

PAULINE BARRIEU

Introduction aux produits dérivés climatiques

Journal de la société française de statistique, tome 144, n° 3 (2003),
p. 53-68

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_2003__144_3_53_0

© Société française de statistique, 2003, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société française de statistique » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

INTRODUCTION AUX PRODUITS DÉRIVÉS CLIMATIQUES

Pauline BARRIEU *

RÉSUMÉ

Le risque climatique concerne la grande majorité des acteurs de l'économie. Comme les produits dérivés ont permis aux entreprises de gérer les risques financiers « classiques », les produits dérivés climatiques leur permettent de mieux appréhender et d'anticiper les effets des conditions climatiques sur leurs activités.

Ces nouveaux instruments, de structure financière classique, sont très particuliers du fait de la nature non financière de leur sous-jacent. Ils sont majoritairement traités sur des marchés de gré à gré même si quelques marchés organisés commencent à faire leur apparition. D'autre part, certains problèmes spécifiques à ces contrats sont à noter : ils concernent notamment le traitement des données, la question du choix d'un modèle d'évaluation et, enfin, le risque de base.

ABSTRACT

The bulk of the economy is concerned with climatic risk. As derivative contracts have enabled firms to manage standard financial risks, weather derivatives allow them to better anticipate the negative effects of weather conditions on their activities.

In spite of a classical financial structure, these new instruments are very specific because of their non-financial underlying. They are mostly traded on O.T.C. markets, even if some organized markets begin to emerge. On the other hand, some specific problems have arisen with these contracts : they are related to the data treatment, to the question of a pricing model choice and to that of the basis risk.

1. Le Risque Climatique

Les produits dérivés climatiques s'inscrivent dans une logique récente de titrisation¹ de risque non-financier, et plus classiquement considéré comme du ressort du secteur de l'assurance. Aujourd'hui, ces nouveaux contrats constituent un marché en plein essor aux États-Unis et commencent à apparaître en Europe. Leur développement est d'autant plus important que le risque météorologique concerne la majorité des acteurs de l'économie.

* London School of Economics, Statistics Department, Houghton Street, London WC2A 2AE, Grande-Bretagne.
e-mail : p.m.barrieu@lse.ac.uk

1. En d'autres termes, le processus d'agrégation et de transformation de risques non-financiers en titres négociables.

En effet, d'après W. Daley, ministre américain de l'économie pendant la présidence Clinton, environ 80 % des entreprises américaines et plus de 1 trillion de dollars de l'économie (soit 25 % du P.N.B. – Produit National Brut –) des États-Unis seraient concernés par le risque météorologique. De la même façon, plus de 1,25 billions de dollars de l'économie européenne et 700 milliards de l'économie Japonaise seraient affectés. L'O.N.U. (Organisation des Nations Unies) évoque même que 17 % de l'économie mondiale est susceptible d'être concernée par ce risque. Ce risque a un impact économique pouvant prendre trois formes principales :

- Il peut tout d'abord entraîner une variabilité des revenus d'une entreprise en ayant, par exemple, un impact sur les ventes : un exemple classique peut être celui du vendeur de parapluies, dont les ventes dépendent fortement du fait qu'il pleuve ou non.
- Il peut également conduire à une variabilité des coûts : par exemple, suite à un ouragan aux États-Unis, certains puits de pétrole ont été temporairement fermés par mesure de sécurité. L'offre se trouvant réduite, les prix du pétrole ont monté. On peut également penser à un fabricant de pâtes alimentaires, utilisant la semoule de blé dur comme matière première. Si le printemps a été trop sec, les récoltes de blé sont peu abondantes et le coût des matières premières augmente.
- Enfin, il peut créer des chocs négatifs sur la valeur de l'actif et du passif du bilan de l'entreprise : ce risque peut alors augmenter la variance des flux et conduire à une explosion de toute mesure du risque lié à l'activité de l'entreprise.

Le risque météorologique comporte certaines spécificités par rapport aux risques habituellement considérés en finance : tout d'abord, il n'existe pas de marché physique de météorologie. Il est impossible, en effet, d'acheter de la pluie ou du vent sur un marché donné. C'est aussi un risque local, sur le plan géographique : un jour donné, à une heure donnée, les conditions climatiques de Paris sont différentes de celles de Brest ou de Perpignan, voire de celles de la proche banlieue parisienne. D'autre part, la météorologie est au delà de tout contrôle humain : personne ne peut agir sur les conditions météorologiques futures. Enfin, les conditions météorologiques ont une influence quasi certaine sur les activités humaines (telles que l'agriculture) et par conséquent sur les prix. Par exemple, une gelée peut abîmer les récoltes futures, qui s'en trouvent amoindries. La production est réduite et les prix augmentent.

2. Produits dérivés climatiques

Avant de présenter les produits dérivés climatiques, rappelons qu'un produit dérivé est un contrat financier dont les flux à l'échéance dépendent de l'évolution d'un autre actif, appelé actif sous-jacent. Les différents sous-jacents des produits dérivés climatiques dépendent de conditions météorologiques.

2.1. Leur rôle

Afin de gérer ces risques météorologiques, de nouveaux instruments sont apparus sur les marchés financiers depuis 1997. Il s'agit des produits dérivés climatiques (ou « weather derivative »). Ces contrats, de structure financière classique, dépendent de l'évolution d'un sous-jacent très particulier, relatif aux conditions météorologiques d'un lieu donné à une période donnée.

