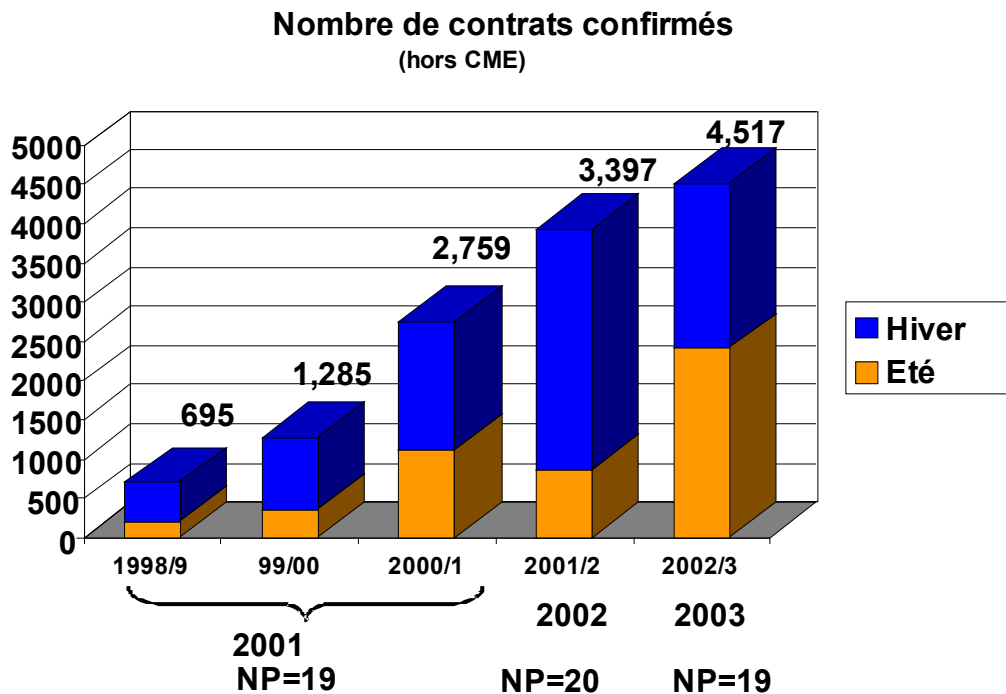


Organisation du marché de gré à gré et techniques d'évaluation¹

I.

II. Introduction

La première transaction portant sur un contrat climatique a été conclue entre deux entreprises énergétiques américaines en 1997. Depuis, le marché n'a cessé de croître pour dépasser aujourd'hui les 4500 contrats négociés de gré à gré pour l'année 2002-2003 (d'avril à avril). Le graphique suivant illustre la croissance soutenue du nombre de transactions au cours des cinq dernières (et premières !) années.



Etude réalisée par PriceWaterHouseCoopers auprès des membres de la WRMA (*Weather Risk Management Association*). NP est le nombre de participants à l'étude.

Cette croissance, bien que continue et importante a été bridée par de nombreux événements. Le premier événement majeur a été la faillite d'Enron, entreprise qui était alors la plus active sur le marché des dérivés climatiques, et dont le portail de *trading* EnronOnline était incontournable pour tous les acteurs de ce marché. Cette faillite sans

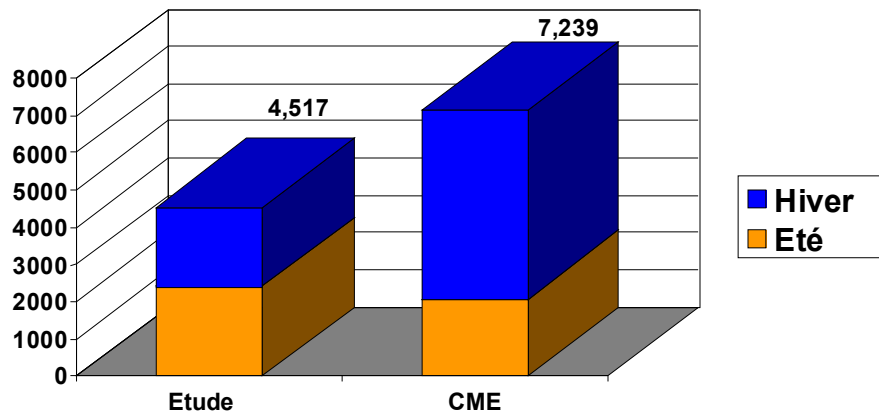
¹ Ce chapitre a été écrit par Michaël Moreno, titulaire d'une maîtrise de mathématiques appliquées, du DEA de sciences actuarielles et financières de l'ISFA, d'un doctorat en finance de marchés et a été maître de conférences à l'ISFA. Spécialiste des produits dérivés sur indice et actions et des contrats climatiques, il est aujourd'hui directeur associé de Speedwell Weather Derivatives Ltd (www.weatherderivs.com) à Londres. Les différents calculs ont été réalisés à l'aide du Speedwell Weather System dont il est l'architecte et des données fournies par le bureau de météorologie anglais.

précédent a tout d'abord créé un véritable vide sur la place et nombreux étaient les acteurs à y voir la fin des contrats climatiques. Pourtant, quelques mois plus tard, les employés de la division climatique d'Enron s'étaient dispersés dans divers groupes et redonnaient un nouvel élan au marché en reconstituant une place multipolaire, plus équilibrée et organisée autour de plusieurs groupes bancaires, d'assureurs et de compagnies énergétiques.

La faillite d'Enron, véritable choc pour les places boursières du monde entier, a surtout conduit à une révision complète des considérations de risque de crédit ou de contrepartie. La presque totalité des entreprises énergétiques, qui par leur exposition naturelle aux aléas climatiques sont les plus actives sur ce marché, voyaient leur notation revue à la baisse tandis que dans un même temps les chargements contre le risque de défaut augmentaient et les positions étaient coupées. Les nouvelles règles prudentielles imposées à de nombreux traders climatiques limitaient la longueur de leurs contrats à au plus deux ans dans un premier temps avant de remonter jusqu'à cinq ans pour la plupart des groupes.

Enron ne fut pas la seule compagnie énergétique à faire défaut. D'autres compagnies américaines firent faillite pour diverses raisons dont le fameux *black-out* en Californie durant l'été 2001. Aussi, alors que les membres de la WRMA pensaient que le nombre de contrats pour l'exercice 2002-2003 serait en baisse, ce fut un immense soulagement que de constater que le nombre de transactions était en réalité en forte hausse avec l'essor remarquable des négociations des contrats *swaps* sur le CME. Alors que le nombre de contrats CME traités les années précédentes était proche de zéro, il fut pour cet exercice supérieur à 7000 !

Nombre de contrats échangés (02-03)



Autrement dit, le nombre de contrats échangés a plus que triplé par rapport à l'année 2001-2002. Le succès des contrats du CME provient du transfert du *trading* de *swaps* du marché de gré à gré vers le CME qui est un marché plus organisé, standardisé et surtout sans risque de crédit, due à la présence d'une *clearing house* ! Le renforcement de l'activité du marché secondaire et son transfert vers le CME témoigne par conséquent d'une hausse substantielle du nombre de contrats conclus directement entre les contreparties.

Les contrats climatiques traités sur le marché de gré à gré sont tous adaptés aux besoins spécifiques de l'entreprise souhaitant s'assurer. Le procédé de structuration repose sur une analyse historique des performances de l'entreprise en fonction de variables climatiques telles que la température, la hauteur de pluie ou de neige, la force du vent, etc. Une fois qu'une relation de type chiffre d'affaires-climat est établie, le gestionnaire de risque de l'entreprise décide du niveau de la couverture qu'il souhaite acheter. Initialement, les dérivés climatiques furent créés pour lisser les revenus dans le temps en réduisant les variations du chiffre d'affaires dues au climat. Dans ce contexte le prix d'exercice du contrat était fixé aux alentours du quantile 25% de la distribution de probabilité de l'indice climatique. Autrement dit, les entreprises souhaitaient s'assurer contre le climat une année sur quatre en moyenne. La tendance est toutefois à la baisse et les produits climatiques sont achetés non plus dans le but de lisser les revenus dans le temps mais pour s'assurer contre des événements moins fréquents, de l'ordre de 5 à 10%. Cette orientation, n'est pas la bienvenue pour tous les vendeurs d'assurances climatiques. Elle pose de sérieuses difficultés d'évaluation et de gestion des contrats et rend l'activité proche de celui d'une compagnie de réassurance couvrant des risques extrêmes survenant une fois tous les vingt ans.

L'indice climatique le plus fréquemment traité est l'indice *HDD (Heating Degree Day)* qui est avant tout un indice permettant de relier le volume de gaz consommé avec la valeur de la température. Son homologue, l'indice *CDD (Cooling Degree Day)* est significativement corrélé, du moins aux Etats-Unis d'Amérique, avec la demande en électricité pour les systèmes de climatisation et de refroidissement. Ces deux indices sont rarement utilisés dans les contrats concernant les secteurs non énergétiques. Les indices seront plutôt des *CED (Critical Event Day)*, c'est-à-dire des indices binaires valant 1 si un événement est survenu et 0 dans le cas contraire. Par exemple, un indice journalier défini comme suit *CED Pluie > 10mm* prend la valeur 1 lorsque la hauteur de pluie cumulée en une journée est supérieure à 10 mm et 0 sinon. A la fin de la période du contrat, portant par exemple sur la période de juillet, la somme des *CED* journaliers est calculée et sert de référence pour le calcul de l'éventuel paiement final du contrat.

Les assurés - hors secteur énergétique - semblent en effet préférer les indices binaires aux indices graduels. Dans quelques cas, cela correspond mieux à leur risque réel tel qu'une grue qui doit s'arrêter de fonctionner en raison d'un vent dépassant le seuil de sécurité réglementaire, un chantier de construction de routes qui ne peut pas opérer s'il pleut plus de 6, 8 ou 10 mm en vingt-quatre heures ou encore la pluie retardant d'une journée ou deux la finale de tennis à Wimbledon ce qui a pour effet de sensiblement réduire l'audience télévisuelle et par conséquent les recettes publicitaires. Toutefois dans de nombreux cas, l'effet du climat sur l'activité d'une entreprise n'est pas binaire. Par exemple, plus il fera froid plus grand sera le nombre de conduites d'une compagnie d'eau qui pourra exploser ou encore plus la hauteur de neige cumulée sur une journée est grande plus onéreux seront le déneigement et le salage des réseaux routiers.

Les contrats étant élaborés selon les besoins spécifiques des clients, les méthodes d'évaluation et de gestion doivent être très flexibles. L'illiquidité du marché fait que les techniques utilisées sont celles de l'assurance. En l'absence de facteur d'actualisation, le prix d'un contrat climatique est le résultat de la somme de deux composantes : la prime pure à laquelle la prime de risque s'ajoute. La prime pure est l'espérance du paiement final du contrat. La prime de risque est une somme correspondant au gain souhaité par le vendeur du contrat pour prendre le risque au sein de son portefeuille. La prime de risque

est composée de plusieurs parties : le chargement pour le risque de crédit (s'il y en a un), le chargement du risque, la prime d'illiquidité et le chargement de risque de modélisation. Le tableau suivant récapitule la décomposition du prix à la vente d'un contrat climatique :

Prix d'un contrat climatique = Prime Pure + Prime de risque	
Prime pure	<ul style="list-style-type: none"> • Espérance du paiement final
Prime de risque	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <ul style="list-style-type: none"> • Chargement pour le risque de crédit • Chargement pour le risque pris • Prime d'illiquidité • Chargement de risque de modélisation </div>

La méthode de calcul de la prime de pure est indépendante des préférences de l'entreprise face au risque. En revanche, la prime de risque est liée à son aversion au risque.

Puisque le paiement final du contrat climatique est calculé selon une formule mathématique, il est très important pour une compagnie souhaitant s'assurer de structurer le contrat de sorte à ce que le possible paiement final perçu soit le plus proche possible des pertes et dommages enregistrés tout en optimisant certaines contraintes de coût de capital et l'utilité de la couverture. Pour ces raisons, bien qu'il existe des contrats standard pour les risques les plus courants, il est souvent nécessaire d'adapter la structure du paiement final aux besoins spécifiques de la société. Une étude des risques qualifiant et quantifiant les risques de la société est donc nécessaire. En raison des contraintes de coûts de capital il n'est pas possible de mener à bien une étude sur la meilleure couverture climatique pour une société sans avoir une connaissance profonde des techniques d'évaluation des vendeurs de contrats climatiques.

Le présent chapitre est organisé comme suit. Dans un premier temps, l'organisation du marché, le rôle joué et le positionnement des différents acteurs du marché sont abordés. Les méthodes d'évaluation et de gestion des contrats climatiques qui conditionnent fortement l'activité du marché font l'objet de la seconde et dernière partie du chapitre.

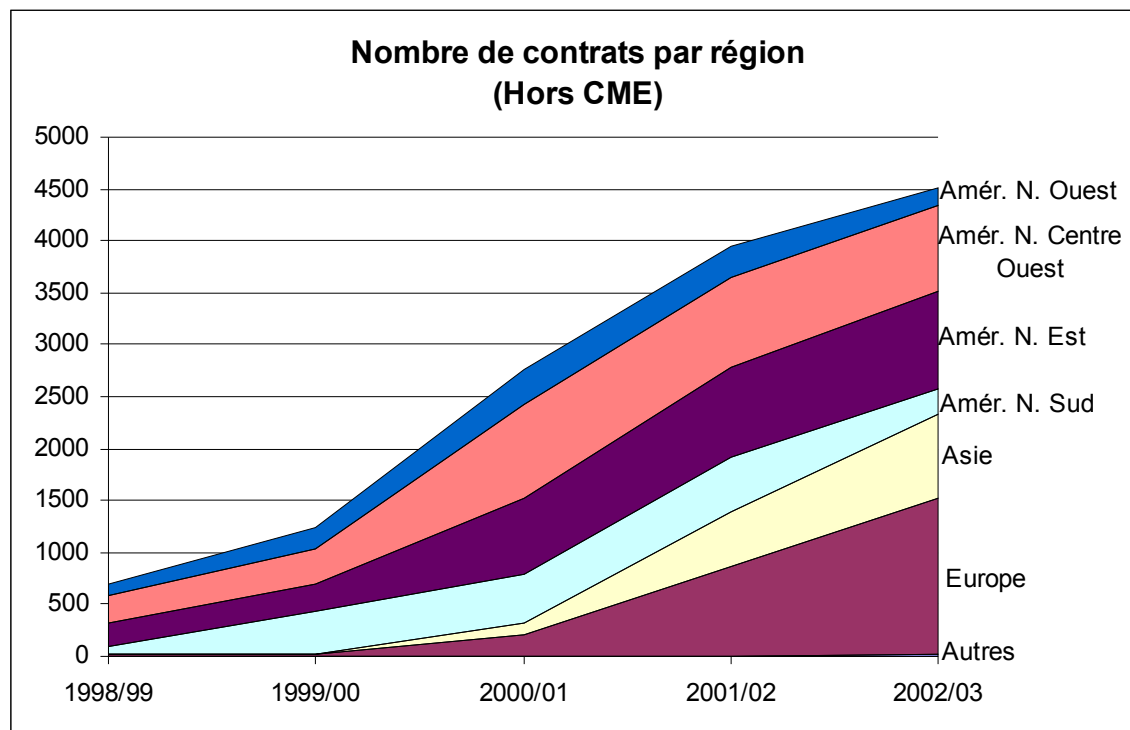
III. Organisation du marché

Le marché des produits climatiques est organisé comme tout marché financier. On distingue d'une part le marché primaire sur lequel se retrouvent dans ce cas les compagnies s'assurant contre leur risque climatique (*end users*) au travers de contrats hautement structurés et les vendeurs de ces couvertures tels que les assureurs, les réassureurs, les banques et certaines compagnies énergétiques et d'autre part le marché secondaire où les vendeurs des couvertures négocient entre eux des contrats standardisés qui leur permettent de gérer dynamiquement leurs portefeuilles climatiques. Les contrats traités sur les marchés primaires peuvent couvrir de une heure à plusieurs années et porter sur différents sous-jacent tel que la température, pluie, le vent, la hauteur des vagues, la neige, etc. Sur le marché secondaire, les contrats portent sur la température et ont en

général des durées de cinq jours (du lundi au vendredi), un mois ou cinq mois (période de chauffage de novembre à mars et de climatisation de mai à septembre).

