestionnaire en back office de la salle de marché, pour son soutien indéfectible tout au long de cette période. Votre gentillesse, votre disponibilité à tout moment et votre compréhension ont été des sources de motivation constantes pour moi.

Je suis reconnaissant envers M. Nader Hassan, directeur du back office, pour son accompagnement et son soutien. Votre aide m'a permis de progresser de manière significative dans mon travail.

Je souhaite également remercier M. Alaoui Ismaili Mohammed, trader en dérivés FX, pour son expertise, son accompagnement et sa disponibilité tout au long de mon stage. Vos conseils ont été extrêmement précieux.

Je tiens à remercier Mme Lila Yahya, trader en fixed income, pour ses conseils techniques et son soutien. Votre expertise m'a été d'une grande aide et a enrichi considérablement mon apprentissage.

Je remercie chaleureusement mon professeur et encadrant, M. Khalil Said. Votre soutien, vos conseils avisés et votre expertise dans le domaine ont été inestimables. Votre patience face à mes erreurs a été particulièrement appréciée et m'a grandement aidé à surmonter les défis rencontrés au cours de ce projet.

Enfin, je tiens à remercier tout le corps administratif et les professeurs de mon école, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude et ma reconnaissance.

Résumé et Mots clés

Ce projet de fin d'études se concentre sur la gestion du risque de marché au sein de la salle de marché de la Banque Centrale Populaire. En mettant l'accent sur la gestion du risque de change à travers les options et les "greeks", ainsi que sur la gestion du risque de taux d'intérêt via les obligations utilisant des mesures telles que la duration, la sensibilité et la convexité, cette étude offre un aperçu approfondi des pratiques de gestion des risques financiers.

L'analyse explore les stratégies de pricing et de couverture des options de change, avec une présentation des modèles de pricing tels que le modèle de Black-Scholes et le modèle de Garman Kohlhagen. De plus, elle examine la valorisation et la mesure du risque d'un portefeuille obligataire, en mettant en lumière des méthodes de valorisation et des indicateurs clés de risque.

Des outils de mesure de risque sont développés pour fournir une évaluation exhaustive de la performance du portefeuille, et des stratégies d'optimisation sont envisagées pour améliorer les rendements et réduire les risques. En conclusion, cette étude offre des perspectives précieuses sur les décisions d'investissement et les stratégies de gestion du risque de marché au sein de la Banque Centrale Populaire.

Mots clés

BCP, Risque de marché, Options vanille,Greeks, Garman Kohlhagen,Obligation, Valorisation, Optimisation

Abstract and Key words

This final project focuses on market risk management within the trading room of Banque Centrale Populaire. By emphasizing on managing exchange rate risk through options and "greeks," as well as interest rate risk management via bonds using measures like duration, sensitivity, and convexity, this study provides an in-depth insight into financial risk management practices.

The analysis explores pricing and hedging strategies for currency options, presenting pricing models such as the Black-Scholes model and the Garman Kohlhagen model. Additionally, it examines pricing and risk measurement of a bond portfolio, highlighting pricing methods and key risk indicators.

Risk measurement tools are developed to provide a comprehensive assessment of portfolio performance, and optimization strategies are considered to enhance returns and mitigate risks. In conclusion, this study offers valuable insights into investment decisions and market risk management strategies within Banque Centrale Populaire.

Keywords

BCP, Market risk, Vanilla options, Greeks, Garman Kohlhagen, Bond, Valuation, Optimization

Table des matières

Liste des abréviations

BCP : Banque Centrale Populaire

BP : Banque Populaire

BPR : Banques Populaires Régionales

CPM : Crédit Populaire du Maroc

GBP : Groupe Banque Populaire

SDM : Salle Des Marchés

FO : Front Office

BO : Back Office

MO : Middle Office

PME : Petites et Moyennes Entreprises

PMI : Petites et Moyennes Industrie

BS : Black-Scholes

BAM : Bank Al-Maghrib

TCN : Titres de Créances Négociables

CD : Certificats de Dépôt

BSF : Bons des Sociétés de Financement

FX : Forex (Foreign exchange)

GK : Garman-Kohlhagen

Table des figures

Liste des tableaux

Introduction

Dans un environnement financier en perpétuelle mutation, caractérisé par une expan-sion des activités bancaires et l'introduction croissante de produits financiers complexes, la gestion des risques revêt une importance capitale. La Banque Centrale Populaire, à travers sa salle des marchés, s'adapte à cette évolution en adoptant une approche spécialisée, où chaque acteur se concentre sur un domaine spécifique des produits financiers, permettant ainsi une gestion plus ciblée des risques inhérents à chaque activité.

La volatilité des marchés financiers exige des gestionnaires d'actifs une maîtrise précise des risques auxquels ils sont exposés. Pour relever ce défi, une gamme variée d'outils et de processus de gestion des risques ont été développée, visant à évaluer et à contrôler les niveaux de risque, dans le but ultime d'assurer une gouvernance financière robuste et une performance optimale des fonds investis.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études, où nous nous sommes engagés à répondre aux besoins spécifiques de la Banque Centrale Populaire, en nous concen-trant sur l'amélioration de sa politique de gestion des risques de marché, en particulier le risque de change et le risque de taux d'intérêt.

Pour ce faire, nous débuterons par une exploration approfondie des principaux marchés financiers, allant du marché des changes au marché obligataire, en passant par le marché des taux, afin de saisir les dynamiques et les spécificités propres à chaque marché. Le deuxième chapitre de notre travail sera consacré à la gestion du risque de marché, où nous aborderons le pricing et la couverture des options, une stratégie clé pour gérer le risque de change, où nous explorerons en profondeur les différentes facettes des options vanilles européennes. Nous passerons en revue les mécanismes de payoff, les mé-thodes de pricing, ainsi que les facteurs de sensibilité des options, en mettant l'accent sur l'éla-boration pratique d'un Pricer des options vanilles européennes. Nous aborderons ensuite la définition même du risque de marché ainsi que les différentes méthodes de valorisation et de mesure des risques liés à un portefeuille obligataire. Nous mettrons parti-culièrement l'accent sur l'utilisation combinée de la duration, de la sensibilité et de la convexi-té, des outils essentiels permettant une évaluation et une gestion plus précises du risque de marché associé aux investissements obligataires.

Nous passerons par la suite à l'élaboration d'un Pricer des obligations à taux fixe, détaillant les différentes étapes et fonctions impliquées dans ce processus.

Enfin, le dernier chapitre de notre projet se concentrera sur l'optimisation d'un porte-feuille de risque obligataire, où nous étudierons les différentes stratégies permettant de minimiser les risques et d'optimiser les rendements dans un environnement financier complexe et volatil.

Chapitre 1

Contexte général de l'étude

1.1 Présentation du Groupe Banque Populaire

1.1.1 Crédit Populaire du Maroc

Le Crédit Populaire du Maroc (CPM) est un groupement marocain des banques créé en 1965 à caractère coopératif constitué de la Banque Centrale Populaire (BCP) d'une part et de 11 Banques Populaires Régionales (BPR). Sa mission est de favoriser notamment l'activité et le développement de toute entreprise moyenne ou petite, artisanale, industrielle ou de service par la distribution de crédits, à court, moyen et long terme.

Le CPM contribue à la mobilisation de l'épargne, à son utilisation au niveau des ré-gions où elle est collectée et à la promotion des activités bancaires au niveau régional. Le Cré-dit Populaire du Maroc est placé sous la tutelle d'un Comité Directeur dont les attributions, la composition et le fonctionnement sont fixés par la loi n°12-96.

1.1.2 Banque Centrale Populaire

La BCP est un établissement de crédit, sous forme de société anonyme à Conseil d'Administration. Elle est cotée en bourse depuis le 8 juillet 2004.La BCP, qui assure un rôle central au sein du groupe, est investie de deux missions principales :

— Etablissement de crédit habilité à réaliser toutes les opérations bancaires, sans toutefois disposer de réseau propre.
— Organisme central bancaire des BPR. À ce titre elle coordonne la politique financière du Groupe, assure le refinancement des BPR et la gestion de leurs excédents de trésorerie, ainsi que les services d'intérêt commun pour le compte des organismes du groupe.

Les principaux actionnaires du groupe sont :

TABLE 1.1 – Répartition du capital

Dénomination	Pourcentage détenu
Divers actionnaires	12,36%
CIMR	14,90%
MCMA	8,35%
MAMDA	6,69%
RCAR	5,64%
Salariés du CPM	5,43%
BP Fes – Meknes	4,48%
BP Marakech-Beni Mellal	4,47%
BP Tanger – Tetouan	4,47%
BP Rabat Kénitra	4,46%
BP Nador Al Hoceima	4,46%
BP Centre-Sud	4,46%
BP Oujda	4,46%
Mutuelle Attamine Chaabi	4,34%
BPCE	4,05%
BP Laayoune	3,31%
CMR	2,34%
Wafa Assurance	1,05%
Sanlam Maroc	0,28%
AtlantaSanad	0,01%

1.1.3 Salle des marchés de la BCP

Pour la Banque centrale populaire, la salle des marchés est un lieu stratégique où la plupart des titres ou instruments financiers peuvent être achetés et vendus. Dans la salle, les banques peuvent intervenir pour leur compte ou pour le compte de leurs clients (particuliers ou entreprises). Plus précisément, il y'a trois fonctions principales pour les banques ou les institutions financières en général :

- Il est l'interface entre le marché et les clients particuliers, entreprises ou institutionnels.
- Il gère la liquidité de la banque et participe à son refinancement.
- Réaliser des opérations d'arbitrage et spéculer pour en tirer profit.

La Banque centrale populaire considère toujours son espace comme un centre de profit. D'autre part, les entreprises sont généralement utilisées à des fins de couverture, et non à des fins de spéculation.

Au sein de la salle des marchés de la banque centrale populaire, cohabitent différents métiers : les opérateurs de marché, les « vérificateurs » et les comptables. Ces trois postes sont respectivement appelés « front office », « middle office » et « back office ».

1.1.3.1 Le front-office : l'initiation des opérations

Au cœur de la salle des marchés réside le front-office (FO), considéré comme son pivot central. C'est le lieu où se concentrent les activités de négociation, de gestion de la relation client, ainsi que de prise de décisions et de gestion des risques. Cette zone se caractérise par une segmentation des responsabilités, chaque acteur se spécialisant dans des types de transactions spécifiques. Alors que certains se consacrent à des produits financiers simples, d'autres s'occupent de produits structurés. De plus, les opérateurs peuvent être impliqués dans des transactions à haute fréquence et de grande envergure, tandis que d'autres traitent des transactions personnalisées, complexes et de plus longue durée. Dans cet environnement ouvert et diversifié, l'unité organisationnelle pertinente semble être celle du DESK.

Les DESKS, quant à eux, représentent des ensembles semi-autonomes qui forment le tissu de la salle des marchés. Contrairement à une approche individuelle, les opérateurs évoluent au sein de ces équipes semi-autonomes, regroupés selon les types de produits qu'ils traitent. La configuration organisationnelle de la salle des marchés de la BP reflète cette dynamique, étant divisée en quatre DESKS semi-autonomes.

- **DESK commercial : Plateforme Commerciale**

  L'activité commerciale agit comme le pont entre les marchés financiers et la clientèle de la banque (particuliers, PME, PMI et investisseurs institutionnels). L'organisation en plateau, sans cloisonnement, favorise ainsi un accès direct, fluide et rapide du client au segment de marché correspondant à son besoin exprimé par un ordre.

  Dans ce contexte, le DESK est constitué d'agents (sales) qui endossent le rôle de commerciaux au sein de la salle des marchés. Ils jouent le rôle d'intermédiaires entre les marchés et les clients, en entretenant des relations directes avec ces derniers et en leur fournissant des conseils sur les produits, les positions à prendre et les stratégies à adopter. Leur principale responsabilité réside dans la consultation : ils doivent avoir une connaissance approfondie de leurs clients et de leurs besoins afin de définir avec précision une stratégie optimale. De plus, ils assurent un suivi continu des positions de leurs clients auprès de la banque, tout en veillant à protéger les intérêts de ces derniers dans le cadre de la banque des marchés, bien que leur objectif ultime soit de générer des contrats pour la banque.

  Chaque commercial est assigné à un portefeuille de clients, une répartition qui peut être flexible et dépendre de plusieurs facteurs tels que les relations entre le vendeur et les clients, la spécialisation de chaque vendeur, leur niveau d'expertise technique, le volume et le degré de personnalisation du service requis par les clients, ainsi que le secteur d'activité. Les commerciaux ne prennent pas de positions et sont rémunérés par des commissions. Ils font appel aux traders pour obtenir des cotations correspondant aux opérations qu'ils souhaitent proposer à leurs clients.

- **DESK obligataire : Activité Taux et dérivés de taux**

  En qualité de market maker, un intervenant très actif sur le marché obligataire et ayant joué un rôle clé en tant que chef de file ou membre du syndicat de placement lors des principales émissions traitées sur le marché national, le DESK obligataire met son expertise en matière de gestion des risques de taux à la disposition des clients de la banque.

  Les agents de ce Desk sont spécialisés dans les transactions impliquant des revenus préfixés

(Fixed Incomes). Ils effectuent des échanges d'obligations d'État marocaines ou étrangères, de bons du Trésor et d'autres titres à revenus préfixés au nom de la banque et de ses clients. Leur intervention s'étend aussi bien sur les marchés locaux que sur les marchés internationaux.

Cette activité les positionne comme des acteurs clés des marchés des taux d'intérêt et des produits dérivés de taux. Ils possèdent une expertise avancée dans la gestion des risques liés aux taux d'intérêt et sont des observateurs avertis des tendances micro et macroéconomiques à moyen et long terme.

- **DESK change : Activité de change, dérivés de change et matières premières**

  Ce DESK englobe les activités de trading, de gestion de positions de change et de prise de positions pour compte propre. Les opérateurs de ce Desk, communément appelés traders ou cambistes, ont pour responsabilité d'effectuer des transactions pour le compte de la banque, pour son compte et de sa clientèle sur les marchés des changes, qu'ils soient nationaux ou internationaux, ainsi que sur les marchés des produits dérivés.

  Les cambistes sont donc des experts qui assurent à ce niveau le conseil, la compétitivité des cotations, pour une meilleure optimisation de l'exposition des actifs de la banque au risque de change, dans un marché rythmé par une grande volatilité. Ils sont les premiers à décider de l'opportunité d'engager les fonds de la banque en vue de profiter d'opportunités de gain sur les marchés. Ce sont des spéculateurs par excellence.

  Cependant, leur rôle principal est souvent celui d'arbitrage. Lorsqu'ils proposent des cotations à la clientèle, ils composent des portefeuilles de valeurs préétablies qui répondent aux besoins exprimés. Comme pour les autres domaines d'activité, ce métier exige de nombreuses compétences, une connaissance approfondie des dynamiques du marché ainsi que des compétences techniques solides.

- **DESK trésorerie : Activité monétaire**

  Le DESK trésorerie gère les fonds de trésorerie du groupe Banque Populaire, centralisant tous les flux monétaires de la banque pour une redistribution efficace des liquidités du réseau et de ses filiales. Il investit les excédents sur les marchés monétaires à très court terme et, si nécessaire, refinancera les activités des autres DESKS et des différentes entités du groupe sur ces mêmes marchés. Ainsi, il assure à la fois le rôle de garant de la liquidité de la banque dans ses engagements et de générateur de surplus de rentabilité, tant en Dirham qu'en devises.

  En capitalisant sur son positionnement en tant que cost-leader, le DESK trésorerie agit en tant qu'interface entre le marché financier et les divers acteurs économiques locaux. Cette position lui permet d'utiliser les ressources les moins onéreuses et de maximiser les rendements des placements.

  Pour le compte propre de la banque et celui de sa clientèle, le DESK trésorerie intervient sur divers marchés en utilisant des instruments de couverture tels que les prêts interbancaires, les opérations de Repo, les FRA, les swaps, etc.

1.1.3.2 Le Middle-Office : Le contrôle de la conformité des opérations initiées

Le Middle Office (MO) assume la responsabilité du suivi des risques et des résultats issus des activités du Front Office (FO), jouant un rôle crucial dans le contrôle. En ce qui concerne le suivi des résultats du FO, le MO compare les résultats bruts des transactions avec les résultats comptables générés par les systèmes d'information. Cela signifie qu'il surveille les opérations du FO avant leur comptabilisation définitive, afin de prévenir les erreurs de saisie et de paiement par le Back Office (BO).

Le MO est également chargé de surveiller les risques (contrepartie, taux, change, liquidité, etc.). Son importance est évidente car il assure la liaison entre le FO et les autres fonctions de surveillance (BO, audit, contrôle interne). Le MO établit des procédures de fonctionnement strictes et veille à leur respect, étant donné que les risques associés aux opérations du FO sont significatifs et impliquent des montants élevés échangés à grande vitesse.

En outre, le MO veille à la conformité des actions du FO avec la réglementation (externe et applicable à l'ensemble du secteur ou du produit concerné) ainsi qu'avec les bonnes pratiques internes à la banque. Il s'assure que les limites de risque imposées au FO ne sont pas dépassées et vérifie la qualité des dossiers, notamment la qualité de crédit des contreparties.

1.1.3.3 Le Back-Office : comptabilisation des opérations initiées

Le Back Office (BO) est un département administratif qui gère les paiements découlant des activités du Front Office (FO), qu'il s'agisse des paiements vers les clients ou les contreparties interbancaires, ainsi que la réception des fonds. Il assure également la comptabilisation des opérations, la détermination des positions et exerce, dans une certaine mesure, une fonction de contrôle et de confrontation avec les contreparties. Sa contribution est donc également cruciale dans le fonctionnement de la salle des marchés.

Le Back Office (BO) de la BCP, où se déroulera mon stage, est subdivisé en trois équipes distinctes, chacune ayant des responsabilités spécifiques. La première équipe est chargée des transactions en devise, gérant ainsi tous les aspects liés aux opérations de change. Une autre équipe est dédiée à la gestion des transactions en Dirham, prenant en charge les opérations impliquant la monnaie locale. Enfin, une troisième équipe est responsable des produits dérivés, traitant toutes les opérations liées à ces instruments financiers complexes. Ces trois équipes contribuent de manière cruciale au bon fonctionnement du Back Office en assurant le traitement efficace et précis des opérations dans leurs domaines respectifs.

Le système back office comptabilise les opérations et dans bon nombre d'établissements il détermine les différentes positions (change et trésorerie) et résultats.

Il a pour mission de matérialiser les opérations négociées par le trader :

- **Vis-à-vis des contreparties :**

  — Emission des confirmations : les opérations de change sont confirmées par des Messages

SWIFT MT300

— Rapprochement des confirmations : étant donné des volumes considérables d'opérations négociées, le back-office est doté de systèmes de rapprochement automatiques entre les confirmations émises et les confirmations reçues. Cela permet de détecter les erreurs ou les incompréhensions avant de déclencher les paiements.

— Emission des paiements : génération d'un ordre de paiement (MT202) (codification du système Swift) pour le correspondant dans la devise payée, d'un préavis d'entrée de fonds (MT210) pour le correspondant dans la devise reçue. Si la contrepartie est interne (client deal entre deux desks), les paiements se font via la comptabilité (débit/ crédit en compte).

- **Vis-à-vis de l'établissement :**

Enregistrement comptable des opérations :

— Les deals de change sont enregistrés en hors bilan (comptabilité d'engagement) pendant la période qui sépare la date de négociation de la date de valeur, puis à la date de valeur atteinte, la comptabilité de hors bilan est extourne et les opérations sont enregistrées au bilan de la banque.

— D'autre part les opérations de change alimentent les comptes qui ne sont pas libellés dans la devise de tenue du bilan de la banque. Les positions détenues alimentent des comptes de position de change, dont la réévaluation quotidienne enregistre le risque de change encouru par la banque.

Un bon back office est très important pour le fonctionnement d'une salle des marchés. Il n'y a pour s'en convaincre, qu'à imaginer les conséquences d'une erreur de paiement sur un montant important.

1.2 Principaux marchés financiers

1.3 Marché des changes

Le marché des changes, également connu sous le nom de marché FX, constitue un vaste réseau mondial décentralisé où les devises sont échangées de gré à gré. Il est responsable de l'établissement des taux de change pour chaque devise et facilite toutes les transactions de change, qu'elles soient actuelles ou futures, avec un volume d'échanges estimé à 6 000 milliards de dollars par jour, ce qui en fait le marché financier le plus important au monde.

Qualifié souvent d'abstrait, le marché des changes est le lieu où s'effectuent les échanges de devises internationales. Actif 24 heures sur 24, du lundi au vendredi, ce marché opère principalement dans trois zones géographiques : l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Extrême-Orient. La City de Londres domine largement le marché à l'échelle internationale, mais d'autres centres majeurs comprennent les États-Unis, le Japon, Singapour, la Suisse, Hong Kong, l'Allemagne, la France et l'Australie.

Au Maroc, l'ouverture du marché des changes a débuté le 3 juin 1996, offrant aux divers acteurs économiques une certaine marge de liberté réglementée par les autorités monétaires, à savoir Bank Al-Maghrib (BAM) et l'Office des Changes.

1.3.1 Types d'opérations sur le marché des changes

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

- **Le change au comptant ou spot :**

  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). Il s'agit alors d'une négociation dont la date est appelée « Trade Date ». La livraison ne se fera qu'après deux jours ouvrés (j+2). Cette date est appelée « Spot ».

  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.
- **Le change à terme ou forward :**

  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).
- **Les produits dérivés de change : Swaps, futures, options**

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

Au Maroc, c'est à partir de Juin 2004 que le marché des options de change est fonctionnel sous l'autorisation de BAM et de l'office des changes selon une circulaire stipulant que toutes les opérations doivent être adossées à des opérations commerciales ou financières. Les swaps, les options, les futures, sont des exemples de produits dérivés.

Swaps : Les swaps sont des contrats d'échange de flux. Ils sont de plusieurs types :

— Les swaps de taux qui sont des échanges portant sur des emprunts, avec échange du principal, échange de taux d'intérêt fixes contre des taux d'intérêt variables et échange du remboursement.
— Les swaps de change et de devises qui sont des contrats d'échange de devises.
— Le swap de change sous sa forme la plus simple est une transaction financière dans laquelle deux parties s'engagent à échanger des devises aujourd'hui, par exemple des euros contre des dollars au cours de change au comptant, et à échanger les mêmes devises à l'échéance du contrat (3 mois, 1 an, etc.) au cours de change à terme ou à un autre cours convenu à l'avance.

Futures : Les futures sur devises sont des contrats à terme par lesquels les opérateurs s'engagent à acheter ou à vendre une certaine quantité de devises, à un cours et à une date fixée à l'avance. La définition est identique à celle des contrats de change à terme (forwards), à la différence près que ces derniers sont négociés sur un marché de gré à gré alors que les contrats de futures sont négociés sur un marché organisé, localisé à un endroit bien précis sous la supervision d'une autorité de tutelle. Les contrats de futures sont des contrats à terme standardisés alors que les contrats de forwards sont des contrats à terme non standardisés.

