
Observer et s'adapter au changement climatique en forêt méditerranéenne

Le climat futur des régions méditerranéennes françaises : quelles tendances ?

par Julien LÉMOND, Christian PAGÉ et Michel DÉQUÉ

Que prédisent les modèles climatiques régionaux ? Lors du colloque de 2007, on nous avait présenté les modèles globaux et les résultats généraux au niveau du bassin méditerranéen. Les méthodes de régionalisation permettent d'affiner encore la résolution spatiale des modèles climatiques. Les premiers résultats disponibles sur la région méditerranéenne sont présentés dans cet article.

Introduction

La région méditerranéenne est une zone écologiquement très sensible. Dans ces territoires qui représentent plus de 10% du PIB mondial, et sont peuplés par 420 millions d'habitants, la pression sur les ressources naturelles est importante, notamment sur l'eau. En effet, une grande majorité de la population du bassin méditerranéen dispose de ressources naturelles renouvelables en eau inférieures à 1000 m³ par an et par personne. Dans cette région sensible, le changement climatique va amplifier la pression sur la disponibilité, l'accessibilité et la demande en eau (HALLEGATE *et al.*, 2008). Les impacts d'une raréfaction de la ressource en eau sont déjà une réalité sur les espaces naturels et forestiers méditerranéens, et les tendances climatiques du siècle prochain risque de les amplifier fortement. Une bonne connaissance des contraintes climatiques futures de cette région est donc nécessaire pour une meilleure compréhension de la dynamique des écosystèmes, et une meilleure adaptation.

Les projections climatiques du GIEC¹ (RANDALL *et al.*, 2007) mettent en évidence une augmentation moyenne annuelle des températures comprise entre 2,2 et 5,1°C d'ici à la fin du siècle, ce qui est supérieur à la moyenne planétaire. Les précipitations devraient probablement diminuer de 4 à 27%. Ces projections permettent de mettre en évidence des tendances globales, mais ne peuvent pas être utilisées pour des

1 - GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

2 - CNRM : Centre national de recherches météorologiques

3 - IPSL : Institut Pierre Simon Laplace - Institut de recherche en sciences de l'environnement

études locales d'impact du changement climatique, qui nécessitent des projections à haute résolution spatiale (comme par exemple les modèles de rendement agricole). L'approche statistique et l'approche dynamique sont les deux grands types de méthodologie permettant d'obtenir une information climatique pertinente pour les études d'impact.

En s'appuyant sur les dernières conclusions du rapport du GIEC, cet article présentera, dans un premier temps, les tendances climatiques sur la Méditerranée à partir des simulations globales. Puis, la deuxième partie sera consacrée à la présentation des méthodes de régionalisation permettant d'obtenir une information climatique à haute résolution. Enfin, des résultats obtenus sur les températures et les précipitations à partir de ces méthodes de régionalisation seront commentés.

Les tendances climatiques globales

Dans cette section les principaux résultats du dernier rapport du GIEC (RANDALL *et al.*, 2007) sont présentés.

Le XX^e siècle

Au cours du XX^e siècle, la température sur l'Europe du Sud et la région méditerranéenne a augmenté d'environ 2°C en moyenne. Durant la période 1980-1990, le réchauffement de la région méditerranéenne a été plus prononcé durant les saisons d'hiver que celles d'été, et plus marqué sur les minimales de température que sur les maximales. Les précipitations ont, quant à elles, diminuées sur le Sud de l'Europe, avec une baisse de 20 % pour certaines régions méditerranéenne.

Les projections pour le XXI^e siècle

A partir des 21 modèles globaux du GIEC, et selon l'hypothèse d'émission A1B (NAKICENOVIC *et al.*, 2000), l'augmentation médiane de la température pour la région méditerranéenne serait de 3.5°C en moyenne annuelle pour la fin du siècle, ce qui correspondrait à une hausse plus marquée que la

moyenne planétaire. Le réchauffement estival serait plus marqué avec une augmentation médiane de 4,1°C pour la région, contre 2,6°C pour la saison hivernale. Suivant les saisons, le réchauffement du bassin méditerranéen sera détectable par rapport à la variabilité naturelle du climat aux horizons 2020-2030.