Les segments visés et les rôles joués par les distributeurs des contrats climatiques, c'est-à-dire les banques, les assureurs, les réassureurs et les compagnies énergétiques sont très différents. En effet, bien qu'en théorie ils soient tous à même de vendre des couvertures dont le paiement final soit identiquement structuré, les régulations internes et externes auxquelles ils sont soumis ainsi que le but recherché par leur participation à ce marché font qu'ils n'occupent pas tous le même segment du marché. Il est ainsi possible que les solutions proposées à une entreprise désireuse de se protéger des risques climatiques soient différentes selon l'organisme vendeur du contrat.

La croissance du nombre de contrats - hors *CME* - vendus selon les régions du globe est très inégale.



Dans un premier temps, les différences entre les contrats d'assurance climatiques et les dérivés climatiques sont rappelées. Puis, le rôle très particulier et fondamental joué par les compagnies énergétiques, qui sont par nature fortement exposées aux aléas climatiques, est abordé. Dans un troisième temps, les secteurs visés et les solutions innovantes proposées par les banques, qui sont avant tout des organismes de crédits et de placements et non des professionnels de l'assurance, sont présentés. Les assureurs et les réassureurs, spécialistes de la gestion des risques climatiques extrêmes voire catastrophiques tels que la grêle, le gel et les tornades disposent de solides réseaux de clientèles. Leurs stratégies sensiblement différentes de celles des banques font l'objet de la quatrième partie. Finalement, les besoins des assurés seront présentés selon la catégoriquement à laquelle ils appartiennent.

A. Différence entre contrats d'assurance et dérivés climatiques

La réglementation, la comptabilité, la fiscalité et le fonctionnement des contrats d'assurance diffèrent sensiblement des produits dérivés. Un contrat d'assurance permet de transférer un risque encouru par une personne physique ou morale vers un organisme d'assurance. Le paiement de la prime d'assurance est effectué en amont de la période assurée et le montant de l'éventuelle indemnité est en général estimé par un ou plusieurs experts puis discuté par les deux parties lors de la survenance d'un « accident ». Seules les compagnies d'assurances agréées peuvent vendre des contrats d'assurance.

Un produit dérivé est un instrument financier qui permet soit de se couvrir contre un risque donné soit au contraire de spéculer. De plus, selon le type de contrat l'acheteur d'un produit dérivé n'est pas systématiquement obligé de payer une prime lors de la transaction et peut même devoir verser un paiement au vendeur du contrat à son échéance. Le paiement final, communément appelé le *pay off*, survenant à l'échéance du contrat ne résulte pas d'une expertise des dommages subis mais d'un simple calcul paramétrique dont la formule a été fixée lors de la signature de la transaction².

Chacun de ces contrats présente certains avantages et inconvénients dans la manière dont est calculé le paiement final. Puisque l'indemnité versée à l'acheteur d'un contrat d'assurance est le résultat d'une expertise, la prise en compte des pertes et dommages réels subis est garantie. Toutefois, force est de reconnaître qu'assureurs et assurés sont souvent en désaccord sur le montant de l'indemnité. Au contraire, le *pay off* d'un produit dérivé, calculé selon une formule préétablie, n'est pas expertisé et n'est pas discuté par les parties concernées. Malheureusement, il est possible que celui-ci soit assez éloigné de la valeur des pertes et dommages réellement subis.

En plus de cette différence dans le calcul de l'éventuel paiement à l'assuré, la réglementation des contrats est sensiblement différente. Si les contrats d'assurance sont accessibles à chacun, de nombreuses restrictions existent pour la vente ou l'achat des produits dérivés. Par exemple certaines compagnies allemandes n'ont tout simplement pas le droit d'acheter ou de vendre de produits dérivés. Par ailleurs, il n'existe pas d'équivalent de la taxe sur les primes d'assurance pour les produits dérivés, du moins en France. Toutefois le *pay off* d'un produit dérivé, assimilé à un gain financier, est taxé alors que l'indemnité d'un contrat d'assurance versée à des fins de dédommagement ne l'est pas. En 1996, la réglementation française a fait l'objet d'un traitement dérogatoire au droit de la faillite. Sous certaines conditions, il est possible d'opposer à un administrateur judiciaire la résiliation des contrats passés avec la contrepartie défaillante.

L'achat de l'un ou l'autre des contrats dépend en général des contraintes légales et comptables mais aussi de l'attitude vis-à-vis du risque de l'organisme vendeur du contrat. Bien que généralement les contrats d'assurance portent sur des durées plus longues que les produits financiers, cette règle n'est pas vérifiée dans le cas des produits climatiques. La disponibilité en fonds propres et les contraintes de gestion du risque de l'organisme vendeur déterminent en grande partie la longueur des positions prises par le vendeur et/ou l'acheteur du contrat. Le rôle et le positionnement des différents acteurs sont expliqués plus en détail dans la partie suivante de cet article.

² Le lecteur intéressé dans les produits dérivés en trouvera une présentation exhaustive dans « Les dérivés financiers et d'assurance », J.C Augros et M. Moreno, *Economica*, 2002.

B. Rôle des compagnies énergétiques

Les résultats d'exploitation des compagnies énergétiques sont par nature très sensibles aux aléas climatiques. En hiver la consommation en gaz et dans une moindre mesure de mazout et d'électricité dépend fortement des besoins en chauffage. En été, la consommation en électricité des systèmes de refroidissement et de climatisation est directement liée à la température extérieure. Aussi, les hivers plus doux ou les étés moins chauds que la normale ont des effets immédiats sur la consommation en énergie et par répercussions sur le bénéfice des sociétés énergétiques.

La dérégulation du secteur énergétique s'est traduite dans de nombreux pays par la transformation d'une situation monopolistique en un oligopole constitué d'entreprises énergétiques locales. Ces compagnies, de ressources financières plus limitées sont de plus soumises à des risques climatiques importants. En raison de leur petite taille elles ne profitent plus du mécanisme naturel de diversification géographique des risques climatiques qu'ont les entreprises de plus grande taille.

Le premier dérivé climatique a été initié en 1997 aux Etats-Unis d'Amérique entre Enron et Koch tandis que la première transaction européenne s'est effectuée entre Enron et Scottish Hydro Electric en 1998. Depuis, plusieurs milliers de contrats ont été échangés sur les marchés principalement entre les compagnies énergétiques. Les principaux types de contrats qu'elles échangent entre elles sont des *swaps degree days*. Il existe deux types de *degree day* :

- les *heating degree days (HDD)* qui sont utilisés comme mesure du froid en hiver ;
- les *cooling degree days (CDD)* qui sont utilisés comme mesure de la chaleur en été.

En Europe, les *HDD* sont calculés à partir de la formule suivante³ :

$$HDD = (18 - T_{AVE})^+$$

Où $T_{AVE} = \frac{T_{MIN} + T_{MAX}}{2}$ et T_{MIN} et T_{MAX} sont respectivement les températures

journalières minimale et maximale⁴. Un nombre de *HDD* élevé caractérise donc une journée froide, tandis qu'une valeur nulle témoigne d'une journée plus tempérée ou chaude.

La valeur d'un *CDD* est donnée par la formule suivante :

$$CDD = (T_{AVE} - 18)^+$$

La quasi-totalité des indices climatiques sont des valeurs journalières cumulées sur une période donnée. La table suivante montre comment est calculé la valeur cumulée de l'indice *HDD* janvier 2000 à Heathrow.

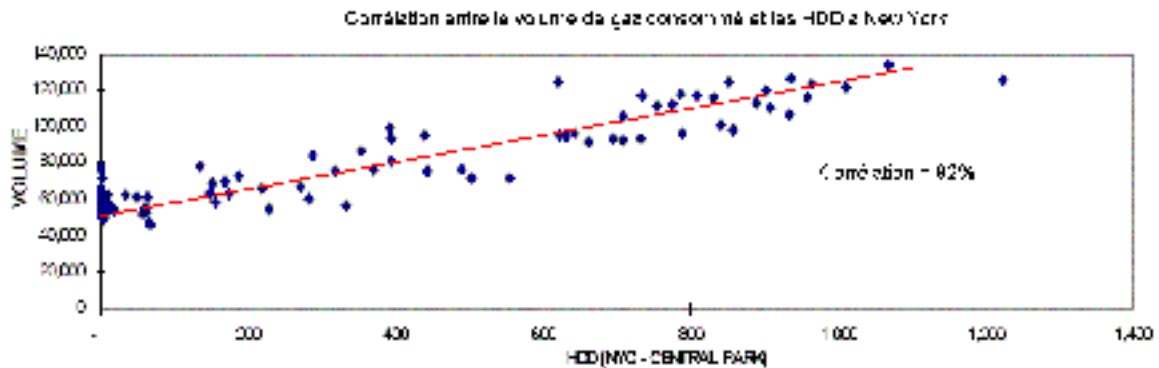
Dates	T_{AVE}	<i>HDD</i> journaliers	<i>HDD</i> cumulés
01/01/2000	7	11	11
02/01/2000	7.9	10.1	21.1
03/01/2000	9.35	8.65	29.75

³ Aux Etats-Unis, la température est exprimée en degré Fahrenheit et non en degré Celsius. La valeur de référence de l'indice est alors 65 F soit approximativement 18,33°C.

⁴ Les variables météorologiques journalières ne sont pas relevées entre minuit et minuit mais le plus souvent entre 6h à 6h ou de 9h à 9h du matin le lendemain. Ceci pose un sérieux problème pour la couverture des risques portant sur la température minimale journalière puisqu'il n'est pas possible de savoir si la température minimale d'un jour donné a été mesurée dans la même journée ou bien le lendemain matin avant 6h. De même, il n'est pas possible de savoir précisément quand il a plu.

04/01/2000	6.95	11.05	40.8
05/01/2000	6.45	11.55	52.35
06/01/2000	8.9	9.1	61.45
07/01/2000	7.2	10.8	72.25
08/01/2000	7.45	10.55	82.8
09/01/2000	3.25	14.75	97.55
10/01/2000	2.25	15.75	113.3
11/01/2000	5.4	12.6	125.9
12/01/2000	8	10	135.9
13/01/2000	3.85	14.15	150.05
14/01/2000	2.9	15.1	165.15
15/01/2000	4.65	13.35	178.5
16/01/2000	4.7	13.3	191.8
17/01/2000	4.45	13.55	205.35
18/01/2000	4.8	13.2	218.55
19/01/2000	5.45	12.55	231.1
20/01/2000	1.55	16.45	247.55
21/01/2000	4.95	13.05	260.6
22/01/2000	5.2	12.8	273.4
23/01/2000	4.05	13.95	287.35
24/01/2000	3.1	14.9	302.25
25/01/2000	0.5	17.5	319.75
26/01/2000	3.15	14.85	334.6
27/01/2000	0.85	17.15	351.75
28/01/2000	4.5	13.5	365.25
29/01/2000	8.45	9.55	374.8
30/01/2000	11.65	6.35	381.15
31/01/2000	11.5	6.5	387.65

Les *HDD* et les *CDD* sont utilisés pour couvrir le risque volumétrique de consommation d'énergie⁵. Les études montrent que la corrélation entre la consommation de gaz et les *HDD* durant la période hivernale est en général significative comme le montre le graphique suivant dans le cas de New York.



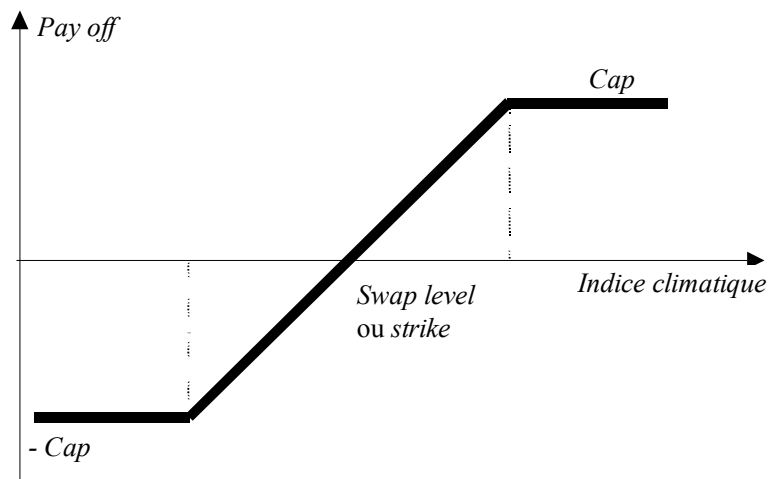
⁵ En Allemagne, les compagnies d'énergie semblent préférer le concept de *GTZ* à celui d'*HDD*. La formule

de calcul d'un *GTZ* est la suivante :

$$GTZ = \begin{cases} 20 - T_{AVE} & \text{si } T_{AVE} < 15^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{si } T_{AVE} \geq 15^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Tandis que les CDD et la consommation d'électricité sont nettement corrélés en été notamment aux Etats Unis où la climatisation des bâtiments est généralisée.

Le type de contrat échangé entre les compagnies énergétiques sont principalement des contrats *swaps* cappés. Un *swap* cappé est un produit dérivé structuré de sorte à ce que la valeur initiale du contrat soit nulle et dans lequel l'une des deux contreparties devra presque sûrement verser une soule finale, d'un montant maximal limité, à l'autre partie. Le graphique suivant illustre la structure du *pay off* des *swaps* cappés standards.



