

Gestion du risque climatique par l'utilisation des produits dérivés d'assurance

**International Workshop on Optimization and Applications
WOA 2015 – ENSA de Kenitra**

Montréal/Kénitra – 23 Avril 2015

Mohammed Mraoua

Manager, Financial Services Risk Management, EY Canada

Motivation

- Le climat a un impact significatif sur plusieurs sphères de l'activité économique
- La liste des activités assujetties au risque climatique est longue et comporte, entre autres, les producteurs d'énergie, les grands consommateurs d'énergie, les producteurs agricoles, les chaînes de supermarchés, l'industrie du loisir, l'industrie d'alimentation, etc.
- Avec des phénomènes de plus en plus fréquents tels que le réchauffement climatique et le dérèglement climatique, le marché potentiel relié à ce type de risques devient important

Défis et difficultés

- Le marché du climat est un marché récent
- On ne peut pas utiliser directement les techniques classiques de la finance ou de l'assurance
- La pratique l'emporte souvent sur le développement théorique rigoureux
- Peu de littérature pour les marchés émergents et aucune pour le Maroc
- Difficultés d'avoir des données fiables
- etc.

Plan de la présentation

- 1 Le risque climatique
- 2 Traitement et analyse des données météorologiques
- 3 Approches d'évaluation et modélisation de la température
- 4 Evaluation des dérivés sur température
- 5 Conclusion générale

Introduction

- Selon le rapport Stern (2007), les coûts accrus des dommages dus à des phénomènes climatiques extrêmes (tempêtes violentes, ouragans, typhons, inondations, sécheresses et vagues de chaleur) contrecarrent certains des avantages qui aurait pu être attribués du changement climatique et augmenteront rapidement pour des températures plus hautes
- En partant de simples extrapolations, les coûts des phénomènes climatiques extrêmes à eux seuls pourraient atteindre 0.5% à 1% du PIB mondial par an d'ici le milieu du siècle et ils continueront à augmenter si le monde continue à se réchauffer

Quelques indicateurs ...

Région	Type d'événement	Indicateur*	Coût en % de PIB
Globale	Tous les événements extrêmes	2 °C	0.50 - 1.00% (0.10%)
	Ouragan	3 °C	0.13% (0.06%)
USA	Inondations côtières	1 m	0.01 - 0.03% (0.13%)
	Inondations	3 - 4 °C	0.20 - 0.40% (0.13%)
Europe	Inondations côtières	1 m	0.01 - 0.02%

Notes : Les statistiques sont tirées du rapport Stern (2007).

Les projections sont faites sur la base de scénarios de changement climatique modéré.

Les chiffres entre parenthèses indiquent les coûts en 2005.

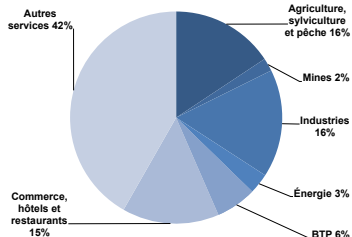
* L'indicateur d'appréciation est, dépendamment de l'évènement climatique, soit la température (en °C) soit l'augmentation du niveau de la mer (en m).

En Afrique et dans les pays en développement ...

- Tandis qu'un climat sévère et les événements climatiques affectent tous les pays, l'impact est beaucoup plus sévère sur les économies pauvres ou émergentes
- Juste par rapport au seul secteur de l'agriculture, les statistiques sont assez révélatrices : le secteur de l'agriculture contribue à hauteur de 39% du PIB du Malawi et entre 61% et 64% de la population de l'Afrique sub-saharienne travaille dans l'agriculture
- Au niveau de l'Asie, le secteur rural contribue à hauteur de 21% du PIB indien et entre 61 à 64% de la population de l'Asie du Sud travaille dans ce secteur

Au Maroc

- Au Maroc, quatre secteurs “agriculture, sylviculture, pêche”, “énergie”, “construction” et “commerce, hôtels, restaurants” qui sont les plus sensibles aux conditions climatiques ~ 40% du PIB marocain
- Ventilation sectorielle du PIB marocain en 2006



