

LE CLIMAT : COMPRENDRE LE CLIMAT PASSÉ ET FUTUR

Le climat est un domaine central des activités de Météo-France. Il existe en effet un continuum depuis la prévision de court terme jusqu'à la recherche sur les climats futurs. Les outils mobilisés en termes de compréhension et de modélisation procèdent de la même démarche intellectuelle. L'analyse des climats passés est indispensable à la prévision. L'étude des climats futurs mobilise les ressources de modélisation également utiles à la prévision à moyenne échéance.

Météo-France vise ainsi à toujours mieux caractériser les climats passés, à améliorer la compréhension des évolutions et de leurs impacts à l'échelle des territoires, à réduire les incertitudes sur les scénarios climatiques et à participer aux études sur l'adaptation.

LA MÉMOIRE DU CLIMAT

- ▶ Le réseau d'observation et les bases de données
- ▶ Le développement des techniques d'analyse
- ▶ Les évolutions du climat à l'échelle des territoires

Avec le développement des études sur le changement climatique, la mission de mémoire du climat de l'établissement s'est élargie. Au-delà du souci de conservation des données, il s'agit de disposer d'une capacité de caractérisation climatologique des événements marquants du climat et de son évolution à l'échelle des régions de France.

Le réseau d'observation et les bases de données

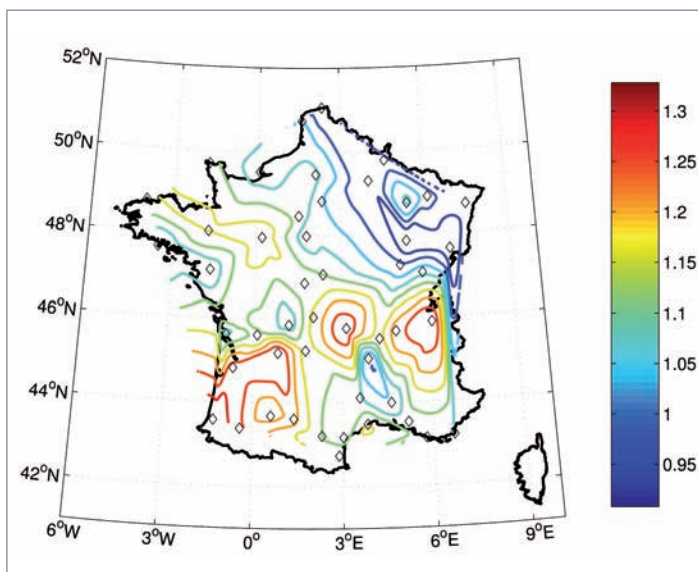
Un travail de collecte et de numérisation des données anciennes est en cours pour

enrichir la base nationale de données climatologiques. Cette action de longue haleine nécessite d'associer tous les acteurs locaux, nationaux et étrangers qui détiennent des archives, aux efforts de recherche, de récupération et de préservation du patrimoine climatologique français.

En 2009, une collaboration a ainsi été entreprise avec le service météorologique allemand (Deutscher Wetterdienst) pour retrouver des observations faites sur le territoire français pendant les guerres mondiales et non répertoriées dans nos archives. Des travaux ont également été initiés avec le Service historique de la défense.

Plusieurs actions ont été menées pour assurer la modernisation des réseaux d'observation et mieux répondre aux besoins. La densité cible des stations sur le territoire permettant de disposer d'une observation optimisée a été précisée. Une attention particulière a été prêtée à la préservation des « longues séries de données climatiques », séries pour lesquelles aucune interruption significative n'est à noter sur plus de 50 ans de mesures. Une analyse de qualité de certains pluviomètres a permis de corriger certains biais observés dans les mesures. L'ensemble de ces actions concourt à une meilleure maîtrise de la qualité du réseau d'observation.

Distribution spatiale du changement de la température annuelle moyenne entre 1900 et 2006.