Options : Une option est un titre qui donne le droit à son porteur, et non l'obligation, d'acheter (option d'achat, call option) ou de vendre (option de vente, put option) une quantité déterminée de devises à un prix convenu à l'avance, dit prix d'exercice (strike price), et à une date convenue à l'avance, moyennant le paiement d'une prime (premium).

Contrairement au cas de l'achat ou de la vente d'un contrat de futures dont le prix se limite aux frais de transaction, l'achat d'une option se traduit, en dehors des frais de transaction, par un coût (la prime) plus ou moins conséquent. Ce coût supplémentaire d'une option par rapport à un contrat à terme est la contrepartie de l'avantage d'une option, en l'occurrence le caractère conditionnel et non obligatoire de l'opération sous-jacente. En revanche, le vendeur d'une option touche la prime, mais a l'obligation de vendre ou d'acheter les devises sous-jacentes si l'acheteur exerce son droit.

On distingue les options :

— D'achat (call), qui donnent le droit mais non l'obligation d'acheter l'actif sous-jacent à l'échéance.

— De vente (put), qui donnent le droit mais non l'obligation de vendre l'actif sous-jacent à l'échéance.
— Négociables, que l'on retrouve sur les marchés organisés (elles sont standardisées en termes de montant, de date et de prix d'exercice).
— Non négociables, que l'on retrouve sur les marchés de gré à gré (elles sont très souples en termes de montant, de date et de prix d'exercice).
— Européennes, que l'on peut exercer uniquement le jour de l'échéance (la plupart des options de change sur les marchés de gré à gré).
— Américaines, que l'on peut exercer à tout moment jusqu'à l'échéance (la plupart des options négociables).

1.3.2 Les intervenants sur le marché des changes au Maroc

La clientèle privée, composée d'entreprises impliquées dans l'import-export et d'investisseurs opérant sur le marché des capitaux.

Les banques commerciales, qui peuvent intervenir pour leur propre compte ou agir en tant qu'intermédiaires entre la clientèle privée et le marché des changes.

La Banque Al-Maghrib (BAM) continue de jouer un rôle important en régulant le marché dans le cadre de sa politique monétaire. Cependant, son rôle dans la fixation des cours de change est moins prépondérant dans un régime de change flottant. En principe, les taux de change sont déterminés par le libre jeu de l'offre et de la demande.

Les courtiers jouent également un rôle crucial en tant que facilitateurs et intermédiaires. Ils fournissent des informations sur les taux auxquels ils sont disposés à acheter ou à vendre différentes devises.

1.4 Marché des taux

Les marchés des taux d'intérêt se positionnent en tête des marchés de capitaux à l'échelle mondiale, surpassant de loin le marché des changes et largement devant le marché des actions, tant en termes de volume de transactions que d'importance économique.

1.4.1 Définition du taux d'intérêt

Un taux d'intérêt représente la somme que le prêteur impose à l'emprunteur pour tout montant emprunté, exprimé généralement en pourcentage du montant initial. Cette somme peut être appliquée à divers types de dettes, qu'il s'agisse d'argent liquide, de biens de valeur tels que des voitures, ou même de biens de consommation courante. Les taux d'intérêt sont proportionnels au niveau de risque associé à l'emprunteur, et servent de compensation pour l'utilisation de l'actif prêté, qui aurait pu être investi ailleurs dans le cas d'un prêt d'argent, ou générer des revenus s'il avait été utilisé par le prêteur dans le cas d'un prêt d'actif. Ainsi, ces taux d'intérêt sont instaurés en guise de réparation pour les opportunités manquées.

Le taux d'intérêt annuel représente le pourcentage appliqué sur une année entière. Bien que les taux d'intérêt puissent être calculés pour différentes périodes, comme mensuellement, trimestriellement ou semestriellement, ils sont généralement annualisés dans la plupart des cas. Ce taux peut aussi désigner la rémunération que la banque verse à ses clients pour les fonds déposés auprès d'elle.

Cette notion englobe une diversité de taux qu'il est essentiel de clarifier.

1.4.2 Classification de taux d'intérêt

Les différents taux d'intérêt peuvent être classés selon :

1.4.2.1 La durée

Le taux d'intérêt est étroitement lié à la durée, ou la maturité, du prêt ou de l'emprunt. Prêter ou emprunter sur une période de 10 ans diffère considérablement de le faire sur 8 mois. Cette différence de temporalité induit une variation de rémunération pour un prêt ou de coût pour un emprunt, et donc des taux différents. On distingue ainsi :

- **Les taux courts :**

  Reflètent la rémunération de l'argent sur de courtes périodes (de 1 jour à 1 an). Ces taux sont influencés par la politique monétaire, où la banque centrale ajuste quotidiennement un taux directeur pour atteindre ses objectifs tels que le contrôle de l'inflation et la stimulation de la croissance économique. Les taux à court terme, jusqu'à un an, résultent de l'interaction entre l'offre et la demande sans intervention de la banque centrale.
- **Les taux longs :**

  Représentant la rémunération de l'argent sur des périodes plus longues (plus d'un an), comprennent les taux à moyen terme (1 à 5 ans) et les taux à long terme (plus de 5 ans). Ces taux sont principalement influencés par l'équilibre entre l'offre et la demande. Alors que les taux courts dépendent des politiques monétaires, les taux longs réagissent à la santé économique et aux anticipations inflationnistes. Généralement, les taux longs sont plus élevés pour des échéances plus lointaines, pour compenser le risque de perte de valeur du capital sur la durée.

1.4.2.2 La flexibilité

- **Les taux fixes :**

  Ils sont établis dès la conclusion du contrat et restent constants pendant toute sa durée. Ils offrent une sécurité à l'emprunteur en lui permettant de connaître à l'avance le montant des intérêts mensuels et donc le coût total du crédit, indépendamment des fluctuations du marché. Cependant, l'emprunteur ne bénéficie pas des baisses de taux éventuelles et risque de payer un taux plus élevé que celui du marché. Les taux fixes sont généralement recommandés pour des prêts à long terme (plus de 15 ans), car il est difficile de prédire les fluctuations à long terme des taux.

- **Les taux révisables (ou prédéterminés) :**

Ils peuvent varier en fonction des conditions du marché ou des modalités du contrat de prêt ou d'émission. Ils sont généralement révisés annuellement à la date anniversaire du prêt.

- **Les taux variables (ou post-déterminés) :**

  Ils ne sont déterminés que peu de temps avant leur application. Par exemple, dans le cas des emprunts obligataires, le taux variable n'est connu que quelques semaines avant la perception du coupon correspondant.

1.4.3 Différents types du taux d'intérêt

Il existe plusieurs types de taux d'intérêt dont on peut citer principalement :

- **Taux d'intérêt nominal et réel** :

  Le taux d'intérêt nominal représente l'accord conclu entre l'émetteur et le souscripteur d'un prêt, définissant le montant des intérêts à payer, sans considérer la dévaluation monétaire causée par l'inflation.

  En revanche, le taux d'intérêt réel d'un prêt prend en compte l'inflation observée pendant la période où les intérêts sont calculés. Ainsi, si l'on note π comme le taux d'inflation, R le taux d'intérêt nominal et r le taux d'intérêt réel, la relation $1+r=\frac{1+R}{1+\pi}$ est établie, bien que pour des taux peu élevés, il soit courant d'approximer cette relation par $\pi \approx R-r$ (relation de Fisher).

  Le taux d'intérêt réel peut être négatif lorsque le taux d'inflation dépasse le taux d'intérêt nominal.

- **Taux de rendement actuariel :**

  Le taux de rendement actuariel est le taux d'actualisation qui aligne la valeur actuelle des flux de trésorerie générés par un titre à revenu fixe, comme une obligation, sur son prix du marché. En d'autres termes, pour un titre à revenu fixe donné, le taux de rendement actuariel résout l'équation : $P=\sum_{i=1}^{n}\frac{CF_i}{(1+a)^i}$.

  Avec :
  — P : Le prix du titre
  — CF_i : Le flux reçu en i
  — n : La maturité du titre

- **Taux zéro coupon ou taux spot :**

  Le taux zéro coupon désigne le taux de rendement actuariel d'un instrument financier qui ne prévoit aucun paiement périodique de coupon jusqu'à la maturité. Il représente un taux d'intérêt où seul un paiement d'intérêt unique survient à l'échéance, correspondant au remboursement final du nominal augmenté des intérêts accumulés.

- **Taux forward (FRA) :**

Un FRA ou contrat forward sur les taux d'intérêt est un accord établi à un moment donné t, portant sur l'achat à une date future $T_1 > t$ d'une obligation zéro-coupon de maturité $T_2 > T_1$. Pour déterminer le taux de rendement appliqué à cet investissement futur aujourd'hui, il est nécessaire d'acquérir un zéro-coupon arrivant à échéance à T_2 et de vendre un zéro-coupon de maturité T_1. Par un simple argument de non-arbitrage, le prix du contrat forward est :

$$P(T_1, T_2) = \frac{P(t, T_2)}{P(t, T_1)}$$

Avec $P(t, T)$ qui est le prix du zéro-coupon de maturité T à l'instant t. Ainsi, le taux d'intérêt forward à l'instant t, $f(t, T_1, T_2)$, vérifie :

$$\frac{P(t, T_2)}{P(t, T_1)} = e^{-f(t,T_1,T_2)\times(T_2-T_1)}$$

En d'autres termes, il est donné par :

$$f(t, T_1, T_2) = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{P(t, T_2)}{P(t, T_1)}\right)$$

- **Taux interbancaire :**

Les taux d'emprunt interbancaires correspondent aux taux appliqués lors de prêts à court terme entre les institutions bancaires, exercant ainsi une forte influence sur les taux de crédit proposés par ces dernières. Parmi les références du marché monétaire européen, on trouve principalement l'EURIBOR et l'EONIA.

— L'EURIBOR (Euro Inter-bank Offered Rate) représente la moyenne des taux proposés sur le marché bancaire européen par un groupe sélectionné de grandes banques, avec des échéances s'étalant de 1 semaine à 12 mois.
— Quant à l'EONIA (Euro Over Night Index Average), il désigne le taux de référence quotidien calculé comme la moyenne des taux proposés par une quarantaine de banques européennes, à une échéance d'un jour.

Au Maroc, le TMP (Taux Moyen Pondéré) constitue le taux de référence quotidien du marché monétaire, établi comme une moyenne pondérée des taux pratiqués dans les transactions déclarées, par un échantillon représentatif d'institutions participant au marché interbancaire. Ce taux est calculé et diffusé par la Banque Centrale (Bank Al Maghrib).

Les marchés de taux d'intérêt sont séparés en marché monétaire pour le court terme et marché obligataire pour le moyen et long terme.

- **Taux directeur :**

Ce taux est fixé par la banque centrale pour réguler le refinancement des banques commerciales. Il correspond au taux auquel la banque centrale prête aux banques commerciales afin de leur fournir des liquidités.

1.4.4 La Courbe de taux

1.4.4.1 Définition

La courbe de taux, également connue sous le nom de structure par terme des taux d'intérêt ou gamme des taux, est une représentation graphique des valeurs des taux d'intérêt en fonction de leurs échéances. Les taux d'intérêt sont généralement représentés sur l'axe des ordonnées, tandis que les échéances sont indiquées sur l'axe des abscisses.

Il existe plusieurs types de courbes de taux, notamment les courbes de marché et les courbes implicites. Les courbes de marché sont directement construites à partir des cotations observées sur le marché financier, telles que la courbe des swaps ou la courbe de rendement des obligations d'État. En revanche, les courbes implicites sont déduites indirectement à partir de ces cotations, souvent après une transformation mathématique, comme la courbe des taux zéro-coupon ou la courbe des taux forward.

Nous nous concentrons ici sur la courbe des taux zéro-coupon, qui représente la fonction indiquant, pour chaque échéance, le taux zéro-coupon correspondant.

1.4.4.2 Forme de la courbe de taux

La courbe de taux peut prendre cinq formes différentes en fonction des événements du marché : Plate, Croissante, Décroissante, Décroissante puis croissante, Croissante puis décroissante. Mais il est couramment une courbe croissante.

La section de la courbe associée aux courtes et moyennes échéances (moins de 10 ans) présente généralement une forme concave et croissante. Cette tendance s'explique par la préférence des investisseurs pour la liquidité et les instruments à court terme. Ainsi, les taux à court terme sont souvent plus bas que les taux à long terme. Une courbe de taux décroissante dans la tranche des 0 à 10 ans est relativement rare, se produisant principalement dans deux scénarios :

- Lorsque la politique monétaire est restrictive, par exemple, si la banque centrale agit pour contrôler l'inflation.
- Lorsque le marché anticipe une récession future, ce qui conduit à une baisse des taux à court terme.

Quant à la partie de la courbe correspondant aux échéances plus longues (entre 10 et 50 ans), elle tend à être assez plate, voire légèrement descendante.

1.4.4.3 Caractéristiques de la courbe de taux

La tendance de retour à la moyenne : Les taux bas ont tendance à être suivis par des hausses plutôt que des baisses, tandis que les taux élevés sont suivis par des baisses.

La corrélation imparfaite des taux : Il existe une faible corrélation entre les taux à court terme et les taux à long terme.

Les déterminants de la forme de la courbe de taux : Trois facteurs expliquent plus de 95% des variations de la courbe de taux.

- Le facteur niveau : Il entraîne des variations parallèles de la courbe de taux.

— Le facteur de pente : Il induit des mouvements d'aplatissement ou d'inclinaison de la courbe de taux.
— Le facteur de courbure : Il provoque des changements dans la concavité de la courbe de taux.

1.4.5 Le marché monétaire

Le marché monétaire constitue un marché financier où des titres à court terme sont échangés contre de la liquidité. Accessible uniquement aux institutions financières et aux entreprises, il leur permet de prêter ou d'emprunter des fonds pour des périodes très brèves.

Ce marché se structure principalement en deux volets : le marché interbancaire, réservé aux banques, et le marché des titres de créances, destiné aux investisseurs :

— Le marché interbancaire facilite les prêts et les emprunts de liquidités à très court terme entre banques, souvent sans la création de titres en contrepartie (emprunt à blanc). Les transactions les plus courantes ont une durée d'un jour. Les prêts et emprunts sécurisés par des titres sont connus sous le nom de pensions. Ces opérations impliquent un échange simultané de titres contre une somme d'argent, avec un engagement des deux parties à inverser la transaction à une date ultérieure.
— Le marché des titres de créances négociables (TCN) est un espace où les établissements de crédit empruntent en émettant des Certificats de Dépôt (CD) ou des Bons des Sociétés de Financement (BSF), tandis que les entreprises émettent des Billets de Trésorerie. Ces instruments ont des échéances de courte ou moyenne durée.

1.4.6 Le marché obligataire

Le marché obligataire représente un marché financier où les entreprises peuvent obtenir des liquidités en émettant des titres de dette, communément appelés obligations. C'est là que ces obligations sont émises, vendues et acquises. Une obligation constitue une fraction d'un prêt, octroyant à son détenteur le droit de percevoir des intérêts. À l'échéance de l'obligation, le prêteur récupère son capital initial.

L'achat d'obligations est un moyen pour les investisseurs particuliers de devenir créanciers de grandes entreprises nationales ou de l'État, ce qui en fait un instrument de placement.

Les obligations cotées sont négociées sur le marché boursier, tandis que les obligations non cotées sont échangées directement entre les parties par l'intermédiaire d'acteurs financiers.

Quant aux obligations d'État ou aux bons du Trésor, elles ne sont pas cotées en bourse et leur acquisition se fait par l'entremise d'intermédiaires financiers spécialisés, appelés intermédiaires en valeurs du Trésor (IVT).

1.4.6.1 Caractéristiques d'une obligation

Les obligations sont caractérisées par :

— **Le nominal ou principal :** désigne le montant initial emprunté par l'émetteur de l'obligation, sur la base duquel les paiements périodiques, appelés coupons, sont calculés.
— **Le prix d'émission :** correspond au prix auquel l'obligation est émise sur le marché. Il peut différer du nominal. Si le prix d'émission est supérieur au nominal, l'obligation est dite "au-dessus du pair", et si le prix est inférieur, elle est "en-dessous du pair". Si les deux valeurs sont identiques, l'obligation est dite émise "au pair".
— **Le prix du remboursement :** représente le montant que l'investisseur reçoit lors du remboursement de l'obligation à sa maturité. La différence entre ce prix et le nominal est appelée "prime de remboursement".
— **Le coupon :** est le versement périodique d'intérêts au détenteur de l'obligation.
— **L'échéance ou la maturité :** est la date à laquelle le contrat prend fin. Si le paiement du capital se fait à cette date, on parle de mode de paiement "in fine".
— **La date de jouissance :** est la date à partir de laquelle les intérêts commencent à être accumulés. Cette date peut différer de la date d'émission ou de règlement.
— **Le coupon couru :** représente la partie des intérêts accumulés depuis le dernier paiement de coupon jusqu'à la date de négociation de l'obligation. Il est généralement exprimé en pourcentage de la valeur nominale de l'obligation. Lors de la vente de l'obligation, le vendeur a droit à cette fraction du coupon qui s'est accumulée pendant qu'il détenait toujours l'obligation. Par conséquent, l'acheteur de l'obligation doit verser au vendeur le montant du coupon couru en plus du prix d'achat du titre. Lorsque le prochain paiement de coupon survient, l'acheteur reçoit l'intégralité du coupon et peut ainsi récupérer la partie des intérêts payés au vendeur lors de la transaction précédente. Celui-ci est calculé en utilisant la formule :

$$\text{Coupon couru} = \frac{t_f \times D \times N}{365}$$

Avec :

— N : Le nominale ou le principal de l'obligation
— t_f : Le taux facial
— D : Durée entre la date de payement du dernier coupon et la date de valorisation

— **Clean price :** Ce prix ne prend pas en compte les intérêts courus.
— **Dirty price :** Ce prix intègre les intérêts courus et intervient lors du règlement. Lors d'une transaction, l'acheteur acquitte le montant total des titres, incluant les intérêts accumulés jusqu'à la date de règlement.

1.4.6.2 Méthodes de remboursement des obligations

Les obligations peuvent être remboursées selon différentes modalités définies dans le contrat d'émission et la note d'information, telles que définies par l'AMMC :

- **Remboursement en totalité à l'échéance (in fine) :** Dans ce cas, seul le paiement des intérêts est effectué jusqu'à la dernière échéance, à laquelle s'ajoute le remboursement total du capital.
- **Remboursement constant du capital :** Les intérêts sont calculés sur une base décroissante à mesure que le capital est amorti, ce qui conduit à une diminution progressive des annuités.

- **Remboursement progressif du capital (par annuités constantes) :** Dans ce cas, la part du capital remboursée augmente de manière géométrique tandis que la part des intérêts diminue progressivement au fil du temps.

1.4.6.3 Les principaux types d'obligations

Les caractéristiques citées précédemment permettent de catégoriser les obligations en plusieurs types :

- **Catégorisation par nature :**

  Obligation subordonnée : Ce type d'obligation est remboursé en dernier lieu en cas de liquidation de la société, après que tous les créanciers privilégiés et les détenteurs d'obligations ordinaires ont été remboursés.

  Obligation convertible en actions (OCA) : Le détenteur a la possibilité, mais pas l'obligation, de convertir ses créances en actions.

  Obligation remboursable en actions (ORA) : À son échéance, elle est remboursée obligatoirement ou facultativement en actions de la société émettrice.

  Obligation zéro-coupon : Cette obligation ne verse pas d'intérêt pendant sa durée de vie et est remboursée en totalité à l'échéance.

- **Catégorisation par taux :**

  Obligation à taux fixe : Le taux d'intérêt utilisé pour calculer les coupons reste constant tout au long de la durée de l'emprunt.

  Obligation à taux flottant : La rémunération de cette obligation varie en fonction des conditions du marché. Les coupons ne sont pas fixes au moment de l'émission mais sont indexés sur un taux de référence. Le taux flottant peut être variable ou révisable. Dans le cas des obligations à taux révisable, le montant du coupon est fixé au début de chaque période d'échéance, tandis que pour les obligations à taux variable, il est déterminé la veille de la date d'échéance. Au Maroc, les obligations désignées comme à taux variable sont en réalité des obligations à taux révisable dans le langage financier.

Conclusion

En résumé, ce chapitre a présenté une vue d'ensemble du Groupe Banque Populaire ainsi que des principaux marchés financiers. Nous avons examiné les opérations et les acteurs clés sur le marché des changes, ainsi que les différentes composantes du marché des taux, y compris le marché monétaire et le marché obligataire. Nous avons également examiné la Courbe de taux, définissant sa structure, ses caractéristiques et les facteurs influençant sa forme. Pour le prochain chapitre, nous plongerons dans une analyse approfondie du risque de marché, en mettant l'accent sur les obligations à taux fixe et les options vanilles.

Chapitre 2

Gestion du risque de marché

Selon JP Morgan, le risque est défini comme une exposition à l'incertain. En général, il fait référence à un danger spécifique, lié à la possibilité d'un événement ou d'une série d'événements clairement identifiables, dont l'occurrence reste incertaine mais probable dans certaines circonstances.

Les risques financiers englobent les divers dangers associés aux activités bancaires et financières dans leur ensemble, pouvant potentiellement affecter tous les acteurs économiques. Ces risques financiers comprennent un large éventail de domaines tels que le risque de change, le risque de taux ou le risque de liquidité.

En conséquence, les banques et les institutions financières jouent un rôle crucial dans la gestion et la mitigation de ces risques financiers.

2.1 Définition du risque de marché

Le risque de marché se réfère à la possibilité de subir des pertes en raison des fluctuations des prix des instruments financiers composant un portefeuille d'actifs ou, éventuellement, un passif. Les divers facteurs de risque liés au marché incluent les taux d'intérêt, les cours de change, les cours des actions et les prix des matières premières, dont les variations contribuent à générer ce risque. Ce dernier englobe plusieurs dimensions :

— *Le risque lié aux taux d'intérêt :* il découle de la détention de titres de créance ou d'autres instruments liés aux taux d'intérêt, ainsi que des positions prises sur ces titres ou instruments. Les taux d'intérêt représentent le principal facteur de risque examiné dans cette étude.

— *Le risque associé aux positions sur titres de propriété :* il est lié à la détention de titres de propriété ou à la prise de positions sur ces titres et instruments.

— *Le risque de change :* il concerne les positions impliquant la détention de devises.

— *Le risque lié aux produits de base :* il découle de la détention ou de la prise de positions sur les produits de base et les métaux précieux, à l'exception de l'Or.

— *Le risque associé aux options :* il est lié à la détention d'options liées à chacune des catégories de risques mentionnées précédemment.