Les produits dérivés climatiques permettent à une entreprise de gérer les risques météorologiques décrits précédemment. Ils lui offrent la possibilité de contrôler les effets des conditions climatiques sur la demande de ses produits, sur le coût des matières premières... Ils réduisent des revenus futurs très volatiles à des flux plus prévisibles. Ce sont des produits extrêmement spécifiques, n'ayant pas l'utilisation classique des autres produits dérivés : en effet, comme la météorologie ne peut pas être traitée directement sur les marchés, les produits dérivés météorologiques ne sont donc pas utilisés pour couvrir les variations du cours du sous-jacent. Ils sont utilisés comme instruments de couverture non pas contre le risque météorologique lui-même mais contre certains risques induits par le risque météorologique : par exemple, il existe le risque d'une très forte demande en électricité pour le chauffage pendant un hiver particulièrement rigoureux. Il s'agit dès lors pour l'entreprise productrice d'énergie de gérer et couvrir un risque de volume et non un risque de prix.

2.2. Typologie des produits dérivés climatiques

Plusieurs classements des produits dérivés climatiques sont envisageables. Parmi eux, on peut distinguer notamment un classement selon la nature du risque sous-jacent et un classement selon la structure financière des contrats. Nous présentons successivement ces deux approches, approches qui, notons-le, sont classiques en finance.

2.2.1. Selon la nature du sous-jacent

Un classement selon la nature du risque sous-jacent au contrat permet de mieux comprendre ces produits. Même si la grande majorité des produits actuellement traités sont des contrats dépendant de la température (représentant, selon W.R.M.A. – Weather Risk Management Association – plus de 98 % des transactions et plus de 97 % du montant notionnel), il existe des contrats dépendant des précipitations (pluie ou neige), de l'ensoleillement ou du vent. Certains contrats mixtes température-précipitation ont également fait leur apparition. La dominance des produits dérivés sur température peut notamment s'expliquer par la dépendance quasi linéaire liant la consommation d'énergie et la température. Celle-ci permet aux producteurs d'énergie, principaux intervenants sur ces produits, de mieux appréhender et gérer leur exposition climatique.

Toutes les données climatiques sont mesurées par un organisme indépendant (comme Météo France en France). Il n'y a ainsi aucune source de contestation

possible et aucune possibilité de manipulation du sous-jacent. Cela assure la sécurité du marché des produits dérivés météorologique.

D'autre part, toutes les données sur lesquelles se fondent les « payoffs » (*i.e.* flux à l'échéance) des produits dérivés climatiques, y compris le lieu du relevé de cette donnée (appelé « reference station ») sont explicitement spécifiées dans le contrat comme c'est le cas pour des produits dérivés standards (par exemple, cours d'un actif donné tel jour à telle heure sur la page Reuter...).

Une mesure particulièrement importante pour les produits dérivés de température est celle de « Degree Days ». Celle-ci intervient dans la grande majorité des contrats sur température.

Les « Degree-Days », *DD*, sont calculés comme la différence entre la température actuelle moyenne *T* (calculée en général sur la base de huit observations) et une température de référence fixée à 65 °F ou 18 °C (cette valeur correspondrait à la température pour laquelle les chaudières se mettent en marche par défaut aux États-Unis). Ainsi :

$$DD = T - 65 \text{ °F}$$

Toutefois, l'utilisation d'une température universelle de référence pose un problème : dans les régions chaudes, 65 °F est une température très froide alors que, dans d'autres régions, elle sera perçue comme une température très élevée. C'est pour cette raison qu'un météorologue, Dischel (2000), propose le concept de « Degree Day » relatif à la zone géographique considérée. Pour cela, il étudie la consommation d'électricité en fonction de la température pour différentes villes aux États-Unis.

Les « Degree Days » peuvent être classés suivant leur signe : si la valeur calculée est positive, alors la température moyenne est supérieure à 65 °F, il y a une demande d'air conditionné et on parle de « Cooling Degree Days ». Si par contre, la valeur calculée est négative, alors la température moyenne est inférieure à 65 °F, il y a une demande de chauffage et on parle de « Heating Degree Days ».

Une valeur cumulée de « Degree Days », appelée « Cumulative Degree Day » peut également être calculée. Il s'agit de la somme des « Degree Days » sur une période donnée. On la compare alors avec une valeur de référence correspondant à cette période. Il peut bien sûr s'agir uniquement de la somme de « Cooling Degree Days » (respectivement « Heating Degree Days »), on parle alors de « Cumulative Cooling Degree Days » (respectivement « Cumulative Heating Degree Days »).

2.2.2. Selon la structure financière des contrats

Les produits dérivés climatiques ont des structures financières tout à fait classiques. Seule la nature des sous-jacents les rend si spécifiques. Il peut s'agir en effet de :

i) Contrats d'option : ce sont des instruments optionnel donnant le droit à certains flux contingents à une date prédéterminée (si l'option est de type européen) ou pendant une période donnée (si elle est de type américain). Les

INTRODUCTION AUX PRODUITS DÉRIVÉS CLIMATIQUES

options sur température donnent droit à des flux dépendant d'un sous-jacent lié à la température. Elles sont généralement de type européen et à caractère «lookback» (le sous-jacent est alors la température maximale ou minimale sur une période donnée) ou à caractère «asiatique» (le sous-jacent est alors la température moyenne sur une période donnée).