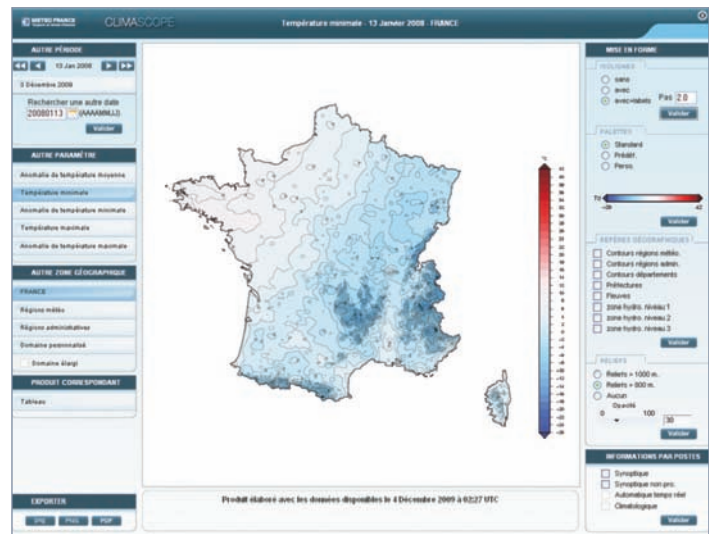
Le développement des techniques d'analyse

Pour mieux distinguer le signal climatique des perturbations liées aux changements des conditions de mesure, en 2009 Météo-France a amélioré ses techniques d'homogénéisation des séries temporelles. L'homogénéisation au pas de temps quotidien a ainsi permis d'étudier l'impact de l'urbanisation sur la mesure de la température (étude sur la ville de Vienne) et d'analyser les variations fines de ce paramètre.

Des méthodes statistiques de détection des changements climatiques à l'échelle régionale ont été développées. Appliquées aux jeux de données homogénéisées de températures et de précipitations, elles ont mis en évidence une évolution significative des températures saisonnières et annuelles sur la métropole. Elles ont ainsi permis de confirmer le réchauffement général et de dessiner sa signature spatiale. Ces travaux sont maintenant poursuivis en portant une attention toute particulière au bassin méditerranéen.

Météo-France a également entrepris de réaliser des séries temporelles de précipitations spatialisées à partir des observations de ses radars météorologiques. Les caractéristiques techniques des radars et du traitement des données ayant changé au fil des décennies, il était nécessaire d'opérer à partir des signaux bruts. La profondeur temporelle traitée est, pour l'instant, relativement courte. Mais ces séries seront enrichies au fil des années et devraient fournir des informations précieuses pour évaluer l'impact du réchauffement climatique sur les précipitations et sur les ressources en eau.

Les techniques de « réanalyse » de situations météorologiques passées constituent un autre outil précieux. Elles consistent à utiliser les outils actuels de la prévision numérique en les appliquant aux données anciennes. Cela permet d'obtenir une vision intégrée de l'évolution des paramètres climatiques pour les



Le Climascope, un nouvel outil au service des prévisionnistes et des climatologues.

périodes anciennes. L'étude de réanalyses d'échelle régionale, dont la résolution spatiale ne dépasse pas quelques kilomètres, sera notamment menée dans le cadre du programme de recherche européens Euro4M qui débutera en 2010. Météo-France y traitera les aspects liés aux variables de surface.

En 2009, le « Climascope », un nouvel outil d'aide aux climatologues et prévisionnistes est devenu opérationnel. Il permet, en temps quasi réel, d'obtenir un diagnostic sur les situations passées et de comparer les événements entre eux, ou de les situer par rapport aux références climatologiques. Il garantit la cohérence de l'analyse menée aux différentes échelles du territoire pour les diagnostics sur la température et les précipitations.

Les évolutions du climat à l'échelle des territoires

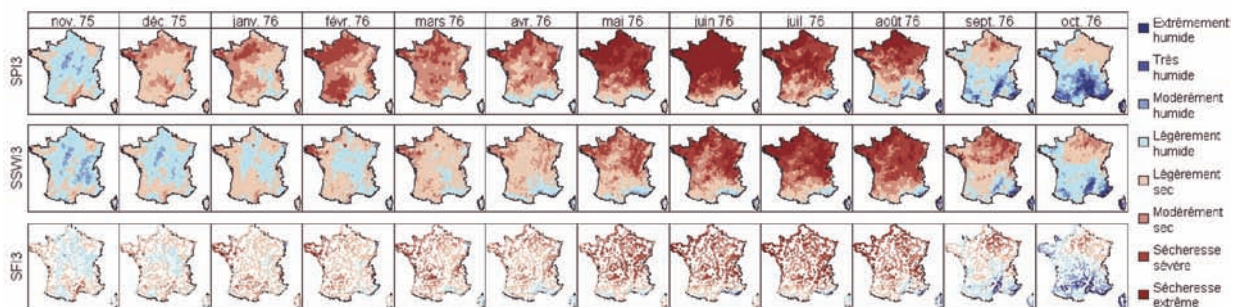
L'analyse des archives a permis d'étudier les crues catastrophiques de l'Isère en octobre et novembre 1859 en collaboration avec l'Institut national polytechnique de Grenoble (INPG), le Cemagerf et EDF, et avec le soutien du Pôle grenoblois des risques naturels. Après avoir recherché des relevés d'observation dans les archives locales et