Dans le cadre de cette étude, nous allons nous concentrer spécifiquement sur le risque associé aux obligations à taux fixe ainsi que sur le risque lié aux options vanilles. Les obligations à taux fixes sont des instruments financiers sensibles aux fluctuations des taux d'intérêt, ce qui peut avoir un impact significatif sur leur valeur sur le marché.

Nous examinerons en détail comment ces variations des taux d'intérêt peuvent influencer le risque associé à la détention et au trading d'obligations à taux fixes. En outre, nous explorerons également le risque associé aux options vanilles, qui sont des instruments dérivés couramment utilisés pour gérer le risque de marché.

On examinera les mécanismes de valorisation et de couverture, nous chercherons à élaborer des stratégies efficaces pour gérer ces risques de manière proactive et réduire leur impact sur le portefeuille d'actifs.

2.2 Pricing et couverture des options de change

Le marché des changes, communément appelé Forex, brille de par sa réputation de liquidité inégalée, mais également par son caractère volatile. Cette volatilité intense crée un environnement propice aux opportunités, mais aussi aux risques pour les institutions qui opèrent dans ce domaine. Ainsi, pour se prémunir contre les fluctuations monétaires, qu'elles soient à la hausse ou à la baisse, ces institutions ont recours à divers outils de couverture, parmi lesquels les options de change se distinguent comme des solutions particulièrement lucratives.

Au Maroc, l'émergence relativement récente des options de change, en 2005, a marqué un tournant significatif dans le paysage financier local, suscitant un engouement tant de la part des banques proposant ces services que des investisseurs en quête de protection et d'opportunités sur ce marché en plein essor. Dans ce contexte dynamique, les transactions à terme se fondent essentiellement sur des produits standardisés, appelés produits vanilles, offrant ainsi une base solide pour les opérations dans ce secteur en évolution constante.

Dans ce qui suit, on se concentrera sur deux aspects cruciaux du marché des changes : le pricing des options de change, en mettant particulièrement l'accent sur les options vanilles, ainsi que les facteurs de sensibilité de ces options.

2.2.1 Payoff des options vanilles

Les options vanilles, également connues sous le nom d'options classiques, représentent les formes les plus basiques et standardisées d'options. Elles jouissent d'une grande popularité et d'une liquidité élevée, les rendant ainsi très courantes sur le marché. En pratique, les options vanilles se divisent en deux catégories : les options européennes et les options américaines.

Comme déjà précisé :

— Une option européenne ne peut être exercée qu'à la date d'échéance convenue.

— Une option américaine peut être exercée à tout moment entre la date de transaction et la date d'échéance T.

Les options européennes sont souvent privilégiées pour leur facilité d'analyse, et dans de nombreux cas, les caractéristiques des options américaines peuvent être dérivées de celles des options européennes.

2.2.1.1 Payoff d'un Call

À l'échéance, si le prix actuel (spot) dépasse le prix d'exercice, le détenteur de l'option d'achat (call) réalise un profit illimité. Dans le cas contraire, si le prix actuel est inférieur au prix d'exercice, l'option d'achat ne sera pas exercée et la perte sera limitée au montant de la prime payée initialement. Ainsi, le payoff d'une option d'un call FX européen peut être exprimé comme suit :

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

Avec :

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

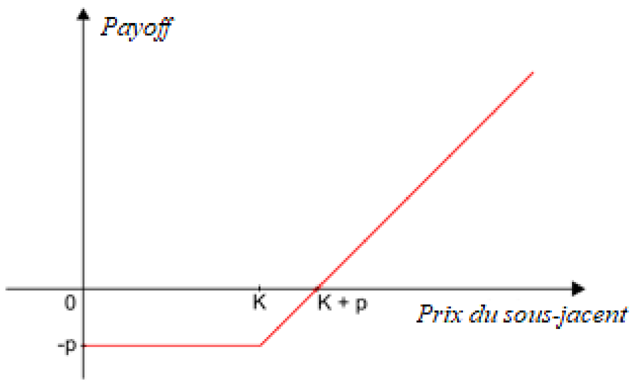

FIGURE 2.1 – Achat d'un call

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

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

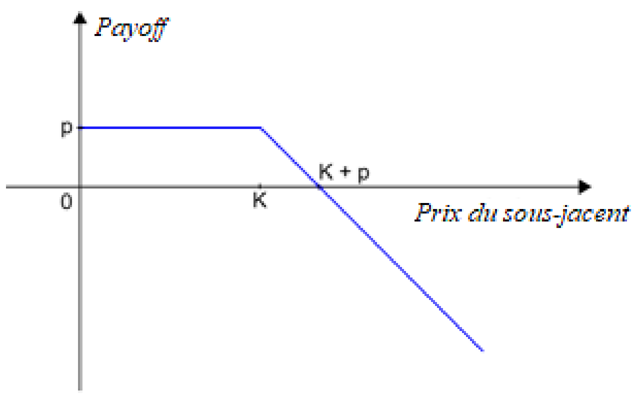

FIGURE 2.2 – Vente d'un call

2.2.1.2 Payoff d'un Put

À l'échéance, si le cours actuel (spot) est inférieur au prix d'exercice, le détenteur de l'option de vente (put) réalise un profit illimité. Cependant, si le cours actuel est supérieur au prix d'exercice, l'option de vente ne sera même pas exercée. Ainsi, le Payoff d'un put FX européen peut être exprimé comme suit :

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

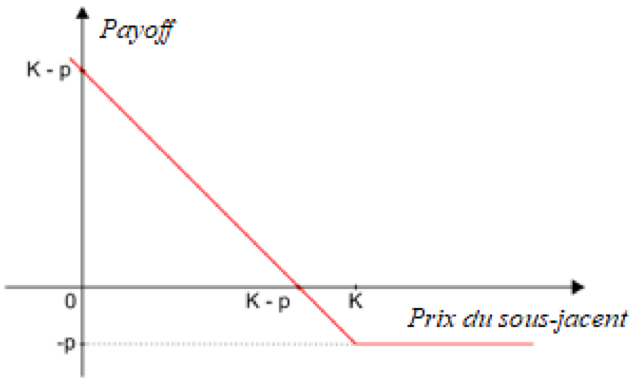

FIGURE 2.3 – Achat d'un put

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

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

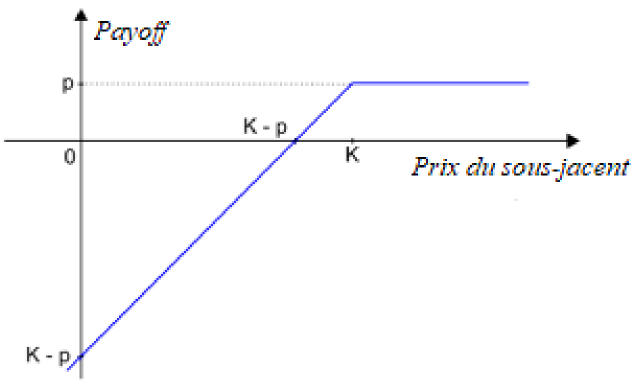

FIGURE 2.4 – vente d'un put

2.2.1.3 Parité Put-Call

La parité Call-Put établit une relation entre le prix d'une option d'achat (call) et celui d'une option de vente (put). Il est envisageable d'obtenir la formule d'évaluation d'un put en partant de cette relation. En effet, l'achat d'un put européen, accompagnée de la vente simultanée d'un call européen présentant des caractéristiques similaires, conduit à l'expression suivante :

$$P_0 - C_0 = Ke^{-rt} - Se^{-qt}$$

Avec :

— P_0 : prix du put
— C_0 : prix du call
— K : prix d'exercice (ou strike)
— r : taux d'intérêt domestique (ou le taux sans risque)
— q : taux d'intérêt étranger
— S : le spot

2.2.2 Pricing des options

L'achat ou la vente d'une option implique le paiement ou la réception d'une prime, qui représente le prix de l'option. Sur un marché structuré, ce prix est généralement déterminé par le marché lui-même. En revanche, sur un marché de gré à gré, il est plus complexe à établir. De nombreux modèles ont été développés pour modéliser les options financières dans des conditions liées au marché financier, le plus célèbre étant le modèle de Black-Scholes. L'objectif principal de ces modèles est de réduire l'incertitude et de se prémunir contre le risque financier.

Dans cette section, nous présenterons le modèle de Black-Scholes, qui permet d'évaluer les options de change.

2.2.2.1 Modèle de Black Scholes

Dans la période charnière des années 1960, l'émergence du modèle Black-Scholes, fruit de la collaboration entre Scholes, Fischer Black et Merton, révolutionna le domaine de la finance en proposant une méthode mathématique novatrice pour évaluer les options et autres instruments dérivés financiers. Publié dans le prestigieux "Journal of Political Economy" en 1973, ce modèle a non seulement permis la modélisation informatique des variables influençant les prix des options sur actions, mais a également catalysé l'expansion du marché des options tout au long des années 1970.

Malgré l'évolution constante des recherches en ingénierie financière, le modèle Black-Scholes demeure aujourd'hui une référence incontournable pour les traders du monde entier, incarnant une pierre angulaire dans l'analyse et la tarification des options.

Hypothèses du modèle

Comme tout modèle, le modèle Black-Scholes repose sur un ensemble d'hypothèses :

H1 : Le prix de l'actif sous-jacent S suit un mouvement brownien géométrique :

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

Les paramètres μ et σ représentent respectivement la tendance et la volatilité de l'actif et sont supposées constantes. $(W_t)_{t\geq 0}$ est un mouvement brownien standard.

H2 : Les marchés financiers sont considérés parfaits : bonne liquidité, absence d'opportunité d'arbitrage, possibilité d'effectuer des ventes à découvert, les coûts de transactions sont nuls.

H3 : Il existe un taux sans risque constant et connu à l'avance.

H4 : La cotation de l'actif sous-jacent se fait en temps continu, sans saut ni décrochement.

H5 : L'option est de type européen, et aucune distribution de dividende n'a lieu avant l'échéance de l'option.

H6 : Tous les sous-jacents sont parfaitement divisibles.

H7 : La volatilité est supposée constante sur toute la durée de vie résiduelle de l'option.

Équations de Black-Scholes

La prime d'une option représente simplement l'espérance actualisée du payoff sous la probabilité risque neutre. Ainsi, en tenant compte des hypothèses énoncées précédemment, la formule de Black-Scholes s'exprime de la manière suivante :

Le prix d'une option d'achat :

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

Le prix d'une option de vente :

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

Avec :

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

Où :
- S : Le prix de l'actif support.
- K : Le prix de l'exercice.
- r : Le taux d'intérêt sans risque.
- σ : La volatilité de l'actif support.
- T : La durée de vie résiduelle de l'option.

$N(.)$ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite $N(0,1)$.

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

Modèle de Black-Scholes augmenté

En conservant les mêmes notations et sous les hypothèses étudiées précédemment, la formule de Black-Scholes modifiée (voir Hull 2006 et Haug 2007 pour plus de détails) est la suivante :

Le prix d'une option d'achat :

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

Le prix d'une option de vente :

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

Avec :

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

Le paramètre b peut prendre différentes valeurs spécifiques selon le modèle utilisé (Haug 2007) :

- Lorsque $b = r$, il s'agit du modèle de Black-Scholes.
- Lorsque $b = r - q$, c'est le modèle de Merton, qui inclut un taux de dividende continu q.
- Lorsque $b = 0$, il s'agit du modèle de Black pour les options sur futures.
- Lorsque $b = r - r_e$, c'est le modèle de Garman-Kohlhagen pour les options sur devises, où r_e représente le taux d'intérêt étranger sans risque.

2.2.2.2 Modèle de Garman Kohlhagen

Les formules pour évaluer les options sur devises, développées par Garman et Kohlhagen, sont basées sur les formules fondamentales de Black-Scholes. Publié en 1976 par Mark Garman et Steven Kohlhagen, ce modèle étend le modèle standard de Black-Scholes en incorporant deux taux d'intérêt : l'un pour la devise nationale (taux domestique) et l'autre pour la devise étrangère (taux étranger). Le rendement du dividende est remplacé par le taux d'intérêt des devises étrangères, et la variation de l'écart de taux d'intérêt entre ces devises influence le prix des options.

Ce modèle repose sur l'hypothèse de marchés parfaits, sans restriction sur les ventes à découvert et la négociation en continu. Il prévoit que les options de change sont moins chères que les options européennes standard pour un call, mais plus chères pour un put. Dans cette section, nous examinerons comment évaluer la prime des options vanilles en utilisant le modèle de Garman-Kohlhagen. Cependant, les valeurs obtenues avec ce modèle ne correspondent pas toujours aux cotations du marché, car il repose sur des hypothèses très simplificatrices, notamment celle d'une volatilité constante tout au long de la durée de l'option. Malgré cela, la valeur théorique fournie par le modèle de Garman-Kohlhagen est utilisée comme référence par les traders du monde entier.

La dynamique du processus s'écrit :

$$\frac{dS}{S} = (r_d - r_f)dt + \sigma dW_t$$

Nous pouvons alors déterminer que le prix d'un call et d'un put pour une option vanille, en utilisant les mêmes notations que les modèles précédemment étudiés, s'écrit :

Le prix d'une option d'achat :

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

Le prix d'une option de vente :

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

Avec :

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r_d - r_f + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{et} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Où :

- r_d : taux d'intérêt domestique
- r_f : taux d'intérêt étranger

2.2.3 Les facteurs de sensibilités des options (les grecques)

Les Grecques, dans le domaine des produits dérivés financiers, désignent les mesures de sensibilité du prix d'un instrument ou d'un portefeuille aux changements des paramètres sous-jacents qui déterminent sa valeur. Ces mesures, représentant le risque de marché, permettent de comprendre comment un portefeuille réagirait dans différentes conditions. Le terme "Grecques" provient de l'utilisation de lettres grecques pour désigner les sensibilités les plus courantes, telles que le delta, la Vega, le thêta, le rho et le gamma.

Le risque de marché, auquel tout participant est exposé, découle de facteurs tels que les taux d'intérêt, les taux de change, les prix des actions et des matières premières. En essence, les Grecques fournissent une indication de l'exposition financière, permettant de mesurer les gains ou pertes potentiels en cas de mouvements spécifiques et significatifs sur le marché.

2.2.3.1 Delta

Le delta mesure la sensibilité du prix de l'option aux variations du cours du sous-jacent. Il est le premier des indicateurs pris en compte par le trader. C'est la mesure de la variation du prix de l'option en unité de monnaie pour une variation unitaire du sous-jacent.

Il fournit une information sur la variabilité de l'option mais aussi sur la probabilité d'exercer l'option. Enfin, il nous donne le nombre d'actions à utiliser pour couvrir une option. La formule du Delta pour les options de changes évaluée par le modèle de GK est :

Cas d'un call :

$$\delta_C = \frac{dC}{dS} = e^{-r_f T} N(d_1) \quad \text{donc :} \quad 0 < \delta_C < 1$$

Le delta est toujours positif ou nul. L'augmentation du prix du sous-jacent influence positivement le call, tandis que sa diminution a un impact négatif sur celui-ci. Le delta du call varie entre 0 et 1, avec une valeur de 0 indiquant une faible sensibilité aux variations du sous-jacent et une valeur de 1 indiquant une sensibilité maximale.

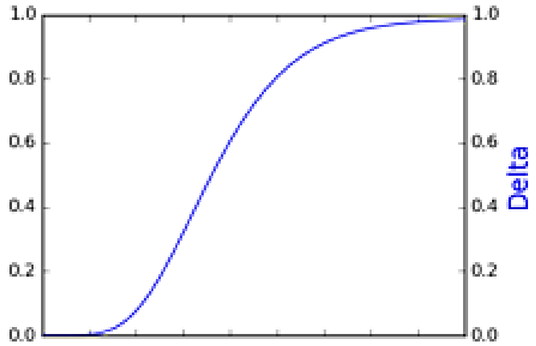

FIGURE 2.5 – Evolution du Delta d'un call

Lorsque le prix du sous-jacent est hors de la monnaie (inférieur au prix d'exercice), le delta se situe entre 0 et 50%, et plus il se rapproche de zéro, moins l'option est sensible aux fluctuations du sous-jacent. À la monnaie (lorsque le prix du sous-jacent est égal au prix d'exercice), le delta est proche de 50%. Enfin, dans la monnaie (lorsque le prix du sous-jacent est supérieur au prix d'exercice), le delta se situe entre 50 et 100%, et plus il se rapproche de 100%, plus la prime de l'option reflète fidèlement les variations du prix du sous-jacent.

Cas d'un Put :

$$\delta_P = \frac{dP}{dS} = -e^{-r_f(T-t)}N(d_1)$$

Le delta d'un put, une mesure de sensibilité clé dans l'évaluation des options de vente, est toujours compris entre -1 et 0. L'augmentation du prix du sous-jacent influence négativement le put, tandis que sa diminution a un impact positif sur celui-ci. Cela signifie que lorsque le prix du sous-jacent augmente, la prime du put diminue, et inversement, lorsque le prix du sous-jacent diminue, la prime du put augmente.

Lorsque le prix du sous-jacent se situe en dehors de la monnaie (supérieur au prix d'exercice), le delta est compris entre -50% et 0%, indiquant une sensibilité réduite aux variations du sous-jacent à mesure que le delta se rapproche de zéro. À la monnaie (lorsque le prix du sous-jacent est égal au prix d'exercice), le delta est proche de -50%. Enfin, dans la monnaie (lorsque le prix du sous-jacent est inférieur au prix d'exercice), le delta varie entre -100% et -50%, et plus le delta se rapproche de -100%, plus la prime de l'option augmente avec la baisse du prix du sous-jacent.

Couverture en Delta-neutre :

Le delta revêt une importance capitale pour un trader désireux de protéger son portefeuille contre les mouvements du sous-jacent, afin de le rendre sans risque. Cette stratégie est connue sous le nom de couverture en delta-neutre ou delta hedging. En pratique, cela implique la vente d'une option et l'achat de δ actifs sous-jacents. Ainsi, une variation défavorable de la valeur de l'option est compensée par une variation favorable de la valeur de l'actif sous-jacent. Étant donné que le delta évolue avec le temps et la valeur du sous-jacent, le nombre d'actifs nécessaires pour immuniser le portefeuille varie constamment. Par conséquent, un trader doit constamment rééquilibrer son portefeuille pour maintenir une position delta-neutre.

Dans les marchés où la liquidité est élevée et les coûts de transaction sont faibles, la mise en œuvre d'une couverture en delta-neutre est généralement réalisable. Cependant, sur des marchés moins liquides ou présentant des coûts de transaction élevés, rééquilibrer son portefeuille peut devenir prohibitif, ce qui conduit à une révision moins fréquente de la couverture. Dans ces situations, le delta seul ne suffit pas à mesurer la variation d'un portefeuille causée par des mouvements plus importants du sous-jacent. Ainsi, un indicateur de second ordre, tel que le Gamma, est pris en compte dans la gestion du portefeuille pour une meilleure compréhension et une meilleure gestion des risques.

Delta d'un portefeuille :

Le delta d'un ensemble d'options sur un même sous-jacent, c'est-à-dire le delta d'un portefeuille, serait calculé comme la moyenne pondérée des deltas des options individuelles :

$$\delta_P = \sum_{i=1}^{n} W_i \delta_i$$

Où :
— W_i : Le poids de chaque position d'option
— δ_i : Le delta de chaque position d'option

2.2.3.2 Gamma

Puisque le delta peut fluctuer, le Gamma intervient pour mesurer la sensibilité du delta aux variations du taux de change. Le Gamma exprime ainsi la réaction du delta face aux fluctuations du cours du taux de change. Il représente la dérivée seconde du delta, c'est-à-dire la variation du delta par rapport au cours du sous-jacent. Dans le modèle de GK, il vaut :

$$\gamma = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = \frac{\partial^2 P}{\partial S^2} = e^{-r_f(T-t)} N'(d_1) \frac{1}{S\sigma\sqrt{(T-t)}} > 0$$

Le gamma représente la vitesse du delta, c'est-'a-dire l'accélération de la prime aux variations du sous-jacent. Il est identique pour l'option d'achat et l'option de vente.

Le gamma est une mesure de la convexité du prix d'une option par rapport au cours du sous-jacent, indiquant si le prix de l'option évolue plus ou moins rapidement que celui du sous-jacent. Un gamma faible signifie que les fluctuations du cours du sous-jacent ont un impact négligeable sur le delta. Dans ces cas, il est rarement nécessaire de réajuster les positions détenues pour maintenir le delta à un niveau désiré. En revanche, une position avec un gamma élevé requiert une surveillance constante et des ajustements fréquents du portefeuille. Le gamma est maximal à la monnaie et minimal dans et en dehors de la monnaie.

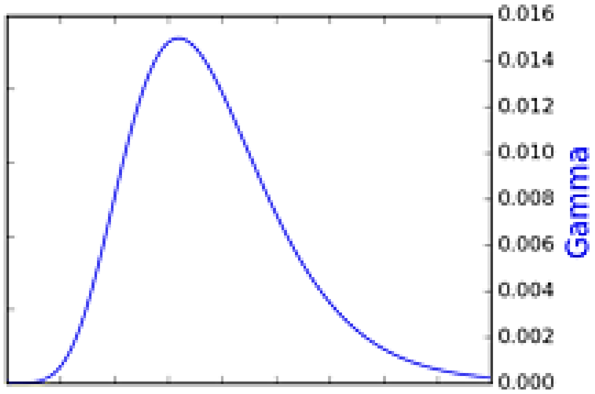

Figure 2.6 – Évolution du Gamma d'un call

À la monnaie, le delta est instable que ce soit pour l'option d'achat ou pour l'option de vente (γ élevé). En revanche, loin de cette position, le delta est stable (γ faible).

La connaissance du γ est très importante dans une stratégie delta-neutre. Si le γ est élevé, les stratégies de rééquilibrage seront nombreuses en raison d'une forte instabilité de la couverture. Idéalement, la position globale devrait avoir un delta nul mais également un γ proche de 0.

Considérons l'exemple d'un portefeuille en delta neutre, avec un gamma positif et un thêta négatif. Ce portefeuille est constitué d'une option (position longue) et de sa couverture (position courte). Sur une courte période, les variations subies par le portefeuille peuvent être décomposées en deux phénomènes :

— L'option perd de la valeur lorsque le temps s'écoule, indépendamment des mouvements du marché (thêta négatif).

— Tandis que tout mouvement du sous-jacent entraîne une augmentation de la valeur du portefeuille (gamma positif), car la valeur du dérivé sera toujours supérieure à la valeur de la couverture.

2.2.3.3 Thêta

Le Thêta évalue la sensibilité de la prime à l'écoulement du temps, représentant la diminution anticipée de celle-ci pour une période unitaire d'un an, toutes choses étant égales par ailleurs, c'est-à-dire il quantifie la variation prévue de son prix sur une courte période, due au seul passage du temps.