La formule permettant de calculer le *pay off* du swap est :

$$Payoff_{SWAP} = Tick \times MAX(-Cap; MIN(Cap; I_{final} - Strike))$$

Où Cap est la valeur maximale du *pay off*, I_{final} la valeur finale de l'indice climatique, $Strike$ la valeur d'exercice du contrat et $Tick$ la valeur monétaire pour chaque *HDD*. A Londres, les contrats *HDD* ont le plus souvent des *Ticks* valant entre 1 000 à 10 000€.

Des *swaps* non cappés ont commencé à être traités sur les marchés. Le *pay off* de ces *swaps* est équivalent à celui d'un contrat *future*. Lorsque la liquidité de ce marché sera suffisante, il sera possible de réaliser avec ces contrats la couverture en delta neutre des options climatiques. Les *swaps* (cappés) sont actuellement les instruments les plus liquides. Ce sont les compagnies énergétiques qui contribuent à la plus grosse part de ce marché en raison de leur exposition naturelle au climat. La plupart des transactions sur les *swaps* ont donc lieu entre entreprises dont les sensibilités respectives au climat sont similaires. Dans leur cas, traiter un *swap* ne sert donc pas à échanger des risques climatiques opposés mais plutôt à couvrir une position volumétrique du *desk* énergie de la compagnie et à gérer leur risque de crédit. Il ne s'agit donc pas d'un jeu à gain nul dans le temps, mais d'une stratégie dont l'utilité est déterminante pour les compagnies énergétiques dans le contexte actuel. Enfin, il convient d'observer que la probabilité d'atteindre l'un des caps d'un *swap* est relativement faible. On peut admettre qu'il est doré et déjà possible de réaliser grâce au marché des *swaps* la couverture en delta neutre d'une option climatique - pour les villes où la liquidité est suffisante - et ce malgré quelques difficultés de gestion dues à la convexité de ces contrats qui fait que leur θ et γ ne sont pas nuls⁶.

Les compagnies énergétiques ne traitent pas uniquement que des *swaps* sur *HDD* ou *CDD*. Par exemple, les pays scandinaves où l'énergie renouvelable est fortement

⁶ Cf Moreno M., « Weather derivatives hedging and swap illiquidity », WRMA, June 2003.

développée sont sensibles à la pluviométrie et à l'anémométrie. En conséquence, d'autres variables climatiques telles que la pluie et la force du courant des rivières pour les compagnies hydroélectrique ou le vent pour les compagnies ayant des champs d'éoliennes (*wind farm*) font régulièrement l'objet de contrat. Ces contrats ne sont pas standardisés et sont traités uniquement sur le marché de gré à gré.

C. Rôle des banques

Les banques se sont immédiatement intéressées au marché des dérivés climatiques bien qu'elles ne soient pas directement exposées aux différentes conditions météorologiques. Toutefois, le marché climatique est totalement indépendant des marchés financiers et y prendre position permet aux organismes financiers d'accroître sensiblement la diversification de leur portefeuille et de gérer les risques de leurs *desks* énergétiques qui ont principalement des positions sur le pétrole, le charbon et le gaz. La stratégie des banques ne se limite pas à ces deux aspects. Les équipes d'origination et de structuration proposent des montages bancaires innovants aux entreprises en plus des simples couvertures climatiques.

Deux approches sont prises par ces équipes. Elles proposent d'une part des contrats de protection climatique pour les entreprises existantes et désireuses de réduire la part de la volatilité de leurs revenus due aux phénomènes météorologiques. D'autre part, elles structurent des projets de financement, servant à la création ou à l'extension d'une entreprise, intégrant une couverture climatique afin de réduire le risque de défaillance de l'emprunteur et ainsi de pérenniser l'emprunt. Dans ce dernier cas, la réduction du risque de défaut du client permet à la banque de réduire le taux d'intérêt de l'emprunt ce qui paie tout ou partie du contrat climatique au profit du client. Le montage financier se fait classiquement à l'aide d'un *SPV* (*Special Purpose Vehicle*).

A la pointe de l'innovation concernant les contrats climatiques, ce sont encore Koch Industries et Enron Corp. qui ont émis la première obligation climatique (*weather bond*) à la fin de l'année 1999. Ce même type de montage financier a évidemment été repris depuis par les banques, mieux à même de gérer ce type d'émissions. Les coupons d'une obligation climatique sont déterminés par la valeur de variables climatiques d'une région donnée, tel un *HDD* calculé à partir de la température relevée à Paris-Orly, dans le but de réduire le risque de défaut de l'emprunteur.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour évaluer ces obligations d'un nouveau genre. L'évaluation est rendue plus facile en démembrant l'obligation climatique en une obligation zéro-coupon traditionnelle et un dérivé climatique. Plus simple à mettre en œuvre, cette méthode ne relie pas le risque de défaut de l'émetteur avec les conditions climatiques. En fait, cette hypothèse de non-corrélation du risque de défaut avec le climat n'est vraie que si la couverture climatique est parfaite ce qui n'est en général pas le cas ou si l'obligation est de faible maturité (inférieure à 2 ans). Il est donc préférable d'évaluer le contrat obligataire en un seul tenant ce qui nécessite de mettre en œuvre des modèles très sophistiqués de simulation des variables climatiques qui déterminent la valeur des futurs coupons.

D. Rôle des groupes d'assurance et de réassurance

Le métier de l'assurance est classiquement séparé en deux branches. On distingue d'une part la branche dommage (ex-IARD Incendie, Accident, Risque Divers)

fonctionnant sur un principe indemnitaire et d'autre part la branche vie (assurances décès, maladie, invalidité, incapacité, etc.) fonctionnant sur un principe forfaitaire. Ces deux secteurs d'activité ont pendant très longtemps constitué le cœur de la profession de l'assureur. Le principe de leur activité est simple. Il consiste à transférer un risque encouru par une personne physique ou morale vers un organisme d'assurance. Le paiement de la prime d'assurance est effectué en amont de la période assurée et le montant de l'éventuelle indemnité ou compensation est en général estimé puis discuté par les deux parties lors de la survenance d'un « accident ». Seules les compagnies d'assurances agréées peuvent vendre des contrats d'assurance.

Afin de réduire les risques auxquels ils sont exposés, les assureurs ont traditionnellement cherché à transférer une grande partie des risques contenus au sein de leurs portefeuilles à leurs partenaires réassureurs. La taille croissante des compagnies d'assurance et l'internationalisation de leurs activités a toutefois considérablement modifié les relations entre assureur et réassureur. Les limites financières de ces grands groupes conjuguées à la volonté incessante d'abaisser les primes d'assurance en réduisant le plus possible les coûts d'intermédiation ont conduit les assureurs à titriser leurs risques en produits négociables sur les marchés financiers.

Récemment, le métier de l'assureur s'est étoffé d'une troisième branche au travers des produits dérivés de l'assurance avec notamment les assurances ou dérivés climatiques. Si les assureurs ont de tout temps proposé à leur client des contrats permettant de couvrir certains risques climatiques tels que le gel, la grêle ou les tempêtes, l'éventuel paiement final était toujours basé sur un principe indemnitaire résultant d'une expertise des dommages subis. Or cette méthode ne peut en aucun cas être utilisée dans le cas de l'assurance climatique en raison des risques de hasard moral. Il est indispensable que le paiement final ne puisse être contesté. Un relevé climatique, publié par un organisme national indépendant de météorologie, offre une telle garantie.

Les compagnies d'assurance spécialisées dans la gestion des risques d'entreprises, telle Axa Corporate Solution, s'appuient sur leur important réseau de clientèles pour offrir des assurances climatiques au sein de packages intégrant plusieurs types de risque (bâtiment, automobile, santé, climat...). Bénéficiant d'une excellente réputation auprès de leurs assurés et connaissant les risques exacts de chaque entreprise, elles sont en mesure de proposer des solutions adaptées à chacune. Habitues à vendre des risques extrêmes, les compagnies d'assurance ont un avantage conséquent sur les banques : celui de la culture de risques longs et non couvrables.

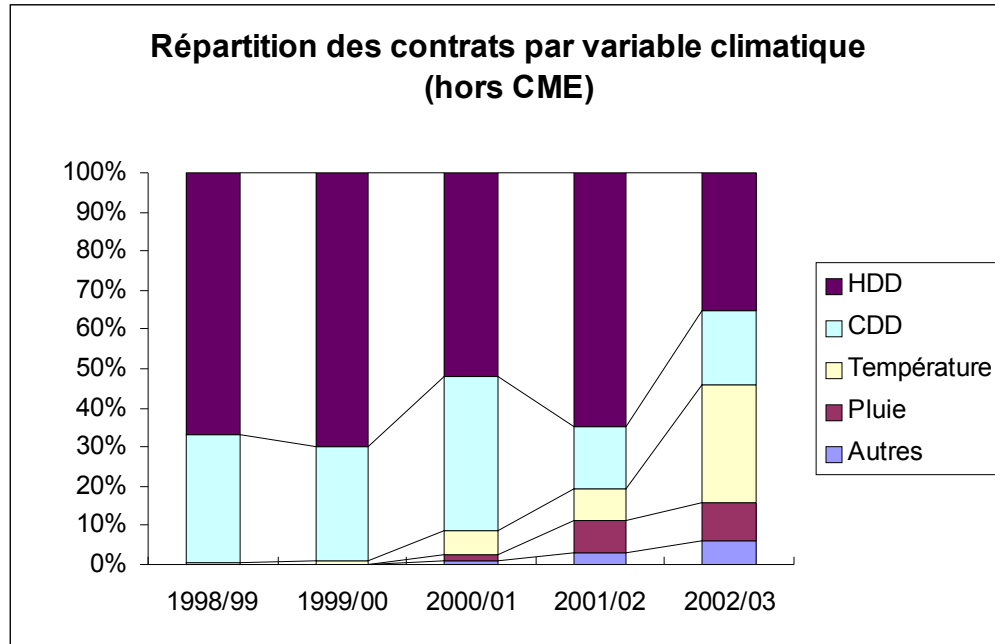
Les réassureurs qui ont du redéfinir leur métier suite à la croissance et à l'internationalisation des compagnies d'assurance voient dans le marché des dérivés climatiques un nouveau secteur porteur dans lequel leurs ressources financières et leur culture des risques catastrophiques peuvent s'avérer déterminante. Disposant des fonds propres suffisants, les réassureurs sont les groupes les plus à même de gérer les risques climatiques des grands industriels.

E. Assurés (non énergétique)

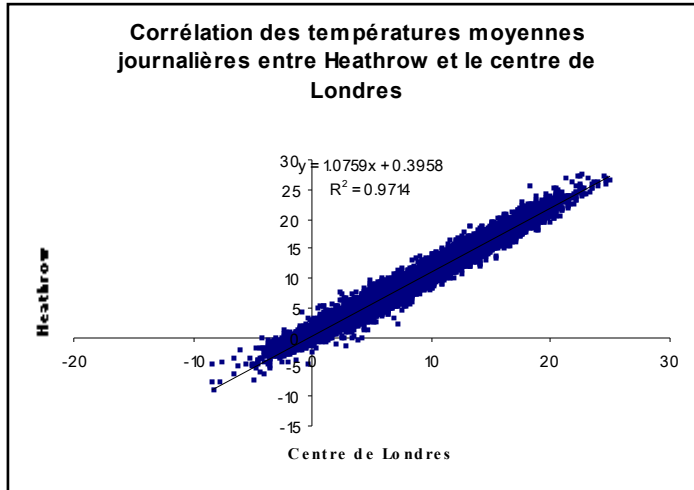
Les risques climatiques auxquels sont exposées les entreprises dépendent de plusieurs facteurs dont notamment :

- leur(s) secteur(s) d'activité ;
- leur(s) localisation(s) géographique(s) ;
- leurs heures de fonctionnement.

Les principales variables climatiques contre lesquelles les entreprises s'assurent sont la température (85% des contrats), la pluie (9%) et le vent (4%). L'étude menée par PriceWaterHouseCoopers auprès des membres de la WRMA montre l'évolution de la répartition des contrats en fonction des variables climatiques sous-jacentes.

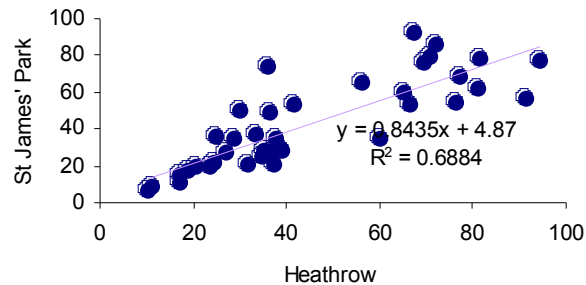


En Pourcentage, le nombre des contrats sur *HDD* et *CDD* est en nette régression. Alors qu'ils représentaient la quasi-totalité des contrats traités durant les deux premières années, leur part (hors CME) fut réduite à un peu plus de la moitié des contrats vendus sur le marché de gré à gré durant la période 2002/03. La température reste cependant la variable climatique la plus utilisée. Ceci s'explique par le fait que la température est une variable très homogène sur une région donnée tandis que la pluie et le vent sont des variables très locales et inclus un risque de site pour l'assuré. Par exemple, si l'on prend le cas de la ville de Londres et de l'aéroport d'Heathrow distant d'une trentaine de kilomètres environ et séparés par aucun relief montagneux ou autre barrière géographique, la connaissance de la température mesurée à Heathrow permet de calculer une très bonne estimation de la température au centre de Londres par un simple ajustement de la valeur de la différence des moyennes annuelles des températures aux deux endroits. Le graphique suivant illustre la corrélation très significative des températures journalières entre Heathrow et le centre de Londres.



