

Climat et changement climatique

Au cours de l'année 2008, après l'effervescence qui a suivi la remise du 4^e rapport du Giec, la mobilisation sur les questions climatiques n'a pas faibli, alimentée par une forte croissance du nombre de sollicitations pour réaliser ou accompagner des études d'impact sur nos territoires, nos économies ou notre environnement. L'établissement s'est organisé pour apporter des réponses toujours plus adaptées aux besoins des différentes communautés.

En parallèle, les actions de fond ont été renforcées pour améliorer le diagnostic porté sur les évolutions passées du climat (sauvetage de données, reconstitution de séries, étude d'épisodes extrêmes,...), compléter notre compréhension des mécanismes intimes de son fonctionnement et affiner les modèles numériques employés pour étudier ses évolutions futures. Une réflexion a aussi été engagée sur une amélioration des réseaux d'observation du climat, tenant compte des besoins nouveaux et de la politique de développement durable impulsée au plan national.

De nouveaux produits et services ont été développés pendant cette période. Des simulations régionalisées ont permis l'élaboration de fiches thématiques relatives aux impacts, aux pistes d'adaptation et aux acteurs concernés. L'accent a été mis sur l'accompagnement et l'information des acteurs – depuis les bureaux d'études jusqu'aux décideurs – parfois peu familiers des questions et techniques climatiques.

L'anticipation à un horizon de quelques mois pouvant fournir des éléments de décision utiles à de nombreuses activités sensibles aux paramètres météorologiques, la prévision saisonnière a fait l'objet d'une attention particulière et de nombreuses collaborations dans des régions aussi variées que l'Europe de l'Ouest, l'Afrique ou la région Pacifique. Toutes ces actions, comme la plupart de celles illustrées dans ce chapitre, ont été menées en collaboration et avec le soutien de partenaires toujours plus actifs et mobilisés eux aussi sur les enjeux du changement climatique, de l'adaptation et de la prévention des risques associés.

Une climatologie fine du rayonnement solaire

La répartition spatiale du rayonnement global est une information importante pour optimiser l'aménagement du territoire, limiter la consommation énergétique des bâtiments et développer l'utilisation d'énergies renouvelables. En métropole, une bonne représentation de cette répartition a pu être réalisée en combinant les données d'une centaine de stations équipées de pyranomètres et celles obtenues, suivant une méthode dite Ajonc, à partir des mesures effectuées depuis le satellite *Meteosat*. Ces informations, homogènes sur la période juin 1996 à mai 2006, ont permis d'établir une climatologie en points de grille du rayonne-

ment global aux pas de temps décennaire, mensuel et annuel, avec une très haute résolution spatiale. Les moyennes décennaires ont été calculées en interpolant les données sur une grille à maille régulière de 1 km, couvrant le territoire. Les données mensuelles et annuelles ont été obtenues par cumul des valeurs décennaires. Ces produits, conservés dans une base de données nationale, sont maintenant disponibles pour tous travaux nécessitant une connaissance climatologique précise de l'ensoleillement : qu'il s'agisse de l'installation de centrales photovoltaïques ou d'études d'impacts du changement climatique. 1

El Niño et l'activité orageuse en Polynésie

L'influence du Niño est forte sur tout le territoire de la Polynésie française : en phase chaude, la fréquence des cyclones augmente, les précipitations sont plus importantes sur l'archipel des Marquises et moindres sur celui des Australes ; en phase froide, les alizés s'intensifient et la fréquence des orages augmente, plus particulièrement sur l'archipel de la Société. Son impact sur la variabilité du climat global impose d'approfondir la compréhension des mécanismes associés, intérêt renforcé dans un contexte d'évolution climatique. La position du thalweg supérieur polynésien (TSUP) ayant depuis longtemps été repérée comme un bon traceur de l'activité orageuse en Polynésie, des réanalyses de situations météorologiques ont été effectuées à partir de plusieurs modèles pour établir une relation entre cette position et les différentes phases de l'Enso (El Niño - oscillation australe). Les résultats ont été présentés à Moorea en avril 2008, à l'occasion d'un atelier ayant pour objectif la reconstitution des chronologies de l'Enso au cours des cinq cents dernières années et l'évaluation des différentes séries et indices existants sur la variabilité du Pacifique tropical. Ces études seront poursuivies en 2009. 3