D'après les projections du GIEC, les précipitations diminueront en moyenne annuelle sur la zone méditerranéenne, avec une diminution médiane de 12% à la fin du siècle. La diminution durant les étés sera plus importante avec une diminution médiane de 24% pour la région, alors que les incertitudes pour les hivers ne permettent pas de dégager de tendances significatives. Cette baisse de précipitations liée au réchauffement climatique devrait se faire sentir vers les horizons 2050-2060, soit plus tardivement que le signal sur les températures.

La régionalisation climatique

Pourquoi régionaliser ?

La première catégorie de modèle numérique utilisé pour étudier l'évolution climatique est celle des Modèles de circulation générale océan atmosphère (MCGOA), ou modèles globaux. Les résultats de ce type d'outil sont, entre autres, utilisés pour l'élaboration des rapports du GIEC (RANDALL *et al.*, 2007). En France, il existe deux modèles de ce type : le modèle ARPEGE développé par le CNRM² à Météo-France (SALAS *et al.*, 2005), et LMDZ développé par les laboratoires de l'IPSL³ (HOURDIN *et al.*, 2006). Les GCM (*Global Climate Model*), très complexes, prennent en compte un maximum de facteurs qui influencent le climat (océan, atmosphère, glace de mer, végétation, fleuves, chimie atmosphérique et cycle du carbone). Ils recouvrent l'ensemble du globe, mais à une faible résolution spatiale (la résolution horizontale de la composante atmosphérique d'un MCGOA fait entre 150 et 350 km de côté). Cette faible résolution spatiale ne permet pas de prendre en compte les processus physiques (comme par exemple la convection qui détermine les précipitations) d'échelle fine, nécessaires à une bonne représentation du climat local. Ces phénomènes physiques, dont la taille est inférieure à la maille du modèle, ne sont donc pas résolus

par les lois de la physique et doivent être paramétrés. La paramétrisation entraîne une représentation imparfaite et donc des biais, en particulier à l'échelle régionale.

D'autre part, elle est incompatible avec les modèles d'impact (hydrologique, agronomique...), qui nécessitent des informations climatiques d'entrée à une résolution spatiale d'une dizaine de kilomètre. Ainsi, pour étudier les impacts du changement climatique qui s'expriment localement, il est nécessaire de disposer de simulations compatibles avec les échelles des modèles d'impact. On appelle régionalisation (ou descente d'échelle), les méthodes qui permettent d'affiner la résolution spatiale des modèles de climat.

Méthodes de régionalisation

Il existe deux grands types de méthodes de régionalisation, qui peuvent être combinées : les méthodes de régionalisation dynamique, et celles de régionalisation statistique.

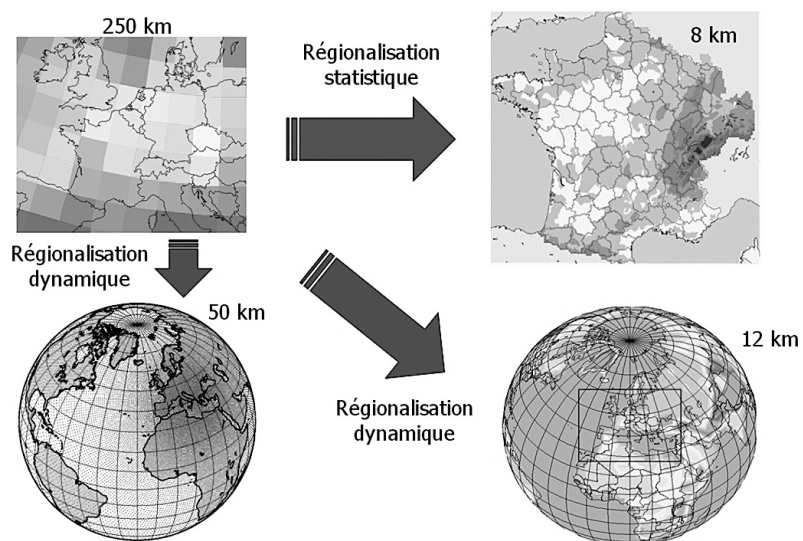
L'approche dynamique repose sur l'utilisation d'un modèle climatique dont la résolution spatiale est plus fine que celle des modèles globaux, ce qui permet de décrire avec plus de précision des phénomènes de petite dimension. Il est possible de distinguer deux familles de descente d'échelle dynamique. La première consiste à augmenter la résolution spatiale d'un modèle global sur une zone d'intérêt, par une méthode de zoom ou d'étirement de la grille (Cf. Fig. 1, bas-gauche). On parle alors de modèle à résolution variable. L'augmentation de la résolution de la grille du modèle global ne s'applique pas à l'ensemble du globe pour des questions évidentes de coût de calcul. Ainsi à l'extérieur de la zone d'intérêt, la résolution de la maille se dégrade progressivement. Les modèles ARPEGE et LMDZ possèdent cette capacité de zoom (e.g. GIBELIN et DÉQUÉ, 2003). Elle permet par exemple au modèle ARPEGE d'obtenir une résolution de 50 km sur le bassin méditerranéen. Cette approche permet de prendre en compte la complexité simulée par un MCGOA, mais également de garder une dynamique atmosphérique cohérente (pas d'effet de bords comme pour les modèles régionaux). En revanche, la résolution peut s'avérer insuffisante pour des modèles d'impact.