dans ses propres archives, Météo-France a pu reconstituer l'enchaînement des facteurs météorologiques. Une référence documentée est maintenant disponible pour caractériser la situation, tant du point de vue météorologique qu'hydrologique. Ce travail vient enrichir la compréhension des événements de crues.

Dans le cadre de la prévention contre les catastrophes naturelles, une climatologie des sécheresses passées a été reconstituée sur une période de 50 ans. À l'aide de la chaîne d'outils d'analyse et de modélisation Safran-Isba-Modcou, les évolutions des précipitations, du contenu en eau des sols en métropole et du débit des cours d'eau ont pu être représentées sur un maillage de 8 km. Ce jeu de données permettra en

particulier de qualifier les futurs épisodes de sécheresse par une référence rigoureuse à la climatologie.

Caractérisation des sécheresses en France pendant la période 1958-2008



Pour répondre aux attentes des acteurs de l'eau (alimentation en eau potable, irrigation, hydroélectricité, etc.) le suivi des ressources en eau requiert l'utilisation d'indices décrivant l'intensité des sécheresses météorologiques, agricoles et hydrologiques. En utilisant la chaîne d'outils d'analyse et de modélisation Safran-Isba-Modcou (SIM), Météo-France propose une analyse rétrospective de ces événements depuis 1958. Les sécheresses météorologiques sont caractérisées par le Standardized Precipitation Index (SPI). Les sécheresses agricoles et hydrologiques sont identifiées en appliquant aux variables d'humidité du sol et de débit une méthode de standardisation par rapport au climat local. Cette approche permet d'appréhender de manière cohérente la propagation des sécheresses à travers le cycle hydrologique. Les spécificités régionales, à différentes échelles de temps et à différents niveaux du cycle hydrologique, ont été analysées à partir de 50 ans de données portant sur le nombre, la durée et la sévérité des événements de sécheresse. À titre d'exemple, la figure jointe montre l'évolution de la sécheresse de 1976 en termes de précipitations (haut), humidité du sol (milieu) et débits des rivières (bas).

LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES FUTURS ET TRAVAUX DANS LE CADRE DU GIEC

- ▶ Vers des modèles de simulation plus performants
- ▶ L'analyse des scénarios climatiques

En 2009, Météo-France a poursuivi les études entreprises pour améliorer la compréhension des évolutions climatiques et de leurs impacts au niveau mondial. Les travaux sont conduits au sein du CNRM-Game (Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique), unité de recherche associée au CNRS, et bénéficient du soutien de cet organisme. L'établissement reste ainsi un contributeur majeur aux travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) et à la préparation de son 5^e rapport d'évaluation. Des discussions avec l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL) ont également été initiées en vue d'améliorer la collaboration sur l'infrastructure de modélisation.

Vers des modèles de simulation plus performants

L'année a été consacrée en grande partie à la mise au point d'une nouvelle version du modèle du Système Terre du CNRM-Game, répondant aux critères de plus en plus exigeants du Giec. Compte tenu de la complexité des modèles pris en compte et de leurs interactions, cela a induit un important travail de mise à jour. Parmi les principales évolutions, on peut relever notamment :

- un doublement de la résolution spatiale utilisée dans le modèle Arpège-Climat pour représenter l'atmosphère ;

- la prise en compte de la dernière version du code de rayonnement du centre européen de prévision (CEPMMT) et d'une représentation plus réaliste du mélange vertical dû à la turbulence de basses couches et aux nuages convectifs ;