Variables climatiques

- Pour chaque jour t , on définit les variables HDD (mesure du froid en hiver) et CDD (mesure du réchauffement en été) par

$$HDD_t = \max(T_{ref} - T_t, 0) \quad (1)$$

$$CDD_t = \max(T_t - T_{ref}, 0) \quad (2)$$

où T_{ref} est une température de référence

Limites des mécanismes traditionnels de l'assurance

- Pour être couverts contre le risque climatique, les agents économiques ont recours à l'assurance. Malheureusement, peu de mécanismes de l'assurance classique gèrent ce risque
- En agriculture, par exemple, la traditionnelle assurance-récolte multirisque n'a pas prouvé son efficacité, en particulier dans le cas des petits exploitants, et exclut souvent les facteurs climatiques tels que la sécheresse
- Pour contourner ces difficultés, les produits dérivés ont émergé comme nouveaux produits de couverture

Produits dérivés du climat

- Les dérivés de climat sont des produits dérivés assurantiels sur le climat
- La variable sous-jacente peut être, à titre d'exemple, la température, la pluie, la neige, le vent, etc. mais c'est la température qui constitue le sous-jacent le plus couramment traité
- Les dérivés climatiques diffèrent des produits dérivés conventionnels en ce sens qu'il n'existe pas à la base un sous-jacent négociable ou ayant un prix négociable, ce qui contredit la structure normale d'un produit dérivé

Couverture du risque climatique

- Un dérivé de climat ne peut pas couvrir le prix du sous-jacent car il est impossible de donner un prix au climat !
- Un dérivé de climat couvre autres risques sur lesquels le climat a une grande influence, tels que la baisse des ventes dans le secteur de l'énergie suite à un changement de climat ce qui causerait par conséquent un changement dans les prix
- L'idée derrière une couverture en volume vient du fait que les résultats des secteurs sensibles aux conditions météorologiques peuvent être soumis à une grande volatilité - même si les prix restent inchangés - en raison d'un changement dans la demande ou dans les volumes

Qu'est-ce qu'un dérivé climatique ?

- Appelé aussi dérivé d'assurance, il s'agit d'un contrat financier dont les flux dépendent d'une certaine façon du climat
- C'est un produit qui se présente usuellement sous forme
 - d'un *swap*
 - d'une *option* (Call ou Put)
 - d'une *obligation* (CatBond)
- Les principaux sous-jacents sont
 - la température (le plus répandu)
 - le niveau de précipitations
- Les principaux secteurs utilisant les dérivés climatiques sont : l'énergie, l'assurance, la finance, le BTP, l'agriculture, la logistique, le tourisme, etc.

Marché de gré à gré et marché organisé

- **Marché de gré à gré**
 - des produits adaptés aux besoins de l'acheteur
 - un marché qui n'est pas très liquide
 - peu de possibilités de speculation
- **Marchés organisés**
 - un marché principalement américain
 - CME (Chicago Mercantile Exchange) : futures et options sur indices de température aux USA et en Europe
 - JWX (Japan Weather Exchange) : contrats de swaps sur température
 - Liffe : contrats basés sur les indices de température de Londres, Paris et Berlin

Différences entre les dérivés climatiques et l'assurance

- Pas besoin de prouver la réalisation du sinistre avec un contrat de dérivé climatique pour être payé
- Les produits classiques d'assurance sont utilisés traditionnellement pour se couvrir contre les désastres climatiques
- Les produits dérivés d'assurance sont utilisés pour se couvrir contre les variations climatiques
- Les dérivés climatiques pourraient être utilisés pour spéculer sur les marchés financiers

Approche actuarielle

- Méthode empruntée au domaine de l'assurance et de l'actuariat
- On se base sur des séries de données (historiques) climatiques appropriées ainsi que sur des prévisions météorologiques afin de dégager la distribution de tous les résultats possibles pour le dénouement (règlement) du contrat de couverture
- Les données historiques sont utilisées pour calculer le payoff espéré du produit dérivé
- Le payoff espéré est alors actualisé au taux sans risque pour déterminer le prix du produit dérivé