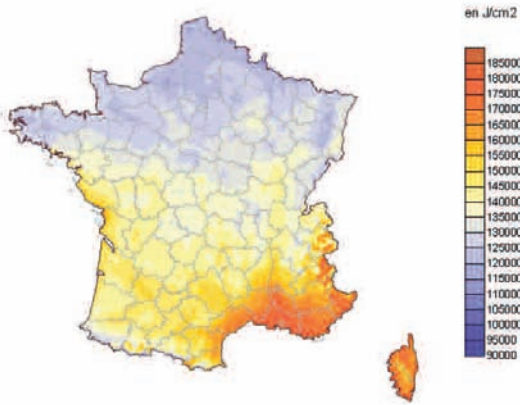
Les conditions associées aux grandes crues de l'Isère

Les crues de l'Isère constituent une préoccupation majeure pour le bassin grenoblois du fait de l'étendue et de la gravité des dommages qu'elles provoquent. De grands aménagements ont été réalisés tout au long de ce cours d'eau, ou sont en voie de l'être, en prenant pour référence la crue des 31 octobre et 1^{er} novembre 1859. Si les effets d'une crue (hauteurs d'eau, superficies inondées, dommages constatés...) sont faciles à observer, ses causes ne sont pas toujours bien comprises. La recherche de données anciennes – champs de pression, précipitations, températures et vent – a constitué la première étape du projet, soutenu par le Pôle grenoblois des risques

naturels. Il s'agissait tout d'abord de préciser les conditions hydrométéorologiques de la fin du mois d'octobre 1859 qui ont été associées à cette crue mémorable. Des situations analogues seront ensuite recherchées dans un passé plus récent. Le Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (LTHE), le Cemagref, EDF et Météo-France se sont associés dans cette étude emblématique des efforts menés en hydroclimatologie pour reconstituer les crues du passé, prédéterminer celles qui pourraient survenir et envisager les possibles impacts des évolutions climatiques futures. 2

1

RAYONNEMENT GLOBAL - Printemps
Période 1997-2006



▲ Rayonnement global moyen (en joules par cm²) enregistré pendant les printemps de la période 1997-2006.

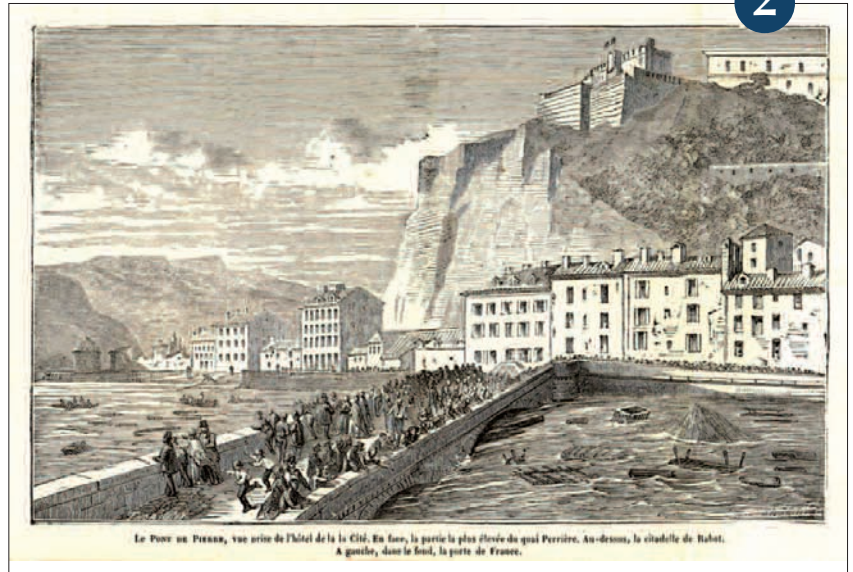
Des scénarios climatiques régionalisés sur mesure

