

Programme Gestion et Impacts du Changement climatiques GICC

APR 2002

4/02 - Impacts des changements anthropiques sur la fréquence des phénomènes extrêmes de vent, de température et de précipitations

Résumé du rapport final

Coordinateur : Michel Déqué, MétéoFrance

Partenaires

P1 Météo-France

P5 Centre Scientifique et Technique du
Bâtiment

P2 Centre Européen de Recherche et Formation
Avancée en Calcul Scientifique

P6 Médias-France

P3 Laboratoire de Géographie Physique

P7 Institut Pierre-Simon Laplace

P4 EDF/ Recherche et Développement

Volet 1: constitution de la base de données (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7)

Le produit principal d'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 contient une base de données susceptible de fournir sur requête des données quotidiennes issues des simulations de Météo-France. Un serveur ftp propose les données des scénarios de l'IPSL. Pendant la durée du projet, ce serveur 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 20ème siècle.

Volet 2: validation des modèles (P1, P7)

Nous avons étudié la densité de probabilité des précipitations, températures minimales et maximales quotidiennes dans les simulations de référence des modèles ARPEGE et LMDZ. 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 indices 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.

Volet 3: approche directe des sorties de modèle (P1,P7)

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 nord. 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 réalisée de manière à obtenir le nombre d'ouragans climatologique. Les deux expériences diffèrent dans la réponse des ouragans au scénario d'augmentation des GES: le nombre total de trajectoires 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 le scénario pour les deux expériences.

Volet 4: approche statistique (P3,P4,P5)

La fréquence des coulées de débris ou *debris flows* (*df*) 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 *df* 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 *df* non glaciaires de l'ordre de 30% et une augmentation de même amplitude pour les *df* 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 significative. 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 des valeurs cinquanteennes de charge fortement diminuées dans le scénario et des différenciations régionales atténuées.

Deux méthodes statistiques radicalement différentes ont été utilisées pour estimer les valeurs de retour cinquanteennes 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.

Volet 5: approche dynamique (P1,P2)

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 fréquence 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.

Extended abstract

Workpackage 1: database

The main outcome of IMFREX is a web site dedicated to the project and hosted by Médias-France. This public site is accessible at <http://medias.cnrs.fr/imfrex/>. It contains a database that can provide upon request daily data from Météo-France simulations. An ftp server provides data from IPSL scenarios. During the project, this server has been used for delivering to the partners daily data of temperature, precipitation, wind and snow from observations. Daily reference series (SQR) have been prepared for the IMFREX project. They concern temperature and precipitation. These series have been used both for model calibration and for climate diagnostics about 20th century trends.

Workpackage 2: model validation

We have studied probability density functions for precipitation, daily minimum and maximum temperature in reference simulations with ARPEGE and LMDZ models. For each season, at each grid point, we have compared model frequencies with interpolated observed frequencies. It appears that systematic errors depend on the range of the variables. The main default consists of underestimating the frequency of dry days. On the other hand, they are able to produce realistic heavy rainfall in winter. Indices proposed by the European project STARDEX have been used to synthesize statistical properties through charts over France.

STARDEX indices have been also calculated year by year with SQR data to estimate trends over France. Analyzing the indices emphasizes the systematic increase of all temperature-related indices in the 1951-2000 period. A weak trend in variability is found with maximum temperature. As far as precipitation is concerned, less systematic trends are found, except an increase in rain duration or in summer droughts. In overseas French regions temperature significantly increases during 1976-2003.

Workpackage 3: direct approach

Using SQR data, we have computed seasonal quantiles for temperature (daily minimum and maximum) and precipitation. These values have permitted to carry out a correction method for model output. Simulated series for the end of the 21st century by ARPEGE and LMDZ have been corrected with this method. ARPEGE results show that the frequency of minimum temperature below -5°C becomes negligible in a changed climate, whereas the frequency of maximum temperature above 35°C is multiplied by 5 to 10. A comparison with less pessimistic scenarios produced by LMDZ is done with the same indices as in last section (STARDEX indices). In order to better take into account

the atmospheric contribution to surface hydrology, a routing scheme has been used for the four major French rivers. We find an increase in the upper quantiles of potential river run-off in winter and spring. During the other seasons, ARPEGE scenario shows a decrease.

Two experiments with versions of ARPEGE at high resolution over the West Indies have been analyzed in order to evaluate the simulated changes as far as the number of hurricanes (days and trajectories) are concerned in the tropical Atlantic. A software for midlatitude storm tracking, developed at Météo-France, has been adapted for tropical cyclones. The parameters have been tuned so that the average number of hurricanes is the same as observed. The two experiments produce a different response to an increase in greenhouse gas concentration: the total number of trajectories increases in the first one, decreases in the second one. However they agree in simulating a reduction in the Gulf of Mexico. Results obtained by direct counting of hurricanes agree with an indirect counting, based on a cyclogenesis index using large-scale variables. Precipitation inside the hurricanes increases in both scenario experiments.

Workpackage 4: statistical approach

The frequency of debris flows is expected to evolve in a changed climate. An analysis of terrain data in Écrins mountains (French Alps) has enabled to build up a statistical model of probability for debris flow triggering, based on lithologic and atmospheric data. Using ARPEGE and LMDZ output for present climate and scenario shows a decrease in triggering probability for non-glacier debris flows by 30%, and a similar increase for glacier ones. However strong local variations are found in the responses.

A non-stationary statistical model for summer extreme temperature distribution in the observations has been built up from SQR data. It shows a trend along the 20th century and allows to extrapolate centennial values for the 21st century. Direct estimates have been obtained with ARPEGE and LMDZ. Values extrapolated from observations agree with the lower estimates obtained with the models.

The frequency of wet snow events is rather realistic for present climate as simulated by both models. In the scenario, the frequency of such events is reduced, without significant change in the snow amount on the electric lines during the episodes. Extremes of snow amount over buildings are evaluated using monthly observed values and ARPEGE output. Simulation shows that 50-year return values decrease strongly in the scenario, with a reduced geographical spread.

Two completely different statistical methods have been developed to estimate the 50-year return values of surface maximum wind. The first one uses a downscaling of the wind field, the second one is based on storm identification. Both show, with ARPEGE as well as with LMDZ, a slight increase of wind velocity in the northern part of France and a weak decrease along the Mediterranean coast.

Workpackage 5: dynamical approach

The ERA40 reanalysis has been used to cluster weather regimes in the Europe-Atlantic domain, from daily 500 hPa height fields. These regimes have been linked to extreme phenomena over France. In winter, we have studied very cold days and extreme precipitations; in summer we have studied hot days. In the scenario, two regimes show an increased frequency (zonal and blocking), whereas a third one decreases (Greenland anticyclone). In summer, the blocking regime increases strongly. As a consequence, The very cold days decrease all over the country. Probability for heavy winter precipitation in the South decreases, except in Languedoc-Roussillon. In summer, the increase in frequency of blocking and zonal regimes produces an enhanced probability for heat waves.

This clustering has also been used for storm frequency. The Météo-France storm tracking algorithm has been adapted for ERA40 data. The storm frequency, intensity and spread have been evaluated for each weather regime. Using the trend in regime frequency as calculated by ARPEGE, it comes that the storms are increasing in the scenario for the northern part of France. In the southern part, no significant change is observed in the strongest storms, and the total number of storms decreases slightly.