Les deux exemples triviaux suivants illustrent l'utilisation de ce type de contrat :

- Une compagnie d'électricité perd un montant $M = 100\,000$ dollars par degré Fahrenheit en dessous d'un seuil de $K = 50^\circ\text{F}$. On suppose que cette entreprise achète en t , sur le marché de gré à gré, une option de vente sur minimum de température, avec la maturité $t + 2$ et le montant nominal M . Le scénario suivant survient :

dates	t	$t + 1$	$t + 2$
T (en $^\circ\text{F}$)	45	42	51
T_{\min} (en $^\circ\text{F}$)	45	42	42

Par conséquent, l'entreprise va toucher à maturité le montant suivant, qui va lui permettre de couvrir ses pertes liées aux conditions climatiques :

$$M \times \max(K - T_{\min}; 0) = 800\,000 \text{ dollars}$$

- Un fabricant de glace perd un montant $M = 5\,000$ dollars par «Cumulative Cooling Degree Days» en dessous d'une période «type», qu'il estime à $K = 40^\circ\text{F}$. On suppose que cette entreprise achète en t , sur le marché de gré à gré, une option d'achat sur moyenne de maturité $t + 2$ et de montant nominal M . Le scénario suivant survient :

dates	t	$t + 1$	$t + 2$
T (en $^\circ\text{F}$)	70	76	75
$\text{CDD } T - 65^\circ\text{F}$	5	11	10
CumCDD (en $^\circ\text{F}$)	5	16	26

Par conséquent, l'entreprise va toucher à maturité le montant suivant, qui va lui permettre de couvrir ses pertes liées aux conditions climatiques :

$$M(\max(K - \text{CumCDD}; 0) = 70\,000 \text{ dollars}$$

- ii) Contrats de swaps : il s'agit de contrats financiers caractérisant les termes d'un échange de flux (montants, date(s) d'échange, conditions d'échange). Dans un swap météorologique, les échanges de flux sont conditionnés par l'occurrence d'un certain événement climatique.

L'exemple suivant (donné par Worldwide Weather Trading Company sur son site Internet) illustre l'utilisation et la mise en place de ce type de contrat. Il s'agit d'un swap de température entre un parc d'attraction et un fabricant de glaces situés au même endroit à côté de Phoenix dans l'Arizona.

INTRODUCTION AUX PRODUITS DÉRIVÉS CLIMATIQUES

- Le parc d'attraction subit des pertes si l'été est trop chaud, du fait de la baisse de sa fréquentation. Il évalue que, pour chaque jour où la température excède 96 °F, la perte encourue est de 50000 dollars. Le parc raisonne en « Cumulative Degree Day » de 15 jours (il faut qu'il y ait moins de 15 jours de fortes températures dans la période considérée pour qu'il échange). Le montant total échangeable en cas d'exercice est limité à 1 million de dollars.
- Le fabricant de glaces réalise de bons résultats chaque jour où la température excède 96 °F, le gain réalisé est de 50000 dollars. Le fabricant raisonne également en « Cumulative Degree Day » de 15 jours (il faut qu'il y ait au moins 15 jours de fortes températures dans la période considérée pour qu'il échange). Le montant total échangeable est limité à 1 million de dollars.
- Il y a alors échange de revenus conditionnellement au seuil de 15 jours avec une température supérieure à 96 °F. De façon plus précise, si N désigne le nombre de jours dans la saison où la température excède 96 °F, alors les flux du parc d'attraction à l'échéance sont les suivants :

$$\text{Max}((50\,000 * N); 1\,000\,000)1_{N \geq 15} - \text{Max}((50\,000 * N); 1\,000\,000)1_{N \leq 15}$$

Pour le marchand de glaces, les flux sont simplement opposés.

Toutefois, on peut se demander dans quelle mesure un tel contrat de swap est effectivement réalisable. En effet, il n'est pas aisé de trouver deux contreparties ayant des besoins parfaitement réciproques.

Malgré tout, ce sont ces instruments qui servent de base à l'ensemble du marché des produits dérivés climatiques. En effet, de façon très schématique, les « dealers » (*i.e.* intervenants professionnels sur le marché) échangent des contrats de swap, dont le niveau d'exercice correspond à leurs anticipations propres. Celles-ci correspondent en général à la moyenne historique de l'événement considéré, corrigée par une marge, souvent égale à un écart type. Ces échanges constituent le « marché secondaire », seuls des professionnels des marchés y participent. Chaque intervenant va ensuite interagir avec un utilisateur final (*i.e.* une entreprise cherchant à mieux gérer son risque climatique) sur le « marché primaire ». Cette transaction porte sur n'importe quel produit dérivé : le contrat est « cappé » (*i.e.* une limite supérieure est imposée sur le montant des gains maximum) et son niveau d'exercice diffère de celui du swap. Cela assure d'une part une marge au « dealer » et d'autre part, l'entreprise n'a en général pas besoin d'une protection à ce niveau là, protection qui s'avérerait extrêmement coûteuse.

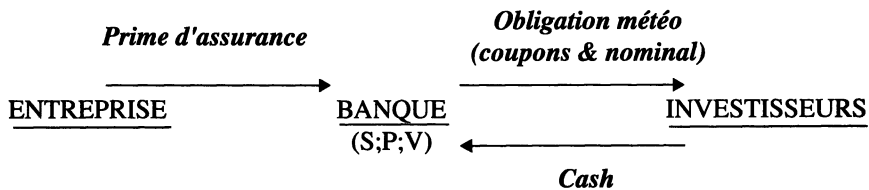
iii) D'autres contrats peuvent également être échangés : les produits conditionnels ou contrats optionnels binaires, garantissent un revenu prédéterminé, conditionnellement à l'occurrence d'un certain événement météorologique. Contrairement aux contrats d'options décrits précédemment, la structure des flux à l'échéance est fixée et connue dès la signature du contrat.