Après avoir contribué à l'étude des scénarios globaux qui ont servi de base au dernier rapport du Giec, Météo-France a poursuivi l'étude des impacts climatiques futurs à une échelle régionale. Des scénarios à haute résolution (50 km) ont ainsi été produits sur la France métropolitaine pour la période 1950-2100, à l'aide du modèle Arpège-climat à maille variable. Un traitement statistique a ensuite été appliqué pour calibrer les sorties du modèle à l'aune des observations réalisées sur la période 1971-2000. Régulièrement sollicité pour des demandes variées d'adaptation au changement climatique et pour l'élaboration de plans climat mis en place par les collectivités territoriales, l'établissement s'est engagé avec le Cerfacs dans une démarche de mise à disposition de données : diagnostics issus d'observations, résultats obtenus pour différentes hypothèses d'émission de gaz à effet de serre par une série de modèles climatiques régionaux ou à partir de méthodes de descente d'échelle. Cette panoplie permet en particulier d'évaluer les différentes sources d'incertitude relevant des scénarios socio-économiques ou des simulations numériques.

Les séries quotidiennes ont permis de contribuer à plusieurs études comme celles concernant l'impact des évolutions climatiques sur l'agronomie dans douze stations de l'Inra, au

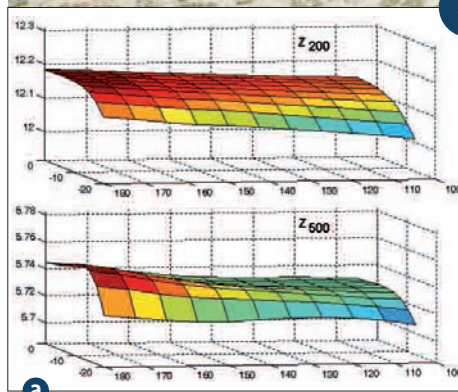
Le pont de Pierre pendant une crue de l'Isère. Illustration tirée de « Grenoble inondé », J.-J.-A. Pilot, Bibliothèque dauphinoise.

2



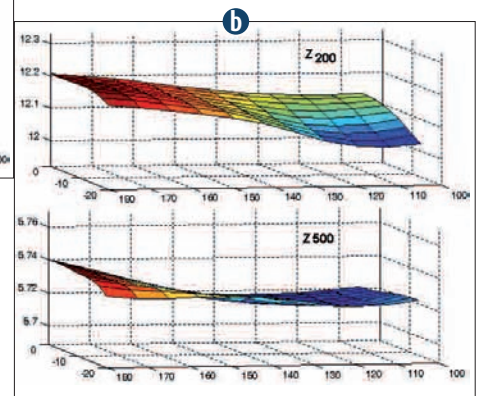
3

▲ Les participants au colloque de Moorea pour la reconstitution des chronologies de l'Enso au cours des cinq cents dernières années, en avril 2008.



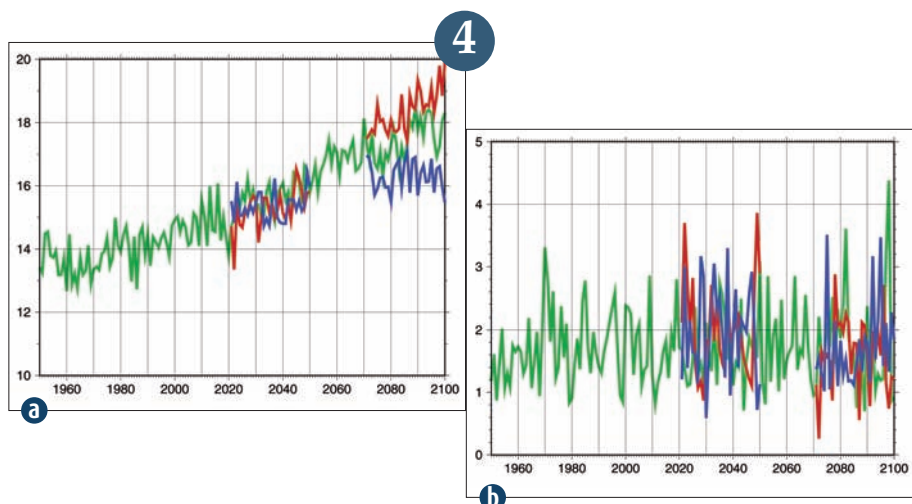
a

▲ Analyse de l'altitude atteinte par les surfaces isobares 200 hPa et 500 hPa en saison chaude (a) et en saison froide (b) pour caractériser le thalweg supérieur polynésien (TSUP). ▶



b

► Séries de températures (en °C, à gauche) et de précipitations (en mm/jour, à droite) annuelles, prévues d'après les simulations du modèle régional Arpège-climat, pour la station Inra d'Avignon selon les scénarios A1B (vert), A2 (rouge) et B1 (bleu) du Giec.



sein du projet Climator financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR), ou sur l'hydrologie des bassins Seine et Somme, dans le cadre du projet Rexhyss soutenu par le programme de recherche Gestion et impacts du changement climatique(GICC).