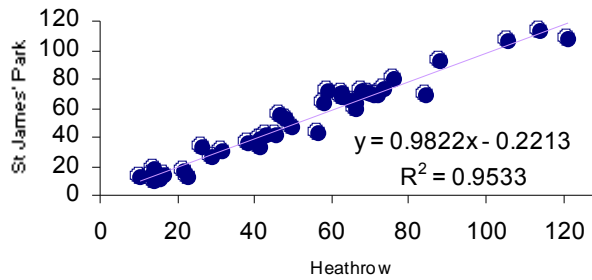
En revanche, la pluie est un phénomène très localisé. Il peut pleuvoir à Heathrow et ne pas pleuvoir du tout au centre de Londres. Même sur des périodes longues d'un mois, la hauteur de pluie cumulée entre ces deux sites peut être très différente (jusqu'à 100 % d'écart) comme l'illustre le graphique suivant représentant la corrélation de la hauteur de pluie cumulée mesurée aux deux sites durant le mois de juillet :

Corrélation des précipitations cumulées du mois de juillet entre Heathrow et le centre de Londres



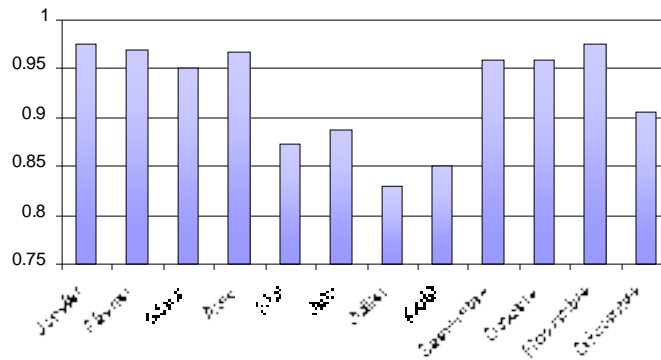
Durant le mois de janvier, la corrélation est au contraire très significative :

Corrélation des précipitations cumulées du mois de janvier entre Heathrow et le centre de Londres



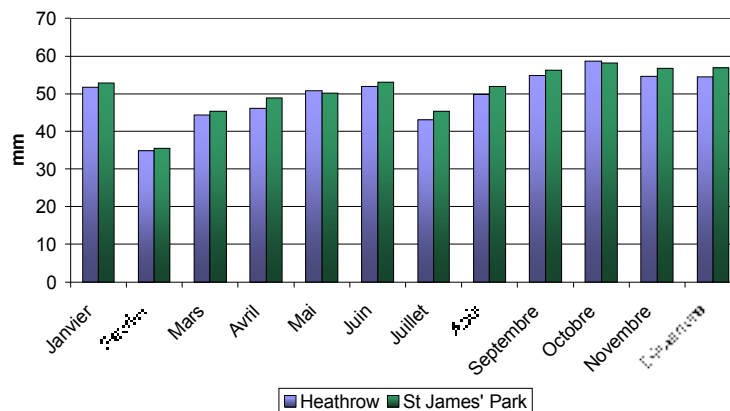
Les niveaux de corrélation dépendent du caractère de la pluie et par conséquent de la saison. Les averses estivales sont plus locales et violentes que les longues pluies fines hivernales ce qui se traduit par des niveaux de corrélation différents comme le montre le graphique suivant :

Corrélation des précipitations cumulées entre Heathrow et le centre de Londres



Et ce malgré des moyennes mensuelles les hauteurs de pluie cumulées des deux sites très proches :

Moyennes mensuelles des hauteurs de pluie cumulées à Heathrow et au centre de Londres



1. Construction

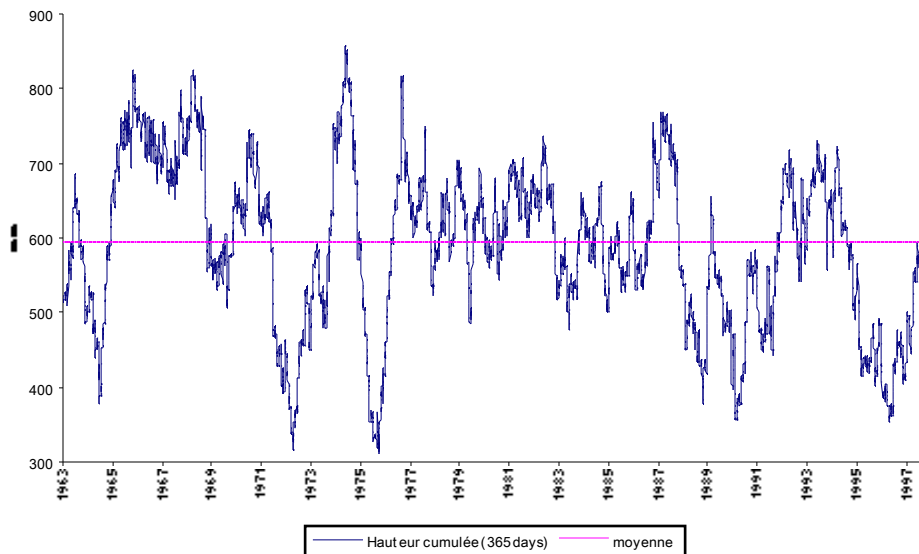
Bien que l'activité des professionnels du bâtiment dépende avant tout de la croissance économique, du coût de la main d'œuvre ou encore du prix du pétrole, les risques climatiques ne sont pas négligeables. Les conditions météorologiques défavorables sont souvent la cause de délais de livraison d'un chantier. Or ces délais se traduisent systématiquement en d'une part un délai sur un autre chantier et de lourdes pénalités de retard de livraison. L'origine des délais est plurielle. Par exemple, la pluie peut empêcher le coulage des fondations d'un bâtiment, de peindre des façades extérieures ou causer des problèmes d'écoulement d'eau et l'obligation de créer des drains. Le gel empêchera le béton de prendre ou pourra faire éclater des conduites d'eau non encore isolées. Une chaleur très élevée diminuera la productivité des ouvriers et éventuellement empêchera tout goudronnage. Enfin un vent violent empêchera tout simplement l'utilisation des grues et le travail des ouvriers en hauteur. C'est ainsi que durant l'hiver 2001, un grand chantier londonien a tout simplement été stoppé trois semaines consécutives en raison de vents puissants car les grues indispensables à la construction des bâtiments ne pouvaient fonctionner. Les grues qui étaient par ailleurs déjà louées pour d'autres chantiers ne purent être acheminées à temps et ce sont ainsi plusieurs chantiers londoniens qui ont été retardés de près d'un mois avec toutes les conséquences financières que cela implique.

2. Compagnie d'eaux

Les risques climatiques des compagnies d'eaux sont très différents de ceux auxquels les entreprises du bâtiment sont exposées. Par exemple, il est fréquent que des canalisations se rompent en hiver lors de période de grand froid ou d'une période de gel suivie d'une rapide remontée des températures ce qui engendre des glissements de terrain. Lorsqu'une canalisation se casse, les coûts engendrés ne se limitent pas seulement à la recherche du lieu de la fuite et à sa réparation. L'image de marque de l'entreprise auprès des organismes de régulation et de contrôle, avec possiblement des amendes pour mauvaise gestion de l'acheminement de l'eau aux foyers, et de ses clients peut être sérieusement affectée. En été, les risques principaux sont la sécheresse, avec de lourdes amendes possibles pour cette fois une mauvaise gestion des réserves, et les fortes averses dégradant les installations physiques de la compagnie. Il existe d'autres risques importants comme celui d'une température estivale moyenne très faible qui sera la cause d'une diminution sensible du volume d'eau consommé et donc du chiffre d'affaires. Il faut noter que ces risques sont principalement liés à la localisation géographique de la compagnie (continent, île, montagne, plaine, ...) et de la législation en vigueur en raison des possibles lourdes amendes voire la perte du marché en cas de mauvaise gestion des ressources en eau.

Seuls les risques de gel, de sécheresse ou de faible température estivale peuvent être gérés à l'aide des dérivés climatiques. Les autres types de risques le sont au travers de l'assurance traditionnelle basée sur un principe indemnitaire. Les données suivantes montrent l'évolution de la valeur cumulée des précipitations sur 365 jours à Heathrow.

Evolution de la valeur cumulée sur 365 jours des précipitations à Heathrow



Il existe un lien étroit durant la période estivale entre la température, la pluie et la consommation en eau des foyers et des entreprises. S'il pleut régulièrement et/ou que la température est très en dessous des normales saisonnières, les besoins d'arrosage des jardins privés ou publics et des champs agricoles, par exemple, seront nettement diminués.

3. Grande distribution

La grande distribution, au sens des super et hypermarchés, n'est pas vraiment affectée par les risques climatiques tel qu'un hiver ou un été plus tempéré ou plus rigoureux que la moyenne. Ce qui est en revanche critique est la gestion des stocks et des produits mis en évidence dans les magasins en fonction des prévisions météorologiques. En raison des délais entre le passage de la commande, la livraison et l'agencement du magasin il est important de prévoir une dizaine de jours à l'avance le temps.

Pour les autres magasins plus spécialisés, de vêtements, de bricolage ou de sports par exemple, la prévision du temps est encore plus critique. Il ne s'agit pas de sortir la collection automne-hiver ou printemps-été trop tôt, de faire une opération barbecue ou table de jardins une semaine en retard par rapport aux concurrents ou de quintupler la superficie du stand de planches à voile alors que les beaux jours tardent à venir.

4. Tourisme

Si la gestion des stocks et de l'agencement des magasins est difficile, la gestion des ressources humaines du secteur touristique l'est tout autant. A part dans certains secteurs isolés comme la montagne en hiver, il est rare que les saisons soient mauvaises dues au climat. Ce sont les avant et les après saisons qui font la différence pour les professionnels du tourisme et comme le personnel saisonnier est recruté en avance, non

seulement les recettes peuvent être faibles mais en plus les charges de fonctionnement peuvent être très élevées.

Si régulièrement, les stations de sports d'hiver françaises souffrent d'un manque d'enneigement et que l'achat d'un contrat climatique permettrait de réduire la volatilité des revenus des professionnels y travaillant, cette solution ne semble pas être adoptée. Il existe deux raisons à cela. Tout d'abord, la hauteur de l'enneigement est mesurée par un employé de la station dans la plupart des cas. Le risque de hasard moral étant dans ce contexte trop élevé, aucune entreprise n'assurera ce type de risque. Enfin, les professionnels préféreront investir dans des canons à neige. Il s'agit là d'une option alternative que n'ont pas tous les secteurs touristiques. Les stations de bord de mer ne peuvent installer des lampes à bronzer ! Une protection contre un faible nombre d'heures d'ensoleillement peut être envisagée à partir de l'indice suivant :

Indice : *Critical Event Day* Heure d'ensoleillement < 3 / jour
Période de la couverture : 01 avril – 31 juin

5. Agriculture

L'agriculture est probablement l'une des activités les plus liées au climat qui n'est pas directement couvrable à l'aide des dérivés climatiques car les conditions météorologiques permettant l'obtention de bons rendements sont trop difficiles à définir. Le marché a donc une approche différente et propose des garanties basées par exemple sur le rendement moyen national des champs de blé publié par un organisme indépendant. Cela simplifie considérablement l'analyse des risques. D'autres indices peuvent être utilisés comme la production de soja, le rendement des vignes, etc.

6. Autres exemples de secteurs d'activité ayant déjà eu recours aux assurances climatiques

La liste des entreprises dont les revenus sont dépendants du climat est sans fin. Un hiver plus clément que la moyenne conduira à une baisse sensible des ventes des médicaments, un ciel couvert peut empêcher le lancement de satellites, le gel paralyse les avions au sol, le tournage de films peut être interrompu par la pluie, etc. Des solutions permettant la couverture de ces risques sont aujourd'hui disponibles et de plus en plus de compagnie y ont recours, soit pour se couvrir soit pour des opérations de marketing. Pour ne citer que deux exemples innovants, une entreprise canadienne spécialisée dans la vente de motos de neige à proposer à ses clients de prendre une garantie contre le manque d'enneigement s'ils achetaient un de leur véhicule. Cette opération marketing, couverte par une assurance climatique, connut un franc succès. Autre exemple que celui donné par une entreprise de duvets japonaise qui s'est assurée contre des hivers trop doux.

IV. Evaluation des produits climatiques

A. Problème des données

Les techniques d'évaluation des produits dérivés usuels : option d'achat ou de vente sur indices, action ou devises, bons de souscriptions d'actions, obligations convertibles, option de protection à la hausse des taux, etc. repose quasiment toutes sur la

valeur instantanée du sous-jacent (indice, actions, devises, taux) qui est diffusée par des entreprises telles que Bloomberg, Reuters, Globex ou Fininfo. Dans le cas des contrats climatiques, les techniques d'évaluation sont très différentes et reposent sur une analyse statistique des données historiques fournies par les bureaux météorologiques.

Dans ce contexte, plusieurs difficultés apparaissent : la disponibilité des données, leur coût, les heures de mesure, les données manquantes, les risques de manipulation et enfin les problèmes de discontinuité des séries dus par exemple au remplacement des instruments de mesures. Ces difficultés, à l'origine de nombreux obstacles rencontrés au quotidien par les acteurs du marché, sont successivement abordées dans les paragraphes suivants.

1. Les différents types de données

Il existe trois types de données. Les données synoptiques (*SYNOP data*) sont les valeurs mesurées au niveau de l'appareil, automatiquement ou manuellement, et rapportées sans aucune vérification ou ajustement. Ces données sont en général publiées le lendemain ou dans les deux jours suivants leur lecture. Les données climatiques (*CLIMATE data*) sont les données certifiées par les bureaux de météorologie. Leur valeur, le plus souvent identique aux données synoptiques (>99%), reposent sur des techniques mettant en évidence les données erratiques et proposant une valeur corrigée si un défaut est détecté. La différence entre la valeur synoptique et la valeur espérée, au sens mathématique, doit être statistiquement significative pour qu'une correction ait lieu. Il y a ainsi peu de chance qu'une erreur inférieure au dixième de degré produite lors d'une lecture manuelle de l'instrument soit corrigée. Cette petite erreur qui semble au premier abord négligeable peut en réalité avoir de sérieuse conséquence sur la valeur du paiement final d'un contrat climatique. Il existe un troisième type de valeurs, les données reconstruites (*RECONSTRUCTED data*). Il s'agit des mesures historiques telles qu'elles auraient dû être si aucun changement d'instrumentation ou de location n'eut survécu dans le temps. Ces données sont le plus souvent publiées par des entreprises privées et reposent sur des techniques de correction propriétaires utilisant les données synoptiques, climatiques et les meta-données⁷.

Le paiement final d'un contrat survient en général cinq jours après l'échéance. Dans la plupart des cas, cela signifie que sa valeur est calculée en fonction de données climatiques et synoptiques. Un second règlement survient soixante jours après dans l'éventualité où une correction a été faite par le fournisseur de données. Ce risque, difficilement quantifiable, n'arrive qu'exceptionnellement.