La seconde méthode consiste à utiliser un modèle à aire limitée sur la zone étudiée

(Cf. Fig. 1, bas-droit). Ces modèles offrent une haute résolution spatiale (de 10 à 20 km), qui permet une meilleure représentation du climat local (reliefs, contrastes terre-mer, traits de côte complexes). De plus, ils simulent mieux les processus physiques régionaux que les modèles globaux. Mais contrairement à ces derniers, ils sont moins complexes. En effet, ils ne représentent que l'atmosphère et la végétation, tandis que les caractéristiques de l'océan (température de la mer, couverture de glace) sont extraites des modèles globaux. De plus, les conditions aux limites de la zone étudiée doivent être initialisées par des modèles globaux, ce qui est une source importante d'incertitudes (ROWELL, 2006 ; ROWELL *et al.*, 2006). Le modèle régional du CNRM se nomme ALADIN-Climat (BUBNOVA *et al.*, 1995). L'IPSL utilise quant à lui les modèles à aire limitée WRF et MM5 forcés par le modèle atmosphérique LMDZ (CATTIAUX *et al.*, 2009).

Les méthodes de descente d'échelle dynamique offrent l'avantage de bien prendre en compte les processus physiques, mais une correction a posteriori des biais par rapport aux observations est nécessaire. Météo-France utilise par exemple comme observations sur la France métropolitaine, les analyses météorologiques SAFRAN (QUINTANA-SEGUI, 2008), disponibles sur une grille régulière de 8 km. La méthode de correction quantile-quantile (DÉQUÉ, 2007) est alors appliquée à partir de ces données

Fig. 1 : Typologie des principales approches méthodologiques de régionalisation D'après Pagé