Des fonds climatiques, ou portefeuilles de produits dérivés climatiques, sont également proposés à des investisseurs financiers classiques cherchant à se diversifier.

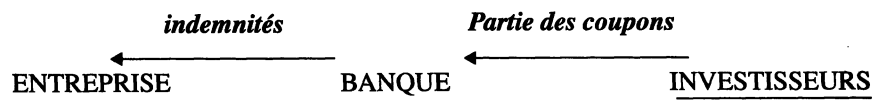
INTRODUCTION AUX PRODUITS DÉRIVÉS CLIMATIQUES

Les obligations contingentes, dont le paiement des coupons dépend de l'occurrence de tel événement météorologique (par exemple, la température maximale observée dans différentes villes pendant une période donnée dépasse un certain seuil), tendent à se développer dans le même esprit que les obligations « catastrophe ». Leur structure est la suivante :

- Si aucun événement météorologique ne survient durant la vie de l'obligation



- Si un événement météorologique (prévu dans le contrat) survient :



Notons ici que le rôle joué par la banque peut se rapprocher d'un rôle traditionnel d'assureur, l'entreprise versant une prime d'assurance initialement pour protéger ses revenus d'un certain risque climatique et recevoir en échange des indemnités en cas d'occurrence de ce risque. La structure du paiement des indemnités est déterminée au cas par cas (*cf.* par exemple Barrieu et El Karoui (2002a) pour une étude approfondie de ce type de contrats).

De tels produits sont extrêmement attractifs pour les investisseurs traditionnels en leur permettant de diversifier leur portefeuille.

3. Les Marchés des Produits Dérivés Climatiques

3.1. Historique et marché de gré à gré

Comme nous l'avons souligné précédemment, les entreprises ont des résultats très liés aux conditions météorologiques. Cette influence de la météorologie est propre, spécifique à chaque entreprise. De fortes corrélations existant entre la météorologie et les activités de l'entreprise, le volume concerné par le risque météorologique est souvent plus important que celui lié au risque de taux, par exemple. Depuis 15 ans, selon les chiffres de l'U.S. Department of Energy, la production d'électricité hydraulique a varié d'une moyenne de 1,7 milliards de dollars par an (soit 11 % de la production annuelle) du fait des pluies ; d'autre part, les variations de températures dans les dix villes les plus peuplées des

États-Unis ont causé une variation annuelle de 3,6 milliards de dollars dans la consommation d'électricité.

Par conséquent, les instruments de couverture doivent être sur-mesure. Ce sont donc les banques d'investissement qui conçoivent en général ce type de produits. Les produits dérivés climatiques sont souvent l'objet d'une étude particulièrement approfondie des besoins de l'entreprise et il n'est pas rare que le produit réellement échangé soit complètement différent du produit proposé au départ par la banque, afin d'être parfaitement adapté à l'entreprise. La gestion du risque météorologique devient, grâce à ces produits, proactive, anticipative et non simplement réactive.

Le premier contrat climatique, reporté publiquement, a été signé en 1997, grâce à l'innovation de Enron. Aux États-Unis, Enron, producteur de gaz et leader mondial du «trading» d'énergie (jusqu'à très récemment...), s'est d'abord intéressé aux produits électricité pour de petits producteurs américains suite à la dérégulation du marché de l'énergie. Mais, pour garantir les prix, Enron a eu l'idée d'un produit de couverture dépendant de la température : le prix de l'électricité était relié au volume consommé et donc à la température. De façon relativement consensuelle, on estime que plus de 2 500 transactions entre utilisateurs et fournisseurs d'énergie ont eu lieu depuis 1997 pour un montant global excédant 7 milliards de dollars. Notons toutefois que la taille de ce marché est difficilement estimable du fait de la confidentialité des transactions qui sont majoritairement de gré à gré. Néanmoins, de l'avis unanime de tous les intervenants, ce marché n'est pas un marché spéculatif et la plupart des transactions permet de gérer un risque climatique réel. Peu à peu, cette idée a fait du chemin et aujourd'hui ces produits s'adressent à un public plus large que les producteurs d'énergie, même si on estime que 90 % des transactions concerneraient encore le secteur énergétique.

Le marché de gré à gré, appelé également marché O.T.C. («Over The Counter»), de produits dérivés climatiques manque de liquidité (la liquidité mesure la facilité et la rapidité avec laquelle une position peut être débouclée dans des conditions «acceptables»). En effet, les problèmes d'une réglementation très confuse, le manque d'un modèle efficace d'évaluation des produits et la complexité des données météorologiques contribuent à un ralentissement de l'évolution de la liquidité. Ceci est notamment visible par la taille importante des «spreads» (*i.e.* écart entre les prix d'achat et de vente) sur ce marché. Les produits dérivés climatiques restent alors un outil de couverture coûteux.

Toutefois le manque de liquidité de ce marché provient également de la nature même des produits dérivés climatiques : en effet, ceux-ci sont bien souvent perçus, par leurs acheteurs, non pas comme des outils de spéculation, mais plutôt comme de véritables contrats d'assurance, qu'il convient de conserver jusqu'à l'échéance, pour se protéger². La logique de ce marché étant alors

2. Même dans cette logique d'assurance, il peut y avoir un rebalancement des positions lié à un affinement des prévisions météorologiques lorsque l'échéance se rapproche. Mais ces «mises à jour» sont moins fréquentes que celles liées à des comportements spéculatifs.

plus proche d'une logique d'assurance que d'une logique financière classique, le peu de liquidité n'est pas surprenant.