Les actions menées en 2008 seront consolidées en collaboration avec d'autres partenaires de la communauté d'étude du climat. Les distributions de séries quotidiennes corrigées pour des paramètres comme les températures minimales et maximales, les précipitations ou le vent maximal seront utilisées pour d'autres études.

4

Sur l'agglomération parisienne

Le projet Épicea (Étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne) a pour objectifs d'évaluer la vulnérabilité d'une grande agglomération à une évolution du climat urbain, dans la perspective du changement climatique, et d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement d'un territoire et le climat qui en résulte.

Ce projet entre ainsi dans la stratégie d'adaptation et contribue au Plan climat de la ville de Paris. Il s'appuie à la fois sur les compétences de Météo-France dans les domaines de la météorologie urbaine et des projections climatiques, et sur celles du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) en matière de fonctionnement du cadre bâti et de maîtrise des contraintes techniques applicables aux bâtiments.

Dans un premier temps, le climat parisien a été simulé suivant diverses projections climatiques régionalisées pour évaluer sa probable évolution au cours du XXI^e siècle. Une simulation à forte résolution (250 m) de l'épisode caniculaire de 2003 devrait permettre d'analyser les paramètres (répartition des immeubles, des avenues et des espaces verts, matériaux utilisés,...) impactant le plus les conditions météorologiques urbaines en période de canicule et d'identifier des leviers d'actions dans une optique d'adaptation.

5

Sur la région Poitou-Charentes

Météo-France a été sollicité pour apporter son expertise dans le cadre d'une étude prospective sur les impacts potentiels du changement climatique en région Poitou-Charentes.

Le climat sur la région, aux échéances 2030, 2050 et 2080, a été simulé avec le modèle Arpège-Climat, dans le cas de trois des scénarios sociaux-économiques retenus par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) : les scénarios A2, B1 et A1B. Ces scénarios permettent de caractériser aussi bien un monde futur très hétérogène, autosuffisant, préservant les identités locales et dans lequel la population mondiale serait en accroissement continu (scénario A2), qu'un monde où la population mondiale atteindrait un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite, dans lequel la croissance éco-

nomique serait très rapide, et qui ne privilégierait aucune source d'énergie (scénario A1B) ou au contraire qui rechercherait des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale (scénario B1).

L'étude s'est fondée sur l'utilisation d'indicateurs annuels ou saisonniers : températures moyennes saisonnières, nombre de jours de gel ou de précipitations, degrés jours unifiés (DJU climatisation), nombre de jours de vigilance canicule, etc. Une recherche de climats analogues à ceux qui ont été simulés a également donné des résultats intéressants, permettant de renforcer la perception par les commanditaires des impacts possibles du changement climatique sur leur territoire.

6

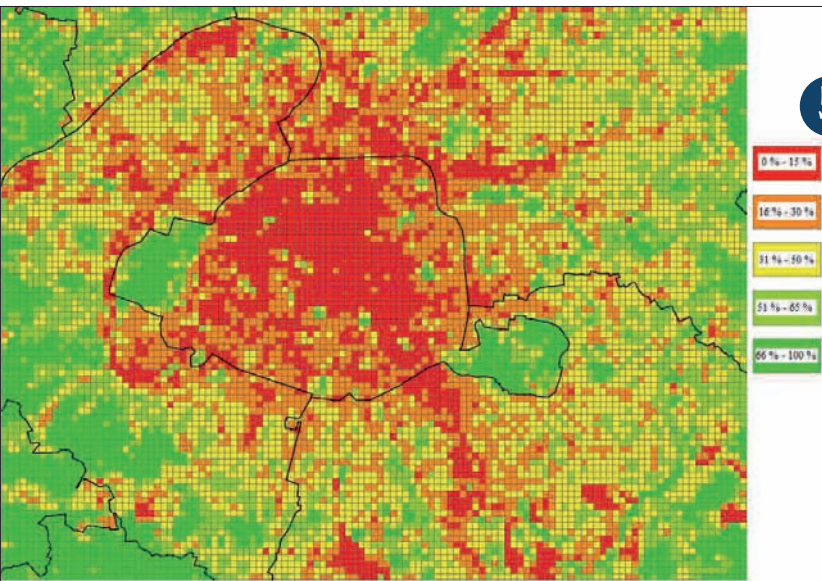
Un nouvel ensemble de simulations climatiques