- le couplage, grâce au système Oasis mis au point au Cerfacs, du modèle Arpège-Climat avec la troisième version du modèle Nemo du CNRS. Ce modèle d'océan est mis en œuvre avec une résolution spatiale de 1 degré et dans une configuration développée par le National Oceanographic Centre de Southampton et le CEPMMT ;

- la prise en compte du modèle de glace de mer, Gelato, développé à Météo-France ;

- le recalibrage de l'effet indirect des aérosols sulfatés pour une approche plus réaliste ;

- une meilleure représentation de l'impact des éruptions volcaniques sur la stratosphère grâce à une comparaison avec des observations et avec les résultats d'autres modèles dans le cadre de l'atelier international d'inter-comparaisons CCMVAL (Chemistry Climate Model VALidation).

Un des progrès marquants constatés sur cette nouvelle version du modèle est une très nette amélioration de la représentation de la



Qeqertaq au Groenland.

Différence de la température (°C) de l'air à la surface de la Terre entre la fin et le début du XXI^e siècle, simulée par les modèles de l'IPSL (à gauche) et du CNRM (à droite), en considérant le scénario SRES-A2 pour l'évolution des concentrations des gaz à effet de serre.

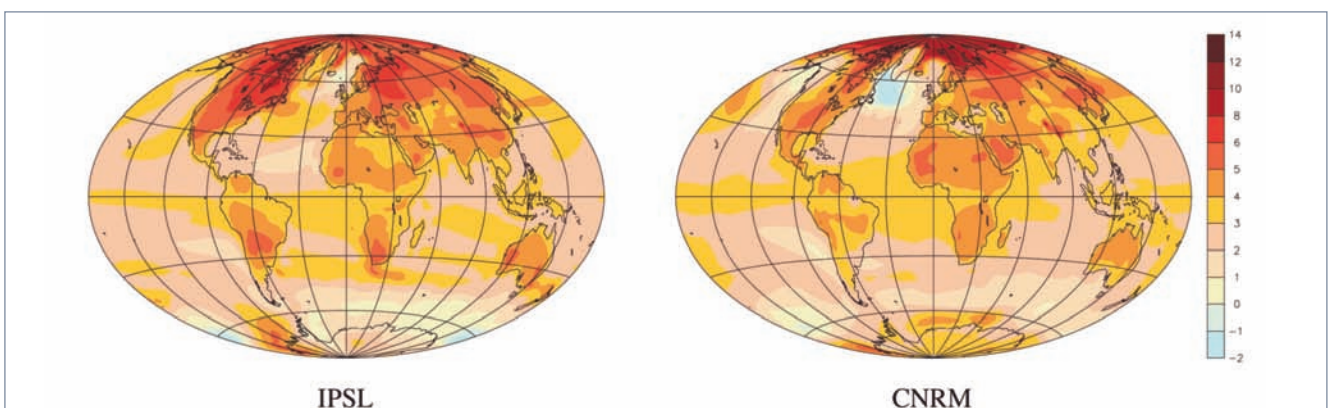
banquise de l'océan Arctique, obtenue grâce à une meilleure prise en compte de la circulation atmosphérique. Par ailleurs, le phénomène El Niño et son impact sur la mousson africaine sont désormais bien mieux simulés.

D'autres exercices de validation ont été conduits, notamment sur les paléoclimats. Trois simulations de l'Eemien, sur une

période de 300 ans, ont ainsi été réalisées pour évaluer l'impact climatique des paramètres astronomiques sur le climat du Groenland, et de l'altitude de la calotte groenlandaise (incertaine à cette époque) sur le climat de l'Atlantique Nord. Les périodes 126 ka (période chaude de l'Eemien), avec et sans Groenland, et 115 ka (entrée en glaciation) ont été simulées. Enfin, une nouvelle simulation du dernier maximum glaciaire a été effectuée dans le cadre de l'exercice d'inter-comparaisons PMIP2 (Palaeoclimate Model Intercomparison Project).