2. Disponibilité des données

Les stations météorologiques nationales ont été construites aux différents endroits du globe en fonction des besoins de prévisions météorologiques des pays et non sur des sites d'entreprises soumises aux aléas climatiques. Si une entreprise est exposée à un risque très localisé, un contrat dépendant des valeurs mesurées à une station distante de quelques kilomètres incorporera un risque de site (*proxy risk*). L'importance de ce risque est fortement liée à l'homogénéité dans l'espace de la variable sous-jacente du contrat. La hauteur de pluie et la vitesse du vent sont par exemple des variables très sensibles au

⁷ Les meta-données sont les informations concernant l'instrumentation de la station telle que le changement d'instrumentation, le déplacement d'un instrument, la construction de nouveaux bâtiments pouvant affecter la mesure de la température ou du vent, etc.

risque de site car elles sont très hétérogènes dans l'espace. Pour répondre à la demande d'un client, une compagnie d'assurance peut éventuellement proposer d'installer sur le site à risque une mini station météorologique. Ceci pose toutefois de sérieuses difficultés. Il est tout d'abord difficile de se prémunir contre une manipulation des données par l'entreprise assurée. De plus, aucun historique n'est disponible pour évaluer le contrat dont le sous-jacent est justement supposé prendre des valeurs très éloignées de celles mesurées aux stations météorologiques les plus proches. Certaines compagnies telle qu'AccuWeather ou *Applied Insurance Research* (AIR) aux Etats-Unis proposent de créer une station artificielle en installant pendant une courte durée une mini station et dérivant une formule paramétrique à partir des mesures recueillies et d'une analyse de données avec les stations les plus proches. Cette solution qui résout le problème de hasard moral permet de réduire sensiblement le risque de site pour le client sans toutefois le supprimer. L'installation de la station, l'analyse des données et la difficulté d'évaluer et de gérer un contrat multi sites résulteront toutefois en une augmentation du prix de vente.

Dans certaines régions, peu de données historiques sont disponibles et leur qualité peut s'avérer insuffisante pour évaluer, gérer ou plus simplement vendre un contrat. Dans ce cas, il n'y a pas d'autre solution que d'utiliser des données reconstruites par des entreprises privées ou par les bureaux météorologiques nationaux s'ils proposent de tels services.

3. Coût des données

Les données météorologiques sont gratuites aux Etats-Unis et payantes en Europe. L'achat des mesures pour une station européenne auprès de WeatherXChange⁸ coûte 400 GBP⁹. Ce coût, justifié par un excellent service, pose toutefois certains problèmes pour les *desks* d'origination qui ne peuvent acheter autant de données qu'ils ne souhaitent afin de structurer avec leurs clients des couvertures climatiques sur mesure. Ce coût, jugé prohibitif par les membres de la *WRMA*, créerait selon eux un problème de non-disponibilité des données et limiterait significativement le développement du marché.

4. Heures de mesure

Le coût et les difficultés de stockage des données horaires font que les mesures journalières sont le type de valeurs le plus utilisé. Les données journalières ne sont pas en général lues de minuit à minuit mais de 6h à 6h ou de 9h à 9h le lendemain. Il est important de connaître précisément les heures de mesure car si les données de température sont par exemple lues de 9h à 9h alors la valeur de la température minimale rapportée pour un jour donné est en réalité presque sûrement la température minimale du lendemain. Dans le cas de contrat portant sur le gel, cette différence est non négligeable. Enfin, il n'est pas possible de savoir précisément s'il a plu ou non à une date précise.

⁸ WeatherXChange (www.weatherxchange.com) est une entreprise créée en partenariat avec le bureau de météorologie anglais. L'une de ses principales activités est la vente de données météorologiques européennes dans un format standard.

⁹ Pour des données horaires qui sont utilisées pour de nombreux contrats, il faut multiplier le prix des données journalières par 24. Le coût d'achat des données est alors un véritable obstacle et très peu de contrat sont basés sur des données horaires.

5. Données manquantes

De nombreux *traders* résument le marché climatique comme un marché de données. L'évaluation, la gestion et le paiement final dépendent des mesures météorologiques. Or, dans de nombreux cas, il existe des données historiques manquantes. Il peut manquer quelques jours ou même plusieurs années consécutivement. Dans ce cas, l'évaluation du contrat est rendue sensiblement plus délicate et certaines techniques de remplissage des données doivent être mise en œuvre. Les techniques de régression prenant en considération les valeurs disponibles des stations proches sont souvent utilisées. Pour les variables diffuses telles que la température, les résultats des estimations par régression sont très bons. Pour d'autres variables, telles que la hauteur de pluie et la force du vent qui sont sensibles au relief montagneux ou à la présence de cours d'eau par exemple, les estimations sont de moins bonne qualité¹⁰.

Il est bien évidemment possible que des données indispensables au règlement du contrat soient manquantes. Pour les contrats standard *ISDA* sur température, les membres de la *WRMA* se sont accordés sur une méthode spécifique de remplissage des données. Cette méthode utilise une technique de régression basée sur deux sites de secours (*fallback stations*). A l'heure actuelle, aucune méthode standard de remplissage des données pour la pluviométrie et la vitesse du vent n'est acceptée.

6. Risque de manipulation des données et de hasard moral

Plus faible est la liquidité d'un produit financier plus grands sont les risques de manipulation de données. Dans le cas des dérivés climatiques, marché très peu liquide, les contreparties ne peuvent pas faire augmenter ou baisser artificiellement les données climatiques mesurées par les organismes de météorologie indépendants à moins bien sûr d'avoir un accès aux instruments de mesure. Aussi, en raison des sommes engagées, une attention particulière à la sécurité des sites est justifiée. Les stations situées au milieu des aéroports ou dans les bases militaires sont celles privilégiées par les contreparties. Quand bien même, le risque de hasard moral serait inexistant, il n'est pas impossible que les stations météorologiques facilement accessibles ne puissent faire l'objet de vandalisme comme cela s'est produit il y a quelques années à la station de *St James' Park* située en plein centre de Londres et fermées durant deux mois entiers suite à un acte de vandalisme. Pour l'anecdote, l'officier en charge de la station a aussi retrouvé à plusieurs reprises le pluviomètre rempli... de bière ! Ce problème de possible manipulation de données s'ajoute directement au problème de disponibilité des données et réduit sensiblement le nombre de stations sur lesquelles les vendeurs de risques proposent des contrats.

7. Changement d'instrumentation

Pour des raisons techniques ou de relocalisation, les appareils de mesure peuvent être modifiés ou changés. Avant d'évaluer un contrat climatique, il est important d'avoir des données corrigées prenant en compte les divers effets causés par ces changements. Les contrats *ISDA* incluent une clause permettant de recalculer le paiement final si une telle opération est effectuée durant la période de couverture du contrat.

¹⁰ La variance de l'estimateur est pour ce type de variables significativement plus grande que pour des données homogènes dans l'espace comme la température.

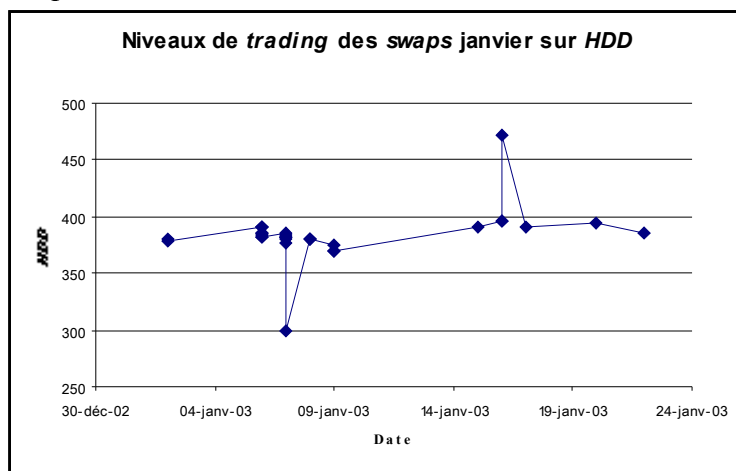
La protection offerte aux contreparties est toutefois très limitée. Au-delà des risques de crédits qui limitent fortement la durée maximale des contrats vendus la forte probabilité qu'un changement d'appareil intervienne au bout de quelques années rend l'évaluation des contrats de longue durée difficile. Un chargement substantiel, spécifique à l'erreur de modélisation, est dans ces cas ajouté au prix de vente du contrat à moins qu'une clause annule le contrat si un tel événement survenait.

Cet ensemble de problèmes de données conditionne fortement l'offre faite par le marché. De nombreux contrats n'ont pu se conclure en raison de ces obstacles. Malgré l'effort considérable produit par les membres de la *WRMA* pour les limiter, les difficultés restent grandes et sont l'une des sources principales de la faible liquidité du marché.

B. Liquidité du marché¹¹

Le marché primaire émet des contrats climatiques taillés sur mesure selon les besoins spécifiques de chaque entreprise. Du point de vue des banques et des assurances, le marché des dérivés est très proche de celui de l'assurance dommages traditionnelle. La pratique du *back to back* par certaines compagnies correspond d'ailleurs à créer une relation de type assureur-réassureur. Toutefois, le récent succès des contrats traités sur le *CME* donne enfin espoir en la naissance d'un marché secondaire assez liquide. Il est envisageable que dans un futur proche, les gestionnaires de risques puissent adopter les techniques de couverture de portefeuille propres aux banques plutôt que de rechercher une diversification géographique et temporelle des risques optimale. La culture des entreprises conduira sûrement à une gestion de type assuranciel par les assureurs et bancaire par les banques.

Si la liquidité du marché secondaire s'accroît, l'offre sur le marché primaire sera sans aucun doute plus riche et plus compétitive. En effet, dès lors qu'il sera possible de couvrir les positions, le besoin en fonds propres diminuera sensiblement, les capacités du marché augmenteront et l'intérêt des produits grandira. Malheureusement, le marché des *swaps* en Europe est à l'heure actuelle encore peu liquide comme le montre le graphique suivant représentant le niveau de *trading* du *swap* janvier sur *HDD* à Heathrow traité par l'intermédiaire de *Spectron Ltd* :



¹¹ Moreno M., « Weather derivatives hedging and swap illiquidity », *WRMA*, June 2003.

Le nombre de contrats échangés en un mois est plus faible que celui échangés en une seconde sur les actions du CAC40. Il s'agit pourtant du contrat climatique le plus liquide en Europe. Les deux valeurs extrêmes sont des valeurs erratiques qui peuvent être dues à différents facteurs comme une manipulation du marché ou l'achat et la vente d'une importante couverture qui aurait perturbé le marché. Cette faible liquidité rend le coût des couvertures onéreuses et le prix de vente des contrats climatiques plus chers que si le marché des *swaps* était liquide.

C. Burn Analysis

Une *Burn Analysis* est une simple analyse comptable des risques. Elle consiste à estimer à partir des données historiques le paiement final moyen E_M et l'écart-type σ_M de la couverture. Le prix P à la vente du contrat est alors simplement :

$$P = \delta (E_M + \lambda \cdot \sigma_M)$$

Où λ est une constante positive permettant de charger le risque en fonction de l'écart-type σ_M des valeurs historiques du paiement final et δ un facteur d'actualisation (*discount factor*).

Une illustration de la méthode est proposée à partir du contrat suivant :

Type : Call

Prix d'exercice : 20

Cap : 20

Tick : 10 000 EUR

Indice : Critical Event Day $T_{MIN} < 0$

Site : Heathrow

Période de la couverture : 01 Nov 2002 – 31 Mar 2003

La première étape consiste à évaluer les valeurs historiques de l'index et en déduire les paiements finaux. Les résultats, calculés à l'aide des données de 1979 à 2002 et ajustés pour prendre en compte l'effet des années bissextiles¹², sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Date	Valeur cumulée de l'index	Valeur du paiement final (EUR)
31 Mar 2002	24	40000
31 Mar 2001	23	30000
31 Mar 2000	19.86842	0
31 Mar 1999	23	30000
31 Mar 1998	15	0
31 Mar 1997	37	170000
31 Mar 1996	47.68421	200000
31 Mar 1995	20	0
31 Mar 1994	29	90000
31 Mar 1993	24	40000
31 Mar 1992	35.76316	157631.6
31 Mar 1991	28	80000

¹² Il existe diverses méthodes de correction pour la prise en compte de l'effet créé par les années bissextiles. Une correction par le nombre de jours au cours de la période a été adoptée ici par soucis de simplicité. Pour retrouver la valeur exacte de l'index lors des années bissextiles il suffit de multiplier les valeurs par le ratio 152/151. Cette méthode qui ne prend pas en compte la saisonnalité de la température n'est en général utilisée que pour des contrats de périodes très courtes (inférieure à 1 mois).

31 Mar 1990	10	0
31 Mar 1989	25	50000
31 Mar 1988	22.84868	28486.84
31 Mar 1987	48	200000
31 Mar 1986	58	200000
31 Mar 1985	53	200000
31 Mar 1984	34.76974	147697.4
31 Mar 1983	38	180000
31 Mar 1982	39	190000
31 Mar 1981	38	180000
31 Mar 1980	31.78947	117894.7

La moyenne E_M des paiements finaux est égale à : 122 843.4 EUR et l'écart-type du *pay off* σ_M vaut : 76 799.23 EUR. En prenant arbitrairement pour valeur de λ , 30%, le prix du contrat est estimé à : 145 883.2 EUR.

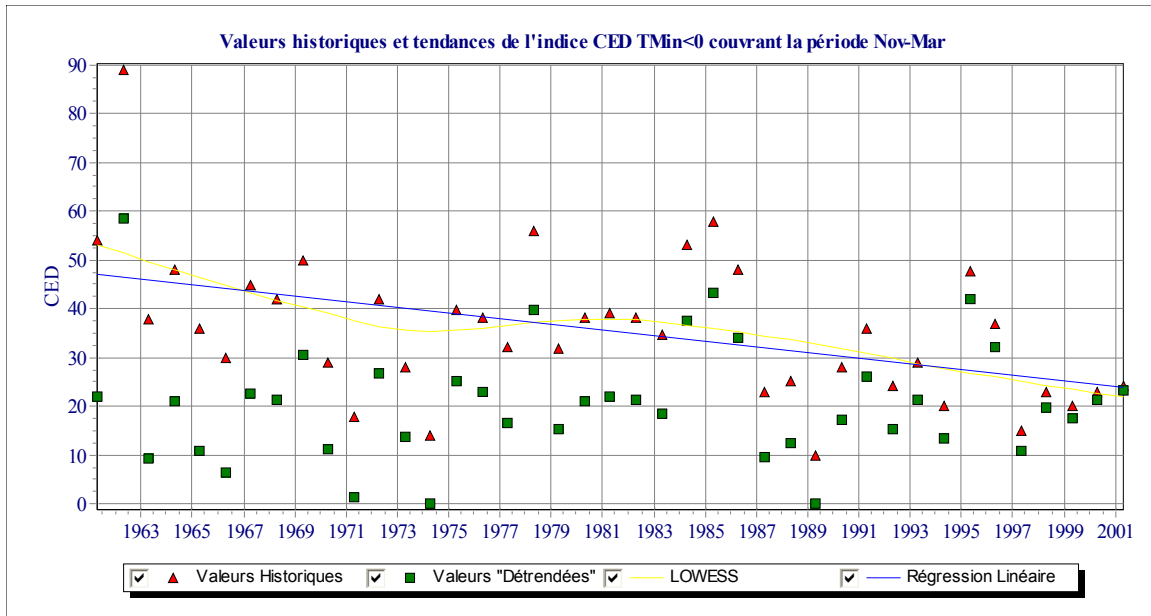
Cette méthode, systématiquement utilisée par les entreprises non initiées aux techniques d'évaluation des contrats climatiques et désireuses de s'assurer, n'est pas satisfaisante pour l'organisme preneur de risque. L'exemple ci-après met en évidence les carences de cette méthode pour l'évaluation de produits climatiques. Soit le contrat suivant :

Type : Call
Prix d'exercice : 0
Cap : 20
Tick : 10 000 EUR
Indice : Critical Event Day $T_{MIN} < -12$
Site : Heathrow
Période de la couverture : 01 Nov 2002 – 31 Mar 2003

La température la plus basse enregistrée à Heathrow depuis l'année 1980 est – 11.80C. En conséquence, les valeurs cumulées historiques de l'index sont toutes égales à zéro. Selon la méthode *Burn Analysis*, le prix du contrat est donc nul. Pourtant, la probabilité que la température minimale soit inférieure à -12C dans le futur est strictement positive et le prix proposé à la vente du contrat par une banque ou une assurance sera sans aucun doute positif. De plus, cette méthode est très sensible aux possibles tendances des données météorologiques et au nombre d'années pris en compte. Le marché a tendance à se focaliser de manière arbitraire sur la valeur moyenne calculée sur les dix dernières années et un écart-type estimé à partir des quinze dernières années.

