

## Le réchauffement global renforce-t-il les tempêtes cycloniques?

**La multiplication des tempêtes cycloniques tropicales constatée ces dernières années dans l'Atlantique est liée, au moins en partie, au réchauffement global anthropique. Les indices scientifiques qui étayaient cette affirmation se sont précisés toujours davantage au cours des derniers mois. Même si différents facteurs influent sur la formation des tempêtes cycloniques, l'augmentation actuelle de ces dernières semble être avant tout en relation avec l'élévation des températures à la surface de la mer. Or ce réchauffement tient, au moins en partie, à l'accroissement des concentrations en gaz à effet de serre.**

En 2005, la saison des ouragans a battu plus d'un record. Elle a commencé en juin et s'est terminée seulement en janvier 2006, ce qui est anormalement tard. Vingt-huit tempêtes cycloniques tropicales baptisées ont été observées, dont quinze se sont développées en ouragans et sept en ouragans majeurs avec des vents soufflant à plus de 178 km/h. Cinq de ces ouragans majeurs ont atteint la terre ferme, parmi eux Rita et Katrina, qui ont causé les dégâts que l'on sait. Pour la première fois, la liste alphabétique des noms, préparée à l'avance, n'a pas suffi pour baptiser toutes ces tempêtes. Les six dernières de la saison ont été désignées par des lettres grecques; la dernière, qui a eu lieu à fin janvier 2006, a reçu le nom de 'dzêta'. De plus, une tempête tropicale a atteint pour la première fois le continent européen, en Espagne, certes sous une forme atténuée. La saison de 2004 déjà avait été hors du commun dans l'Atlantique: elle avait comporté quinze tempêtes baptisées - neuf ouragans et six ouragans majeurs - et, pour la première fois de l'Histoire, une tempête cyclonique tropicale dans l'Atlantique Sud. A quoi tient cette évolution? Le réchauffement global est-il coupable? L'hypothèse selon laquelle il s'agirait simplement d'un phénomène naturel, provoqué par des fluctuations à long terme des températures à la surface de l'Atlantique, a été diffusée avant tout par le centre américain de prévision des ouragans. D'autres scientifiques ont souligné par contre que cette augmentation pourrait être déjà une manifestation du réchauffement global anthropique. Ces derniers mois, de nombreux travaux scientifiques ont été publiés qui, presque sans exception, désignent entre autres le réchauffement climatique comme ayant joué un rôle dans cette augmentation. Les arguments pour une cause

purement naturelle deviennent toujours plus faibles. Qu'est-ce qui plaide maintenant pour et contre une influence humaine?

### La chaleur dégagée par la mer alimente les ouragans

La formation des tempêtes cycloniques tropicales est associée à des températures océaniques chaudes. Une tempête cyclonique tire son énergie principalement de la condensation de vapeur d'eau; en d'autres termes, l'énergie libérée lors de la formation des gouttelettes d'eau des nuages est transformée dans la tempête en énergie de mouvement. Au-dessus de la terre ferme, une tempête cyclonique s'affaiblit rapidement. Ce n'est qu'au-dessus de mers chaudes que l'air peut absorber suffisamment de vapeur d'eau pour alimenter la tempête en énergie, en accord avec le principe selon lequel plus la mer au-dessous d'une tempête est chaude, plus celle-ci peut s'intensifier. Partant de ces données de physique, il faut admettre que lors d'une hausse générale des températures à la surface de la mer, consécutive au réchauffement global, les tempêtes cycloniques augmentent en moyenne d'intensité.

Il y a cependant encore d'autres facteurs qui influent sur la formation et l'intensité d'une tempête (voir encadré), en particulier les changements de la température et des vents en fonction de l'altitude. Plus la température diminue fortement, plus rapide est l'ascension de l'air et plus grande la quantité d'eau qui se condense, ce qui renforce la tempête. Sur la base des modélisations physiques, il faut s'attendre, l'effet de serre ayant augmenté, à un réchauffement un peu plus marqué dans la troposphère qu'à la surface de la Terre, ce qui signifierait une diminution de l'intensité possible des tempêtes. Toutefois, cet effet est estimé plus faible que celui de la hausse des températures océaniques. Les effets du réchauffement climatique sur les vents, troisième facteur décisif, sont peu clairs. Jusqu'ici, aucun changement manifeste n'a été décelé à cet égard.