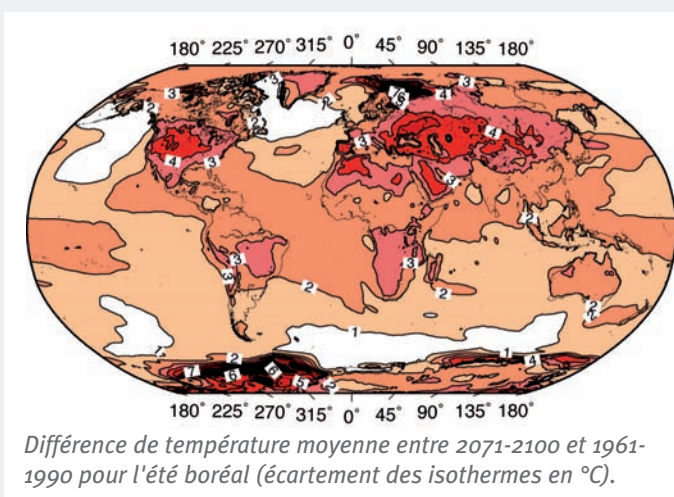
L'analyse des scénarios climatiques

Cette année, Météo-France a préparé les scénarios climatiques globaux qui seront transmis au Giec en 2010. L'ensemble des résultats, produits par tous les laboratoires contribuant au Giec, sera ensuite analysé au cours de l'année 2011 en étudiant notamment les convergences et les divergences entre les différents modèles. Ces travaux constituent la base de l'estimation des incertitudes sur les projections. Ils sont conduits, comme lors du précédent exercice, en coordination avec l'Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL), afin d'éviter une duplication des efforts au niveau national. En 2010, le Cerfacs produira les simulations décennales pour le rapport du Giec avec le même modèle du Système Terre que



Un scénario climatique à haute résolution pour la Terre

Depuis que les calculateurs numériques sont utilisés pour simuler l'atmosphère, le choix de la résolution horizontale a toujours été une question cruciale. Plus la résolution est forte, plus la simulation est précise, mais plus elle nécessite une puissance de calcul importante. Ainsi, une meilleure représentation des océans et des massifs montagneux a évidemment un fort impact sur le réalisme des simulations climatiques. Mais, dans ce domaine, la capacité du modèle à représenter certains phénomènes-clés de la dynamique de l'atmosphère, comme les cyclones tropicaux, les tempêtes ou les fronts, est encore beaucoup plus importante. En effet, dans un fluide, les échelles de mouvement interagissent de manière non-linéaire. L'absence de représentation de certains détails de petite échelle contamine progressivement les grandes échelles, ce qui dégrade l'ensemble de la simulation. Grâce au modèle Arpège-Climat étiré, Météo-France disposait d'une représentation précise du relief, mais souffrait d'une représentation imparfaite des mouvements de petite échelle. L'arrivée récente du calculateur NEC-SX9 a ouvert la voie à une simulation de 150 ans avec une résolution horizontale uniforme de 50 km. La figure montre les résultats obtenus pour la distribution des températures en été à la fin du XXI^e siècle. Des progrès sont toutefois encore nécessaires et dépendent des futures capacités de calcul disponibles.



Météo-France. Les résultats de ces simulations seront alors analysés en commun afin de préciser la prévisibilité de certains paramètres aux échéances décennales, un résultat très attendu pour le développement des services climatiques.

Désormais, les travaux portent également sur l'analyse des scénarios régionalisés « forcés » par les scénarios globaux. Cette orientation est à la base de l'exercice Cordex dans lequel Météo-France joue un rôle de leader. Les premières simulations porteront en priorité sur l'Afrique et la Méditerranée, régions déjà fortement étudiées par l'établissement.

Le développement du modèle de Système Terre est également poursuivi en liaison avec des objectifs au-delà du 5^e rapport du Giec. La représentation du cycle du carbone dans le sol

et la végétation et celle des échanges de carbone entre l'océan et l'atmosphère sont en bonne voie. Les premiers tests incluant une végétation « dynamique » (i.e. répondant à la concentration atmosphérique en CO₂) ont été effectués. La représentation de la cryosphère fait l'objet de travaux, comme la prise en compte plus réaliste des caractéristiques physiques de la neige au sol (albédo, densité, stratification). Les modèles de calottes glaciaires développés au Laboratoire de glaciologie et de géophysique de l'environnement ont été évalués en vue d'une insertion dans le modèle couplé. Enfin, la prise en compte de l'interaction chimie-climat progresse, avec des travaux sur le transport des aérosols sulfatés et le début d'un couplage interactif du code Mocage dans Arpège-Climat.