3.2. Le Marché organisé du C.M.E.

Depuis le 22 septembre 1999, certains produits dérivés climatiques sont également traités aux États-Unis sur un marché organisé, le Chicago Merchantile Exchange (C.M.E.). Il s'agit de contrats futures (contrats à terme standardisés) et d'options sur ces futures. Ces contrats se réfèrent à des indices cumulatifs de « Heating Degree-Days » et de « Cooling Degree-Days » pour certaines villes américaines : Atlanta, Chicago, Cincinnati et New York. Elles ont été choisies en fonction de leur population, de la variabilité des températures et de leur activité constatée sur les marchés de gré à gré des dérivés H.D.D. et C.D.D. Les teneurs du marché de futures sont Aquila Energy, Castlebridge Weather Markets, Koch Energy Trading et Southern Energy. Il s'agit des acteurs les plus actifs aujourd'hui sur le marché de gré à gré des produits dérivés climatiques. Les contrats ont des maturités de 12 mois successifs pour une flexibilité maximale dans la gestion temporelle des risques climatiques. Un point d'indice (H.D.D. ou C.D.D.) équivaut à 100 dollars et les valeurs des indices sont déterminées de façon indépendante par Earth Satellite Corporation.

Pour beaucoup, les contrats du C.M.E. devaient accroître la liquidité du marché des produits dérivés climatiques et attirer de nouveaux participants : en effet, le C.M.E. autorise des transactions de petites tailles et offre donc plus de flexibilité (100 dollars par point d'indice de température coté), le système de cotation Globex2 permet d'avoir une transparence sur les prix, d'éviter les frictions et de réduire les coûts de transaction. Enfin, comme sur les marchés de futures traditionnels, la chambre de compensation élimine le risque de crédit pour les intervenants, en assurant transparence et sécurité par un système traditionnel d'appel de marge.

Toutefois, quelques mois après l'ouverture de ce marché organisé, il est possible de dresser un premier bilan. Tout d'abord, l'activité de ce marché est bien loin de ce qui avait été prévu. Ainsi, durant le premier mois, seulement 294 contrats H.D.D. ont été échangés, dont plus de la moitié pour la seule ville d'Atlanta ! Ce chiffre est à comparer avec les 650 contrats future sur gaz échangés le jour de l'ouverture du marché New York Merchantile Exchange en 1990 ! Un autre exemple peut être celui d'une journée type comme le 18 septembre 2000, aucun contrat future sur aucune maturité n'a été échangé alors que plus de 70 000 contrats future sur l'indice américain S&P500 d'échéance décembre ont été traités. Le manque de liquidité, dû entre autres au manque de participation des utilisateurs finaux (peut-être du fait du risque de base pouvant exister entre leurs lieux d'exposition climatique et les villes concernées par ces contrats, comme nous le verrons par la suite) semble être responsable de cette faible activité, ainsi que le manque d'intérêt de certains acteurs clé, comme Enron et Koch.

Pourtant, le 9 janvier 2000, des contrats ont été créés pour six nouvelles villes : Dallas, Philadelphie, Portland, Tuscon, des Moines et Las Vegas, sans pour autant augmenter l'activité et faire de ce marché un succès.

En réalité, ces différents faits permettent peut-être de mieux comprendre le rôle joué par ce marché : il s'agit d'un complément au marché de gré à gré, qui fonctionne très bien. Du fait même de la nature des produits dérivés climatiques, le marché de gré à gré semble être plus adapté pour répondre aux besoins des entreprises. En effet, comme certains intervenants le remarquent, chaque contrat fait intervenir trop de variables pour pouvoir être standardisé.

3.3. Le Marché européen

Le marché européen commence à se structurer même si cela reste encore très intimiste. En effet, selon W.R.M.A., celui-ci n'aurait qu'une centaine de transactions de dérivés climatiques à son actif, pour un montant notionnel d'environ 45 millions de dollars. La grande majorité des transactions concerne des produits de températures, même si les dérivés de précipitation commencent à intéresser les pays du nord de l'Europe, où la majorité de l'énergie provient de l'hydroélectricité. Toutefois, à l'heure actuelle, le développement de ce marché n'a pas encore suivi l'exemple américain.

Pour certains, le manque de croissance du marché des produits dérivés climatiques en Europe vient de la grande difficulté qu'ont les entreprises européennes à mesurer l'impact des conditions climatiques sur leur activité. D'autre part, alors que l'accès aux données climatiques est gratuit et uniforme aux États-Unis, celui-ci peut se révéler très coûteux de l'autre côté de l'Atlantique et présenter des spécificités nationales très fortes (concernant notamment la détermination de certaines variables climatiques, comme la température moyenne). Cela peut également limiter le développement des produits dérivés climatiques au sein de l'Europe.

