

Programme GICC Gestion et Impacts du Changement Climatique
Séminaire scientifique de restitution
11-12 mai 2006, PARIS

**IMPACT DES CHANGEMENTS ANTHROPIQUES SUR LA FRÉQUENCE DES PHÉNOMÈNES
EXTRÊMES DE VENT DE TEMPÉRATURE ET DE PRÉCIPITATIONS (IMFREX)**

Michel Déqué

Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques

Météo-France, le Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique, le Laboratoire de Géographie Physique, Électricité de France, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Médias-France et l'Institut Pierre-Simon Laplace ont associé leurs efforts de 2003 à 2005 pour tenter de répondre à la question de l'impact que pourrait avoir le changement climatique d'origine anthropique sur la fréquence d'un certain nombre de phénomènes extrêmes sur la France métropolitaine et l'Atlantique tropical. Les hypothèses de départ sont le scénario GIEC-A2 et la fin du 21^{ème} siècle telle que simulée par les modèles climatiques régionaux de Météo-France (ARPEGE) et de l'Institut Pierre-Simon Laplace (LMDZ). Les activités de recherches ont été déployées autour de cinq thèmes dont les principaux résultats sont donnés dans ce qui suit.

Constitution du site web

Le produit phare du projet IMFREX est un site web dédié au projet et hébergé par Médias-France. Ce site public est consultable sur <http://medias.cnrs.fr/imfrex/>. Il est encore très fréquenté, notamment par les enseignants, étudiants ou lycéens en quête d'informations et d'illustrations sur le changement climatique en France. Il contient une base de données qui fournit sur requête des valeurs quotidiennes issues des simulations d'ARPEGE. Les données de LMDZ sont accessibles par des requêtes ftp. Pendant la durée du projet, ce site a également permis de délivrer aux partenaires les données quotidiennes de températures, précipitations, vent et neige observées. Des séries quotidiennes de référence (SQR) ont été développées spécifiquement pour le projet IMFREX en ce qui concerne la température et les précipitations. Ces séries ont été utilisées à la fois pour la calibration des modèles de climat et pour l'établissement des diagnostics climatiques sur le 20^{ème} siècle. Les diagrammes calculés à partir de ces séries sont en libre accès sur ce site.

Confrontation des modèles aux observations

Les projections sur la fin du 21^{ème} siècle reposent uniquement sur les modèles numériques ARPEGE et LMDZ. Il est essentiel de connaître leur degré de précision dans la reproduction des phénomènes extrêmes du climat présent. Nous avons étudié la densité de probabilité des précipitations, températures minimales et maximales quotidiennes dans les simulations de référence des modèles. Pour chaque saison, nous avons comparé en chaque point de grille les fréquences observées interpolées sur la grille de chaque modèle. On constate que les erreurs systématiques dépendent de la plage de valeur. Le principal défaut commun aux deux modèles est de sous-estimer la fréquence des précipitations nulles. Par contre, ils sont capables de produire des précipitations intenses réalistes en hiver. Les indices proposés par le projet européen STARDEX ont été utilisés pour synthétiser les propriétés statistiques des séries par des cartes sur la France.

Les indices STARDEX ont également été calculés année par année pour les SQR pour évaluer la tendance observée au cours du 20ème siècle. L'analyse des résultats permet de mettre en évidence que les indices de température vont tous dans le sens d'un réchauffement marqué sur 1951-2000. Des traces d'augmentation de variabilité sont repérées sur les températures maximales. Pour les précipitations, on trouve des évolutions plus contrastées, hormis certains aspects comme l'augmentation de la durée des périodes pluvieuses ou l'augmentation des sécheresses estivales. L'étude des températures moyennes dans les différents DOM-TOM montre un réchauffement significatif dans la plupart des régions sur la période 1976-2003.

Utilisation directe des sorties de modèle

La façon la plus simple d'utiliser les modèles de climat est de considérer directement les valeurs quotidiennes issues des simulations. Il faut toutefois s'affranchir des erreurs systématiques des modèles. Cela se fait de manière triviale quand on considère le climat moyen: on calcule la différence entre la simulation perturbée et la simulation de référence. Pour les fréquences de phénomènes extrêmes, il a fallu développer une approche originale. En utilisant les SQR, nous avons calculé les centiles saisonniers de température (minimale et maximale diurne) et de précipitations. Ces valeurs nous ont permis de mettre en place une méthode de correction des sorties de modèle. Ces corrections ont été appliquées aux séries simulées pour la fin du 21ème siècle par ARPEGE et LMDZ. Les résultats pour ARPEGE montrent que la fréquence de températures minimales inférieures à -5°C devient négligeable dans un changement de climat, tandis que la fréquence de températures maximales supérieures à 35°C est multipliée par un facteur de 5 à 10. La comparaison avec les scénarios produits par LMDZ, moins pessimistes, se fait avec les mêmes indices que ceux utilisés dans la section précédente pour la validation (indices STARDEX). Pour prendre en compte la contribution atmosphérique complète à l'hydrologie de surface, un modèle de routage a été utilisé pour les quatre principaux fleuves français. On trouve en hiver et au printemps une augmentation des débits potentiels élevés. Pour les autres saisons, le scénario d'ARPEGE indique une diminution.