Dans le cadre du projet européen Ensembles, financé par le 6^e Programme-cadre de la Communauté européenne pour des actions de recherche et développement technologique (PCRD), Météo-France a réalisé de nouvelles simulations climatiques avec le modèle couplé global CNRM-CM3.3, une version améliorée du système utilisé dans le cadre des travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

Une expérience de contrôle sur mille ans, en conditions préindustrielles (correspondant à l'année 1860), a été effectuée pour établir l'équilibre naturel du système climatique. À partir d'un état initial extrait de cette expérience, une simulation historique a été réalisée sur la période 1860-2000 en utilisant les

concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols observées. L'évolution climatique simulée a ensuite été comparée aux observations et l'état obtenu pour l'an 2000 a servi de point de départ à de nouvelles simulations couvrant le XXI^e siècle dans le cas de trois hypothèses socio-économiques différentes : le scénario A1B établi dans le cadre du Giec et deux nouveaux scénarios, A1B IMG et A1B 450, établis dans le cadre du projet Ensembles. Le scénario A1B 450 correspond à l'objectif affiché par l'Union européenne de stabiliser la concentration du CO₂ à 450 ppm vers 2050. Un des résultats importants de ces simulations est d'indiquer que le réchauffement planétaire par rapport à l'ère préindustrielle pourrait être limité à 1,5 °C, si cet objectif de stabilisation était atteint.

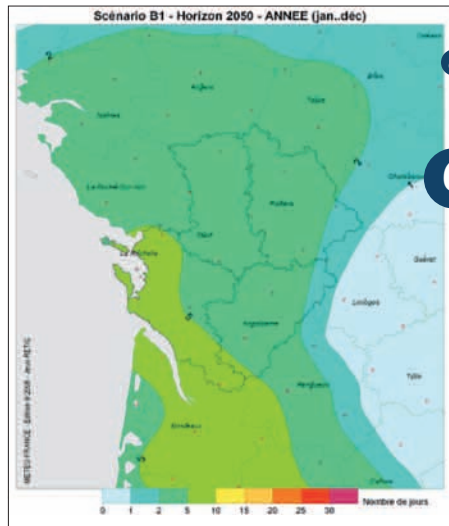
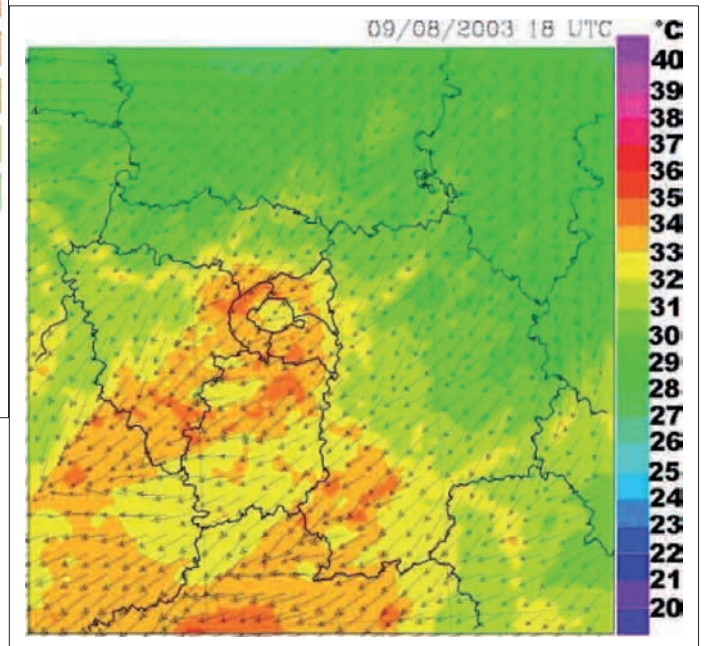
7