Toutefois, la création d'un marché organisé européen, appelé I-WeX, par trois entreprises (IFS, LIFFE et WIRE), constitue une avancée majeure pour le développement de ces produits en Europe et représente la seule tentative réelle à l'heure actuelle. Celui-ci a une structure identique à celle du C.M.E. et bénéficie de l'activité et de la réputation du LIFFE. Il a été ouvert en décembre 2001. Les contrats sont fondés, non pas sur des indices mensuels cumulatifs H.D.D. ou C.D.D. mais sur des indices de températures pour trois villes européennes (Berlin, Londres et Paris). Cette différence permet de rendre plus compréhensibles les contrats pour les entreprises européennes, pour qui la notion de « Degree-Days » n'est ni habituelle ni représentative des risques qu'elles subissent. En effet, pour le secteur de l'énergie par exemple, alors qu'aux États-Unis la demande en électricité est symétrique entre l'été et l'hiver (pour l'air conditionné et le chauffage), celle-ci reste surtout importante en hiver, en Europe. Mais le succès de ce nouveau marché est très mitigé pour l'instant.

I-WeX comprend également un marché O.T.C., permettant de mettre en relation des acheteurs potentiels de produits dérivés climatiques et des vendeurs. Ce marché, en libre accès, tente de développer la transparence et le nombre des transactions de produits dérivés climatiques. Il a été créé en mars 2000. Enfin, une base de données météorologiques, concernant les grandes stations

de référence en Europe, est en libre accès pour les membres de ce marché. Les données théoriques sont gratuites ou disponibles pour un coût réduit.

D'autre part, en novembre 2000, la bourse allemande a annoncé qu'elle avait commencé à calculer des indices de températures H.D.D. et C.D.D. pour 30 villes européennes (pour la France : Bordeaux, Lyon et Paris) en vue d'introduire des dérivés climatiques sur l'Eurex. Cela a été perçu par beaucoup d'intervenants comme une tentative pour devancer le futur marché de l'I-WeX et comme décision purement politique ! Mais cela souligne surtout l'importance de la création d'un marché de produits climatiques en Europe, qu'il soit organisé ou non.

3.4. Les plate formes de trading

Venant compléter les marchés O.T.C. et organisés de produits dérivés climatiques, de nombreuses plate formes électroniques de « trading » ont été développées par certains acteurs clé. Ces sites Internet ont des importances très variables. Cependant, pour beaucoup, même si ces nouveaux systèmes sont extrêmement utiles au développement des produits dérivés climatiques, ils ne pourront jamais supplanter les marchés plus classiques : les utilisateurs finaux viendront difficilement sur ce type de système pour passer un ordre, du fait même de la technicité des produits.

Notons qu'Enron avait développé le site de « trading » le plus actif et, de ce fait, avait contribué à une augmentation de la liquidité sur le marché. Après sa faillite retentissante, et un besoin accru de transparence et de sécurité dans les transactions, il est légitime de se demander ce qu'il pourra advenir de ces sites de « trading » sur Internet.

3.5. Les Intervenants

Il existe sur le marché des produits dérivés climatiques plusieurs acteurs clé. Une liste relativement complète des grands participants de ce marché peut se trouver sur le site de Weather Risk Management Association (<http://www.wrma.org>). Parmi ces grands acteurs, on peut distinguer notamment :

- Les grands producteurs d'énergie : il s'agit de producteurs d'électricité, ayant eu dès la première transaction un rôle clé sur ce marché. Celui-ci a commencé et évolue aujourd'hui grâce à l'innovation de certains grands groupes tels que Koch Energy Trading ou Aquila. Mais, on ne peut oublier Enron, initiateur de la première transaction, qui, en dépit de sa faillite en décembre 2001, a énormément contribué au développement du marché des dérivés climatiques.
- Les entreprises : ce sont les acheteurs type de cette catégorie de produits. Leurs résultats dépendent plus ou moins des conditions climatiques : par exemple, une société productrice de boissons fraîches ou de glaces sera très sensible à la température durant l'été, alors qu'une station de sport

d'hiver sera plus sensible au degré d'enneigement... Les entreprises sont donc demandeuses de ces produits dérivés comme moyen de couverture contre le risque météorologique. Au début, les entreprises concernées appartenaient uniquement au secteur de l'énergie. Puis, les industries de loisir, de l'agroalimentaire, des transports sont venues se rajouter à ces intervenants classiques.

- Les banques : ce sont les concepteurs de ce type de produits. Toutefois, le marché des produits dérivés climatiques étant technique et encore de petite taille, seules quelques grandes institutions financières se le partagent. A ces intervenants se rajoutent quelques courtiers très spécialisés. Bien souvent, ce sont les banques qui vont démarcher les clients car ces produits sont encore peu connus.
- Les sociétés de réassurance : ce sont aussi des clients mais leurs objectifs ne concernent pas la couverture mais plutôt la spéculation dans une certaine mesure, en tenant compte des possibilités réglementaires. Les compagnies d'assurance commencent, elles aussi, à s'intéresser à ces nouveaux produits : ils leur permettent, d'une part d'élargir leurs activités à des événements plus « normaux », moins exceptionnels et d'autre part, d'être en relation avec les dirigeants des entreprises et non pas seulement avec l'équipe de gestion du risque.

4. Les Problèmes Spécifiques aux Produits Dérivés Climatiques

La particularité des produits dérivés climatiques ne va pas sans poser quelques problèmes très spécifiques. Leur évaluation reste une question à l'heure actuelle : il n'existe aucun consensus ni sur la meilleure façon d'utiliser les données, ni sur le modèle à utiliser pour valoriser ces contrats. De plus, une difficulté très particulière apparaît lorsqu'il est question de se couvrir contre le risque climatique : la couverture parfaite est généralement impossible, il subsiste toujours un risque de base.

4.1. Problèmes liés aux données

Les données météorologiques sont également très particulières par rapport aux données financières standard. Tout d'abord, ce qui est un point très positif, il existe des archives très importantes dans la plupart des pays. Relever la température ou le niveau des précipitations est depuis très longtemps une préoccupation humaine.