Burn Analysis historique

- Approche permettant de faire des simulations basées sur les données historiques des variables climatiques traitées
- On considère que le payoff moyen des dérivés climatiques sur les n dernières années est calculé
- Approche souvent considérée comme un benchmark pour la comparaison entre les différentes approches d'évaluation des dérivés climatiques
- La principale hypothèse sur laquelle repose la méthode HBA est que l'historique de réalisation des payoffs d'un dérivé climatique permet d'avoir une idée précise sur la distribution des payoffs potentiels

Modélisation des indices climatiques

- Peu utilisée ...
- Davis (2001) a tenté de modéliser l'indice HDD cumulé à l'aide d'une EDS continue. Plus précisément, l'indice HDD cumulé $H(t)$ a été supposé régi par un processus stochastique log-normal

$$\frac{dH(t)}{H(t)} = \alpha dt + \gamma dW_t \quad (3)$$

où α est le drift du processus, γ sa volatilité et W_t un processus de Wiener.

- À l'échéance T , (3) admet la solution suivante

$$H(t) = \exp(\zeta_t + \gamma W_t) \quad (4)$$

où ζ_t est donné par

$$\zeta_t = \ln(H_0) + \left(\alpha - \frac{1}{2}\gamma^2\right)T \quad (5)$$

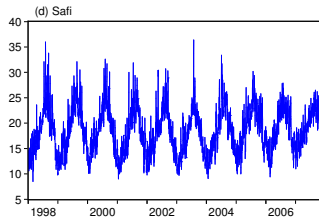
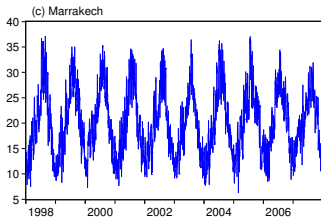
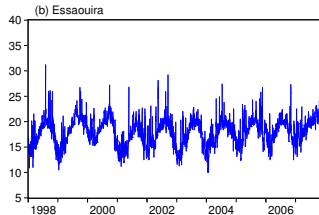
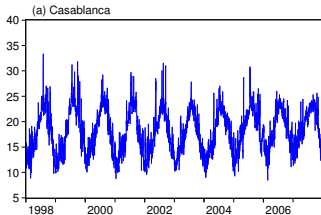
Modélisation des données quotidiennes

- Plus récente donnant des résultats plus justes
- Un seul modèle est nécessaire pour ajuster tout indice dépendant de la même variable
- Calibration des modèles plus difficile à réaliser
- Deux familles de modèles
 - Processus discrets
 - Processus continus

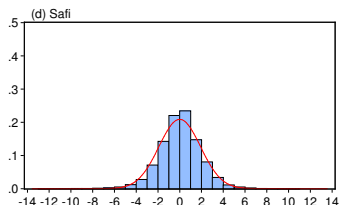
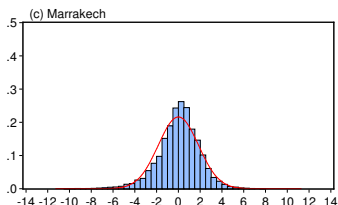
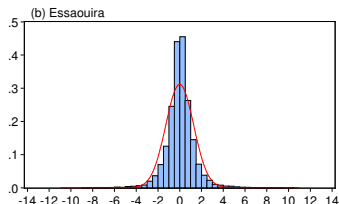
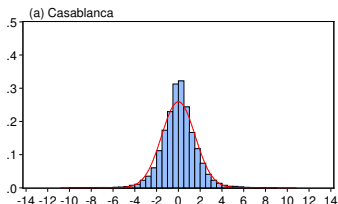
Présentation du cas