### Moins nombreuses, mais plus fortes

La plupart des modèles du climat prédisent une augmentation des vitesses maximales des vents dans les tempêtes cycloniques, en raison du réchauffement global. Pour le réchauffement attendu pendant le 21<sup>e</sup> siècle, cette augmentation est de quelques pour cent. En ce qui concerne la

## Les tempêtes cycloniques tropicales et leur genèse

Les tempêtes cycloniques tropicales sont des zones de basse pression dans les régions tropicales ou subtropicales, dans lesquelles les vents atteignent de très grandes vitesses en raison de processus physiques et conditions atmosphériques spécifiques. Les tempêtes cycloniques tirent leur énergie avant tout de la condensation de vapeur d'eau, aussi sont-elles associées à des régions où l'évaporation et la teneur en vapeur sont élevées, telles qu'on ne les trouve qu'au-dessus des océans tropicaux. La genèse des tempêtes cycloniques est liée aux conditions suivantes:

- Des températures dans la couche supérieure de l'océan (jusqu'à env. 50 m de profondeur) d'au moins 26.5°C. Ce n'est que dans de telles régions qu'il y a suffisamment de chaleur et d'humidité à disposition pour entretenir une tempête cyclonique. Au-dessus de la terre ferme, la tempête s'affaiblit rapidement.
- Un refroidissement important de l'atmosphère avec l'altitude, situation qui favorise l'ascension de masses d'air et la condensation.
- Une forte humidité de l'air en altitude. Ceci aussi facilite la condensation.
- Des changements peu marqués des vents en altitude. Si le vent varie avec l'altitude, l'ascension des masses d'air est ralentie et la tempête se 'disloque' et s'affaiblit.
- Une distance de plus de 500 km (à peu près cinq degrés de latitude) de l'équateur. La rotation de la tempête cyclonique, comme celle des zones de basse pression sous nos latitudes, est un effet de la force de Coriolis (qui résulte de la diminution de la vitesse de rotation de la surface terrestre au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur). Cette force est nulle à l'équateur et augmente en direction des pôles.
- Une perturbation doit préexister dans le courant atmosphérique, à partir de laquelle la tempête peut se développer.

La classification des tempêtes cycloniques diffère selon les régions. Ces tempêtes s'appellent «ouragans» dans l'Atlantique et dans le Pacifique Nord oriental, «typhons» dans le Pacifique Nord occidental, «cyclones tropicaux» dans le Pacifique Sud et l'Océan Indien.

L'échelle de Saffir-Simpson classe les ouragans selon la vitesse du vent (en km/h) :

> 63 km/h	tempête tropicale	> 178 km/h	ouragan de catégorie 3
> 118 km/h	ouragan de catégorie 1	> 210 km/h	ouragan de catégorie 4
> 153 km/h	ouragan de catégorie 2	> 250 km/h	ouragan de catégorie 5