Toutefois, les données doivent bien souvent être nettoyées. En effet, plusieurs facteurs d'instabilité peuvent venir perturber l'historique. La station de référence peut avoir été déplacée (changement d'altitude, d'orientation...), les instruments de mesure peuvent avoir été améliorés. L'urbanisation joue également un rôle important lorsque l'on sait que beaucoup de stations se

trouvent sur des sites d'aéroports ou près de grands axes routiers. Enfin, beaucoup de relevés sont encore effectués à la main, notamment en ce qui concerne les précipitations et nul n'est à l'abri d'une erreur de retranscription.

Une fois les données nettoyées, une question importante concerne le choix de la taille de l'historique considéré. En effet, augmenter le nombre de valeurs ne stabilise pas forcément le modèle. Des sauts de volatilité apparaissent souvent lorsque l'historique augmente.

À la signature d'un contrat dérivé climatique, le vendeur et l'acheteur doivent avoir une idée du risque (futur) dont il est question pour ce contrat. Aujourd'hui, il existe de nombreux modèles et des études concernant les prévisions météorologiques à très court terme (jusqu'à six jours) et à long terme (question du réchauffement climatique) sont disponibles. Les premières résultent d'une étude sur la situation courante de l'atmosphère et de l'utilisation de modèles de circulation générale. Pour des prévisions à quelques jours, les conditions initiales sont perturbées. Une certaine convergence des résultats est observée jusqu'à trois jours, puis, les météorologues proposent un indice de confiance pour la réalisation de tel ou tel scénario. Les prévisions à long terme se fondent sur des raisonnements en moyenne et en écart par rapport à ces moyennes (scénarios plus ou moins probables). Or, afin d'évaluer les produits dérivés climatiques, problème crucial de tout intervenant sur ce marché, il est nécessaire de considérer des événements à un horizon moyen, en général une saison. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de technique de prévision saisonnière véritablement fiable et testée. C'est un sujet de recherche, qui est notamment développé aux États-Unis et au Canada du fait du phénomène saisonnier El Niño.

Toutefois, on peut se demander si la question n'est pas, dans le cas des produits dérivés climatiques, de trouver une dynamique de la température (ou de tel autre événement météorologique) sans introduire d'autres variables. Le problème est celui de quantifier le risque, l'exposition probable de l'utilisateur final du produit dérivé climatique. Il est donc préférable de déterminer la distribution conditionnelle de l'événement considéré plutôt que de prévoir une trajectoire probable dans une certaine mesure.

De nombreuses études menées par des météorologues existent depuis longtemps sur la dynamique de la température. Toutefois le degré de sophistication des modèles obtenus ne rend pas leur utilisation envisageable par des intervenants financiers qui doivent sans cesse arbitrer entre précision et simplicité, rapidité et faible coût de mise en uvre. Dans cette logique, plusieurs auteurs se sont récemment intéressés à la dynamique de la température, expliquée par elle-même. Notamment Campbell et Diebold (2001), Cao et Wei (2000), Dischel (1998) et Roustant (2001) ont décomposé la température moyenne quotidienne en trois éléments : une tendance, pouvant traduire un certain réchauffement climatique à long-terme ; une saisonnalité, traduisant les phénomènes de saison évidents ; une partie résiduelle, caractérisant l'aléa. La partie résiduelle est souvent modélisée à l'aide d'un processus auto-régressif d'ordre 3, dont le résidu a une volatilité saisonnière également. En effet, les températures semblent être plus volatiles en hiver qu'en été.

4.2. Problématique de l'évaluation

Les techniques d'évaluation sont peu évoquées par les différents intervenants sur les marchés des produits dérivés climatiques : en effet, le marché des produits dérivés climatiques restant, malgré la création de marchés organisés tels que celui du C.M.E., un marché de gré à gré, l'évaluation des produits sur-mesure est confidentielle. Néanmoins tous semblent combiner les modèles classiques d'évaluation des produits dérivés avec des modèles de prédiction météorologique et avouent bien souvent que l'évaluation tient généralement de la négociation commerciale. Le vendeur s'assure une bonne marge pour se couvrir. Plusieurs questions peuvent alors être posées : cette marge est-elle suffisante ? Comment est-elle évaluée ? Comment couvrir une position comprenant des produits dérivés météo ?

Toutefois, une logique financière standard ne semble pas être adaptée dans ce cas. En effet :

- D'une part, la logique des acheteurs (finaux) des produits dérivés climatiques est souvent une logique d'assurance. Ils souhaitent se couvrir contre l'occurrence d'un certain événement météorologique. Par conséquent, la plupart du temps, les détenteurs de ces contrats vont les conserver dans leurs livres jusqu'à l'échéance. Il n'y a pas de réelle spéculation sur ce marché.
- D'autre part, puisque le sous-jacent des produits dérivés climatiques n'est en général (sauf dans le cas des options sur future du C.M.E.) pas traité sur les marchés, aucune logique de réplication, de type Black-Scholes, n'est envisageable. Il est impossible de répliquer les flux des contrats en intervenant sur le marché du sous-jacent. De ce fait, le prix d'un dérivé climatique n'est pas déterminé comme égal au coût de la couverture associée à une position sur ce dérivé. La logique même de couverture n'a pas de sens réel et la notion de prix du contrat est plus proche d'une vision économique : il s'agit d'un niveau d'équilibre où une offre particulière et une demande particulière se rencontrent. Toutefois, un modèle général d'équilibre n'a pas vraiment de sens ici compte tenu du faible nombre d'intervenants.