▲ Taux de végétation (en pourcents) sur des mailles de 250 m, en région parisienne. (Source : Apur)

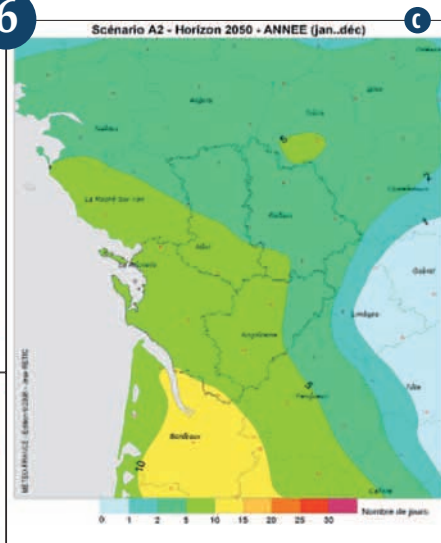
5

Simulation d'un panache urbain sur Paris, le 9 août 2003 à 18 h UTC. Superposition de la température à 2 m et du vent à 60 m obtenus à partir du modèle Més0-NH.

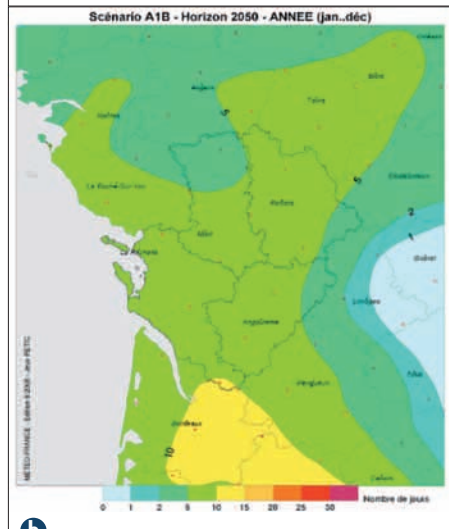


a

6



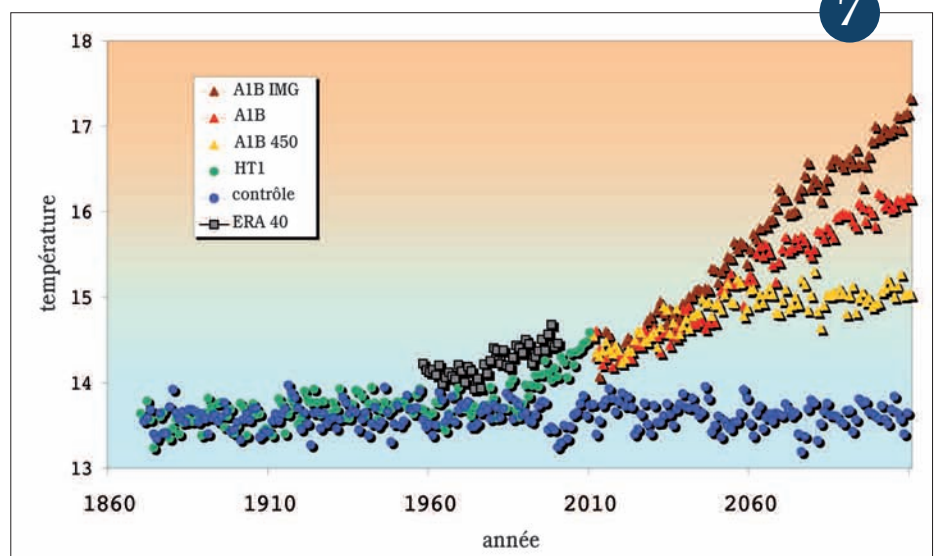
c



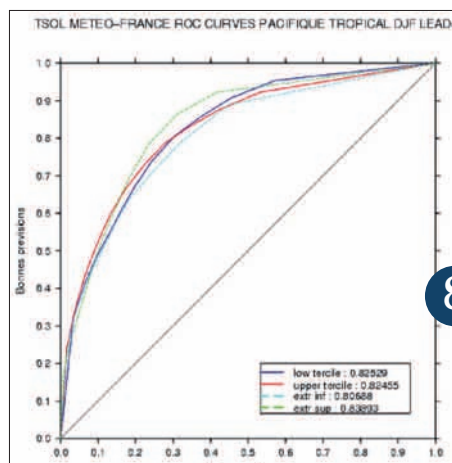
b

◀ Écart à la référence 1971-2000 de l'indice vigilance canicule pour l'horizon 2050 sur la région Poitou-Charentes, dans le cas des scénarios (a) B1 ; (b) A1B et (c) A2 du Giec. Cet indice est le nombre de jour où la situation correspond à une alerte canicule dans sa définition actuelle (moyenne sur trois jours des températures maximales supérieures ou égales à 34 °C et des températures minimales supérieures ou égales à 19 °C).

► Évolution de la température globale à 2 m dans les diverses simulations réalisées pour le projet européen du 6^e PCRD T Ensembles avec le modèle CNRM-CM3.3. Les données ERA40 du CEPMMT, qui incorporent des observations sur la période 1958-2001, sont représentées en gris.

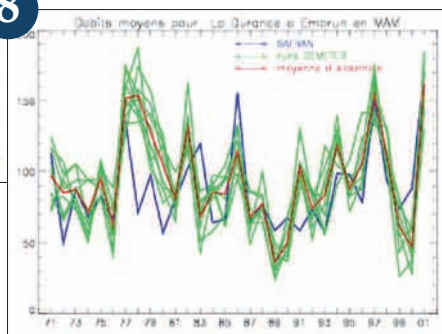


7



Débits (en m³/s) observés (en bleu) et prévus par la moyenne d'ensemble (en rouge) sur le bassin de la Durance à Embrun pour le trimestre mars-avril-mai sur la période 1971-2001. Outre la représentation correcte de la variabilité interannuelle, on peut aussi remarquer que la dispersion des membres individuels de l'ensemble (courbes vertes) couvre bien la gamme de valeurs de la référence.

8



Ce diagramme traduit la bonne capacité du modèle de prévision saisonnière, initialisé le 1^{er} novembre 2008, à prévoir les températures moyennes de la mer sur le Pacifique tropical pour les mois de décembre, janvier et février. Le modèle fait beaucoup plus de « bonnes prévisions » que de « fausses alarmes », sur les trente années qui constituent l'expérience de référence.

La prévision saisonnière

La prévision saisonnière, qui met en œuvre des approches statistiques et des concepts dynamiques identiques à ceux utilisés pour l'étude des impacts du changement climatique, fournit une capacité d'anticipation utile pour de nombreuses activités sensibles aux fluctuations des paramètres météorologiques. En 2008, cette activité a été l'occasion de nombreuses collaborations en particulier avec le Met Office britannique et le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET), dans le cadre du projet multimodèles EuroSip. La mise en opérationnel de la nouvelle version d'Arpège (version dite Système 3) a été un facteur de progrès important tant par les améliorations apportées (meilleure assimilation océanique fournie par Mercator-Océan, résolution verticale plus importante, ...) que par les caractéristiques de l'expérience de référence (onze membres, période 1979-2007 notamment). Les évaluations de cette chaîne sont publiques et disponibles sur le site dédié de l'OMM.