En pratique, le coefficient Thêta est utilisé pour estimer la dépréciation de la prime pour un jour de durée de vie de l'option. Il correspond à la dérivée partielle de la prime par rapport au temps. La valeur d'une option diminue avec le temps. Le thêta d'une option est donc toujours négatif. Dans le modèle de GK,

pour un call :

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

Pour un put :

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

Pour un portefeuille, un thêta positif indique que le simple passage du temps entraînera une augmentation de sa valeur, tandis qu'un thêta négatif aura l'effet inverse. Dans une stratégie delta-neutre, il est possible d'exploiter le temps comme une source de profit en construisant un portefeuille avec un thêta positif. Cependant, dans un portefeuille géré en delta-neutre, les valeurs des coefficients thêta, gamma et véga sont étroitement liées. Par conséquent, la positivité du thêta ne sera pas toujours la politique optimale pour la gestion d'un portefeuille.

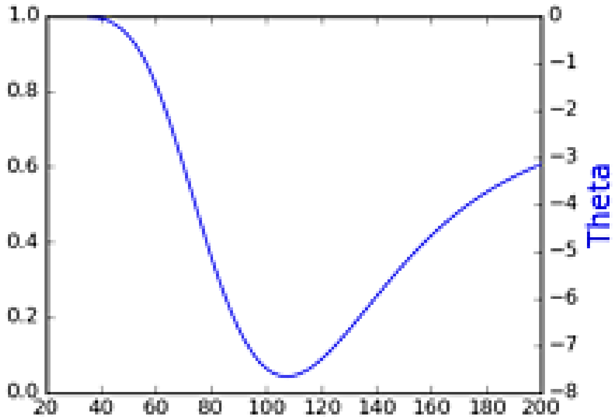

Figure 2.7 – Évolution du Thêta d'un call

2.2.3.4 Véga

Le véga d'une option représente sa sensibilité au changement de volatilité du sous-jacent. Contrairement au gamma et au thêta, le véga augmente avec la maturité de l'option. Ainsi, une augmentation de la volatilité aura un impact plus important sur les options dont la date d'échéance est éloignée que sur celles dont elle est proche.

En effet, une volatilité plus élevée accroît les chances d'exercice de l'option, ce qui entraîne une hausse de son prix. Une stratégie souvent privilégiée par les traders consiste à avoir une position globalement gamma positive (sensible aux grands mouvements de marché) et véga négative. Cela implique l'achat d'options courtes et la vente d'options longues. Dans le modèle de GK on a :

$$\vartheta = \frac{\partial C}{\partial \sigma} = \frac{\partial P}{\partial \sigma} = S_0 e^{-r_f(T-t)} N'(-d_1)\sqrt{(T-t)} > 0$$

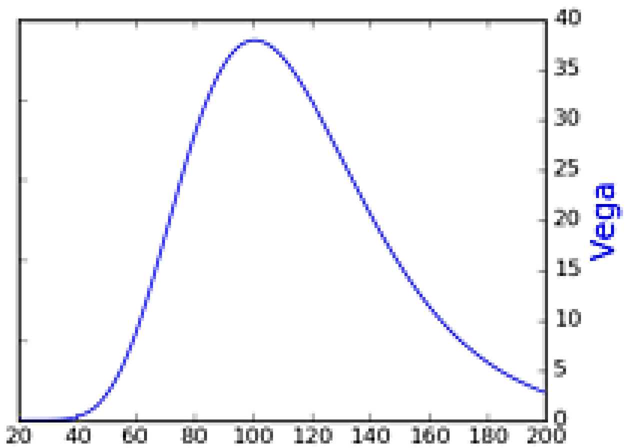

Figure 2.8 – Évolution du Véga d'un call

Cette quantité représente peu d'intérêt dans le cas du modèle de Black-Scholes puisque σ est supposée constante.

2.2.3.5 Rhô

Le Rho quantifie la sensibilité du prix de l'option par rapport au taux d'intérêt continu r, représentant ainsi le taux de variation de la valeur du portefeuille en fonction du taux d'intérêt. Il est utilisé pour évaluer les risques des options liés à l'évolution des taux d'intérêt à court terme. Toutefois, ce paramètre est peu utilisé, car les taux d'intérêt sont supposés constants dans le modèle de Black-Scholes et varient peu en pratique pendant la durée de vie de l'option. Dans le modèle de GK on distingue entre le rhô domestique et le rhô étranger :

Rhô domestique :

$$\rho_c^d = \frac{\partial C}{\partial r} = K(T-t)e^{-r_d(T-t)}N(d_2) > 0$$

$$\rho_p^d = \frac{\partial P}{\partial r} = -K(T-t)e^{-r_d(T-t)}N(-d_2) > 0$$

Rhô étranger :

$$\rho_c^f = \frac{\partial C}{\partial r} = -S_0(T-t)e^{-r_f d(T-t)}N(d_1) > 0$$

$$\rho_p^f = \frac{\partial P}{\partial r} = S_0(T-t)e^{-r_f(T-t)}N(-d_1) > 0$$

Idéalement, la gestion d'un portefeuille impliquerait une couverture parfaite pour garantir un rendement quasi sans risque. Cependant, dans la réalité, cette couverture parfaite est irréalisable. La stratégie consiste alors à d'abord immuniser le portefeuille contre les variations du sous-jacent (delta) et de la volatilité (véga), considérés comme les risques de premier ordre.

Une fois ces risques maîtrisés, il reste à prendre une décision quant au risque résiduel. Ainsi, en fonction des anticipations de volatilité du marché, une stratégie privilégiant un thêta positif, où le temps est une source de profit, ou une stratégie avec un gamma positif, où les variations du marché sont exploitées comme source de profit, peut être choisie.

En fin de compte, la gestion des risques du marché nécessite une compréhension approfondie des différents facteurs de sensibilité des options et une adaptation stratégique pour maximiser les rendements tout en minimisant les risques.

2.2.4 Elaboration du Pricer des options vanilles

Dans cette section, nous abordons l'élaboration d'un pricer des options de change, une étape essentielle pour la gestion et la couverture des risques financiers liés aux fluctuations des taux de change. Ce pricer est conçu pour évaluer les options de change, également connues sous le nom d'options FX, et pour fournir des mesures de sensibilité qui aident à gérer le risque associé à ces instruments financiers.

Pour développer ce pricer, nous avons utilisé le langage Python, qui offre une grande flexibilité et une puissance de calcul adaptée aux besoins financiers complexes. Nous avons également utilisé la bibliothèque xlwings pour créer une interface utilisateur graphique directement sur Excel. Cette interface permet d'afficher les résultats de manière intuitive et interactive, en cliquant simplement sur un bouton pour exécuter le code Python (Annexe 4) et obtenir les outputs souhaités.

Pour illustrer le fonctionnement de notre pricer, nous avons utilisé un exemple de calcul basé sur des données spécifiques. L'interface utilisateur permet de saisir les paramètres de l'option, tels que la maturité, le prix d'exercice, les taux d'intérêt, le cours du sous-jacent, la volatilité et le type d'option (Call ou Put). En cliquant sur le bouton "Valoriser l'option Call/Put", le code Python s'exécute et les résultats sont affichés instantanément dans la même feuille Excel, y compris les prix des options et les valeurs des grecques.

- **Cas d'un Call :**

FX Option Pricer

Données		Résultats	
cours du sous-jacent (e.g. USD/EUR)	1,0606	**Les Grecques**	
prix d'exercice (e.g. USD/EUR)	1,0900	Delta	0,1989940
Volatilité (% par an)	0,08	Gamma	6,5479101
Taux d'intérêt domestique (% par an)	0,02	Thêta	-0,0176310
Taux d'intérêt étranger (% par an)	0,05	Véga	0,147311
Maturité de l'option (en années)	0,25	Rhô domestique	0,0516050
Call/Put	Call	Rhô étranger	-0,0527633
Modèle	Garman Kohlhagen	**Les prix**	
		Prime (% du sous-jacent)	0,44%
Valoriser l'option Call/Put		Prix de l'option Call/Put	0,0046331

FIGURE 2.9 – Interface du pricer des options : le cas d'un call

- **Cas d'un Put :**

FX Option Pricer

Données		Résultats	
cours du sous-jacent (e.g. USD/EUR)	1,0606	**Les Grecques**	
prix d'exercice (e.g. USD/EUR)	1,0900	Delta	-0,7891518
Volatilité (% par an)	0,08	Gamma	6,5479101
Taux d'intérêt domestique (% par an)	0,02	Thêta	-0,0459306
Taux d'intérêt étranger (% par an)	0,05	Véga	0,147311
Maturité de l'option (en années)	0,25	Rhô domestique	-0,2195359
Call/Put	Put	Rhô étranger	0,2092436
Modèle	Garman Kohlhagen	**Les prix**	
		Prime (% du sous-jacent)	3,88%
Valoriser l'option Call/Put		Prix de l'option Call/Put	0,0411692

FIGURE 2.10 – Interface du pricer des options : le cas d'un Put

- **Interpretations :**

Prenons l'exemple du Put pour interpréter les résultats obtenus dans notre pricer des options vanilles :

Delta = -0,79 signifie que pour chaque augmentation de 1 unité du taux de change USD/EUR, le prix de l'option put diminuera de 0,7891518 unités. En tant que trader, cela indique que l'option put perdra de la valeur si l'USD/EUR augmente. Un Delta négatif signifie que le trader qui achète cette option put parie sur une baisse de l'USD/EUR. Si le cours baisse, le trader réalisera un profit.

Gamma = 6,55 signifie que pour chaque changement de 1 unité du cours du sous-jacent, le Delta changera de 6,5479101 unités. Ce chiffre est assez élevé, ce qui signifie que le Delta est très sensible aux mouvements du sous-jacent. Cela peut augmenter la volatilité du portefeuille et nécessite une gestion attentive, c'est ce qu'on appelle le delta hedging.

En effet, pour couvrir notre position en options de manière à ce que les variations du cours du sous-jacent n'affectent pas la valeur totale de notre portefeuille, nous devons ajuster notre position de manière à ce que la somme des Deltas de toutes nos positions soit proche de zéro. Voici comment procéder :

Supposons que nous avez acheté 1000 options put avec un Delta de -0,7891518.

La position Delta totale = Nombre d'options * Delta par option Dans ce cas : 1000 * (-0,7891518) = -789,1518

Cela signifie que la valeur de notre portefeuille d'options diminuera de 789,1518 unités pour chaque augmentation de 1 unité du cours USD/EUR. Pour neutraliser cette position Delta, nous devons prendre une position opposée dans le sous-jacent (acheter des unités du sous-jacent). Nous devons acheter 789,1518 unités de USD/EUR.

Acheter des unités du sous-jacent signifie que si le cours USD/EUR augmente, la perte dans les options sera compensée par le gain dans le sous-jacent, et inversement si le cours diminue.

Le Delta Hedging est un processus dynamique qui nécessite des ajustements fréquents, car le Delta lui-même change avec les variations du cours du sous-jacent et le passage du temps. Par exemple, si le Delta change et devient -0,75 après une augmentation du sous-jacent, nous devrons vendre des unités du sous-jacent pour ramener notre portefeuille à Delta neutre.

Thêta = -0,046 signifie que chaque jour, la valeur de l'option diminue de 0,046 unités en raison du passage du temps. Pour un trader, cela indique le coût de la détention de l'option. Le Thêta négatif souligne l'importance de la gestion du temps, car la valeur de l'option diminue chaque jour qui passe.

Les risques liés au Gamma élevé et au Thêta négatif doivent être surveillés de près. Une volatilité du sous-jacent pourrait entraîner des variations imprévues du Delta, augmentant le risque de pertes.

Véga = 0,147 signifie que pour chaque augmentation de 1% de la volatilité, le prix de l'option augmentera de 0,147 unités. Cela est important pour évaluer l'impact des changements de volatilité sur le prix de l'option. Un Véga positif montre que l'option gagne de la valeur avec l'augmentation de la volatilité, ce qui pourrait être un point stratégique en période de marché volatile.

Rhô domestique : -0,2195 signifie que pour chaque augmentation de 1% du taux d'intérêt domestique, le prix de l'option diminuera de 0,2195 unités.

Rhô étranger : 0,209 signifie que pour chaque augmentation de 1% du taux d'intérêt étranger, le prix de l'option augmentera de 0,2092436 unités.

Le Rhô domestique et étranger montrent la sensibilité aux taux d'intérêt. Le gestionnaire de risque doit suivre les mouvements des taux d'intérêt pour anticiper les impacts sur la valeur de l'option.

La prime de l'option représente 3,88% du cours actuel du sous-jacent. Cela donne une idée du coût relatif de l'option par rapport au sous-jacent.

Le prix absolu de l'option put est de 0,0411692 unités. C'est le montant que le détenteur de l'option paie pour avoir le droit de vendre le sous-jacent à 1,0900 dans 3 mois.

En résumé, les résultats montrent une option put sensible aux variations du sous-jacent et du temps, avec des impacts notables des taux d'intérêt domestiques et étrangers. Une gestion active de ces facteurs est cruciale pour maximiser les profits et minimiser les risques.

2.3 Valorisation et mesure de risque d'un portefeuille obligataire

2.3.1 Valorisation d'une obligation à taux fixe

Dans cette partie, nous allons décrire le processus d'évaluation des titres de créance émis ou garantis par l'état à coupon annuel et à taux fixe remboursable « in fine » comme défini dans la circulaire de BAM. Ensuite, nous examinerons les outils de mesure de risque. Enfin, nous construirons notre pricer d'outils quantitatifs de gestion de risque. *Notion de maturité initiale et maturité résiduelle :*

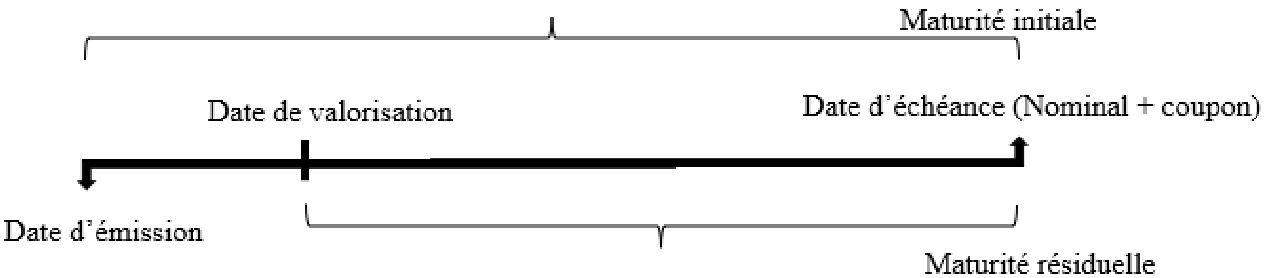

FIGURE 2.11 – Maturité résiduelle et maturité initiale

2.3.1.1 Titres de créances émis ou garantis par l'Etat, à coupons annuels et à taux fixe remboursables in fine

- **Evaluation des titres de créances de maturité initiale inférieure ou égale à 1 an**

  Le prix des titres de créances à taux fixe dont la maturité initiale est inférieure ou égale à 365 jours est calculé de la manière suivante :

$$P = N \times \frac{1 + t_f \frac{M_i}{360}}{1 + t_r \frac{M_r}{360}}$$

  Où :

  — P : le prix du titre, en DH.
  — N : le nominal, en DH.
  — M_i : la maturité initiale, en jours.
  — M_r : maturité résiduelle, en jours.
  — t_f : le taux facial.
  — t_r : le taux de rendement, simple.

- **Évaluation des titres de créance de maturité initiale supérieure à 1 an**

  Titres de créances de maturité résiduelle inférieure à 1 an

  Le prix des titres de créances à taux fixe dont la maturité initiale est supérieure à 1 an et dont la maturité résiduelle est inférieure ou égale à 365 jours est calculé de la manière suivante :

$$P = N \times \frac{1 + t_f}{1 + t_r \frac{M_r}{360}}$$

Dans le cas des lignes postérieures à un seul flux où la formule s'écrit :

$$P = N \times \frac{1 + t_f \frac{M_i}{A}}{1 + t_r \frac{M_r}{360}}$$

Avec : $A = 366$ si l'année est bissextile ou 365 sinon.

Titres de créances de maturité résiduelle supérieure à 1 an

Le prix des titres de créances à taux fixe dont les maturités initiales et résiduelles sont supérieures à 365 jours est calculé de la manière suivante :

$$P = \frac{1}{(1 + t_r)^{\frac{n_j}{A}}} \times \sum_{i=1}^{n} \frac{F_i}{(1 + t_r)^{i-1}}$$

Avec :

— P : prix du titre.
— t_r : le taux de rendement au moment de l'évaluation.
— F_i : flux monétaire à la date i (coupon ou coupon plus nominal).
— n : nombre de coupons à venir.
— n_j : nombre de jours restant à courir jusqu'à la date du prochain coupon.
— A : égale à 366 jours si l'année en cours est une année bissextile ou 365 sinon.

Plus précisément, cette dernière formule s'écrit différemment suivant que la ligne à évaluer est normale ou postérieure :

Cas d'une ligne normale :

$$P = N \times \frac{1}{(1 + t_r)^{\frac{n_j}{A}}} \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{t_f}{(1 + t_r)^{i-1}} + \frac{1}{(1 + t_r)^{i-1}} \right)$$

Cas d'une ligne postérieure à un seul flux :

$$P = N \times \frac{1 + t_f \frac{M_i}{A}}{(1 + t_r)^{\frac{n_j}{A}}}$$

Où :

— M_i : maturité initiale, en jours.

Cas d'une ligne postérieure à plusieurs flux :

Si la date d'évaluation de la ligne précède la date de détachement du premier coupon :

$$P = N \times \frac{1}{(1 + t_r)^{\frac{n_j}{A}}} \left(\frac{t_f(D_{1c} - D_{Em})}{A} + \sum_{i=2}^{n} \frac{t_f}{(1 + t_r)^{i-1}} + \frac{1}{(1 + t_r)^{n-1}} \right)$$

Où :

— D_{1c} : date de détachement du premier coupon;
— D_{Em} : date d'émission.

Sinon, la formule est la même que pour une ligne normale.

Titres de créances à taux fixe remboursables in fine émis par des émetteurs privés

L'évaluation des titres de créances à taux fixe émis par des émetteurs privés s'effectue de la même manière que celle des titres émis par des émetteurs publics, à la seule différence de l'ajout d'une prime aux taux des Bons du Trésor utilisés pour l'évaluation.

Ainsi les formules restent les mêmes, avec t_r remplacé par $(t_A + p)$ Où :

- t_A : le taux d'actualisation au moment de l'évaluation, utilisé pour la valorisation des titres émis par l'État.
- p : la prime de risque au moment de l'évaluation ou la prime de liquidité fixée à l'émission, pour les titres garantis par l'État.

2.3.2 Mesure des indicateurs de risque

Le risque associé aux investissements en obligations peut être de nature spécifique à chaque titre ou systématique, reflétant les tendances générales du marché des obligations. Ce qui nous intéresse principalement ici est le risque systématique, qui découle des fluctuations des taux d'intérêt et influence la valeur des obligations de manière inversement proportionnelle au taux d'intérêt.

Bien que toutes les obligations réagissent de manière similaire à des changements donnés dans les taux, l'ampleur de cette réaction varie selon les caractéristiques individuelles de chaque obligation. La sensibilité aux variations des taux dépend de plusieurs facteurs, notamment le taux de coupon ou nominal : plus il est bas, plus le prix de l'obligation est volatile, ce qui entraîne un risque accru.

De même, le taux de rendement à l'échéance influence la volatilité, car une augmentation des taux diminue la valeur des obligations, réduisant ainsi la volatilité. De plus, la durée de l'obligation est un facteur clé : les investissements à long terme présentent généralement une volatilité plus élevée.

Il est donc évident que la volatilité et la sensibilité des obligations dépendent de leur nature. Pour des variations mineures des taux, la volatilité est symétrique, et la duration est utilisée pour évaluer le risque associé. En revanche, pour des variations importantes, la sensibilité devient asymétrique, ce qui nécessite l'utilisation de la convexité pour prendre en compte la courbure de la relation entre le prix et le taux de rendement à l'échéance. Dans un marché caractérisé par des taux bas, la sensibilité est généralement plus élevée que dans le cas inverse. Dans cette analyse, nous examinerons les mesures de risque associées aux investissements en obligations.

2.3.2.1 Duration

Une approche simplifiée pour évaluer le risque lié aux taux d'intérêt consiste à calculer la duration d'une obligation. La duration est essentiellement une moyenne pondérée des flux de trésorerie futurs d'une obligation, représentant ainsi une mesure de l'échéance moyenne ou de l'échéance effective. En d'autres termes, elle indique la période de temps nécessaire pour récupérer le coût initial de l'obligation par le biais de ses paiements périodiques. Une duration plus longue correspond à une échéance moyenne plus étendue, ce qui implique une sensibilité accrue aux fluctuations des taux d'intérêt. De manière mathématique, la duration peut être interprétée comme la première dérivée de la courbe qui lie entre le prix de l'obligation et son rendement.

- **Duration de Macaulay** En 1938, l'économiste Frederick Macaulay a introduit la notion de duration comme un outil pour évaluer la volatilité des prix des obligations. Aujourd'hui, la "duration Macaulay" est largement utilisée dans ce contexte. Avant 1938, on reconnaissait déjà que l'échéance d'une obligation influençait son risque de taux d'intérêt, mais il était également observé que des obligations de même échéance pouvaient avoir des variations de prix et de rendement importantes. En revanche, les obligations à coupon zéro présentaient toujours un risque de taux d'intérêt constant. Ainsi, Macaulay a proposé que pour mieux évaluer le risque de taux d'intérêt, on pourrait considérer une obligation à coupon comme une série d'obligations à coupon zéro, où chaque paiement représente une obligation à coupon zéro pondérée par la valeur actuelle du paiement divisée par le prix de l'obligation.
- **Caractéristiques de la duration**

  Toutes choses étant égales par ailleurs :

  - La duration d'une obligation qui verse des coupons sera toujours inférieure à son échéance, car les coupons sont détachés avant la date de maturité.
  - Une obligation avec un faible coupon aura une duration plus longue, car une proportion moindre de paiement est reçue avant la maturité. À l'inverse, une obligation avec un coupon élevé aura une duration plus courte, car une proportion plus importante du paiement est reçue avant la fin de l'échéance.
  - Les obligations zéro coupon, ne versant pas de coupons, auront une duration égale à leur maturité.
  - Plus la maturité d'une obligation est longue, plus sa duration sera étendue, car il faut plus de temps pour recevoir l'intégralité du paiement.
- **Formule de calcul**

  $$D = \frac{\sum_{t=1}^{n} t \times \frac{C_t}{(1+t_r)^t} + n \times \frac{VN}{(1+t_r)^n}}{P}$$

  Avec :

  $$P = \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+t_r)^t} + \frac{VN}{(1+t_r)^n}$$

  Où :

  - N : la maturité
  - VN : la valeur nominale
  - C_t : coupon à l'instant t (annuel)
  - t_r : le taux de rendement
  - P : le prix de l'obligation
- **Duration d'un portefeuille**

  La duration d'un portefeuille obligataire est calculée en prenant la moyenne pondérée des durations de chaque obligation qui le compose.

$$D_p = \sum_{i=1}^{K} \omega_i \times D_i$$

Avec :

- ω_i : la pondération de la quantité de chaque obligation i au niveau du portefeuille.
- K : nombre total des obligations.
- D_i : Duration de l'obligation i.