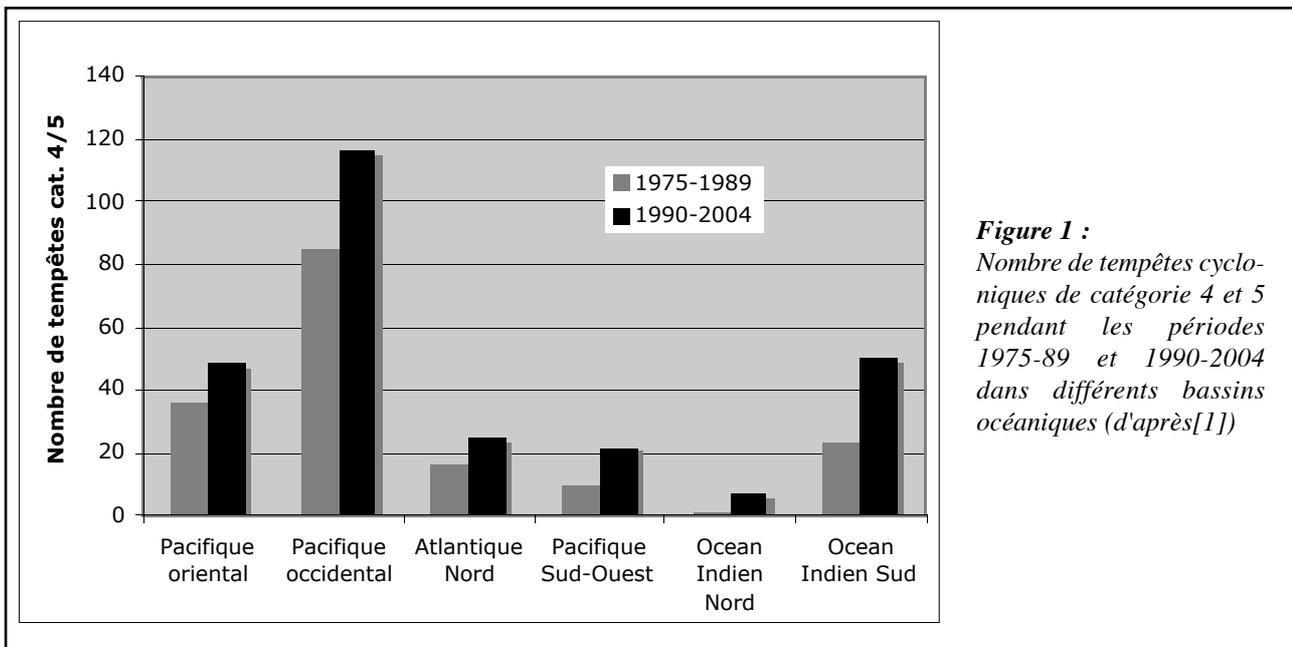
fréquence, le calcul n'indique globalement aucun changement ou diminution, à l'exception toutefois de l'Atlantique, où il faut s'attendre à une augmentation. Les modèles utilisés pour ces examens ont toutefois une résolution relativement grossière - ils calculent les données atmosphériques seulement tous les 100 km environ. Cela ne permet d'inclure qu'assez grossièrement les tempêtes cycloniques dont la zone de vitesses maximales des vents s'étend sur moins de 100 km. Les résultats sont donc entachés de fortes incertitudes. Récemment néanmoins, une étude japonaise opérant avec un modèle plus fin, de 20 km de résolution, a confirmé les résultats antérieurs, à savoir une augmentation de l'intensité et une diminution de la fréquence à l'exception de l'Atlantique. L'augmentation de l'intensité des tempêtes cycloniques pendant les dernières décennies, observée par les études les plus récentes, excède en fait sensiblement ce que les modèles calculent pour tout le 21e siècle. D'où la question de savoir si les modèles sous-estiment l'influence du réchauffement global ou si l'augmentation observée tient encore à d'autres raisons.

### Relation claire avec les températures des océans

De récents travaux de recherche ont comparé les tempêtes cycloniques pendant la première et la seconde moitié des quelque quarante dernières années. Cela a permis de con-

stater une augmentation du nombre de tempêtes de catégorie 4 et 5 (voir encadré et figure 1) d'environ 60%<sup>1</sup> et une augmentation de la force destructive des tempêtes cycloniques de 40-50%<sup>2</sup>. La force destructive ou «puissance» d'une tempête cyclonique est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. Une augmentation de 10% de la vitesse maximale du vent augmente donc d'un tiers la force destructive. Ces travaux ont montré en outre que l'augmentation de l'intensité des tempêtes cycloniques évolue parallèlement à l'élévation des températures à la surface de la mer et que cela est l'unique facteur qui puisse expliquer l'accroissement de l'intensité des tempêtes. Une relation avec la stratification des températures dans l'atmosphère ou avec les vents n'est perceptible que pour les variations à court terme, mais pas dans la tendance à long terme<sup>3</sup>.

Ces études ont fait l'objet de critiques isolées, parce que la qualité des données d'observation et de mesure des ouragans diminue plus l'on remonte dans le passé. Les mesures par satellite et par avion ont nettement amélioré l'étude des tempêtes cycloniques pendant les dernières décennies. Il est donc possible que certaines tempêtes cycloniques aient été mal classées dans le passé. Si cela devait être le cas, cela n'affecterait guère le fait que les graves tempêtes cycloniques tendent à devenir plus nombreuses; cette augmentation pourrait toutefois être moins forte que ces études ne l'ont calculé.