- Nous avons repris un modèle proposé par Alaton *et al.* (2002). Il s'agit d'un modèle stochastique qui décrit la dynamique de la température selon un processus de type Ornstein-Uhlenbeck
- Nous avons amélioré ce modèle en y incorporant une volatilité stochastique
- Nous avons calibré notre nouveau modèle sur les données de quatre villes marocaines
- Le modèle a été discrétisé et des simulations ont été réalisées en se basant sur la méthode de Monte Carlo

Evolution de la température moyenne quotidienne



Variations de la température moyenne quotidienne



■ Histogramme empirique — Ajustement normal

Construction du modèle de température

- Il est clair que le processus de la température doit être un processus avec retour à la moyenne
- La moyenne doit être une fonction ayant une forme cyclique
- L'histogramme suggère une certaine forme de la loi normale pour la différence quotidienne de la température
- De ce qui précède, le processus de la température doit suivre un mouvement brownien

Un modèle stochastique pour la température

- Le modèle stochastique de la température est donnée par

$$dT_t = \left[a(\theta_t - T_t) + \frac{d\theta_t}{dt} \right] dt + \gamma_t dW_t \quad (6)$$

$$\theta_t = A + Bt + C \sin(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

- où
 - T_t le processus modélisé
 - a la vitesse de retour à la moyenne
 - θ_t la moyenne vers laquelle le processus retourne
 - γ_t le processus de volatilité
 - W_t un processus de Wiener
 - $\omega = \frac{2\pi}{365}$

Estimation des paramètres du modèle

	Casablanca	Essaouira	Marrakech	Safi
Panel A : Paramètres du modèle d'évolution				
<i>A</i>	17.19763	17.01604	19.43124	17.81495
<i>B</i>	0.000054	0.000074	0.000044	0.000055
<i>C</i>	-5.02629	-2.50297	-7.78419	-5.30088
φ	0.892545	0.744646	1.032915	0.904951
<i>a</i>	0.269922	0.239760	0.158888	0.299401
Panel B : Paramètres du modèle de volatilité				
γ_{trend}	1.788000	1.412100	2.626800	2.352800
σ_{γ}	0.679827	0.787365	0.973588	0.869743
a_{γ}	1.965134	1.498217	1.770863	1.489373

Simulation du modèle

- Afin de simuler des trajectoires échantillonnales de température, nous devons discrétiser notre modèle
- Les schémas d'approximation d'Euler et de Milstein sont donnés par

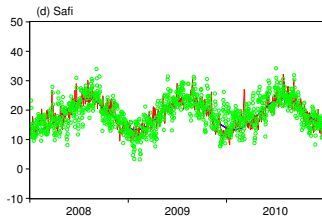
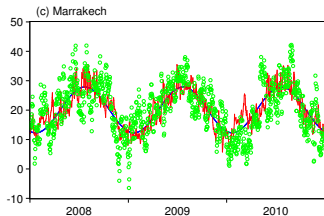
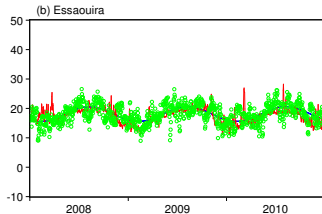
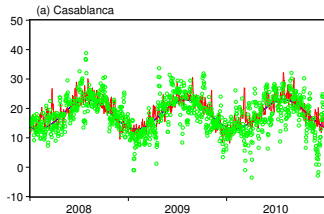
$$\begin{cases} T_{t+1} = T_t + a(\theta_t - T_t) + \theta'_t + \gamma_n Z_1 & (8a) \\ \gamma_n = \gamma_{n-1} + a_\gamma(\gamma_{trend} - \gamma_{n-1}) + \sigma_\gamma Z_2 & (8b) \end{cases}$$

et

$$\begin{cases} T_{t+1} = T_t + \gamma_n Z_1 + a(\theta_t - T_t) + \theta'_t - \frac{1}{2} a \gamma_n Z_1 - \\ \quad \frac{1}{2} a^2 (\theta_t - T_t) - \frac{1}{2} a \theta'_t & (9a) \\ \gamma_n = \gamma_{n-1} + \sigma_\gamma Z_2 + a_\gamma (\gamma_{trend} - \gamma_{n-1}) - \frac{1}{2} a_\gamma \sigma_\gamma Z_2 - \\ \quad \frac{1}{2} a_\gamma^2 (\gamma_{trend} - \gamma_{n-1}) & (9b) \end{cases}$$