2.3.2.2 Sensibilité

aux de rendement actuariel. Le taux de rendement actuariel étant lui-même fonction du niveau des taux d'intérêts, la sensibilité se définit comme la variation relative du prix d'un titre induite par une variation de 1% du taux d'intérêt.

La sensibilité d'un titre de créances est une grandeur propre audit titre qui permet d'apprécier l'amplitude de la hausse ou de la baisse de son prix suite à une variation de taux d'intérêt.

La sensibilité (S) mesure l'élasticité du prix de l'obligation par rapport aux variations des taux.

- **Formule de calcul**

La sensibilité est calculée selon deux méthode :

La première méthode : La réaction n'étant pas symétrique, la sensibilité peut être approchée à partir de la moyenne des deux variations de prix pour un mouvement de 0,01 % à la hausse et à la baisse du taux d'actualisation.

Notons P(t) le prix du titre de créances calculé avec un taux actuariel égal à t. La sensibilité de ce titre est calculée à partir de la formule :

$$S = \frac{50}{P(t)} \left(P(t - 0,01) - P(t + 0,01)\right)$$

La deuxième méthode : La sensibilité (S) mesure l'élasticité du prix de l'obligation par rapport aux variations des taux. Elle est donnée par la formule suivante :

$$S = \frac{1}{P}\frac{\partial P}{\partial t_r} = -D_m$$

Avec :

- D_m : la duration modifiée.
- P : le prix de l'obligation

$$D_m = \frac{D}{1 + t_r}$$

- **Sensibilité d'un portefeuille**

La sensibilité d'un portefeuille est égale à la moyenne pondérée des sensibilités des titres qui le composent.

$$S_P = \sum_{i=1}^{K} \omega_i \times S_i$$

Avec :
— ω_i : la pondération de la quantité de chaque obligation i au niveau du portefeuille.
— K : nombre total des obligations.
— S_i : Sensibilité de l'obligation i.

2.3.2.3 Convexité

La duration présuppose une corrélation linéaire entre les prix des obligations et les fluctuations des taux d'intérêt. Cependant, dans la réalité, les prix diminuent de manière exponentielle à mesure que les taux d'intérêt augmentent, tandis qu'ils augmentent de manière exponentielle lorsque les taux d'intérêt diminuent. Cette dissymétrie signifie que la duration surestimera de façon systématique la baisse des prix lors d'une forte hausse des taux d'intérêt, et sous-estimera constamment l'augmentation des prix lors d'une forte baisse des taux d'intérêt.

Pour pallier cette dissymétrie, le concept de "convexité" a été introduit. La convexité corrige l'erreur de la duration dans la prévision des variations de prix en tenant compte des fluctuations importantes des taux d'intérêt. De ce fait, la convexité évalue également la vitesse de variation de la duration, permettant ainsi de prendre en considération la relation dynamique entre les prix et les taux.

On remarque donc que la convexité aide à anticiper la rapidité avec laquelle les prix des obligations peuvent changer en réponse aux variations des taux d'intérêt.

- **Formule de calcul**

La formule de la convexité est donnée comme suit :

$$C = \frac{1}{P}\frac{\partial^2 P}{\partial t_r^2}$$

Ce qui donne :

$$C = \frac{1}{(1+t_r)^2}\left(\frac{\sum_{t=1}^{n} t \times (1+t) \times \frac{C_t}{(1+t_r)^t} + n \times (1+n)\frac{VN}{(1+t_r)^n}}{P}\right)$$

La convexité représente la seconde dérivée du prix d'une obligation par rapport au taux d'intérêt. Elle mesure la variation relative de la sensibilité de l'obligation aux petites fluctuations des taux d'intérêt. De plus, elle indique la rapidité avec laquelle le prix de l'obligation augmente et la lenteur avec laquelle il diminue lorsque les taux d'intérêt baissent ou augmentent respectivement.

La convexité est une fonction qui augmente avec l'échéance de l'obligation et diminue en fonction du coupon et du rendement. L'utilisation de cette mesure nécessite une bonne anticipation des taux afin de choisir d'investir dans des obligations ayant une convexité plus élevée. En cas de faibles variations des taux, une obligation avec une convexité plus élevée aura la même duration qu'une obligation moins convexe. Par conséquent, détenir des obligations plus convexes devient plus avantageux pendant les périodes de fortes fluctuations des taux.

- **Convexité d'un portefeuille :**

  La convexité d'un portefeuille obligataire est égale à la somme pondérée des convexités des obligations qui le composent.

$$C_p = \sum_{i=1}^{K} \omega_i \times C_i$$

Avec :
— ω_i : la pondération de la quantité de chaque obligation i au niveau du portefeuille.
— K : nombre total des obligations.
— C_i : Convexité de l'obligation i.

2.3.3 Elaboration du pricer des obligations à taux fixe

Un pricer d'obligations est un instrument essentiel pour toute institution financière souhaitant évaluer correctement ses investissements en titres de créance. En effet, la capacité à estimer la juste valeur d'une obligation permet non seulement de prendre des décisions d'investissement éclairées, mais aussi de gérer efficacement les risques associés aux fluctuations des taux d'intérêt et aux variations des conditions du marché.

Dans cette partie, nous décrirons le processus d'élaboration d'un pricer pour les obligations à taux fixe en utilisant le langage de programmation Python. Nous commencerons par détailler les différentes étapes nécessaires à l'évaluation d'une obligation, notamment le calcul du taux de rendement valorisé, la détermination des flux de trésorerie futurs et la prédiction du prix de l'obligation.

Ensuite, nous présenterons les outils de mesure du risque clés utilisés dans l'analyse des obligations à taux fixe : la duration, la sensibilité et la convexité. En utilisant des méthodes de calcul appropriées en Python, nous illustrerons comment ces mesures peuvent être calculées à partir des données d'une obligation donnée.

Pour valider notre approche, nous utiliserons une base de données contenant différents types d'obligations. Nous testerons notre pricer sur ces données pour évaluer sa précision et sa fiabilité dans la détermination des prix d'obligations à taux fixe, ainsi que dans le calcul des indicateurs de risque associés.

2.3.3.1 Importation des modules

Pour accéder à des fonctionnalités spécifiques, plusieurs modules ont été importés dans le cadre de ce projet. Des bibliothèques permettent de manipuler efficacement des structures de données en tableaux, facilitant le nettoyage, la transformation et l'exploration des données. D'autres modules se charge de la manipulation des objets de date et d'heure, offrant ainsi une grande flexibilité dans le traitement des données temporelles. De plus, des modules supplémentaires permettent d'interagir avec le système d'exploitation sous-jacent, ce qui est utile pour gérer les fichiers, les répertoires et divers aspects de l'environnement de travail. Et évidement la bibliothèque xlwings [1] pour créer l'interface graphique pour visualiser les résultats du code.

2.3.3.2 Définition des fonctions

- **Calcul des maturités**

  On définit les Maturités, la maturité initiale et la Maturité résiduelle, par lesquelles nous allons travailler pour la valorisation du prix d'une obligation. Comme on a déjà cité précédemment, on distingue entre :

  Maturité initiale

  Il s'agit de la durée (en nombre de jours) s'écoulant entre la date d'échéance et la date d'émission.

  $$M_i = \text{Date d'échéance} - \text{Date d'émission}$$

  Maturité résiduelle

  Il s'agit de la durée (en nombre de jours) s'écoulant entre la date d'échéance et la date de valeur.

  $$M_r = \text{Date d'échéance} - \text{Date de la valeur}$$

- **Calcul du taux de rendement**

  Le taux de rendement, noté t_r, représente le pourcentage qui reflète le rendement anticipé ou effectif généré par un investissement dans une obligation. Dans le processus d'évaluation, les taux de rendement utilisés sont ceux des Bons du Trésor. Ces taux sont dérivés de la courbe des taux de référence des Bons du Trésor, qui est construite à partir des opérations effectuées par le Trésor, des transactions et des cotations sur la plate-forme électronique de négociation des Bons du Trésor, ainsi que des opérations réalisées par Bank Al-Maghrib sur le marché secondaire.

  La courbe des taux est rendue publique quotidiennement par l'autorité de régulation du marché monétaire. En vue de tester le pricer, la courbe des taux du 04 mai 2023 a été retenue. Pour obtenir les taux de rendement t_r correspondant aux échéances des obligations que nous souhaitons valoriser, une méthode d'interpolation linéaire est utilisée. Soient les taux zéro-coupon $r(t, T_1)$ et $r(t, T_2)$ de maturités respectives T_1 et T_2. Nous voulons interpoler (connaître) le taux de maturité T avec $T_1 < T < T_2$. Nous utilisons la formule d'interpolation linéaire suivante :

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

1. xlwings est une bibliothèque Python qui permet d'automatiser et de manipuler Excel à partir de Python.

- **Calcul des dates coupon**

  Trois dates cruciales sont calculées dans ce processus :
  - **La date du premier coupon** : Cette date correspond au premier coupon détaché. Par convention, le premier coupon est détaché un an après la date de jouissance.
  - **La date du coupon précédent** : C'est la date du coupon détaché juste avant la date de valeur.
  - **La date du coupon suivant** : Il s'agit de la date du premier coupon détaché après la date de valeur.

- **Calcul du nombre de jours**

  On aura besoin de :
  - n_j : Nombre de jours restant à courir jusqu'à la date du prochain coupon
  - D_j : Nombre de jours séparant la date du coupon précédent et la date valeur.

- **Calcul du nombre de flux monétaires restants**

  À cette étape, nous déterminons le nombre de flux monétaires restants de la date de valeur à la date d'échéance. Ce nombre peut représenter un seul flux ou plusieurs, selon le cas. Cette fonction servira aussi au calcul des mesures de risque par la suite.

- **Coupon atypique**

  Dans le cadre du processus automatisé envisagé, il est nécessaire de faire une distinction entre les obligations ordinaires et les obligations atypiques, également appelées lignes postérieures. Cette distinction influence en effet la formule de calcul à utiliser.

  Une obligation est considérée comme atypique lorsque la date de jouissance diffère de la date d'émission. Dans ce cas, le premier coupon de cette obligation est qualifié d'atypique.

  Pour le calcul des intérêts (coupons), le taux d'intérêt annuel retenu est le taux facial, qui représente le montant des intérêts annuels du coupon exprimé en pourcentage.

  - **Coupon d'intérêt** :

$$\text{Coupon d'intérêts} = \text{Taux facial} \times \text{Valeur nominale}$$

  - **Coupon atypique** :

$$\text{Coupon atypique} = [\text{Taux facial} \times \text{Valeur nominale}] \times \frac{\text{Date premier coupon} - \text{Date d'émission}}{365}$$

- **Dirty price, Coupon couru, Clean Price**

  Une fois tous les éléments nécessaires à l'évaluation d'une obligation établis, il est maintenant crucial de définir les formules de calcul appropriées. Les formules de calcul que nous avons adoptées sont conformes à celles définies par la circulaire de l'AMMC-Version

Janvier 2012 et que nous avons cité précédemment dans la partie « Valorisation d'une obligation à taux fixe ». Pour itérer à travers les lignes de la Data Frame pricing et effectuer les calculs requis, nous utilisons des boucles `for`.

Le "Dirty price" représente la valeur actuelle d'une obligation, en d'autres termes, il s'agit de la valeur actualisée des flux de trésorerie futurs de l'obligation, comprenant les intérêts courus.

Le calcul du "Coupon couru" est essentiel pour déterminer le "Clean price" de l'obligation. Sa formule est représentée comme suit :

$$\text{Coupon couru} = (\text{Valeur nominale} \times \text{Taux facial}) \times \frac{D_j}{365}$$

Le "Clean price" s'établie en faisant la soustraction du dirty price et du coupon couru :

$$\text{Clean price} = \text{Dirty price} - \text{Coupon couru}$$

- **Calcul des indicateurs de mesure de risque**

  Les indicateurs de risque sont calculés à la base des formules citées précédemment dans la partie « Mesure des indicateurs de risque ».

- **Importations des fichiers**

  Dans cette étape, nous procédons à l'importation des données nécessaires pour évaluer les obligations. Nous disposons de deux fichiers Excel pour évaluer les obligations et tester le pricer :

  — **Fichier des obligations** : Ce fichier contient les différentes obligations avec des détails tels que le code, la description, les dates d'émission, de jouissance, d'échéance, le taux facial, le nominal, l'amortissement et la date de valeur (Annexe A).

  — **Fichier de la courbe des taux** : Ce fichier comprend les dates d'échéance, les taux moyens pondérés et la date de valeur.

  Dans cet exemple, la date de valeur est le 04/05/2023, ces données serviront de base pour tester notre pricer.

- **Interface du pricer**

  Pour faciliter l'utilisation de notre pricer, nous avons utilisé la bibliothèque xlwings pour créer une interface sur Excel. Cette interface permet d'afficher les résultats en cliquant sur un seul bouton, qui exécute le code élaboré en Python (Annexe 3). Les résultats incluent non seulement les prix des obligations mais aussi des outils de mesure de risque tels que la duration, la sensibilité et la convexité.

Fixed Bond Pricer

Code	Date d'emission	Date d'echeance	Maturite résiduelle	Nominal	Amorti	Date VALEUR	Taux de rendement	Taux facial	Dirty Price	Coupon couru	Clean Price	Prochain coupon	Dernier coupon	nj	Flux	Dj
MA0002012922	05/08/2013	05/08/2023	0,254794521	100000	INFINE	04/05/2023	0,0304375	0,0525	104428,874	3966,666667	100462,2069	05/08/2023	05/08/2022	93	1	272
MA0002016972	30/05/2022	11/09/2023	0,356164384	100000	INFINE	04/05/2023	0,0309	0,0175	101120,296	1126,712329	99993,58384	11/09/2023	11/09/2022	130	1	235
MA0002013151	02/12/2013	17/06/2024	1,123287671	100000	INFINE	04/05/2023	0,035726667	0,0545	106809,64	4793,013699	102016,6261	17/06/2023	17/06/2022	44	2	321
MA0002015388	20/05/2019	14/10/2024	1,449315068	100000	INFINE	04/05/2023	0,037326619	0,026	99860,3764	1438,90411	98421,47227	14/10/2023	14/10/2022	163	2	202
MA0002007922	05/06/2006	05/06/2026	3,090410959	100000	INFINE	04/05/2023	0,040035355	0,0515	107959,148	4763,75	103195,3976	05/06/2023	05/06/2022	32	4	333
MA0002008029	04/12/2006	04/12/2036	13,59726027	100000	INFINE	04/05/2023	0,0499293	0,045	97055,1711	1887,5	95167,67108	04/12/2023	04/12/2022	214	14	151
MA0002016279	04/01/2021	20/02/2051	27,81917808	100000	INFINE	04/05/2023	0,0565	0,0345	70185,7989	690	69495,79893	20/02/2024	20/02/2023	292	28	73

Valoriser le portefeuille obligataire

Risk Measures

Code	Duration	Sensibilité	Convexité
MA0002012922	0,25484361	0,247315931	0,301163996
MA0002016972	0,354518834	0,343892554	0,452395803
MA0002013151	1,069738052	1,032838187	2,108924309
MA0002015388	1,420961622	1,369830482	3,220168613
MA0002007922	2,809684705	2,701528071	10,42955865
MA0002008029	10,17289906	9,689127698	121,8457056
MA0002016279	16,08878742	15,22838374	337,3173308

Figure 2.12 – Pricer des obligations

Commentaires :

Le BTD n°1 : Cette obligation est de type ordinaire, avec une durée de 10 ans. Sa maturité initiale est supérieure à un an, mais sa maturité résiduelle est inférieure à un an.

Le BTD n°2 : Il s'agit d'une obligation atypique d'une durée d'un an. Sa maturité initiale est supérieure à un an, mais sa maturité résiduelle est inférieure à un an.

Le BTD n°3 : Cette obligation est atypique, avec une durée de 10 ans. Tant sa maturité initiale que sa maturité résiduelle dépassent un an.

Le BTD n°4 : Il s'agit d'une obligation atypique avec une durée de 5 ans. Sa maturité initiale et résiduelle dépasse un an.

Le BTD n°5 : Cette obligation est ordinaire, avec une durée de 20 ans. Tant sa maturité initiale que sa maturité résiduelle dépassent un an.

Le BTD n°6 : Il s'agit d'une obligation ordinaire d'une durée de 30 ans. Tant sa maturité initiale que sa maturité résiduelle dépassent un an.

Le BTD n°7 : Cette obligation atypique a une durée de 30 ans. Tant sa maturité initiale que sa maturité résiduelle dépassent un an.

Cette variété d'obligation est choisie avec précision de telle sorte à tester la validité et la performance de notre pricer sur tout type d'obligation.

Conclusion

Au cours de ce chapitre consacré à la gestion du risque de marché, nous avons abordé plusieurs aspects cruciaux de l'évaluation et de la mesure des risques associés aux instruments financiers. Après avoir défini le risque de marché et examiné en détail la valorisation des obligations à taux fixe, nous avons élaboré un pricer pour ces obligations, ce qui nous a permis de calculer différents indicateurs de risque pertinents. Nous avons ensuite étendu notre analyse au pricing et à la couverture des options de change, en mettant l'accent sur les options vanilles européennes et leurs sensibilités pour bien quantifié le risque de marché associé aux options.

Au niveau du chapitre suivant on jette les bases pour notre prochaine exploration, qui portera sur l'optimisation d'un portefeuille de risque obligataire. En effet, une fois que nous avons une compréhension solide de la valorisation et de la mesure des risques individuels des obligations, nous pourrons nous concentrer sur la construction d'un portefeuille optimal qui prend en compte les niveaux de risque associés à chaque obligation.

Chapitre 3

Optimisation du portefeuille obligataire de la BCP

L'optimisation du portefeuille obligataire est le processus de sélection de la meilleure combinaison d'obligations pour atteindre un niveau de rendement et de risque souhaité. C'est une démarche cruciale pour les investisseurs institutionnels et individuels, car les obligations constituent une composante majeure des portefeuilles de nombreux investisseurs, en particulier ceux qui recherchent un revenu stable, une diversification et une réduction de la volatilité globale du portefeuille.

Les obligations offrent des revenus fixes réguliers et sont généralement moins volatiles que les actions, ce qui en fait une option attractive pour les investisseurs à la recherche de stabilité. Cependant, la gestion d'un portefeuille obligataire présente également des défis spécifiques, notamment la gestion du risque de taux d'intérêt, la sensibilité aux changements de taux, et la gestion de la convexité. En optimisant un portefeuille obligataire, les investisseurs peuvent maximiser leurs rendements pour un niveau de risque donné, ou minimiser leur risque pour un niveau de rendement donné.

L'objectif de ce chapitre est double. Premièrement, il vise à préparer et à consolider les données nécessaires pour une analyse approfondie du portefeuille obligataire de la BCP. Deuxièmement, il cherche à mettre en œuvre une stratégie d'optimisation qui équilibre deux paramètres clés : la duration et la sensibilité, tout en respectant la contrainte de maintenir le poids total du portefeuille égal à 1. Cette optimisation permettra de trouver une allocation qui offre le meilleur compromis entre rendement et risque, en tenant compte des spécificités des obligations détenues et des conditions du marché.

Les sections suivantes détailleront le processus de préparation des données, la méthodologie choisie pour l'optimisation du portefeuille, les résultats obtenus et l'analyse comparative avant et après optimisation. Cette approche permettra d'illustrer concrètement les avantages d'une gestion optimisée des obligations et de fournir des recommandations pratiques pour améliorer la performance du portefeuille obligataire de la BCP.

En résumé, ce chapitre met en lumière l'importance de l'optimisation des portefeuilles obligataires dans la gestion du risque de marché. Il montre comment une approche méthodique et bien structurée peut contribuer à maximiser la performance des investissements tout en minimisant les risques, et ainsi renforcer la stabilité financière.

3.1 Mesure de Performance

L'évaluation de la performance des portefeuilles a évolué avec l'acceptation de la théorie moderne de portefeuille. Aujourd'hui, nous cherchons à comprendre non seulement les rendements obtenus, mais aussi les risques encourus par les investisseurs pour obtenir ces rendements.

Pour évaluer correctement les compétences d'un gestionnaire de portefeuille, il est essentiel d'ajuster la rentabilité en fonction du risque pris. Cela nécessite, d'une part, une mesure précise du risque et, d'autre part, une compréhension de la manière dont le risque est rémunéré sur le marché financier.

Les méthodes de mesure de performance consistent donc à ajuster la rentabilité d'un portefeuille en tenant compte du risque associé. Cela permet non seulement de comparer différents fonds entre eux, mais aussi de comparer un fonds au marché dans son ensemble.

Dans le cadre de ce projet, nous nous concentrerons sur l'optimisation de la performance du portefeuille sous diverses contraintes de risque, telles que la duration et la sensibilité.

3.1.1 Le Rendement et la Rentabilité

Le rendement d'un portefeuille obligataire entre deux périodes est déterminé en calculant la différence entre la valeur du portefeuille à la fin de la période et sa valeur au début de la période, puis en rapportant cette différence à la valeur initiale du portefeuille.

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

Où :

- R_t est le rendement du portefeuille sur la période t.
- P_t est la valeur du portefeuille à la fin de la période t.
- P_{t-1} est la valeur du portefeuille au début de la période t.

Le rendement est utilisé lorsque aucun apport ou retrait de fonds n'a eu lieu durant la période analysée.

La rentabilité prend en compte non seulement les variations de valeur du portefeuille, mais également les flux de trésorerie tels que les coupons encaissés ou les apports/retraits de fonds.

$$R_t = \frac{(P_t - P_{t-1}) + C_t}{P_{t-1}}$$

Où :

- C_t représente les coupons encaissés durant la période t.

3.2 Préparation des données

La préparation des données est une étape cruciale pour l'optimisation du portefeuille obligataire. Elle consiste à collecter, nettoyer, fusionner et transformer les données nécessaires pour effectuer une analyse approfondie et fiable. Dans ce contexte, nous aurons besoin de deux bases de données principales pour appliquer notre pricer des obligations : le portefeuille d'obligations et la courbe de taux existante dans le site de Bank-Al-Maghrib.

3.2.1 Présentation du Portefeuille Obligataire

Pour notre étude, nous avons sélectionné un portefeuille composé uniquement de bons du Trésor émis par la Banque Centrale Populaire (BCP). La sélection de ces instruments garantit une qualité de crédit élevée et une certaine homogénéité dans la nature des titres étudiés.