D. Tendence

La plupart des données météorologiques présentent une certaine tendance, à la hausse ou à la baisse. Il est important de prendre en compte cette tendance dans le calcul des valeurs historiques de l'index afin d'estimer l'espérance mathématique de l'index dans le futur. La tendance peut être estimée soit au niveau des données journalières soit au niveau des valeurs cumulées de l'index. En retenant dans un premier temps cette dernière hypothèse, le graphique suivant illustre comment la tendance peut être estimée à partir des valeurs cumulées de l'index.



Où l'indice est défini comme suit :

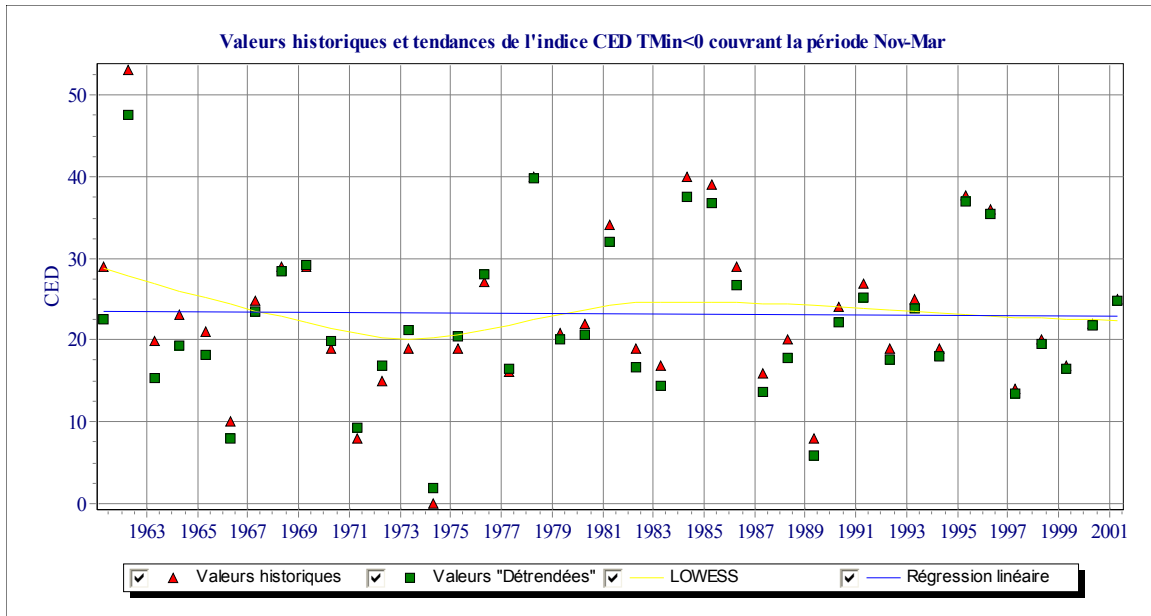
Indice : Critical Event Day $T_{MIN} < 0$

Site : Heathrow

Période de la couverture : 01 Nov 2002 – 31 Mar 2003

Le graphique est composé de quatre séries. Les valeurs cumulées de l'index sont représentées par des triangles. La tendance linéaire (Régression linéaire) et locale (LOWESS) de l'indice sont représentées par des courbes. Les valeurs « détrendées » (*detrended values*), c'est à dire les valeurs pour lesquelles la tendance a été ôtée en fonction de la courbe de régression et de la date de projection des données, sont représentées par des carrés. Cette méthode permet de calculer une espérance future de l'indice, appelée sur les marchés le *forward*. Dans ce cas, le modèle mathématique utilisé (LOWESS 1-60%) estime que le *forward* est égal à 21 *CED*.

Calculer la tendance sur les valeurs finales de l'indice n'est pas une méthode très satisfaisante. Il est préférable d'estimer la tendance à partir des valeurs météorologiques elles-mêmes avant tout calcul d'indice tronquant le plus souvent l'information initiale. Les études montrent que la tendance n'est pas homogène tout au long de l'année. Par exemple, l'augmentation de la température à Heathrow est significativement plus importante en hiver qu'en été. Le modèle statistique de régression utilisé doit impérativement prendre en compte la saisonnalité de la tendance sans quoi le *forward* estimé sera erroné. Après avoir ôter la tendance des données journalières avant le calcul des valeurs historiques finales, les valeurs cumulées de l'indice final sont :



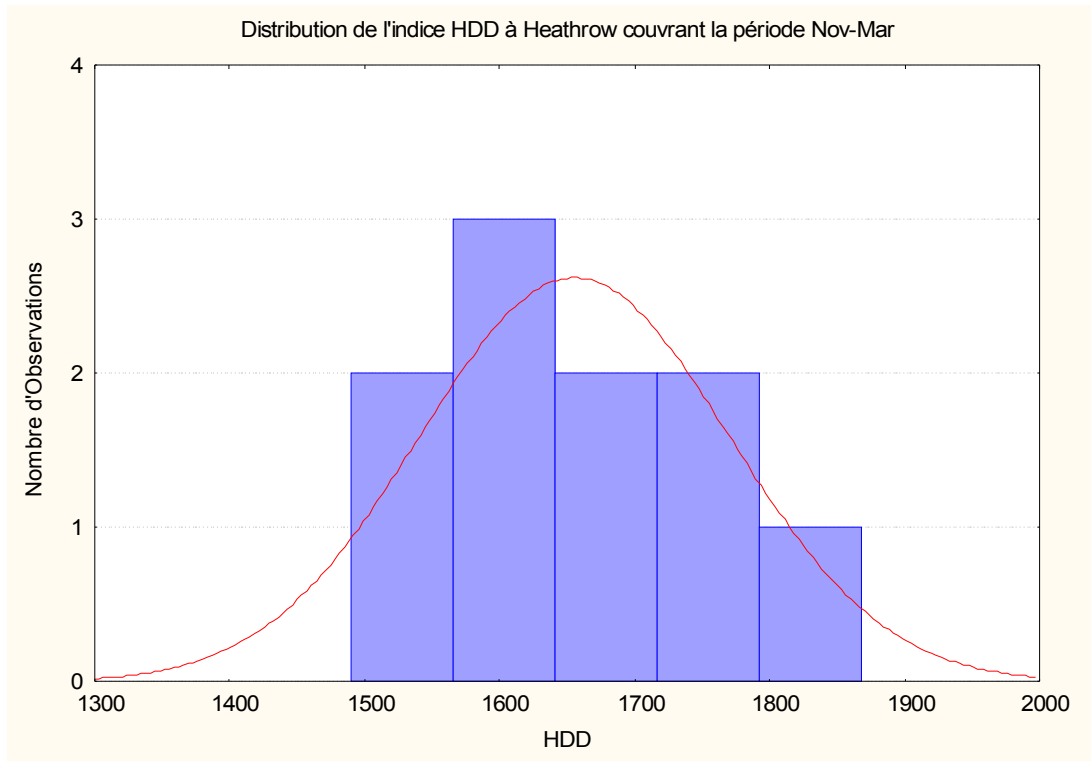
Le *forward* estimé à l'aide de cette méthode est 22.25 CED. L'écart conséquent avec la précédente estimation est de l'ordre de 15% de l'écart-type de l'indice.

E. Evaluation Actuarielle des contrats

A partir des données, dont la tendance a été corrigée, une *Burn Analysis* peut être conduite. Il est toutefois préférable de représenter les données à l'aide d'une distribution de probabilité de densité g telle que la loi Normale, LogNormale, Gamma, Kernel, Valeurs extrêmes, etc. Dans ce cas, le paiement final moyen E_M est calculé à l'aide de l'espérance mathématique de la fonction f_p du *pay off* du contrat sous la mesure de probabilité choisie :

$$E_M = \int_{\mathbb{R}} f_p(x)g(x)dx$$

Par exemple, si l'on considère l'indice européen le plus traité sur le marché secondaire, *HDD* sur la période allant de novembre à mars à Heathrow, la distribution de l'indice est :



Si l'on admet l'hypothèse d'une distribution normale $N(1655.614 ; 120.237)$ de l'indice (courbe en cloche tracée sur le graphique ci-dessus), le paiement final moyen E_M d'un *call*¹³ de prix d'exercice 1700 et de cap 200 est égal à 28.071 Ticks.

Cette méthode de calcul de l'espérance, dite actuarielle, est nettement plus robuste que la *Burn Analysis*. Elle permet par exemple d'évaluer des contrats très en dehors ou en dedans de la monnaie ou des contrats sur risques extrêmes. Elle reste toutefois très sensible à la distribution choisie pour représenter le risque et seuls les actuaires ou statisticiens chevronnés devraient l'utiliser pour évaluer des contrats sur risques extrêmes.

F. Processus de simulations des données journalières et évaluation de type Monte Carlo

Les méthodes d'évaluation *Burn Analysis* et actuarielle reposent sur une estimation de paramètres à partir de données historiques. En général, les centres de météorologie vendent les valeurs enregistrées à partir des années 1950 – 1960. L'estimation des paramètres s'effectue donc avec environ cinquante données. Ce nombre est suffisant pour apprécier le risque portant sur des contrats de type *HDD* et *CDD* mais

¹³ Le *pay off* d'un *call capé* s'écrit : $Tick \times (\text{Min}(I - K); \text{Cap})^+$, où I est la valeur finale de l'indice climatique et K le prix d'exercice. Si l'on admet un ajustement de la distribution de l'indice selon la loi normale $N(\mu_I, \sigma_I)$, un rapide calcul permet d'obtenir une formule fermée pour la valeur du paiement final

$$\text{moyen } E_M : E_M = Tick \times \left(\frac{\sigma_I}{\sqrt{2\pi}} \left(e^{-\frac{\alpha^2}{2}} - e^{-\frac{\beta^2}{2}} \right) + \gamma \times (N(\beta) - N(\alpha)) + Cap \times (1 - N(\beta)) \right)$$

$$\text{où } \alpha = \frac{K - \mu_I}{\sigma_I}, \beta = \frac{K + Cap - \mu_I}{\sigma_I} \text{ et } \gamma = (\mu_I - K).$$

s'avère trop restreint pour d'autres types de contrats dans lesquels l'indice sous-jacent est très sensible aux données tels les *CED*. Dans ce cas, le praticien a recours aux modèles de simulations journalières de température, de pluie, de neige, de vent, etc. Les processus de simulation utilisés sont en général très sophistiqués. A titre d'illustration, deux processus sont présentés ci-après, le premier accommode les données de température et le second les phénomènes de précipitation.

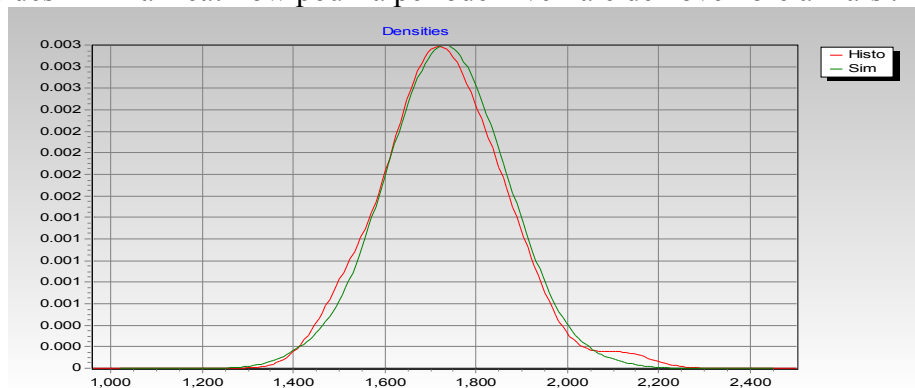
1. Modélisation de l'évolution de la température journalière

Les premiers articles de recherche consacrés aux processus de diffusion de la température journalière ont été écrits par Dischel (1998), Cao et Wei (1998) et Carmona (1999). Les modèles étaient basés soit sur le processus d'Orstein-Ulhenbek soit sur un AR (p). Moreno (2001) a mis en évidence certains défauts comme la non prise en compte de la volatilité et de l'asymétrie saisonnière. Plus récemment, Caballero (2003) a démontré que les processus à mémoire longue permettent d'obtenir de meilleurs ajustements. Le processus utilisé par Caballero est un ARFIMA. En parallèle, Brody, Syroka et Zervos (2002), proposent de modéliser le processus de la température à l'aide d'un FBM (*Fractionally Integrated Brownian Motion*). Dans la lignée des modèles à mémoire longue, Moreno (2003) a présenté des résultats très encourageants en utilisant un ARFIMA-FIGARCH¹⁴. L'avantage de ce modèle est de s'affranchir de la condition d'homoscédasticité afin de mieux représenter le phénomène de persistance de la température suivi de journées ou la température apparaît être plus volatile.

Sous cette hypothèse, le processus de diffusion de la température est le suivant :

$$T_i = m_i + S_i + \sigma_i Y_i$$

Où T_i note la température, m_i la tendance, S_i la saisonnalité, σ_i la variance périodique et Y_i la valeur du processus ARFIMA-FIGARCH à la date t_i . La définition et les procédures d'estimation du processus ARFIMA-FIGARCH peuvent être trouvées dans les articles de Baillie, Bollerslev, Mikkelsen (1996) et Chung (2003). Tandis que l'utilisation des modèles de type AR(p) sous-estiment systématiquement l'écart-type de la distribution des *HDD*, ce type de processus permet d'obtenir de bien meilleurs résultats comme l'illustre le graphique suivant qui compare les distributions historiques et simulées des *HDD* à Heathrow pour la période hivernale de novembre à mars :



¹⁴ Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average with a Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditionally Heteroskedastic noise. Ce modèle est couramment appelé simplement FIGARCH.