Deux expériences avec des versions d'ARPEGE à haute résolution sur les Antilles ont été analysées afin de déterminer les changements simulés en terme de nombre de trajectoires, nombre de jours et structures des ouragans de l'océan Atlantique tropical. Un logiciel de suivi des dépressions de moyennes latitudes, développé par Météo-France, a été adapté pour les besoins en détection de cyclones. Le calibrage des paramètres du logiciel a été réalisé de manière à obtenir le nombre d'ouragans climatologique. Les deux expériences diffèrent dans la réponse des ouragans: le nombre de trajectoires sur tout le domaine augmente pour la première expérience et diminue pour la seconde. Elles s'accordent néanmoins sur un affaiblissement de l'activité cyclonique sur le golfe du Mexique. Les résultats obtenus par le comptage direct des ouragans sont confirmés par le calcul indirect, fondé sur un indice de cyclogénèse à partir des variables d'environnement. Les précipitations associées aux systèmes cycloniques augmentent dans les deux expériences.

Adaptation statistique des sorties de modèle

Pour certains paramètres, l'utilisation directe de sorties de modèle est impossible, soit parce qu'ils n'existent pas dans le modèle, soit parce qu'ils sont décrits de façon trop grossière et ne peuvent être corrigés par la méthode ci-dessus. On a alors recours à un modèle statistique pour calculer ce paramètre à partir de paramètres plus fiables fournis par le modèle numérique.

La fréquence des coulées de débris est susceptible d'évoluer dans un changement climatique. Une analyse des données de terrain dans le massif des Écrins a permis de construire un modèle statistique de probabilité de déclenchement des coulées de débris à partir de données lithologiques et atmosphériques. En utilisant les sorties ARPEGE et LMDZ pour le climat présent et le scénario, on trouve une diminution de la probabilité de déclenchement des coulées de débris non glaciaires de l'ordre de 30% et une augmentation de même amplitude pour les coulées de débris glaciaires. Cependant localement les variations peuvent être très différentes dans leur nature et leur intensité.

Un modèle statistique de détection de tendance dans les extrêmes a été construit et appliqué aux températures estivales observées (SQR). Il met en évidence une tendance significative sur le 20ème siècle. Des températures centennales peuvent ensuite être estimées en tenant compte de cette tendance. Comparativement, les températures centennales ont été directement évaluées à partir

d'ARPEGE et LMDZ. L'extrapolation des observations permet d'atteindre la fourchette basse des températures centennales simulées par les modèles.

La fréquence des épisodes de neige collante est relativement réaliste en climat actuel simulé par les deux modèles. En climat de fin de 21ème siècle, la tendance est à la diminution de la fréquence du phénomène par rapport à l'actuel, sans changement significatif dans la charge sur les lignes électriques lors de ces épisodes. Pour la charge de neige sur les bâtiments, les valeurs extrêmes sont évaluées à partir des observations au sol des hauteurs de neige maximales mensuelles et des sorties d'ARPEGE. La simulation montre pour la charge de neige des valeurs de retour à 50 ans fortement diminuées dans le scénario et des différenciations régionales atténuées.

Deux méthodes statistiques radicalement différentes ont été utilisées pour estimer les valeurs de retour à 50 ans du vent maximum en surface. L'une s'appuie sur une descente d'échelle du phénomène, l'autre sur une identification des perturbations. Elles s'accordent pour montrer aussi bien avec ARPEGE que LMDZ une légère augmentation dans la partie nord du pays et une diminution faible sur le pourtour méditerranéen.

Utilisation de paramètres de grande échelle

Les méthodes statistiques ci-dessus s'appuient sur une relation locale entre les paramètres issus du modèle numérique et les paramètres d'étude. Une autre approche consiste à considérer l'ensemble des résultats du modèle un jour donné sur un grand domaine comme un tout, que l'on caractérise par l'appartenance à un régime de temps. On passe ensuite au paramètre d'étude en considérant les caractéristiques de ce paramètre dans les situations observées de ce régime de temps. L'outil de base de ces méthodes est la classification automatique.

La réanalyse ERA40 a été utilisée pour classer automatiquement les régimes de temps sur le domaine Europe-Atlantique à partir des champs quotidiens de géopotential à 500 hPa. Ces régimes ont été associés à des extrêmes sur la France. Pour l'hiver nous avons considéré les épisodes de jours très froids et les fortes précipitations ; pour l'été nous avons considéré les jours très chauds. On observe dans le scénario en hiver une augmentation de la fréquence relative de deux régimes (zonal et blocage), et une chute d'un troisième (anticyclone Groenlandais). En été, on observe une très forte hausse du régime blocage. Il en résulte qu'en hiver le risque des jours très froids diminue en général dans le pays. La probabilité des fortes précipitations diminue dans le sud, à exception de la région Languedoc-Roussillon. En été, l'augmentation de la fréquence des régimes blocage et zonal entraîne une hausse de la probabilité de températures très élevées.

Cette classification est également utilisée pour les tempêtes. L'algorithme de Météo-France de suivi automatique de systèmes dépressionnaire a été adapté à ERA40. La distribution des événements tempétueux et de leurs caractéristiques comme l'intensité ou la vitesse est calculée en fonction des régimes de temps. A partir de l'évolution des fréquences des régimes dans le scénario d'ARPEGE, il ressort de cette étude une augmentation modérée du risque de tempêtes sur la partie nord de la France. Aucun impact n'est décelable pour les fortes tempêtes touchant la moitié sud du pays, l'ensemble des systèmes ayant même tendance à voir une diminution de fréquence.