Code	Emission	Jouissance	Echeance	Tx_facial	Nominal	Amortissement	Date VALEUR	Gisement
MA0002007518	28/02/2005	28/02/2005	28/02/2025	6,00%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	2743,10
MA0002007641	03/10/2005	03/10/2005	03/10/2025	5,95%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	4422,50
MA0002007740	02/01/2006	02/01/2006	02/01/2026	5,95%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	3540,00
MA0002007922	05/06/2006	05/06/2006	05/06/2026	5,15%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	3140,00
MA0002008029	04/12/2006	04/12/2006	04/12/2036	4,50%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	2775,00
MA0002009936	01/03/2010	01/03/2010	01/03/2025	4,20%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	7118,40
MA0002009993	03/05/2010	03/05/2010	03/05/2030	4,40%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	2670,00
MA0002010934	02/01/2012	02/01/2012	19/04/2027	4,40%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	7470,00
MA0002012369	18/03/2013	18/03/2013	14/08/2028	5,25%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	9525,00
MA0002013177	06/01/2014	06/01/2014	16/04/2029	5,60%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	14918,70
MA0002013284	31/03/2014	31/03/2014	31/03/2034	5,85%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	11156,70
MA0002013318	14/04/2014	14/04/2014	06/08/2029	5,45%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	7650,10
MA0002013383	02/06/2014	02/06/2014	02/06/2025	4,55%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	16394,70
MA0002013441	04/08/2014	04/08/2014	19/02/2035	5,65%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	13031,20
MA0002013508	07/10/2014	07/10/2014	06/02/2045	5,70%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	10537,10
MA0002013797	18/05/2015	18/05/2015	05/08/2030	4,00%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	13575,00
MA0002013862	06/07/2015	06/07/2015	04/02/2036	4,40%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	9037,00
MA0002014084	04/01/2016	04/01/2016	15/06/2026	3,50%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	9265,40
MA0002014092	04/01/2016	04/01/2016	19/02/2046	4,85%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	9265,30
MA0002014266	02/05/2016	02/05/2016	18/08/2036	3,55%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	2291,20
MA0002014324	16/05/2016	16/05/2016	18/07/2031	3,20%	100 000,00	INFINE	04/05/2023	13258,80

FIGURE 3.1 – Le portefeuille d'obligations

3.2.2 Courbes de taux

Pour analyser la performance de notre portefeuille, nous avons choisi deux dates spécifiques : le 28/05/2024 et le 04/05/2023. Ces dates permettent d'observer l'évolution du portefeuille sur une période d'un an.

Les taux de référence pour ces dates, qui seront utilisés pour évaluer les obligations du portefeuille, sont présentés ci-dessous :

— **Taux de référence au 28/05/2024 :**

Date d'echeance	Taux moyen pondere	Date de la valeur
15/07/2024	2,96%	28/05/2024
16/09/2024	3,02%	28/05/2024
20/01/2025	3,07%	28/05/2024
17/11/2025	3,18%	28/05/2024
17/04/2028	3,36%	28/05/2024
16/06/2031	3,56%	28/05/2024
19/06/2034	3,74%	28/05/2024
14/03/2039	3,97%	28/05/2024
17/08/2043	4,17%	28/05/2024
16/02/2054	4,82%	28/05/2024

Figure 3.2 – Taux de référence au 28/05/2024

— **Taux de référence au 04/05/2023 :**

Date d'echeance	Taux moyen pondere	Date de la valeur
17/07/2023	3,02%	04/05/2023
11/09/2023	3,09%	04/05/2023
19/02/2024	3,38%	04/05/2023
16/09/2024	3,72%	04/05/2023
17/05/2027	4,16%	04/05/2023
17/06/2030	4,44%	04/05/2023
14/06/2032	4,61%	04/05/2023
14/07/2036	4,97%	04/05/2023
16/04/2040	5,19%	04/05/2023
20/02/2051	5,65%	04/05/2023

Figure 3.3 – Taux de référence au 04/05/2023

3.2.3 Application des méthodes de valorisation et de mesures de risque au portefeuille obligataire

Nous appliquons notre pricer d'obligation, élaboré dans le chapitre précédent, pour valoriser les obligations du portefeuille à ces deux dates. Les résultats de la valorisation sont présentés dans les tableaux suivants :

— **Valorisation au 28/05/2024 :**

Fixed bond pricer		Valoriser le portefeuille obligataire					Risk measures		
Taux de rendement	Dirty Price	Coupon couru	Clean Price	Gisement	Prix total(MDH)	poids	Duration	Sensibilité	Convexité
0,030842525	103551,4295	1500	102051,4295	2743,1	284051926,4	0,4721%	0,756467749	0,733834442	1,250175346
0,031635548	107470,7425	3933,611111	103537,1314	4422,5	475289358,6	0,7900%	1,295922434	1,256182415	2,844292838
0,031893878	106598,2108	2429,583333	104168,6275	3540	377357666,3	0,6272%	1,545224541	1,497464588	3,742205028
0,032208163	108754,0669	5121,388889	103632,678	3140	341487770,1	0,5676%	1,881429413	1,822722858	5,290329196
0,038595894	108401,4469	2200	106201,4469	2775	300814015	0,5000%	9,740749514	9,378767597	112,1108186
0,030846179	101784,2107	1026,666667	100757,544	7118,4	724540725,1	1,2042%	0,759208972	0,736491037	1,256654133
0,034891775	105101,6965	305,5555556	104796,1409	2670	280621529,6	0,4664%	5,349948206	5,169572641	33,42358735
0,032857143	104476,9986	1796,666667	102680,332	7470	780443179,7	1,2972%	2,47739752	2,398586811	8,253776367
0,033806061	107579,4379	1035,416667	106544,0212	9525	1024694146	1,7031%	3,526573675	3,411252661	15,47725984
0,034230303	111298,4532	2224,444444	109074,0087	14918,7	1660428234	2,7598%	4,134093944	3,997266307	20,98282431
0,037268972	118141,73	942,5	117199,23	11156,7	1318071839	2,1907%	7,874926971	7,591981622	73,25714699
0,034424242	109525,0547	666,1111111	108858,9436	7650,1	837877620,9	1,3926%	4,41225018	4,26541645	23,43775134
0,031186047	105893,5491	4562,638889	101330,9103	16394,7	1736092970	2,8855%	0,970749023	0,941390767	1,837793235
0,037725911	121459,7227	4676,944444	116782,7782	13031,2	1582765938	2,6307%	8,478206105	8,169985943	87,74417313
0,042613321	123527,7688	3705	119822,7688	10537,1	1301624452	2,1634%	13,24069997	12,69953079	227,3314059
0,035054545	102731,6673	111,1111111	102620,5561	13575	1394582383	2,3179%	5,432669325	5,248679259	34,22203095
0,038191498	109469,6981	3996,666667	105473,0314	9037	989277661,6	1,6443%	9,369160725	9,024501495	105,1350688
0,032228571	101794,5406	1409,722222	100384,8183	9265,4	943167136	1,5676%	1,571750523	1,522676824	3,82426794
0,043253832	109159,3286	1953,472222	107205,8564	9265,3	1011393928	1,6810%	13,89490658	13,31881672	244,2491643
0,038452227	97465,87237	256,3888889	97209,48348	2291,2	223313806,8	0,3712%	9,871611018	9,506081035	110,7248318
0,035652411	97884,81575	106,6666667	97778,14908	13258,8	1297835195	2,1571%	6,340264789	6,122000702	45,60115622
0,032971429	102016,0697	2364,444444	99651,62529	11040,2	1126277813	1,8720%	3,091370015	2,992696535	12,22452375

FIGURE 3.4 – Valorisation au 28/05/2024

— **Valorisation au 04/05/2023 :**

Fixed bond pricer		Valoriser le portefeuille obligataire					Risk measures		
Taux de rendement	Dirty Price	Coupon couru	Clean Price	Gisement	Prix total(MDH)	poids	Duration	Sensibilité	Convexité
0,037946146	104865,053	1083,333333	103781,719	2743,1	287655326	0,48300%	1,76642636	1,70184779	4,58456599
0,038927441	108103,209	3520,416667	104582,792	4422,5	478086439,9	0,80275%	2,25595331	2,17142528	7,03035087
0,039338952	106972,655	2016,388889	104956,266	3540	378683199,3	0,63584%	2,50517209	2,41035139	8,35406751
0,040035355	107959,148	4763,75	103195,398	3140	338991723,5	0,56920%	2,80968471	2,70152807	10,4295586
0,0499293	97055,1711	1887,5	95167,6711	2775	269328099,7	0,45222%	10,1728991	9,6891277	121,845706
0,037950668	101415,918	746,6666667	100669,251	7118,4	721919068,7	1,21216%	1,78724051	1,7218935	4,65963012
0,044288199	99829,7298	12,22222222	99817,5076	2670	266545378,6	0,44755%	6,17373552	5,91190778	43,340589
0,041473381	102293,984	1491,111111	100802,873	7470	764136059,1	1,28305%	3,42116439	3,28492734	14,4209104
0,042730435	104867,622	685,4166667	104182,206	9525	998864103,8	1,67718%	4,41069541	4,2299479	23,0475283
0,04333913	108037,167	1835,555556	106201,611	14918,7	1611774077	2,70630%	4,961769	4,75566272	29,1557386
0,047681489	109557,144	552,5	109004,644	11156,7	1222296190	2,05234%	8,44608477	8,06169133	83,4732768
0,043617391	105873,267	302,7777778	105570,489	7650,1	809941079	1,35996%	5,24646938	5,0271962	32,041656
0,038371223	105581,365	4246,666667	101334,699	16394,7	1730974811	2,90645%	1,9521418	1,88000376	5,52768687
0,048466197	111494,54	4284,583333	107209,957	13031,2	1452907651	2,43955%	8,93776334	8,52460801	97,1022849
0,053939929	107153,95	3309,166667	103844,783	10537,1	1129091882	1,89584%	12,9786788	12,3144388	222,005989
0,044514423	101165,914	3900	97265,9138	13575	1373327280	2,30593%	6,02246593	5,76580447	42,593311
0,049311268	98567,7516	3691,111111	94876,6405	9037	890756771	1,49565%	9,81202317	9,35091757	114,965974
0,040080576	99872,3558	1166,666667	98705,6892	9265,4	925357325,6	1,55375%	2,570151	2,47110759	8,62935466
0,054378799	94010,0319	1616,666667	92393,3652	9265,3	871031148,5	1,46253%	13,6478826	12,9440033	239,342631
0,049756122	86600,2434	19,72222222	86580,5212	2291,2	198418477,7	0,33316%	10,4226752	9,9286634	122,420215
0,045324725	94285,3048	3137,777778	91147,5271	13258,8	1250110000	2,09904%	6,92857711	6,62815768	55,0537279

FIGURE 3.5 – Valorisation au 04/05/2023

3.2.4 Calcul de la Performance

Pour évaluer la performance du portefeuille, nous extrayons les colonnes suivantes : les prix initiaux, les prix finals et les poids des obligations dans le portefeuille. Ces informations sont essentielles pour calculer rendements et la performance globale du portefeuille.

Prix final	Prix total final(MDH)	prix unitial	Prix total initial(MDH)	Performance
103551,43	284051926,4	104865,05	287655326	1,2527%
107470,74	475289358,6	108103,21	478086439,9	0,5851%
106598,21	377357666,3	106972,66	378683199,3	0,3500%
108754,07	341487770,1	107959,15	338991723,5	0,7363%
108401,45	300814015	97055,171	269328099,7	11,6905%
101784,21	724540725,1	101415,92	721919068,7	0,3632%
105101,7	280621529,6	99829,73	266545378,6	5,2810%
104477	780443179,7	102293,98	764136059,1	2,1341%
107579,44	1024694146	104867,62	998864103,8	2,5859%
111298,45	1660428234	108037,17	1611774077	3,0187%
118141,73	1318071839	109557,14	1222296190	7,8357%
109525,05	837877620,9	105873,27	809941079	3,4492%
105893,55	1736092970	105581,37	1730974811	0,2957%
121459,72	1582765938	111494,54	1452907651	8,9378%
123527,77	1301624452	107153,95	1129091882	15,2806%
102731,67	1394582383	101165,91	1373327280	1,5477%
109469,7	989277661,6	98567,752	890756771	11,0604%
101794,54	943167136	99872,356	925357325,6	1,9246%
109159,33	1011393928	94010,032	871031148,5	16,1146%
97465,872	223313806,8	86600,243	198418477,7	12,5469%
97884,816	1297835195	94285,305	1250110000	3,8177%
102016,07	1126277813	98330,545	1085588883	3,7481%
101442,22	1703772789	93391,155	1568551142	8,6208%

FIGURE 3.6 – Calcul de la performance

En utilisant les poids, nous calculons la performance de notre portefeuille sur la période spécifiée, ainsi que les mesures de risque associées, telles que la duration, la sensibilité et la convexité du portefeuille au 28/05/2024.

Performance du portefeuille	7,5846%
Duration du portefeuille	5,5082054591
Sensibilité du portefeuille	5,3035282535
Convexité du portefeuille	61,2234467094

FIGURE 3.7 – Performance et mesures de risque du portefeuille au 29/05/2024

3.2.5 Interprétation des résultats

- **P**erformance du Portefeuille

  La performance de 7,5846% indique que le portefeuille a généré un rendement substantiel sur la période considérée. Ce résultat est encourageant, car il est assez élevé pour un portefeuille obligataire, surtout dans un environnement de taux d'intérêt bas. Cela peut indiquer une bonne sélection des obligations et une gestion efficace du portefeuille.

- **D**uration du Portefeuille

  Une duration de 5,5082 représente le temps moyen pondéré en année qu'il faut pour récupérer le coût investi des obligations de notre portefeuille, c'est à dire qu'en moyenne, il faudra environ 5,5082 ans pour récupérer le coût investi dans les obligations de notre portefeuille. Une duration plus élevée signifie que l'investisseur mettra plus de temps à récupérer son investissement initial. Cette duration suggère un équilibre entre risque et rendement. Une duration plus élevée augmenterait le rendement potentiel mais aussi le risque, tandis qu'une duration plus basse réduirait à la fois le risque et le rendement potentiel.

- **S**ensibilité du Portefeuille

  La sensibilité de notre portefeuille est de 5,3035. Cette valeur indique que pour chaque variation de 1% des taux d'intérêt, la valeur du portefeuille variera de 5,3035 %. Par exemple, une augmentation de 1% des taux d'intérêt entraînera une baisse de 5,3035% de la valeur du portefeuille. Cela montre une sensibilité modérée aux mouvements des taux d'intérêt, ce qui est attendu pour un portefeuille composé principalement de bons du Trésor, généralement moins volatils que d'autres types d'obligations.

- **C**onvexité du Portefeuille

  La convexité du portefeuille est de 61,2234,elle mesure la courbure de la relation entre les prix des obligations et les taux d'intérêt, offrant une indication supplémentaire de la sensibilité du portefeuille aux variations des taux :

  Une convexité élevée signifie que le portefeuille bénéficiera plus d'une baisse des taux d'intérêt que ce qu'une simple mesure de duration pourrait suggérer. Inversement, les hausses de taux auront un impact négatif moins prononcé. Cela ajoute une dimension supplémentaire de protection contre la volatilité des taux d'intérêt.

  Une convexité élevée est un avantage significatif, car elle indique une meilleure protection contre les variations importantes des taux d'intérêt. Cela peut rendre le portefeuille plus attractif pour les investisseurs recherchant une stabilité accrue.

  À partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que notre portefeuille obligataire est bien équilibré et performant : Un rendement de 7,5846% est très satisfaisant et suggère une gestion efficace des actifs. Cela attire les investisseurs en quête de rendement dans un environnement souvent dominé par des rendements obligataires plus bas.

La duration de 5,5082 et la sensibilité de 5,3035 indiquent une sensibilité modérée aux variations des taux d'intérêt, ce qui est approprié pour un portefeuille de bons du Trésor. Cela montre une gestion prudente des risques de taux.

La convexité élevée de 61,2234 offre une protection supplémentaire contre la volatilité des taux d'intérêt, ce qui est un atout pour les investisseurs cherchant à minimiser les risques.

3.3 Méthode d'optimisation

Dans cette section, nous détaillons la méthode d'optimisation utilisée pour maximiser la performance de notre portefeuille obligataire sous une contrainte de durée (duration). L'objectif est de maximiser le rendement du portefeuille tout en respectant une durée cible spécifiée, considérée comme une mesure de risque.

D'un point de vu économique,la maximisation du rendement ajusté au risque est essentielle pour accroître l'utilité des investisseurs. En maximisant la performance tout en respectant une contrainte de durée cible, le modèle optimise l'allocation des ressources, contribuant ainsi à une utilisation plus efficiente du capital. Cela permet de répondre aux attentes des investisseurs en matière de rendement, tout en respectant leur tolérance au risque.

3.3.1 La formule mathématique du processus d'optimisation

L'objectif de l'optimisation est de maximiser la performance du portefeuille, représentée par le rendement total pondéré des différentes obligations. La fonction à maximiser est donnée par :

$$\text{Maximiser} \quad \text{Perf} = \sum_{i=1}^{n} \omega_i \cdot \text{Perf}_i$$

où :

- ω_i est le poids de l'obligation i dans le portefeuille.
- Perf_i est la performance (rendement) de l'obligation i.

Les contraintes du problème d'optimisation sont les suivantes :

$$\text{Duration}_{\text{portefeuille}} = \text{Duration}_{\text{cible}}$$

Cette contrainte assure que le risque, mesuré par la durée, est maintenu à un niveau exactement égal à la durée cible.

$$\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1$$

Cette contrainte garantit que la totalité des fonds est investie sans surplus ou déficit.

$$\omega_i = \frac{\text{prix de l'obligation}(i) \times \text{Gisement(quantité)}}{\text{prix total du portefeuille}}$$

où :

- Prix total de l'obligation i = prix de l'obligation(i) $\times$ Gisement(quantité)
- Prix total du portefeuille = $\sum_{i=1}^{n}$ Prix total de l'obligation(i)
- n est le nombre d'obligations dans le portefeuille
- $D_{\text{portefeuille}}$ est la duration du portefeuille.

3.3.2 Méthodologie d'optimisation

Dans cette section, nous décrivons la méthodologie utilisée pour optimiser le portefeuille obligataire en maximisant la performance sous une contrainte de durée cible. Nous avons choisi d'utiliser le solveur Excel pour cette optimisation. Voici les étapes détaillées de notre approche :

— La première étape consiste à fixer une duration cible pour le portefeuille. Cette duration cible représente le niveau de risque acceptable en termes de sensibilité aux variations des taux d'intérêt. Pour notre optimisation, nous avons fixé la duration cible à 2.

— Nous avons extrait les colonnes pertinentes du portefeuille, incluant la durée de chaque obligation ainsi que la durée totale du portefeuille. De plus, nous avons pris en compte la colonne des poids actuels des différentes obligations dans le portefeuille.

— Pour résoudre le problème d'optimisation, nous avons utilisé le solveur Excel. Nous avons défini la fonction objective à maximiser, qui est la performance du portefeuille et aussi les contraintes.

— Nous avons ensuite exécuté le solveur Excel pour trouver les poids optimaux ω_i qui maximisent la performance du portefeuille tout en respectant les contraintes spécifiées.

3.3.3 Résultats de l'optimisation

Après avoir exécuté le solveur Excel, nous avons obtenu les résultats suivants pour notre portefeuille obligataire optimisé :

— **Valeurs de la Fonction Objective et de la Duration Cible**

Optimisation du portefeuille	
Fonction objective	Contraintes
Performances du portefeuille	durations cibles
9,2224%	2

Figure 3.8 – Performance Optimale du Portefeuille

— **Poids Optimaux des Obligations**

le tableaux suivant représente un extrait des poids avant optimisation et après optimisation :

poids	poids optimaux
0,00083946	0
0,0151975	0
0,02735598	0
0,02986317	0
0,02001756	0
0,01586986	0
0,00232876	0
0,01342373	0
0,0133214	0
0,03156902	0
0,02295603	0,113537784
0,01552106	0
0,01013125	0,886462216
0,01639749	0

FIGURE 3.9 – Poids optimaux

à partir des poids optimaux, on obtient les nouvelle valeurs des indicateurs de mesure de risque du portefeuille.

Performance du portefeuille	9,2224%
Duration du portefeuille	1,9999999868
Sensibilité du portefeuille	1,9114441505
Convexité du portefeuille	38,9686106974

FIGURE 3.10 – Indicateurs de risque après optimisation

3.3.4 Interprétation des résultats

Les résultats de l'optimisation montrent une amélioration significative de la performance du portefeuille, passant de 7,5846% à 9,2224%, tout en respectant la contrainte stricte de duration cible de 2. Cette augmentation substantielle de la performance reflète une allocation plus efficace des ressources et une gestion optimisée des actifs.

Avant optimisation, la duration du portefeuille était de 5,5082, indiquant une sensibilité relativement élevée aux variations des taux d'intérêt. Après optimisation, la duration est exactement de 2, ce qui démontre que nous avons réussi à réduire la sensibilité du portefeuille aux fluctuations des taux d'intérêt, diminuant ainsi le risque de volatilité des prix des obligations. De plus, la sensibilité du portefeuille a été réduite de 5,3035 à 1,9114, ce qui est cohérent avec la diminution de la duration. Cela signifie une réactivité moindre aux changements des taux d'intérêt, réduisant encore davantage le risque.

En revanche, la convexité du portefeuille a été réduite de 61,2234 à 38,9686. Bien que cela diminue la protection contre les variations non linéaires des taux d'intérêt, la nouvelle allocation semble avoir trouvé un équilibre optimal entre rendement et risque. En tant que gestionnaire de portefeuille, il est crucial de maintenir cet équilibre pour maximiser le rendement tout en minimisant les risques.

La nouvelle allocation permet de répondre aux attentes des investisseurs cherchant un rendement élevé avec une sensibilité modérée aux risques de taux. Ces ajustements optimisés rendent le portefeuille plus attrayant, offrant une performance améliorée tout en maintenant une duration et une sensibilité appropriées, ce qui est essentiel pour la gestion prudente des risques financiers.

3.4 Analyse des performances du portefeuille en fonction des durations cibles

3.4.1 Calcul de la fonction objective pour différentes durations cibles

Pour mieux comprendre l'impact de la duration sur la performance du portefeuille, nous avons calculé la fonction objective (performance du portefeuille) pour diverses durations cibles. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Itérations	Performances du Portefeuille	Durations Cibles
1	2,2802%	0
2	2,6357%	0,25
3	4,7517%	0,75
4	5,6458%	1
5	6,5400%	1,25
6	7,4341%	1,5
7	9,2224%	2
8	10,1165%	2,25
9	11,0107%	2,5
10	11,9048%	2,75
11	12,7990%	3
12	13,6931%	3,25
13	14,5873%	3,5
14	15,4814%	3,75
15	16,3756%	4
16	17,2697%	4,25
17	18,1639%	4,5
18	19,0580%	4,75
19	19,9522%	5
20	23,5287%	6

Table 3.1 – Performances du portefeuille pour différentes durations cibles

3.4.2 Graphique de la fonction objective en fonction des durations cibles

En traçant les performances du portefeuille en fonction des différentes durations cibles, nous observons que la relation est presque linéaire. Ce graphique illustre comment la performance du portefeuille varie avec la duration cible imposée.