- Z_1 et $Z_2 \sim N(0, 1)$
- Pour chaque mois, γ_n est simulée en utilisant (a). γ_n simulée est alors utilisée dans (b) pour un mois entier de simulations

Températures simulées, prévisionnelles et réalisées



— Temperature moyenne simulée — Temperature realisee • Une trajectoire de temperature simulée

Cadre d'évaluation

- En utilisant la valeur espérée, la juste valeur V d'un dérivé climatique sur un indice de température Ω ayant la valeur ω à la maturité est donnée par la valeur actualisée de son espérance de payoff $E(\omega)$

$$V = e^{-r(T-t)}E(\omega) \quad (10)$$

où r est le taux d'actualisation quotidien, t le jour d'évaluation du dérivé climatique et T la date de maturité du contrat du dérivé.

- En termes de probabilités, la valeur de V devient

$$V = e^{-r(T-t)} \int_{-\infty}^{+\infty} p(\omega)f(\omega)d\omega \quad (11)$$

où $p(\cdot)$ est la fonction du payoff qui doit être spécifiée dépendamment de la nature de chaque produit et $f(\cdot)$ la fonction de densité de probabilité de l'indice climatique ω .

Évaluation d'un swap climatique

- Soit un contrat de swap climatique (sur température) ayant un niveau d'exercice K , alors le payoff est donné par

$$p(\omega) = \omega - K \quad (12)$$

- En utilisant la formule d'évaluation présentée en (11), il est aisé de montrer que

$$V_{swap} = (\mu - K)e^{-r(T-t)} \quad (13)$$

- Dans le cas où le contrat de swap est plafonné, la formule d'évaluation devient plus difficile à obtenir. Toutefois, on peut adopter les conventions des marchés financiers où il est admis que le payoff d'un dérivé est plafonné symétriquement autour du niveau d'exercice. Ainsi

$$V_{swap} = e^{-r(T-t)} \int_{K-c}^{K+c} (\omega - K) f(\omega) d\omega \quad (14)$$

où c est le plafond du swap exprimé en degrés Celsius

Détail d'un contrat d'option climatique

- Type du contrat (option d'achat : call ou option de vente : put)
- Période du contrat (par ex. Juillet 2015)
- Indice sous-jacent HDD ou CDD
- Station météorologique officielle où les températures vont être observées
- Niveau d'exercice de l'option
- Montant de conversion (par ex. 10 000 CAD/HDD)

Formule de pricing d'un HDD call

- Soit K le niveau d'exercice du call et α le montant de conversion
- Supposons que ce contrat couvre n jours
- La somme des HDDs pour cette période est donnée par

$$H_n = \sum_{i=1}^n HDD_i \quad (15)$$

- Le prix du HDD call est donné par la formule

$$\chi = \alpha \max\{H_n - K, 0\} \quad (16)$$

Quelques références

- 1 “Weather effects on return and volatility: evidence from Morocco”, Journal of Applied Economic Sciences, volume 7, No 24, 2013
- 2 “Why use average temperatures instead of extreme temperatures for pricing temperature-based weather derivatives?”, Proceeding of the IFM2 of Montreal, 2013
- 3 “Temperature stochastic modeling and weather derivatives pricing : empirical study with Moroccan data”, Afrika Statistika, volume 2, No 1, 2007

Extensions et futurs axes de recherche

- Développer d'autres produits de couverture du risque climatique qui s'adaptent au contexte local
- Sensibiliser les opérateurs du marché de la gestion du risque climatique
- Développer des modèles pour les phénomènes extrêmes
- Calibrer des modèles sur plusieurs sites et faire une analyse approfondie des corrélations
- Améliorer les techniques de simulation

Merci pour votre attention ...

Les opinions exprimées dans cette présentation sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement celles d'EY Canada.