2. Modélisation des précipitations journalières

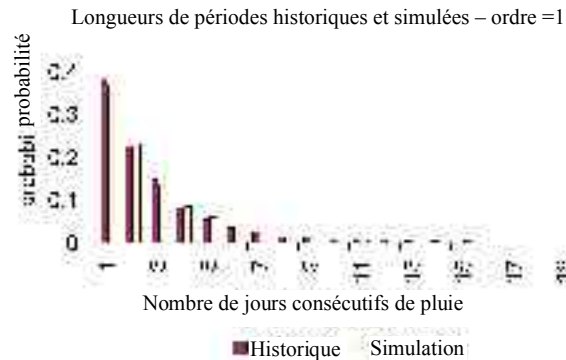
Les nombreuses études réalisées sur les précipitations portent en général sur des données agrégées mensuellement ou annuellement ou sur des données relatives à des périodes très courtes, de l'ordre de la minute pour l'étude des problèmes liés à l'écoulement de l'eau. L'information apportée dans le premier cas est réduite et manque d'intérêt pour de nombreuses entreprises qui sont exposées à un risque limité à certains jours de la semaine (secteur touristique et sportif par exemple) et pour les entreprises du bâtiment et de distribution de l'eau dont le risque résulte non seulement de la hauteur de pluie cumulée mais aussi de la fréquence de la pluie. Une forte averse un dimanche n'a pas les mêmes conséquences qu'une semaine pluvieuse même si les hauteurs cumulées de pluie sont identiques. Le but de cette seconde partie est de proposer un modèle de simulation de la hauteur cumulée de la pluie journalière afin de mieux estimer les risques encourus par les différents utilisateurs potentiels de dérivés liés à la pluie¹⁵. Le processus de hauteur de pluie est conditionné dans le passé et le futur par un processus binaire basé sur les événements « il pleut » et « il ne pleut pas ».

Le processus binaire est une chaîne de Markov à deux états, hétérogène et périodique.

On note X_t , une chaîne markovienne à deux états ayant pour valeur 1 ou 0. Il est supposé que toutes les années sont de même longueur, 365 jours, et que la pluviométrie est un phénomène périodiquement constant¹⁶. Les probabilités de transition de la chaîne de Markov $p_t^{0,0}$, $p_t^{0,1}$, $p_t^{1,0}$ et $p_t^{1,1}$ sont définies par :

$$\begin{aligned} p_t^{0,1} &= P(X_t = 1 | X_{t-1} = 0) & p_t^{0,0} &= P(X_t = 0 | X_{t-1} = 0) \\ p_t^{1,1} &= P(X_t = 1 | X_{t-1} = 1) & p_t^{1,0} &= P(X_t = 0 | X_{t-1} = 1) \end{aligned}$$

A partir des données historiques, il est possible de déterminer l'ensemble de ces probabilités. Après estimation¹⁷, la simulation des longueurs de pluie donne des résultats proches de la réalité :



Une fois que l'on a simulé les jours de « pluie » et de « non pluie », il reste à simuler l'intensité de la pluie, c'est-à-dire la hauteur des précipitations,

¹⁵ Voir Augros et Moreno (2002), chap. 15, pour plus de détails.

¹⁶ Les études statistiques montrent que la pluviométrie annuelle est un phénomène qui n'a que très peu évolué au cours du temps par comparaison avec la température. Les données concernant les chutes de pluie sur Londres semble indiquer que la pluviométrie a augmentée de 1% au cours des 100 dernières années. Cette faible tendance peut éventuellement être prise en compte avant le traitement des données.

¹⁷ En raison du caractère très erratique de la pluie, une méthode de lissage des probabilités doit être mise en œuvre.

conditionnellement à ces événements. Tout comme les probabilités de survenance de la pluie, on suppose que les distributions de hauteur de pluie sont périodiques (période de 365 jours). Les études montrent que la hauteur de pluie cumulée durant une journée dépend de la durée de la pluie.

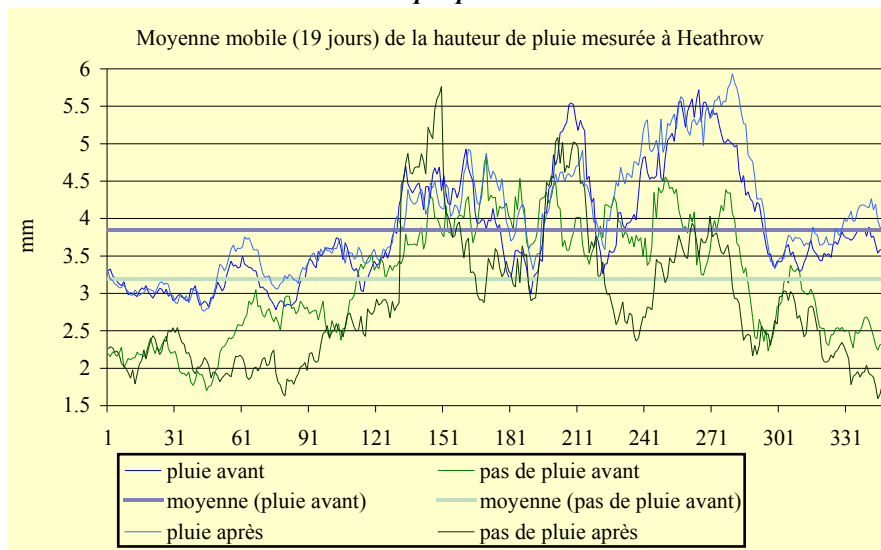
Le graphique suivant représente l'évolution de la moyenne de la hauteur de pluie conditionnelle aux événements « il pleut » et « il ne pleut pas » le jour précédent ou le jour suivant. Il ressort de ce graphique que la moyenne de la hauteur de pluie est égale à environ 3,2 mm lorsqu'il a plu le jour précédent et environ 3,85 mm lorsqu'il n'a pas plu le jour précédent. Par ailleurs la hauteur de pluie est très peu différente s'il a plu le jour précédent ou s'il a plu le jour suivant.

Ce graphique montre donc que la hauteur de pluie en un jour donnée dépend des événements suivants :

- il a plu le jour précédent ;
- il pleuvra le jour suivant.

On désigne par R_t l'évènement « il pleut à la date t » et par NR_t l'évènement « il ne pleut pas à la date t »

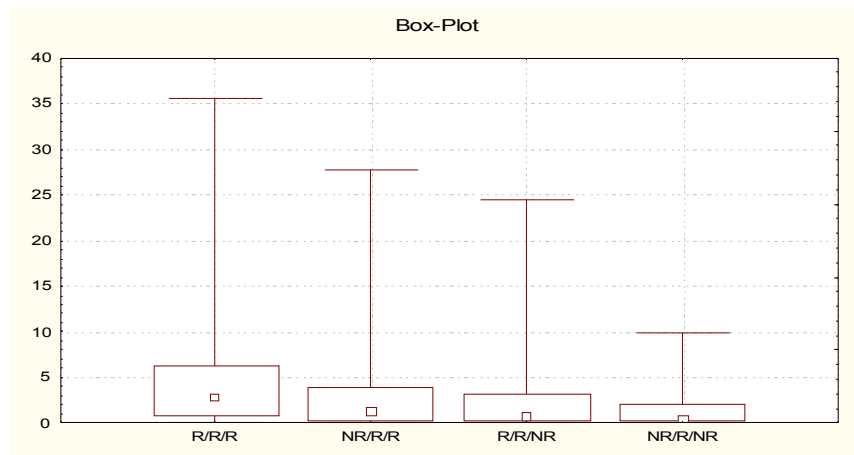
Graphique 16



Dans le cas où la probabilité de ces événements est modélisée avec $k=1$, on ne peut avoir, sur trois jours consécutifs, que les 4 possibilités suivantes :

- $R_{t-1} / R_t / R_{t+1}$,
- ou $NR_{t-1} / R_t / R_{t+1}$,
- ou $R_{t-1} / R_t / NR_{t+1}$,
- ou $NR_{t-1} / R_t / NR_{t+1}$.

Pour le 1^{er} janvier, les quatre distributions, estimées à partir des données historiques de la hauteur de pluie journalière obtenues après lissage des résultats sur une fenêtre de 31 jours centrée au 1^{er} janvier, sont illustrées par le graphique suivant :

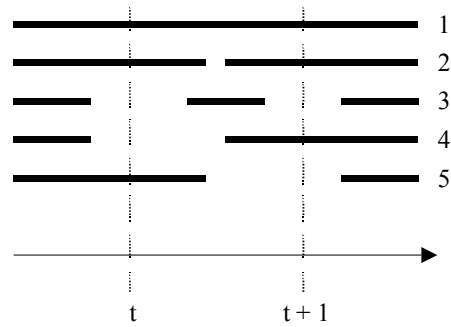


Les caractéristiques principales de ces distributions sont les suivantes :

	$R_{t-1} / R_t / R_{t+1}$	$NR_{t-1} / R_t / R_{t+1}$	$R_{t-1} / R_t / NR_{t+1}$	$NR_{t-1} / R_t / NR_{t+1}$
Minimum (mm)	0.10	0.10	0.10	0.10
Maximum (mm)	35.60	27.80	24.50	9.90
Moyenne (mm)	3.96	2.86	2.48	1.53
Ecart-type (mm)	4.27	4.05	4.07	2.34

Les quatre distributions sont très différentes les unes des autres. Celles-ci montrent que l'importance des précipitations, mesurée par la hauteur de pluie, dépend de leur durée. On observe notamment que la moyenne, le maximum et l'écart-type de la hauteur de pluie sont les plus élevés lorsqu'il pleut durant les 3 jours consécutivement et qu'au contraire ces valeurs sont les plus faibles lorsqu'il ne pleut pas avant et après. Les distributions sont en revanche très proches lorsqu'il pleut le jour d'avant ou le jour d'après.

En fait le bien fondé du modèle défini à l'ordre 1 résulte des données utilisées. En effet, en Angleterre, les stations météorologiques fournissent des mesures de hauteur de pluie qui sont relevées de 6 heures du matin au lendemain 6 heures. Il existe donc un phénomène de troncature et de censure journalière des données représenté sur un exemple à l'aide du schéma suivant :



Les traits gras représentent des durées de temps durant lesquelles il pleut. Le premier cas (1) correspond au cas où il pleut durant 3 jours consécutivement. Le deuxième cas (2) est celui où il pleut durant les trois jours avec une interruption de la pluie lors de la deuxième journée. Le troisième cas (3) correspond au cas où il pleut chaque jour sans continuité durant les instants de passage d'une journée à la suivante. Le quatrième cas (4) correspond au cas où il pleut les trois jours avec une interruption de la pluie entre la première et la seconde journée. Enfin, le dernier cas (5) est le symétrique du cas (4).

Les données fournies par le bureau météorologique ne permettent pas de différencier ces 5 cas, les données étant tronquées et censurées. Cette structure des données explique bien la raison pour laquelle l'ordre 1 donne une bonne estimation du processus et que les distributions de pluie, lorsque les événements suivants $NR_{t-1} / R_t / R_{t+1}$ ou $NR_{t-1} / R_t / NR_{t+1}$ sont constatés, sont assez peu différentes.

G. Prévisions météorologiques et « pruning »

De nos jours, les prévisions météorologiques de cours (moins de 10 jours) et moyens termes (3 à 6 mois) sont assez fiables. Aussi, lorsque des prévisions météorologiques ou climatiques sont disponibles, il est important de les prendre en compte et de mesurer leurs effets sur les prix et la gestion des contrats. La technique du *Pruning* consiste à intégrer dans les modèles de simulations journalières les différentes prévisions météorologiques. Par exemple, le bureau de météorologie anglais vend des prévisions couvrant les dix prochains jours sous la forme de 51 ensembles ou trajectoires possibles de température. Chacune de ses trajectoires est utilisée à plusieurs reprises pour prolonger les données historiques et initier le modèle de simulation. L'intégration des prévisions climatiques est légèrement plus délicate car elle demande le calcul de distributions de probabilités conditionnelles. L'une des méthodes permettant de résoudre ce délicat problème est l'utilisation de scénarios historiques conditionnés par ces prévisions et permettant de calculer alors plus simplement les distributions.

H. Gestion de portefeuilles climatiques

En réalité, le prix de vente d'un contrat climatique dépend de la constitution du portefeuille de l'organisme vendeur. L'influence du nouveau contrat sur la diversification géographique et temporelle du portefeuille est déterminante. Par exemple, une compagnie énergétique très exposée à un hiver plus clément que la normale sera encline de vendre des contrats couvrant un hiver plus rigoureux que la normale tandis qu'elle sera réticente de vendre des contrats dont le risque va s'ajouter à ceux qu'elle a naturellement.

Le prix de vente d'un contrat devient alors conditionné par certains paramètres de gestion du portefeuille. La condition la plus utilisée par les assurances est une valeur de retour de la *Value at Risk (RVaR)* où la *VaR* est définie comme la *VaR* bancaire à laquelle les primes sont ajoutées. Les compagnies énergétiques dont le *desk* est totalement intégré à la cellule des risques de l'entreprise auront tendance à mesurer la rentabilité de l'opération à l'aide d'une fonction d'utilité.

La gestion de portefeuilles de produits illiquides n'est pas naturelle pour les banques et les compagnies énergétiques habituées à concentrer leur effort sur la *Value at Risk* 1 jour. Le marché étant illiquide l'hypothèse selon laquelle il est possible d'annuler sa position en 1 jour afin de limiter les pertes n'est pas valable. Tout comme les modèles d'évaluation, les méthodes de gestion de portefeuille sont issues des techniques de l'assurance. Le but recherché est de minimiser les risques pour une rentabilité fixée ou l'inverse, c'est-à-dire pour un risque donné maximiser la rentabilité espérée du portefeuille. Pour cela, diverses techniques sont utilisées mettant en oeuvre l'optimisation de la diversification des positions, une gestion de type *VaR*, des critères de dominance stochastique, des analyses de type Markowitz ou d'analyse en composantes principales. Certaines de ces techniques qui conditionnent le prix de vente des dérivés climatiques sont brièvement décrites dans les paragraphes suivants.