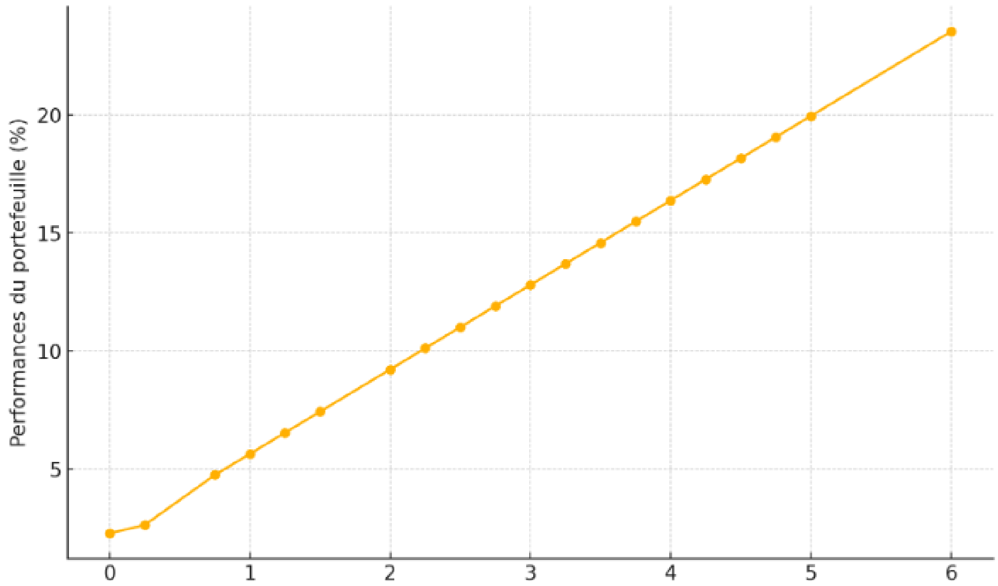

FIGURE 3.11 – Performances du portefeuille en fonction des durations cibles

3.4.3 Interprétation du graphique

Les résultats de l'optimisation du portefeuille révèlent des insights précieux pour la gestion stratégique des obligations. La duration, exprimée en années, est un indicateur clé de la sensibilité du portefeuille aux variations des taux d'intérêt. Une duration plus longue indique une sensibilité accrue et vice versa. Dans notre analyse, on a observé une relation presque linéaire entre la performance et la duration cible, mettant en lumière l'importance de ce paramètre dans la quête de rendements optimaux.

La progression régulière des performances du portefeuille avec l'augmentation de la duration cible reflète la stabilité du marché obligataire marocain, en particulier pour les bons du Trésor. Ces titres, moins volatils, offrent des rendements plus élevés à mesure que la duration augmente, ce qui souligne leur attractivité pour les investisseurs cherchant un équilibre entre rendement et risque.

La sensibilité accrue du portefeuille après optimisation est un élément crucial à considérer. Bien que cela ait conduit à une amélioration de la performance, cela expose également le portefeuille à des risques accrus en cas de variations des taux d'intérêt. Ainsi, la décision d'augmenter la duration doit être prise avec prudence, en tenant compte des objectifs de rendement et de la tolérance au risque des investisseurs.

En résumé, l'analyse de la fonction objective pour différentes durations cibles offre des perspectives importantes pour la prise de décision stratégique dans la gestion d'un portefeuille obligataire. Il est crucial de maintenir un équilibre entre rendement et risque, en comprenant l'impact de la duration sur la performance et la sensibilité du portefeuille. Cette approche permet aux gestionnaires de portefeuille de prendre des décisions éclairées pour maximiser les rendements tout en gérant efficacement les risques associés.

Conclusion

Selon les objectifs et la tolérance au risque, si l'on peut supporter des sensibilités plus élevées et les risques associés, il pourrait être avantageux de continuer à augmenter la sensibilité du portefeuille au-delà de 5. Si l'on peut supporter des durations plus longues et les risques associés, il pourrait être avantageux de continuer à augmenter la duration du portefeuille au-delà de 6. Augmenter la duration pour chercher des rendements plus élevés doit être fait avec prudence. Il est crucial de maintenir une diversification adéquate pour gérer le risque. Toutes les extrapolations montrent une tendance à l'augmentation des rendements avec l'augmentation des durations. Cela suggère que des durations plus longues pourraient potentiellement offrir des rendements plus élevés.

Conclusion générale

Ce Projet de Fin d'Études a permis d'explorer en profondeur la gestion du risque de marché au sein de la salle des marchés de la Banque Centrale Populaire (BCP), mettant en évidence les défis et les solutions spécifiques à ce domaine. À travers une analyse détaillée des marchés financiers, de la valorisation des portefeuilles obligataires, de l'optimisation des stratégies de gestion des risques, et du pricing des options, nous avons apporté des contributions significatives à la compréhension et à la maîtrise de ces enjeux complexes.

Nous avons commencé par une étude approfondie des principaux marchés financiers, notamment le marché des changes et le marché des taux, afin de saisir les dynamiques et les spécificités propres à chaque marché. Cette exploration a mis en lumière l'importance de ces marchés pour la gestion des risques et a posé les bases de notre analyse ultérieure.

Le deuxième chapitre a été consacré à la gestion du risque de marché, où nous avons abordé le pricing et la couverture des options de change, une composante clé de la gestion du risque de change. En explorant les différents aspects des options vanilles européennes, des mécanismes de pay-off aux méthodes de pricing et aux facteurs de sensibilité, nous avons développé un pricer pratique pour ces options, démontrant ainsi l'application concrète des théories financières.

nous avons egalement défini et mesuré les risques associés aux portefeuilles obligataires. Nous avons élaboré un pricer pour les obligations à taux fixe, en détaillant chaque étape du processus ainsi que les fonctions impliquées. Ce travail a permis d'illustrer les méthodes de valorisation et de mesure des risques, fournissant des outils essentiels pour la prise de décisions éclairées.

Enfin, le troisième chapitre a porté sur l'optimisation du portefeuille obligataire de la BCP. Nous avons appliqué diverses méthodes de valorisation et de mesure des risques, interprété les résultats obtenus et formulé des stratégies d'optimisation. L'intégration de contraintes spécifiques au modèle, telles que la fixation de la duration cible et la maximisation de la performance, a permis d'améliorer la performance du portefeuille, illustrant l'importance d'une gestion proactive et analytique des risques.

En conclusion, ce projet a démontré que la gestion du risque de marché nécessite une approche multidimensionnelle, intégrant des outils sophistiqués et des méthodes avancées pour évaluer, contrôler et optimiser les risques financiers. Les résultats obtenus confirment que des pratiques rigoureuses et bien structurées en matière de gestion des risques sont cruciales pour assurer la pérennité et la croissance des institutions bancaires.

Bibliographie

[1] Berger V Université d'Evry Val d'Essonne DESS d'Ingéniérie Mathématique option Finance Introduction à la valorisation des produits financiers.

http://docs.finance.free.fr/DOCS/Intro%20%E0%20la%20valo%20des%20produits%20financiers%20-%20Evry.pdf

[2] Marché des changes - Patrice Fontaine - 2ème édition.

http://livre21.com/LIVREF/F9/F009058.pdf

[3] Marchés financiers et gestion de portefeuille.

http://www.laharach-youssef.com/medias/files/support-en-pdf-partie-i.pdf

[4] Options. Futures. AND Other Derivatives.

https://fac.ksu.edu.sa/sites/default/files/options_futures_and_other_derivatives_8th_ed_part1.pdf

[5] Paul Wilmott - Introduces Quantitative Finance.

http://www.untag-smd.ac.id/files/Perpustakaan_Digital_1/FINANCE%20Paul%20Wilmott%20Introduces%20Quantitative%20Finance%200470319585.pdf

[6] Produits et les Stratégies de Taux.

https://fly06.fr/Pdf/Cours_sur_les_Produits_et_les_Strategies_de_Taux

[7] Stratégie de gestion de portefeuille obligataire.

http://neumann.hec.ca/~p283/private/NpOblig.pdf

[8] Circulaire n 02-04 sur l'Evaluation des OPCVM1.

https://www.ammc.ma/sites/default/files/Circulaire_OPCVM7(1).pdf

[9] Circulaire n°02-09 relative à la classification des OPCVM.

https://www.ammc.ma/sites/default/files/Cir0209.pdf

[10] https://www.casablanca-bourse.com/fr/live-market/emetteurs/BCP060704

[11] https://asfim.ma/

[12] https://www.abcbourse.com/apprendre/

[13] https://www.bkam.ma/

Annexe A

Obligations utilisées pour tester le pricer

Code	Description	Emission	Jouissance	Echeance	Tx_facial	Nominal	Amortissement	Date VALEUR
MA0002012922	BDT du 05082013	05/08/2013	05/08/2013	05/08/2023	5,25%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002016972	BTN TRES 11/09/2023	30/05/2022	11/09/2022	11/09/2023	1,75%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002013151	BTN TRES 17/06/24	02/12/2013	17/06/2014	17/06/2024	5,45%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002015388	BTN TRES 14/10/2024	20/05/2019	14/10/2019	14/10/2024	2,60%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002007922	BTN TRES 05/06/26	05/06/2006	05/06/2006	05/06/2026	5,15%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002008029	BTN TRES 04/12/36	04/12/2006	04/12/2006	04/12/2036	4,50%	100 000,00	INFINE	04/05/2023
MA0002016279	BTN TRES 20/02/2051	04/01/2021	20/02/2021	20/02/2051	3,45%	100 000,00	INFINE	04/05/2023

FIGURE A.1 – Obligations utilisées pour tester le pricer

Annexe B

Code python du pricer des obligations à taux fixes

```python

import xlwings as xw
import pandas as pd
from datetime import datetime
import os

# [1]
def calculate_obligation_price():

    pricing_file = "C:/Users/CELATEC/Documents/pricing.xlsx"
    bam_file = "C:/Users/CELATEC/Documents/bam.xlsx"

    pricing = pd.read_excel(pricing_file)
    bam = pd.read_excel(bam_file)

    ##Pricer des obligations
    wb = xw.Book.caller()
    def calculate_maturities(pricing, bam):
        bam['Maturite'] = (bam["Date d'echeance"] - bam['Date de la valeur']).dt.days
        bam['Maturite annuelle'] = bam['Maturite'] / 365
        pricing['Maturite Residuelle'] = (pricing["Echeance"] - pricing["Date VALEUR"]).dt.days
        pricing['Maturite annuelle'] = pricing['Maturite Residuelle'] / 365
        pricing['Maturite initiale'] = (pricing["Echeance"] - pricing["Emission"]).dt.days
        pricing['Maturite initiale annuelle'] = pricing['Maturite initiale'] / 365
        return pricing, bam

    # [2]
    def calculate_taux_valorise(pricing, bam):
        pricing['taux valorise']=0
        for i in range(0, len(pricing)):
            for j in range(0, len(bam)):
                if pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] > bam.loc[j, 'Maturite'] and \
                pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] < bam.loc[j+1, '
```

```
Maturite']:
                pricing.loc[i, 'taux valorise'] = bam.loc[j, 'Taux moyen pondere'] + \
                                                  ((pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] - bam.loc[j, 'Maturite']) * \
                                                  (bam.loc[j+1, 'Taux moyen pondere'] - bam.loc[j, 'Taux moyen pondere'])) / \
                                                  (bam.loc[j+1, 'Maturite'] - bam.loc[j, 'Maturite'])
            elif pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] == bam.loc[j, 'Maturite']:
                pricing.loc[i, 'taux valorise'] = bam.loc[j, 'Taux moyen pondere']
    return pricing
# [3]
def date_premier_coupon(pricing):
    pricing['Date Jouissance 1'] = pricing['Jouissance'].dt.strftime('%d-%m/%Y')
    ann = pricing['Date Jouissance 1'].str.split(pat='/', expand=True)
    ann[1] = pd.to_numeric(ann[1])
    ann[1] = ann[1] + 1
    ann['Date'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[1].map(str)
    pricing['D1c'] = ann['Date']
    pricing['D1c'] = pd.to_datetime(pricing['D1c'], format=('%d-%m-%Y'))
    del pricing['Date Jouissance 1']
    return pricing

# [4]
def dernier_coupon(pricing):
#Date coupon avant et apr s DATE VALEUR
    pricing['Date Jouissance 1'] = pricing['Jouissance'].dt.strftime('%d-%m/%Y')
    ann = pricing['Date Jouissance 1'].str.split(pat='/', expand=True)
    ann[1] = pd.to_numeric(ann[1])
    ann[1] = ann[1] - 1
    ann[2] = 2023
    ann[3] = 2022
    ann['Date1'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[1].map(str)
    ann['Date2'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[2].map(str)
    ann['Date3'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[3].map(str)
    pricing['DC1'] = ann['Date1']
    pricing['DC2'] = ann['Date2']
    pricing['DC3'] = ann['Date3']
    pricing['DC1'] = pd.to_datetime(pricing['DC1'], format=('%d-%m-%Y'))
    pricing['DC2'] = pd.to_datetime(pricing['DC2'], format=('%d-%m-%Y'))
    pricing['DC3'] = pd.to_datetime(pricing['DC3'], format=('%d-%m-%Y'))
    for i in range(len(pricing)):
        if pricing.loc[i, 'DC1'] <= pricing.loc[i, 'Emission']:
            pricing.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing.loc[i, 'DC2']
        else:
            pricing.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing.loc[i, 'Emission']
    pricing['Date VALEUR'] = pd.to_datetime(pricing['Date VALEUR'])
    pricing['Dernier coupon'] = pd.to_datetime(pricing['Dernier coupon'])
    pricing['Dj'] = (pricing['Date VALEUR'] - pricing['Dernier coupon']).dt.days
    for i in range(0, len(pricing)):
```

```
        a = pricing['Dj'] < 0
        if a[i] == True:
            pricing.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing.loc[i, 'DC3']
    pricing['Dj'] = (pricing['Date VALEUR'] - pricing['Dernier coupon']).dt.days
    for i in range(0, len(pricing)):
        if pricing['Dernier coupon'][i] < pricing['Emission'][i]:
            pricing.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing.loc[i, 'Jouissance']
    pricing['Dernier coupon'] = pd.to_datetime(pricing['Dernier coupon'])
    pricing['Dateinterm'] = pricing['Dernier coupon'].dt.strftime('%d-%m/%Y')
    Intermediaire = pricing['Dateinterm'].str.split(pat='/', expand=True)
    Intermediaire[1] = pd.to_numeric(Intermediaire[1])
    Intermediaire[1] = Intermediaire[1] + 1
    Intermediaire[2] = Intermediaire[0].map(str) + '-' + Intermediaire[1].map(str)
    pricing['Prochain coupon'] = Intermediaire[2]
    pricing['Prochain coupon'] = pd.to_datetime(pricing['Prochain coupon'], format=('%d-%m-%Y'))
    for i in range(0, len(pricing)):
        if pricing['Prochain coupon'][i] > pricing['Echeance'][i]:
            pricing['Prochain coupon'][i] = pricing['Echeance'][i]
    del pricing['Dateinterm']
    del pricing['Date Jouissance 1']
    del pricing['DC1']
    del pricing['DC2']
    del pricing['DC3']
    return pricing
# [5] :
def prochain_coupon(pricing):
    # Nombre de jours restant pour le prochain coupon
    pricing['Nombre de jours prochain coupon'] = (pricing['Prochain coupon'] - pricing['Date VALEUR']).dt.days
    return pricing

# [6] :
def nombre_flux(pricing):
    # Flux mon taires restants    courir
    a1 = pricing['Echeance'].dt.year
    a2 = pricing['Prochain coupon'].dt.year
    a = a1 - a2 + 1
    for i in range(0, len(pricing)):
        if a[i] == 0:
            a[i] = 1
    pricing['Flux_restants'] = a
    return pricing

# [7] :
def atypique(pricing):
    # Attribue la valeur 1 si OBG atypique
    pricing['Ligne post rieure'] = 1
    for i in range(0, len(pricing)):
        if pricing.loc[i, 'Emission'] == pricing.loc[i, 'Jouissance']:
            pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] = 0
    return pricing
```

```
# [8] :
def dirty_price(pricing):
    # Dirty Price
    pricing['Prix'] = 0
    for i in range(0, len(pricing)):
        if pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] <= 365:
            pricing.loc[i, 'Prix'] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                    (1 + pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing.loc[i, 'Maturite initiale']) / 360) / ( \
                                                (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise'] * \
                                                pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle']) / 360)
        elif pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] <= 365 \
            and pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
            pricing.loc[i, 'Prix'] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * ((1 + pricing.loc[i, 'Tx_facial']) / (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise'] * (pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] / 360)))
        elif pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] < 365 \
                and pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1:
            pricing.loc[i, 'Prix'] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                    (1 + pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * (pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] / 365)) / \
                    (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise'] * (pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] / 360)))
        elif pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                and pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
            S = 0
            n = pricing.loc[i, 'Flux_restants']
            for j in range(1, n + 1):
                S = S + (pricing.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
            pricing.loc[i, 'Prix'] = (pricing.loc[i, 'Nominal'] / ( \
                        (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (pricing.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365))) * \
                                    (S + (1 / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** ( \
                                                pricing.loc[i, 'Flux_restants'] - 1))))
        elif pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                and pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1 and pricing.loc[i, 'Flux_restants'] == 1:
            pricing.loc[i, 'Prix'] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                    (1 + pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * (pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] / 365)) / \
                    (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (pricing.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365))
        elif pricing.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pricing.loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                and pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1 and pricing.loc[i, 'Flux_restants'] > 1:
            if pricing.loc[i, 'Date VALEUR'] < pricing.loc[i, 'D1c']:
                S1 = 0
                n = pricing.loc[i, 'Flux_restants']
```

```
                for j in range(2, n + 1):
                    S1 = S1 + (pricing.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
                S2 = pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * ((pricing.loc[i, 'D1c'] - pricing.loc[i, 'Emission']).days / 365)
                S3 = 1 / (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (n - 1)
                fact = pricing.loc[i, 'Nominal'] / (1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** ( \
                            pricing.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365)
                pricing.loc[i, 'Prix'] = fact * (S1 + S2 + S3)
            else:
                S = 0
                n = pricing.loc[i, 'Flux_restants']
                for j in range(1, n + 1):
                    S = S + (pricing.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
                pricing.loc[i, 'Prix'] = (pricing.loc[i, 'Nominal'] / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (pricing.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365))) * \
                                        (S + (1 / ((1 + pricing.loc[i, 'taux valorise']) ** (pricing.loc[i, 'Flux_restants'] - 1))))
    return pricing
# [9]:
def coupon_couru(pricing):
    pricing['Coupon couru '] = 0
    for i in range(len(pricing)):
        if pricing.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
            pricing.loc[i, 'Coupon couru '] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing.loc[i, 'Dj'] / 360
        else:
            pricing.loc[i, 'Coupon couru '] = pricing.loc[i, 'Nominal'] * pricing.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing.loc[i, 'Dj'] / 365
    return pricing

# [10]:
def clean_price(pricing):
    pricing['Clean Price '] = pricing['Prix'] - pricing['Coupon couru ']
#########################
def calculate_duration_sensitivity_convexity(pricing):
    # Initialize a new column for duration
    pricing['Duration'] = 0
    pricing['Sensibilite'] = 0
    pricing['Convexite'] = 0

    # Iterate over each bond in the pricing DataFrame
    for i in range(len(pricing)):
        # Extract relevant bond data
        tf = pricing.loc[i, 'Tx_facial']
        tr = pricing.loc[i, 'taux valorise']
        nominal = pricing.loc[i, 'Nominal']
        dirty_price = pricing.loc[i, 'Prix']
        valuation_date = pricing.loc[i, 'Date VALEUR']
        maturity_date = pricing.loc[i, 'Echeance']
        nombre_jours_prochain_coupon = pricing.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon']
        #prochain_coupon_date = pricing.loc[i, 'Prochain coupon']
```

```
            flux_restants = pricing.loc[i, 'Flux_restants']

            # Calculate the time until each cash flow is received
            times = []
            times.append(nombre_jours_prochain_coupon / 365.0)
            for j in range(1, flux_restants):
                times.append((nombre_jours_prochain_coupon / 365.0) + j)

            # Calculate the present value of each cash flow and the weighted times
            weighted_times = []
            pv_cash_flows = []
            weighted_times_convexity = []
            for t in times:
                if t == times[-1]:
                    cash_flow = tf * nominal + nominal  # Last period includes the nominal
                else:
                    cash_flow = tf * nominal  # Regular coupon payment
                pv = cash_flow / (1 + tr) ** t
                pv_cash_flows.append(pv)
                weighted_times.append(pv * t)
                weighted_times_convexity.append(pv * t * (t + 1))  # For convexity

            # Calculate Macaulay duration
            macaulay_duration = sum(weighted_times) / dirty_price
            pricing.loc[i, 'Duration'] = macaulay_duration
            # Calculate Sensitivity
            sensitivity = macaulay_duration / (1 + tr)
            pricing.loc[i, 'Sensibilite'] = sensitivity
            # Calculate Convexity
            convexity = sum(weighted_times_convexity) / (dirty_price * (1 + tr) ** 2)
            pricing.loc[i, 'Convexite'] = convexity

        return pricing
########
    calculate_maturities(pricing, bam)
    calculate_taux_valorise(pricing, bam)
    dernier_coupon(pricing)
    prochain_coupon(pricing)
    nombre_flux(pricing)
    atypique(pricing)
    date_premier_coupon(pricing)
    dirty_price(pricing)
    coupon_couru(pricing)
    clean_price(pricing)
    calculate_duration_sensitivity_convexity(pricing)

    Prices_df = pd.DataFrame({
        "Code": pricing['Code'],
        "Date d'emission": pricing['Emission'],
        "Date d'echeance": pricing['Echeance'],
        "Maturite r siduelle" : pricing['Maturite annuelle'],
        "Nominal": pricing['Nominal'],
        "Amorti": pricing['Amortissement'],
        "Date VALEUR": pricing['Date VALEUR'],
```

```
        "Taux de rendement": pricing['taux valorise'],
        "Taux facial": pricing['Tx_facial'],
        "Dirty Price": pricing['Prix'],
        "Coupon couru": pricing['Coupon couru '],
        "Clean Price": pricing['Clean Price '],
        "Prochain coupon": pricing['Prochain coupon'],
        "Dernier coupon" : pricing['Dernier coupon'],
        "nj" :pricing['Nombre de jours prochain coupon'],
        "Flux" :pricing['Flux_restants'],
        "Dj" :pricing['Dj']
    })
    # Collecte des r sultats des mesures de risque dans un DataFrame
    risk_measure_df = pd.DataFrame({
        "Code": pricing['Code'],
        "Duration": pricing['Duration'],
        "Sensibilit ": pricing['Sensibilite'],
        "Convexit ": pricing['Convexite']
    })
    # Ouvrir le classeur Excel
    wb = xw.Book.caller()
    # S lectionner ou cr er la feuille "Results"
    sheet = wb.sheets['Results'] if 'Results' in [s.name for s in wb.sheets]
     else wb.sheets.add('Results')
    # Afficher les donn es sur la feuille Excel   partir de la cellule A1
    sheet.range('A2').value = Prices_df
    sheet.range('A14').value = risk_measure_df
    return Prices_df, risk_measure_df
```