Des techniques utilisées en marchés incomplets et plus traditionnellement en assurance pour la valorisation de contrats (*cf.* par exemple Goovaerts *et al.*, 1990) sont parfois utilisées dans les quelques articles théoriques sur le sujet. L'utilisation de fonctions d'utilité, notamment l'utilité exponentielle³, pour la détermination d'un prix d'indifférence ou prix de réserve semble être aujourd'hui la méthode d'évaluation la mieux adaptée aux produits dérivés climatiques puisqu'elle prend en compte la spécificité du risque sous-jacent à ces contrats (Barrieu et El Karoui, 2002b, Becherer, 2001, El Karoui et Rouge, 2000, Hodges et Neuberger, 1989, Musiela et Zariphopoulou, 2001, Young et

3. L'utilité exponentielle permet d'obtenir des formules simples et interprétables mais n'est pas adaptée pour l'analyse de risques extrêmes. Toutefois, cela dépasse le cadre des produits dérivés climatiques qui ne concernent que des risques météorologiques « habituels » et non pas des risques catastrophiques.

Zariphopoulou, 2001). Le prix est déterminé comme le montant permettant au détenteur du contrat d'avoir la même utilité (espérée) en payant et en ayant le contrat dans ses livres qu'en ne faisant rien.

4.3. Le risque de base

Enfin, on peut noter la présence d'un risque spécifique aux produits dérivés climatiques : le risque de base ou « basis risk ». Il n'existe pas de couverture parfaite et ce risque a deux composantes principales : d'une part, la dépendance de l'activité envers les conditions climatiques ne peut pas être déterminée parfaitement, c'est un risque systématique, ne pouvant pas être diversifié. D'autre part, il existe un risque de base géographique : il s'agit du fait que les conditions météorologiques prévalant en un lieu donné peuvent différer de celles d'un autre lieu, même si ceux-ci sont proches géographiquement. Cela représente un risque extrêmement important pour les utilisateurs finaux, cherchant à se couvrir. En effet, les relevés à la station de référence peuvent différer des conditions climatiques du site où se trouve l'utilisateur. Ce phénomène est particulièrement vrai pour les précipitations, qui peuvent être très localisées. Les utilisateurs finaux des produits dérivés climatiques doivent accepter ce risque de base, à moins de renoncer aux produits dérivés climatiques comme instruments de couverture. Une bonne modélisation du « basis risk » semble dès lors indispensable au bon développement de certains produits dérivés. En effet, les divergences de préoccupations du vendeur et de l'acheteur de produits dérivés climatiques quant au choix de la bonne station de référence ont souvent conduit à l'annulation de la transaction. Cette question de la gestion du « basis risk » reste ouverte à l'heure actuelle.

Je remercie deux rapporteurs anonymes pour leurs remarques pertinentes et leurs commentaires instructifs sur cet article.

Références

- BARRIEU P., DISCHEL R. (2003), Gestion du risque climatique à l'aide de contrats financiers : l'expérience américaine, Réassurance : Approche Technique, collection *Economica*.
- BARRIEU P., EL KAROUÏ N. (2002a), Reinsuring climatic risk using optimally designed weather bonds, *Geneva Papers Risk and Insurance Theory*, 27, p. 87-113.
- BARRIEU P., EL KAROUÏ N. (2002b), Optimal design of derivatives in illiquid markets, *Quantitative Finance*, 2, p.1-8.
- BECHERER D. (2001), Rational hedging and valuation with utility-based preferences, Thèse de Doctorat, Université de Berlin.
- CAMPBELL S., DIEBOLD F. (2001), Weather forecasting for weather derivatives, Document de travail PIER n°01-031.
- CAO M., WEI, J. (2000), Pricing the weather, *Risk Magazine*, 67-70.

INTRODUCTION AUX PRODUITS DÉRIVÉS CLIMATIQUES

- DISCHEL R. (1998), Black-Scholes won't do, *Risk Magazine*, 8-13.
- DISCHEL R. (2000), Shaping history, *Risk Magazine*, 13-15.
- EL KAROUÏ N., ROUGE R. (2000), Pricing via utility maximization and entropy, *Mathematical Finance*, vol. 10 n°2, 259-276.
- GOOVAERTS M.J., KAAS R., VAN HEERWAARDEN A.E., BAUWELINCKX T. (1990), Effective Actuarial Methods, Insurance Series, vol. 3, Elsevier Science Publishers B.V..
- HODGES S.D., NEUBERGER A. (1989), Optimal replication of contingent claims under transaction costs, *Review of Futures Markets*, vol. 8, 222-239.
- MUSIELA M., ZARIPHOUPOULOU T. (2001), Pricing and risk management of derivatives written on non-traded assets, Document de Travail.
- Risk Magazine : numéros spéciaux « Weather Risk Special Report » de 1998, 1999, 2000 et 2001.
- ROUSTANT O. (2001), Une application de deux modèles économétriques de température à la gestion des risques climatiques, Cahier de recherche, Laboratoire de Sciences Actuarielle et Financière, ISFA, n°WP2015.
- YOUNG V., ZARIPHOUPOULOU T. (2002), Pricing dynamic insurance risks using the principle of equivalent utility, *Scandinavian Actuarial Journal*, vol. 4, 246-279.
- Weather Risk Management Advisory : site web <http://www.wrma.org>