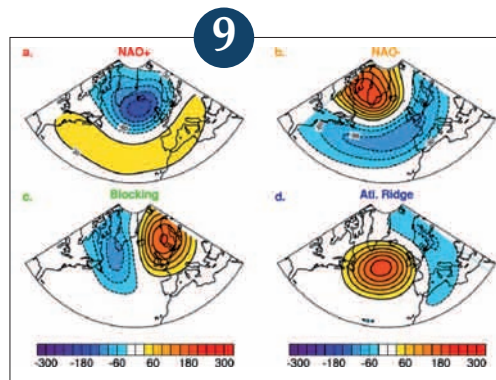
L'eau et sa gestion devenant des enjeux majeurs pour notre société, une étude de faisabilité et des potentialités de la prévision saisonnière hydrologique en France a été conduite en utilisant la chaîne SIM (Safran-Isba-Modcou) pour calculer la ressource en eau des sols superficiels à partir des prévisions météorologiques effectuées pour les printemps de la période 1971-2001 dans le cadre du projet européen Demeter. Des prévisions saisonnières d'indice d'humidité des sols et de débits des rivières ont ainsi été effectuées pour quatre bassins versants : Seine, Garonne, Ariège et Durance. Les résultats sur l'indice d'humidité des sols et sur les débits prévus laissent apparaître une prévisibilité intéressante malgré un biais sec marqué sur les bassins de la Seine et de la Garonne. Ces développements seront poursuivis en 2009, dans l'objectif d'aboutir à une production opérationnelle pertinente.

8

Des prévisions saisonnières sur la région Pacifique

Siège de variations climatiques liées à l'Enso (El Niño - oscillation australe), l'océan Pacifique tropical est un des lieux privilégiés pour la prévision saisonnière qui apporte aux activités météo sensibles d'indiscutables éléments utiles à la décision. Dans cet objectif, les pays du Pacifique sud coopèrent depuis plusieurs années à l'élaboration des projections climatiques à quelques mois d'échéance. Depuis octobre 2000, la Nouvelle-Calédonie et la Polynésie française participent à ces échanges, en collaboration avec quinze autres pays du Pacifique dont la Nouvelle-Zélande et l'Australie, pour l'élaboration d'un bulletin climatique mensuel, l'ICU (The Island Climate Update) : fourniture de données de

précipitations, de pressions et de températures, participation aux téléconférences de validation, etc. Une intercomparaison des résultats des principaux modèles de prévision saisonnière disponibles sur le Pacifique a été menée en 2008. Les calculs de scores ont montré les avantages et les défauts de chaque modèle en fonction aussi bien de la situation météorologique que de la localisation des régions ciblées. Ces collaborations et le savoir-faire acquis en matière de prévision saisonnière trouvent une poursuite logique sur les questions de changement climatique, d'impact et d'adaptation qui concernent tout particulièrement les États insulaires du Pacifique.



Structures spatiales des anomalies d'altitude de la surface 500 hPa sur l'Atlantique nord (réanalyses du NCEP sur la période 1950-2005) associées aux quatre régimes d'hiver.

La prévision saisonnière et les régimes de temps

Les régimes de temps se caractérisent par une certaine persistance des grandes structures atmosphériques et privilégient certains types d'anomalies climatiques aux échelles régionales. Les régimes qui influencent le plus le climat de l'Europe de l'Ouest et de l'Atlantique sont orchestrés par l'oscillation nord-atlantique (NAO) : une oscillation qui détermine le positionnement et la trajectoire des dépressions de l'hémisphère nord. Ses effets sont bien plus importants en hiver qu'en été, ils sont marqués par l'indice NAO : un indice qui est classiquement calculé comme la différence de pression entre les Açores et l'Islande. Plus la différence des anomalies de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande est importante, plus l'indice NAO est positif. Une étude de la prévisibilité aux échéances saisonnières de ces régimes a été entreprise en collaboration avec le Cerfacs.

Pour les régimes d'hiver, le modèle Arpège réagit d'une manière plutôt convaincante aux anomalies de température de surface océanique, avec notamment la mise en évidence d'un pilotage des régimes NAO- par le Pacifique et des régimes NAO+ par l'Atlantique tropical. Des informations utiles peuvent ainsi être obtenues sur l'occurrence des régimes NAO+ et des situations de blocage caractérisées par un anticyclone persistant sur le nord de l'Europe et la Scandinavie. Cependant, la prévisibilité des régimes reste encore limitée et le comportement des différents modèles utilisés dans le cadre du projet multimodèles Euro-Sip s'avère assez contrasté.

Pour les régimes d'été, une tendance à longue échéance apparaît dans les températures de surface océanique et les champs de pression atmosphérique : tendance en partie liée à la trace du changement climatique qui vient clairement polluer la prévision d'établissement de régimes. Ces différentes analyses entourent des pistes qu'il faudra encore explorer pour mieux exploiter tout le potentiel d'une telle approche.

9