Annexe C

Code python du pricer du portefeuille d'obligations à taux fixes

```
import xlwings as xw
import pandas as pd
from datetime import datetime
import os
import cvxpy as cp
import numpy as np
# [1]
def calculate_obligation_price():
    pricing1_file = "C:/Users/CELATEC/Documents/pricing1.xlsx"
    bam1_file = "C:/Users/CELATEC/Documents/bam1.xlsx"
    pricing1 = pd.read_excel(pricing1_file)
    bam1 = pd.read_excel(bam1_file)

    date_columns_pricing1 = ["Emission", "Echeance", "Date VALEUR", "Jouis-
sance"]
    date_columns_bam1 = ["Date d'echeance", "Date de la valeur"]

    for col in date_columns_pricing1:
        pricing1[col] = pd.to_datetime(pricing1[col], errors='coerce')

    for col in date_columns_bam1:
        bam1[col] = pd.to_datetime(bam1[col], errors='coerce')

    pricing1 = pricing1[pricing1["Date VALEUR"] <= pricing1["Echeance"]]
    # R indexer les DataFrames apr s suppression des lignes
    pricing1 = pricing1.reset_index(drop=True)
    bam1 = bam1.reset_index(drop=True)

    if pricing1.empty or bam1.empty:
        raise ValueError("Les DataFrames pricing1 ou bam1 sont vides apr s
le filtrage des dates.")

    ######### Pricer des obligations
    wb = xw.Book.caller()
    def calculate_maturities(pricing1, bam1):
        bam1['Maturite'] = (bam1["Date d'echeance"] - bam1['Date de la va-
leur']).dt.days
```

```
    bam1['Maturite annuelle'] = bam1['Maturite'] / 365
    pricing1['Maturite Residuelle'] = (pricing1["Echeance"] - pric-ing1["Date VALEUR"]).dt.days
    pricing1['Maturite annuelle'] = pricing1['Maturite Residuelle'] / 365
    pricing1['Maturite initiale'] = (pricing1["Echeance"] - pric-ing1["Emission"]).dt.days
    pricing1['Maturite initiale annuelle'] = pricing1['Maturite initiale'] / 365
    return pricing1, bam1

# [2]
def calculate_taux_valorise(pricing1, bam1):
    pricing1['taux valorise']=0
    for i in range(0, len(pricing1)):
        for j in range(0, len(bam1)):
            if pricing1.loc[i, 'Maturite Residuelle'] > bam1.loc[j, 'Maturite'] and \
            pricing1.loc[i, 'Maturite Residuelle'] < bam1.loc[j+1, 'Maturite']:
                pricing1.loc[i, 'taux valorise'] = bam1.loc[j, 'Taux moyen pondere'] + \
                                                     ((pricing1.loc[i, 'Maturite Residuelle'] - bam1.loc[j, 'Maturite']) * \
                                                         (bam1.loc[j+1, 'Taux moyen pondere'] - bam1.loc[j, 'Taux moyen pondere'])) / \
                                                     (bam1.loc[j+1, 'Maturite'] - bam1.loc[j, 'Maturite'])
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite Residuelle'] == bam1.loc[j, 'Maturite']:
                pricing1.loc[i, 'taux valorise'] = bam1.loc[j, 'Taux moyen pondere']
    return pricing1
# [3]
def date_premier_coupon(pricing1):
    pricing1['Date Jouissance 1'] = pric-ing1['Jouissance'].dt.strftime('%d-%m/%Y')
    ann = pricing1['Date Jouissance 1'].str.split(pat='/', expand=True)
    ann[1] = pd.to_numeric(ann[1])
    ann[1] = ann[1] + 1
    ann['Date'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[1].map(str)
    pricing1['D1c'] = ann['Date']
    pricing1['D1c'] = pd.to_datetime(pricing1['D1c'], format=('%d-%m-%Y'))
    del pricing1['Date Jouissance 1']
    return pricing1

# [4]
def dernier_coupon(pricing1):
#Date coupon avant et apr s DATE VALEUR
    pricing1['Date Jouissance 1'] = pric-ing1['Jouissance'].dt.strftime('%d-%m/%Y')
    ann = pricing1['Date Jouissance 1'].str.split(pat='/', expand=True)
    ann[1] = pd.to_numeric(ann[1])
    ann[1] = ann[1] - 1
    ann[2] = 2024
    ann[3] = 2023
    ann['Date1'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[1].map(str)
```

```
    ann['Date2'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[2].map(str)
    ann['Date3'] = ann[0].map(str) + '-' + ann[3].map(str)
    pricing1['DC1'] = ann['Date1']
    pricing1['DC2'] = ann['Date2']
    pricing1['DC3'] = ann['Date3']
    pricing1['DC1'] = pd.to_datetime(pricing1['DC1'], format=('%d-%m-%Y'
))
    pricing1['DC2'] = pd.to_datetime(pricing1['DC2'], format=('%d-%m-%Y'
))
    pricing1['DC3'] = pd.to_datetime(pricing1['DC3'], format=('%d-%m-%Y'
))
    for i in range(len(pricing1)):
        if pricing1.loc[i, 'DC1'] <= pricing1.loc[i, 'Emission']:
            pricing1.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing1.loc[i, 'DC2']
        else:
            pricing1.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing1.loc[i, 'Emis-
sion']
    pricing1['Date VALEUR'] = pd.to_datetime(pricing1['Date VALEUR'])
    pricing1['Dernier coupon'] = pd.to_datetime(pricing1['Dernier cou-
pon'])
    pricing1['Dj'] = (pricing1['Date VALEUR'] - pricing1['Dernier cou-
pon']).dt.days
    for i in range(0, len(pricing1)):
        a = pricing1['Dj'] < 0
        if a[i] == True:
            pricing1.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing1.loc[i, 'DC3']
    pricing1['Dj'] = (pricing1['Date VALEUR'] - pricing1['Dernier cou-
pon']).dt.days
    for i in range(0, len(pricing1)):
        if pricing1['Dernier coupon'][i] < pricing1['Emission'][i]:
            pricing1.loc[i, 'Dernier coupon'] = pricing1.loc[i, 'Jouis-
sance']
    pricing1['Dernier coupon'] = pd.to_datetime(pricing1['Dernier cou-
pon'])
    pricing1['Dateinterm'] = pricing1['Dernier cou-pon'].dt.strftime('%d
-%m/%Y')
    Intermediaire = pricing1['Dateinterm'].str.split(pat='/', ex-pand=
True)
    Intermediaire[1] = pd.to_numeric(Intermediaire[1])
    Intermediaire[1] = Intermediaire[1] + 1
    Intermediaire[2] = Intermediaire[0].map(str) + '-' + Interme-diaire
[1].map(str)
    pricing1['Prochain coupon'] = Intermediaire[2]
    pricing1['Prochain coupon'] = pd.to_datetime(pricing1['Prochain
coupon'], format=('%d-%m-%Y'))
    for i in range(0, len(pricing1)):
        if pricing1['Prochain coupon'][i] > pricing1['Echeance'][i]:
            pricing1['Prochain coupon'][i] = pricing1['Echeance'][i]
    del pricing1['Dateinterm']
    del pricing1['Date Jouissance 1']
    del pricing1['DC1']
    del pricing1['DC2']
    del pricing1['DC3']
    return pricing1
# [5] :
def prochain_coupon(pricing1):
    # Nombre de jours restant pour le prochain coupon
    pricing1['Nombre de jours prochain coupon'] = (pricing1['Prochain
```

```
coupon'] - pricing1['Date VALEUR']).dt.days
        return pricing1

    # [6] :
    def nombre_flux(pricing1):
        # Flux mon taires restants    courir
        a1 = pricing1['Echeance'].dt.year
        a2 = pricing1['Prochain coupon'].dt.year
        a = a1 - a2 + 1
        for i in range(0, len(pricing1)):
            if a[i] == 0:
                a[i] = 1
        pricing1['Flux_restants'] = a
        return pricing1

    # [7] :
    def atypique(pricing1):
        # Attribue la valeur 1 si OBG atypique
        pricing1['Ligne post rieure'] = 1
        for i in range(0, len(pricing1)):
            if pricing1.loc[i, 'Emission'] == pricing1.loc[i, 'Jouis-sance'
]:
                pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] = 0
        return pricing1
    # [8] :
    def dirty_price(pricing1):
        # Dirty Price
        pricing1['Prix'] = 0
        for i in range(0, len(pricing1)):
            if pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] <= 365:
                pricing1.loc[i, 'Prix'] = pricing1.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                        (1 + pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing1.loc[i,
'Maturite initiale']) / 360) / ( \
                                                        (1 + pricing1.loc[i, '
taux valorise'] * \
                                                        pricing1.loc[i, 'Ma-
turite Residuelle']) / 360)
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] <= 365 \
                and pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
                pricing1.loc[i, 'Prix'] = pricing1.loc[i, 'Nominal'] * ((1 +
 pricing1.loc[i, 'Tx_facial']) / (1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise'] *
(pricing1.loc[i, 'Maturite Residuelle'] / 360)))
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] < 365 \
                    and pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1:
                pricing1.loc[i, 'Prix'] = pricing1.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                        (1 + pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * (pric-ing1.loc[i
, 'Maturite initiale'] / 365)) / \
                        (1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise'] * (pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] / 360)))
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                    and pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
                S = 0
                n = pricing1.loc[i, 'Flux_restants']
                for j in range(1, n + 1):
                    S = S + (pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 + pric-ing1.
```

```
loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
                pricing1.loc[i, 'Prix'] = (pricing1.loc[i, 'Nominal'] / ( \
                            (1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (pri-
cing1.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365))) * \
                                        (S + (1 / ((1 + pricing1.loc[i, '
taux valorise']) ** ( \
                                                    pricing1.loc[i, '
Flux_restants'] - 1))))
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                    and pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1 and pric-
ing1.loc[i, 'Flux_restants'] == 1:
                pricing1.loc[i, 'Prix'] = pricing1.loc[i, 'Nominal'] * ( \
                        (1 + pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * (pric-ing1.loc[i
, 'Maturite initiale'] / 365)) / \
                        (1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (pri-cing1
.loc[i, 'Nombre de jours prochain coupon'] / 365))
            elif pricing1.loc[i, 'Maturite initiale'] > 365 and pric-ing1.
loc[i, 'Maturite Residuelle'] > 365 \
                    and pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 1 and pric-
ing1.loc[i, 'Flux_restants'] > 1:
                if pricing1.loc[i, 'Date VALEUR'] < pricing1.loc[i, 'D1c']:
                    S1 = 0
                    n = pricing1.loc[i, 'Flux_restants']
                    for j in range(2, n + 1):
                        S1 = S1 + (pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 +
pricing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
                    S2 = pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * ((pricing1.loc[i, '
D1c'] - pricing1.loc[i, 'Emission']).days / 365)
                    S3 = 1 / (1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (n -
1)
                    fact = pricing1.loc[i, 'Nominal'] / (1 + pric-ing1.loc[i
, 'taux valorise']) ** ( \
                                pricing1.loc[i, 'Nombre de jours prochain
coupon'] / 365)
                    pricing1.loc[i, 'Prix'] = fact * (S1 + S2 + S3)
                else:
                    S = 0
                    n = pricing1.loc[i, 'Flux_restants']
                    for j in range(1, n + 1):
                        S = S + (pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] / ((1 + pric-
ing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (j - 1)))
                    pricing1.loc[i, 'Prix'] = (pricing1.loc[i, 'Nominal'] /
((1 + pricing1.loc[i, 'taux valorise']) ** (pricing1.loc[i, 'Nombre de
jours prochain coupon'] / 365))) * \
                                        (S + (1 / ((1 + pricing1.loc[i,
'taux valorise']) ** (pricing1.loc[i, 'Flux_restants'] - 1))))
        return pricing1
    # [9]:
    def coupon_couru(pricing1):
        pricing1['Coupon couru '] = 0
        for i in range(len(pricing1)):
            if pricing1.loc[i, 'Ligne post rieure'] == 0:
                pricing1.loc[i, 'Coupon couru '] = pricing1.loc[i, 'Nomi-nal
'] * pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing1.loc[i, 'Dj'] / 360
            else:
                pricing1.loc[i, 'Coupon couru '] = pricing1.loc[i, 'Nomi-nal
'] * pricing1.loc[i, 'Tx_facial'] * pricing1.loc[i, 'Dj'] / 365
```

```
        return pricing1

    # [10]:
    def clean_price(pricing1):
        pricing1['Clean Price '] = pricing1['Prix'] - pricing1['Coupon couru
    ']
    ########################
    def calculate_duration_sensitivity_convexity(pricing1):
        # Initialize a new column for duration
        pricing1['Duration'] = 0
        pricing1['Sensibilite'] = 0
        pricing1['Convexite'] = 0

        # Iterate over each bond in the pricing1 DataFrame
        for i in range(len(pricing1)):
            # Extract relevant bond data
            tf = pricing1.loc[i, 'Tx_facial']
            tr = pricing1.loc[i, 'taux valorise']
            nominal = pricing1.loc[i, 'Nominal']
            dirty_price = pricing1.loc[i, 'Prix']
            valuation_date = pricing1.loc[i, 'Date VALEUR']
            maturity_date = pricing1.loc[i, 'Echeance']
            nombre_jours_prochain_coupon = pricing1.loc[i, 'Nombre de jours
prochain coupon']
            #prochain_coupon_date = pricing1.loc[i, 'Prochain coupon']
            flux_restants = pricing1.loc[i, 'Flux_restants']

            # Calculate the time until each cash flow is received
            times = []
            times.append(nombre_jours_prochain_coupon / 365.0)
            for j in range(1, flux_restants):
                times.append((nombre_jours_prochain_coupon / 365.0) + j)

            # Calculate the present value of each cash flow and the weighted
 times
            weighted_times = []
            pv_cash_flows = []
            weighted_times_convexity = []
            for t in times:
                if t == times[-1]:
                    cash_flow = tf * nominal + nominal  # Last period in-
cludes the nominal
                else:
                    cash_flow = tf * nominal  # Regular coupon payment
                pv = cash_flow / (1 + tr) ** t
                pv_cash_flows.append(pv)
                weighted_times.append(pv * t)
                weighted_times_convexity.append(pv * t * (t + 1))  # For
convexity

            # Calculate Macaulay duration
            macaulay_duration = sum(weighted_times) / dirty_price
            pricing1.loc[i, 'Duration'] = macaulay_duration
            # Calculate Sensitivity
            sensitivity = macaulay_duration / (1 + tr)
            pricing1.loc[i, 'Sensibilite'] = sensitivity
            # Calculate Convexity
            convexity = sum(weighted_times_convexity) / (dirty_price * (1 +
```

```
    tr) ** 2)
                pricing1.loc[i, 'Convexite'] = convexity

        return pricing1
    # Calculate weights
    def calculate_weights(pricing1):
        pricing1['Prix total(MDH)'] = pricing1['Prix'] * pric-ing1['Gisement
    ']
        Somme_prix_total = pricing1['Prix total(MDH)'].sum()
        pricing1['poids'] = pricing1['Prix total(MDH)'] / Somme_prix_total
        return pricing1

    def calculate_portfolio_duration(pricing1):
        portfolio_duration = (pricing1['Duration'] * pric-ing1['poids']).sum
    ()
        return portfolio_duration
    def calculate_portfolio_sensitivity(pricing1):
        portfolio_sensitivity = (pricing1['Sensibilite'] * pric-ing1['poids'
    ]).sum()
        return portfolio_sensitivity
    def calculate_portfolio_convexity(pricing1):
        portfolio_convexity = (pricing1['Convexite'] * pric-ing1['poids']).
    sum()
        return  portfolio_convexity
#########

########

    calculate_maturities(pricing1, bam1)
    calculate_taux_valorise(pricing1, bam1)
    dernier_coupon(pricing1)
    prochain_coupon(pricing1)
    nombre_flux(pricing1)
    atypique(pricing1)
    date_premier_coupon(pricing1)
    dirty_price(pricing1)
    coupon_couru(pricing1)
    clean_price(pricing1)
    calculate_duration_sensitivity_convexity(pricing1)
    calculate_weights(pricing1)
    portfolio_duration = calculate_portfolio_duration(pricing1)
    portfolio_sensitivity = calculate_portfolio_sensitivity(pricing1)
    portfolio_convexity = calculate_portfolio_convexity(pricing1)
    # Collecter toutes les donn es calcul es dans un seul DataFrame
    Prices_df = pd.DataFrame({
        "Code": pricing1['Code'],
        "Date d'emission": pricing1['Emission'],
        "Date d'echeance": pricing1['Echeance'],
        "Nominal": pricing1['Nominal'],
        "Amorti": pricing1['Amortissement'],
        "Date VALEUR": pricing1['Date VALEUR'],
        "Taux de rendement": pricing1['taux valorise'],
        "Taux facial": pricing1['Tx_facial'],
        "Dirty Price": pricing1['Prix'],
        "Coupon couru": pricing1['Coupon couru '],
        "Clean Price": pricing1['Clean Price '],
        "Gisement": pricing1['Gisement'],
        "Prix total(MDH)": pricing1['Prix total(MDH)'],
```

```
        "Duration": pricing1['Duration'],
        "Sensibilit ": pricing1['Sensibilite'],
        "Convexit ": pricing1['Convexite'],
        "poids": pricing1['poids']
    })
    wb = xw.Book.caller()

    sheet = wb.sheets['Results'] if 'Results' in [s.name for s in wb.sheets]

    else wb.sheets.add('Results')

    sheet.range('A3').value = Prices_df
    sheet.range('S3').value = "Duration du portefeuille"
    sheet.range('S4').value = portfolio_duration
    sheet.range('T3').value = "Sensibilit  du portefeuille"
    sheet.range('T4').value = portfolio_sensitivity
    sheet.range('U3').value = "Convexit  du portefeuille"
    sheet.range('U4').value = portfolio_convexity
    return Prices_df
```

Annexe D

Code python du pricer des options de change selon Garman-Kohlhagen

```
import xlwings as xw
import numpy as np
from scipy.stats import norm

def validate_inputs(S, K, rd, rf, T, sigma):
    # V rifie si les entrees sont valides.
    if S <= 0 or K <= 0 or T <= 0 or sigma <= 0 or rd < 0 or rf < 0:
        raise ValueError("Spot(S), Strike(K), time to maturity(T), volatility(sigma), and interest rates (rd, rf) must be positive")

def calculate_d1_d2(S, K, rd, rf, T, sigma):
    # Calcule les valeurs de d1 et d2 utilis es dans le modele Garman-Kohlhagen.
    d1 = (np.log(S / K) + (rd - rf + 0.5 * sigma ** 2) * T) / (sigma * np.sqrt(T))
    d2 = d1 - sigma * np.sqrt(T)
    return d1, d2

def calculate_option_pricing():
    # Se connecter   Excel
    wb = xw.Book.caller()
    # Lire les valeurs de S, K, rd, rf, T, sigma depuis Excel
    S = wb.sheets[0].range('C3').value
    K = wb.sheets[0].range('C4').value
    rd = wb.sheets[0].range('C6').value
    rf = wb.sheets[0].range('C7').value
    T = wb.sheets[0].range('C8').value
    sigma = wb.sheets[0].range('C5').value

    # Lire la valeur de l'option (Call ou Put) depuis Excel
    option_type = wb.sheets[0].range('C9').value.strip().capitalize()

    if option_type not in ['Call', 'Put']:
        error_message = "Veuillez saisir 'Call' ou 'Put'"
        error_range = wb.sheets[0].range('D9')
        error_range.value = error_message
        error_range.api.Font.Color = 255 # Rouge
```

```python
        error_range.api.Font.Bold = True # Gras
        return
    else:
        # Effacer le message d'erreur s'il est pr sent
        wb.sheets[0].range('D9').clear()
        wb.sheets[0].range('D9').api.Interior.ColorIndex = 1 # Noir

    # Calculer les resultats en fonction du type d'option
    validate_inputs(S, K, rd, rf, T, sigma)
    d1, d2 = calculate_d1_d2(S, K, rd, rf, T, sigma)

    if option_type == "Call":
        call_price = S * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(d1) - K * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(d2)
        call_delta = np.exp(-rf * T) * norm.cdf(d1)
        gamma = np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) / (S * sigma * np.sqrt(T))
        theta = (-S * sigma * np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) / (2 * np.sqrt(T))
                 - rd * K * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(d2)
                 + rf * S * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(d1))
        vega = S * np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) * np.sqrt(T)
        rho_call_rd = K * T * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(d2)
        rho_call_rf = -S * T * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(d1)

        # Ecrire les resultats dans Excel
        wb.sheets[0].range('F12').value = call_price
        wb.sheets[0].range('F11').value = call_price / S  # Prime sous forme de pourcentage de spot
        wb.sheets[0].range('F4').value = call_delta
        wb.sheets[0].range('F5').value = gamma
        wb.sheets[0].range('F6').value = theta
        wb.sheets[0].range('F7').value = vega
        wb.sheets[0].range('F8').value = rho_call_rd
        wb.sheets[0].range('F9').value = rho_call_rf
    elif option_type == "Put":
        put_price = K * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(-d2) - S * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(-d1)
        put_delta = -np.exp(-rf * T) * norm.cdf(-d1)
        gamma = np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) / (S * sigma * np.sqrt(T))
        theta = (-S * sigma * np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) / (2 * np.sqrt(T))
                 + rd * K * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(-d2)
                 - rf * S * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(-d1))
        vega = S * np.exp(-rf * T) * norm.pdf(d1) * np.sqrt(T)
        rho_put_rd = -K * T * np.exp(-rd * T) * norm.cdf(-d2)
        rho_put_rf = S * T * np.exp(-rf * T) * norm.cdf(-d1)

        # Ecrire les resultats dans Excel
        wb.sheets[0].range('F12').value = put_price
        wb.sheets[0].range('F11').value = put_price / S  # Prime sous forme de pourcentage de spot
        wb.sheets[0].range('F4').value = put_delta
        wb.sheets[0].range('F5').value = gamma
        wb.sheets[0].range('F6').value = theta
        wb.sheets[0].range('F7').value = vega
        wb.sheets[0].range('F8').value = rho_put_rd
        wb.sheets[0].range('F9').value = rho_put_rf
```