**Figure 1 :**  
*Nombre de tempêtes cycloniques de catégorie 4 et 5 pendant les périodes 1975-89 et 1990-2004 dans différents bassins océaniques (d'après[1])*

### Causes naturelles improbables

Quelques météorologues attribuent l'augmentation des ouragans dans l'Atlantique à une variation naturelle du climat, l'«oscillation atlantique multi-décennale» (AMO). Les températures de la surface de la mer dans l'Atlantique Nord semblent se réchauffer et se refroidir de nouveau selon un cycle naturel de 60 à 70 ans. Une supposition, basée sur des modélisations, est que cette oscillation proviendrait de modifications des courants marins dans l'Atlantique. Toutefois, de nombreuses données portent à conclure que l'AMO n'est pas la principale cause de l'augmentation actuelle des ouragans:

- L'évolution des températures de la surface de la mer dans l'Atlantique tropical, où les ouragans naissent, est presque parallèle à celle de la température globale. Différentes analyses montrent qu'en majeure partie, la hausse des températures de la surface de la mer dans l'Atlantique tropical peut s'expliquer par le réchauffement global et que l'AMO a causé moins de 10% de cette hausse<sup>4,5</sup>.
- Tant les mesures que les modèles montrent que l'AMO produit des changements de températures avant tout aux latitudes moyennes et hautes, mais guère dans l'Atlantique tropical, qui joue un rôle décisif dans la formation des ouragans.
- On suppose certes que l'AMO exerce aussi une influence sur les vents dans l'Atlantique tropical, toutefois, comme mentionné plus haut, les études effectuées jusqu'ici ne mettent pas en évidence de relation entre l'augmentation actuelle des tempêtes cycloniques et les changements des vents.
- Les fortes tempêtes cycloniques ont augmenté dans le monde entier, pas seulement dans l'Atlantique (voir figure 2). Un cycle naturel dans l'Atlantique ne peut pas expliquer cette augmentation planétaire.

### Tempêtes en Europe centrale

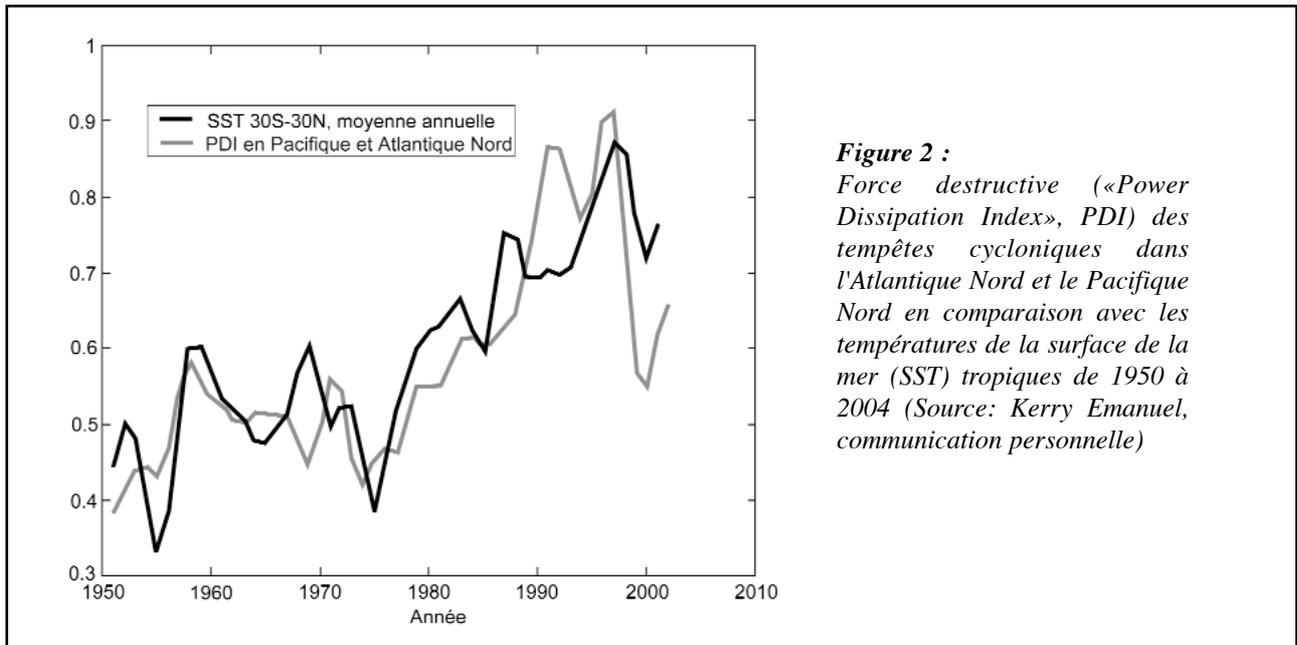
Pour les tempêtes aux latitudes moyennes, les différents modèles du climat fournissent des résultats passablement divergents pour ce qui a trait à l'influence du réchauffement global. En principe, les tempêtes qui traversent l'Europe centrale tirent aussi une grande partie de leur énergie de l'humidité qu'elles ont absorbée au-dessus de l'Atlantique. C'est ce qu'ont clairement montré, par exemple, des reconstitutions de la tempête européenne «Lothar» au moyen de modèles météoro-logiques. Si l'Atlantique se réchauffe, l'offre en énergie pour les tempêtes en Europe augmente aussi.