1. Diversification géographique, indicielle et temporelle

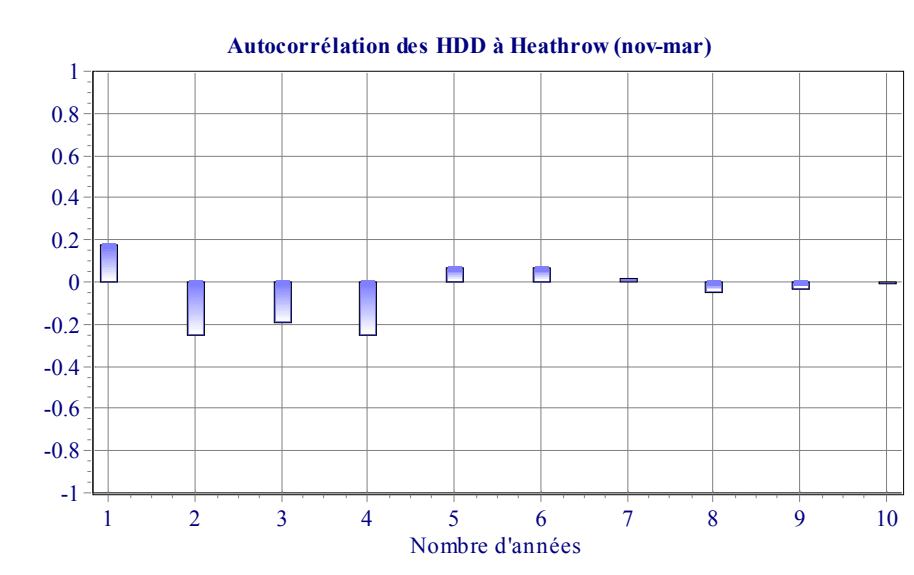
Une diversification géographique, indicielle et temporelle des contrats permet de réduire significativement les risques. Il s'agit de l'un des buts recherchés par la majorité des gestionnaires. Le principe est simple : vendre des contrats dont les *pay offs* ont tendance à se compenser. Pour cela, le gestionnaire recherche des corrélations opposées. La table suivante montre une matrice de corrélations linéaires¹⁸ de six indices climatiques, trois durant la période hivernal et trois durant la période estivale :

	Essen HDD Nov-mar	Heathrow HDD Nov-mar	Paris HDD Nov-mar	Heathrow Pluie Cumulée Mai-Sept	Heathrow TMax > 25 Mai-Sept	Paris TMax > 30 Mai-Sept
Essen HDD Nov-mar	100%	94%	92%	6%	-21%	-23%
Heathrow HDD Nov-mar	94%	100%	91%	-1%	-19%	-29%
Paris HDD Nov-mar	92%	91%	100%	1%	-23%	-24%
Heathrow Pluie Cumulée Mai-Sept	6%	-1%	1%	100%	-50%	-31%
Heathrow TMax > 25 Mai-Sept	-21%	-19%	-23%	-50%	100%	76%
Paris TMax > 30 Mai-Sept	-23%	-29%	-24%	-31%	76%	100%

Les contrats sur *HDD* sur Essen, Heathrow et Paris présentent de très fortes corrélations. Un gestionnaire cherchera à diversifier son exposition en étant par exemple long *HDD* Heathrow et court *HDD* Paris. Par ailleurs, les corrélations entre les indices *HDD* et les trois autres indices sont statistiquement nulles. Une composition de portefeuille mélangeant des indices décorrélés améliore sensiblement la diversification des risques. Enfin, le gestionnaire cherchera à diversifier ces risques dans le temps. Pour

¹⁸ Il est important d'étudier en plus la matrice des corrélations de rang (*rank correlation*).

cela, il peut envisager de vendre sur plusieurs années le même contrat à des contreparties différentes ou des contrats de longue durée à un même acheteur afin de lisser la fonction des paiements dans le temps. Ci-dessous, la fonction d'autocorrélation des *HDD* à Heathrow montre que l'autocorrélation est quasiment nulle.



2. Value at Risk 1, 5 ou 10 jours ou à l'échéance et dominance stochastique

La *Value at Risk* (ou *VaR*) est une méthode d'évaluation du risque de marché. Elle donne une mesure théorique de la perte potentielle pour un horizon donné, en général 1, 5 ou 10 jours. Concrètement, la *VaR* est un quantile d'une distribution de profits et de pertes dans un temps donné. Le marché climatique étant très illiquide, la *VaR* 1 jour n'est pas vraiment une mesure utile car elle repose sur trop d'hypothèses comme celui du prix de la liquidité pour chaque instrument du portefeuille. Les preneurs de risque souhaitant de plus garder leur position jusqu'à l'échéance du contrat préféreront calculer la *Value at Risk* à l'échéance. Les distributions des indices climatiques ne sont pas normales dans de nombreux cas. Aussi, la méthode de simulations des indices mise en œuvre devra soit simuler les données journalières soit utiliser la méthode des copula ou de simulations de rang.

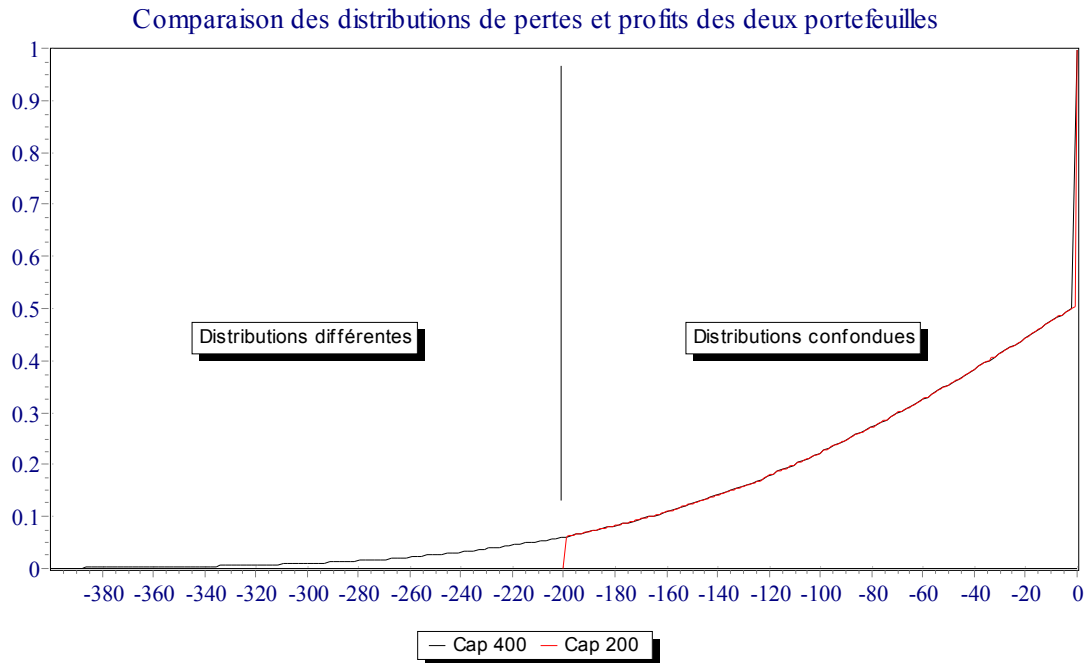
La généralisation de la *VaR* est due à la réglementation qui depuis la fin des années 1990 oblige les intervenants de marché à la calculer. La *VaR* est toutefois un simple quantile et ne permet absolument pas de comparer le risque de deux portefeuilles. L'exemple suivant montre la nécessité de connaître plus d'informations que la *VaR* 90% :

Portefeuille 1 : court d'un call *HDD* cap 200 Ticks, *VaR* 90% = -163 Ticks

Portefeuille 2 : court d'un call *HDD* cap 400 Ticks, *VaR* 90% = -163 Ticks

Les deux portefeuilles ont exactement la même *VaR* 90% : -163 Ticks. Toutefois le second portefeuille a une exposition (400 Ticks) nettement supérieure au premier (200 Ticks). Le choix du quantile 95 % aurait dans ce cas permis de dire que le second

portefeuille semble plus risqué que le premier selon le critère de la *VaR* 95%. Le graphique suivant montre les distributions de pertes et profits des deux portefeuilles :



Si l'on complète l'analyse *VaR* du portefeuille avec les critères de dominance stochastique du premier, deuxième et troisième ordre la comparaison de portefeuilles devient possible même dans le cas de portefeuille très illiquide. Pour le gestionnaire de portefeuilles, ces mesures sont primordiales car elles lui permettent de définir des critères d'optimisation des portefeuilles à partir desquelles la prime de risque est calculée.

Conclusion

En dehors des entreprises assurées, le marché de gré à gré est organisé autour de trois grands pôles : les compagnies énergétiques, les banques et les assureurs-réassureurs. Malgré les nombreuses embûches qu'a connu le marché avec notamment la faillite d'Enron, l'année 2002-2003 a connu une hausse substantielle du nombre de contrats échangés sur le CME due au transfert partiel de l'activité des compagnies énergétiques américaines vers ce marché organisé, standardisé et sans risque de crédit. L'essor de ce marché aura à n'en pas douter des retombées considérables pour le marché de gré à gré. Tout d'abord en terme de publicité et parce qu'il est désormais impossible pour les agences de notations d'ignorer les risques climatiques des entreprises et de ne plus différencier les entreprises couvertes de celles exposées aux aléas climatiques. Ensuite parce que la présence d'un marché sous-jacent liquide permet aux preneurs de risques de se couvrir eux-mêmes. Les contrats climatiques taillés sur mesure aux besoins des entreprises ou packagés au sein de contrat tels que des obligations climatiques (*weather linked bond*) font que ce marché, hors activité des compagnies énergétiques, restent avant tout un marché de gré à gré.

Il n'existe pas encore de technique d'évaluation des contrats qui soit largement acceptée par les preneurs de risque et chacun a recours à ses propres critères et méthodes. Les méthodes actuarielles et de simulation sont les méthodes les plus utilisées bien que leur mise en œuvre requière une expertise dans les méthodes statistiques qui n'est pas naturelle pour de nombreux *traders* spécialisés dans les méthodes de couverture delta-neutre à la *Black & Scholes*. Un effort important de formation a été consentie par les banques et les compagnies énergétiques pour acquérir les compétences nécessaires dans ce domaine. La naissance de marché de *futures*, peut permettre sous certaines conditions l'utilisation de formule fermée telle que celle de Black 76 pour les contrats sur *future*. Toutefois cela revient à supposer que la distribution finale du sous-jacent est lognormale ce qui n'est pas le cas pour la majorité des contrats.

Références bibliographiques

1. AUGROS J.C et MORENO M, « Les dérivés financiers et d'assurance », Economica, 2002.
2. AUGROS J.C. et QUERUEL M. (2002), "Les dérivés climatiques et naturels : de nouvelles opportunités pour les investisseurs", dans BLONDEAU J. et PARTRAT C., "La réassurance, approche technique", Economica.
3. BAILLIE R., BOLLERSLEV T., MIKKELSEN H.O., "Fractionally integrated generalized autoregressive condition heteroskedasticity", Journal of Econometrics, 1996, vol 74, pp 3-30.
4. BREIDT F.J, CRATO N. et LIMA P., "The detection and estimation of long memory in stochastic volatility", Journal of econometrics, 1998, vol 83, pp325-348
5. BROCKWELL P.J. et DAVIS R.A. (1991). "Time Series : Theory and Methods", Springer Verlag.
6. BRODY D.C, SYROKA J. et ZERVOS M., "Dynamical pricing of weather derivatives", Quantitative Finance volume 2 (2002) pp 189-198, Institute of physics publishing
7. CABALLERO R., "Stochastic modelling of daily temperature time series for use in weather derivative pricing", Department of the Geophysical Sciences, University of Chicago, 2003.
8. CABALLERO, R., JEWSON, S. and BRIX A. (2002). Long memory in surface air temperature: « Detection, modelling and application to weather derivative valuation », Climate Research, 21, 127-140.

9. CAMPBELL, S. et DIEBOLD F.X. (2001), "Weather Forecasting for Weather Derivatives," Manuscript, Department of Economics, University of Pennsylvania.
10. CAO M. et WEI J., (1998), "Pricing Weather Derivatives : an Equilibrium Approach". Working paper, Queen's University Kingston and University of Toronto, Ontario, Canada.
11. CARMONA R. (1999). "Calibrating degree day options", <http://www.orfe.princeton.edu/~rcarmona/mainteaching.html>
12. CHUNG Ching-Fan, "Estimating the FIGARCH Model", Institute of Economics, Academia Sinica, 2003.
13. DISCHEL B. (2001), "Is precipitation basis risk overstated ? ", Risk magazine February, and <http://www.risk.net/supplements/weather00/wthr00-rainfallp.htm>.
14. DISCHEL R. (1999), "At last : a model for weather risk", Risk, Energy and Power Risk Management, March 1999.
15. DORNIER F. et QUÉRUEL M. (2000), "Caution to the wind", Risk, Energy and Power, Risk Management, August 2000.
16. GAUME E. (1999), "Application de l'algorithme Metropolis pour l'analyse de sensibilité d'un modèle stochastique de pluie", <http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/gaume/gentest/gentest.html>.
17. GEMAN H. (2001), "Instruments dérivés à sous-jacent exotique: l'exemple des dérivés climatique", Banque & Marché, n° 53, juillet-août, p. 5-9.
18. HAMON J. et JACQUILLAT B. (1992). Le marché français des actions. Etudes empiriques 1977-1991. Presses Universitaires de France.
19. JEWSON, S. (2000). Use of GCM forecasts in financial-meteorological models. Proceedings of the 25th Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop, US Department of Commerce
20. JEWSON, S., BRIX A. and ZIEHMANN, C. (2002). Use of meteorological forecasts in weather derivative pricing. Chapter in 'Climate Risk and the Weather Market', published by Risk Books
21. LAURENT J.P. et ROUSTANT O. (2001), "Pricing of Weather Derivatives and Estimation Risk", Working Paper ISFA.
22. MORENO M., « Weather derivatives hedging and swap illiquidity », WRMA, June 2003.
23. MORENO M. (2000), "Rain Risk", <http://michael.moreno.free.fr>
24. MORENO M. (1999), "Les dérivés climatiques", <http://michael.moreno.free.fr/>
25. MORENO M. (2000a), "Evaluation des dérivés climatiques", Speedwell Weather Derivatives, www.weatherderivs.com.
26. MORENO M. (2000b). "Riding the temp", FOW, December 2000.
27. MORENO M. (2001), « Weather Derivatives », Derivatives Week, 18 mars 2001.
28. MORENO M. (2001), « Rainfall Derivatives », Derivatives Week, 23 septembre 2001.
29. MORENO M. et ROUSTANT O. (2002), "Modélisation de la température : application aux dérivés climatiques", dans BLONDEAU J. et PARTRAT C., "La réassurance, approche technique", chapitre 29, Economica.
30. ROUSTANT O. (2000), "Une application de deux modèles économétriques de température à la gestion des risques climatiques", Banque & Marchés.
31. THAUVIN V., GAUME E. et ROUX C. (1998), "A short time step point rainfall stochastic models", Water Sciences and Technology, vol. 37, n°11, p. 34-45.