Les modélisations font apparaître de façon plus ou moins concordante deux tendances de l'évolution future:

- Les trajectoires des zones dépressionnaires se déplacent vers le nord, c'est pourquoi le nombre de tempêtes tend à diminuer en Europe centrale, mais à augmenter en Europe septentrionale.
- Des tempêtes extrêmes sont attendues plus souvent en Europe centrale, vu que le réchauffement de l'Atlantique améliore les conditions pour leur formation.

### Les modèles sous-estiment-ils l'effet du réchauffement?

Même si l'on tient compte d'incertitudes dans les données des tempêtes des années 60 et 70 et de fluctuations naturelles, l'augmentation observée est plus forte que celle prévue par les modèles. Une raison possible pourrait être que la couche d'eau chaude est devenue plus épaisse sous l'effet du réchauffement global et que, pour cette raison, davantage d'énergie est à disposition de la tempête cyclonique, laquelle brasse fortement l'eau de surface. Cela n'est pas pris en compte dans les modèles.



Tant que l'on n'aura pas trouvé une autre cause plausible à l'intensification des tempêtes cycloniques, il faudra considérer que l'effet de serre anthropique a une plus forte influence sur les tempêtes que supposé jusqu'alors. Il semble inquiétant que pour une élévation des températures océaniques de seulement un demi-degré environ, l'augmentation observée soit déjà plus forte que celle calculée par les modèles pour la totalité du 21e siècle. Il est possible après tout que des changements dans la circulation atmosphérique aient une plus forte influence qu'il n'apparaît dans les analyses, car les mécanismes de circulation sont très difficiles à saisir statistiquement.

### **Les dommages ne dépendent pas seulement de l'intensité des tempêtes**

Les dommages causés par des tempêtes cycloniques ont fortement augmenté ces dernières années. Les raisons de cette augmentation ne peuvent toutefois pas être clairement déterminées, car différents facteurs jouent un rôle. D'une part, les dommages augmentent du fait que les activités de construction se sont intensifiées et que la valeur des biens dans les régions côtières menacées a subi une forte croissance. Cette augmentation ne peut pas être distinguée clairement de celle due à des tempêtes plus violentes. D'autre part, les dommages dépendent fortement de la question de savoir si une tempête cyclonique atteint ou non la terre ferme et si elle frappe une région densément peuplée. Les tempêtes suivent des trajectoires qui dépendent à leur tour des courants atmosphériques, or l'on sait peu de chose sur les variations de ces derniers. Le nombre des tempêtes cycloniques touchant la terre ferme est trop petit pour que l'on puisse voir dans les dommages une manifestation du réchauffement global.

### **Personnes de contact pour renseignements:**

Prof. Huw Davies, département des sciences de l'environnement, EPF Zurich, Universitätstrasse 16, 8092 Zurich. Tél. 044 633 35 06, fax: 044 633 10 58  
 e-mail: huw.davies@env.ethz.ch

Dr. Urs Neu, ProClim, Schwarztorstr. 9, 3007 Bern.  
 Tél. 031 328 23 26, fax: 031 328 23 20  
 e-mail: neu@scnat.ch

### **Informations détaillées:**

- <sup>1</sup> P.J. Webster et al., Science, Vol. 309, S. 1844-1846, 2005.
- <sup>2</sup> K.A. Emanuel, Nature, Vol. 436, S. 686-688, 2005.
- <sup>3</sup> C.D. Hoyos et al., Science, Vol. 312, S. 94-97, 2006.
- <sup>4</sup> M.E. Mann and K.A. Emanuel, EOS, Vol. 87, S. 233/238/241, 2006.
- <sup>5</sup> K.E. Trenberth and D.J. Shea, Geophysical Research Letters, Vol. 33, S. L12704, 2006.