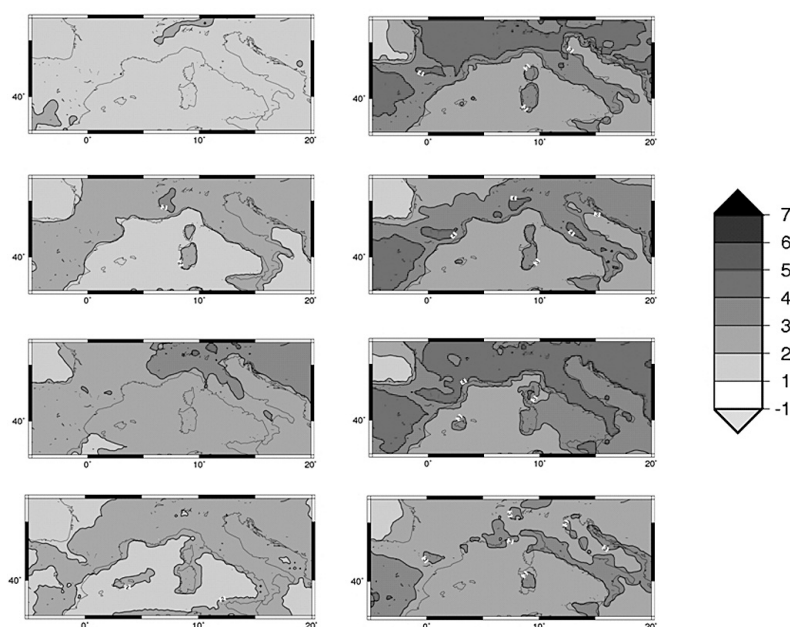


4 - CERFACS : Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique

SAFRAN. Cette méthode corrige l'ensemble de la distribution statistique des simulations, à la fois sur leurs périodes de référence et les projections futures.

La régionalisation statistique consiste à déterminer des relations quantitatives entre les variables atmosphériques de grande échelle, et les variables atmosphériques locales. Le CERFACS⁴, dont les résultats sont présentés ci-dessous, développe dsclim, une méthode basée sur le concept de types de temps (BOÉ *et al.*, 2009, PAGÉ *et al.*, 2009, BOÉ *et al.*, 2007). Cette méthode s'appuie sur l'hypothèse que le climat régional dépend à la fois des circulations atmosphériques de grande échelle, et des caractéristiques de fine échelle telles que la topographie ou le type de surface. Chaque régime de temps particulier, caractérisé par une variable de grande échelle (prédicteur), est associé à une distribution spatiale d'une ou plusieurs variables locales (prédicteurs). La méthode utilisée par le CERFACS permet d'obtenir des données à une résolution spatiale de 8 km à partir de sorties de modèles globaux (Cf. Fig. 1 haut-droit).

Fig. 2 :
Anomalies de température (°C) pour les saisons d'hiver (col. gauche) et d'été (col. droite) à l'horizon 2070, calculées par les modèles régionaux du CNRM (ligne 1), du MPI (ligne 2), de MetOffice (ligne 3), de l'ICTP (ligne 4)



L'approche statistique offre une meilleure résolution spatiale que l'approche dynamique, mais certaines précautions doivent être prises pour ce type de simulations. En effet cette approche s'appuie sur une hypothèse de stationnarité de la relation entre prédicteur et prédicteurs. Or, le changement climatique futur pourrait modifier cette rela-

tion entre grande échelle et petite échelle, ou accentuer des processus physiques actuellement insignifiants. On retrouve cette hypothèse de stationnarité pour l'approche dynamique avec correction quantile-quantile, car les paramétrisations physiques dans les modèles numériques ainsi que les facteurs de corrections de la méthode quantile-quantile utilisent des relations statistiques établies à partir du climat présent.

Les incertitudes

Lorsque des résultats de projections climatiques sont présentés, comme par exemple lors du dernier rapport du GIEC (RANDALL *et al.*, 2007), une enveloppe de probabilité leur est associée. Cette fourchette des possibles représente les incertitudes inhérentes à ces estimations du climat futur. Elle correspond à la dispersion des simulations calculées par l'ensemble des modèles. La connaissance de ces incertitudes est nécessaire pour connaître les limites de leurs utilisations. Il est possible de distinguer quatre catégories d'incertitude (PAGÉ *et al.*, 2008) :

- la première source d'incertitude concerne les scénarios socio-économiques d'émission de gaz à effet de serre. Ces derniers reposent en effet sur des hypothèses difficilement quantifiables, concernant le développement démographique, technologique et la dynamique économique. Il est important de noter que cette incertitude n'est pas significative pour les horizons proches (avant 2050), car les concentrations en gaz à effet de serre pour ces horizons sont surtout associées aux émissions passées et actuelles ;
- la deuxième source d'incertitude provient de la représentation relativement approximative des modèles, par rapport à la complexité du système climatique. En effet, la connaissance de certains processus physiques est imparfaite (par exemple ceux liés à la convection ou à certains nuages), tandis que la représentation de certains autres est simplifiée (par exemple la dynamique des calottes de glace) ;
- une troisième source d'incertitude provient de l'aspect chaotique du climat. Ainsi, un modèle initialisé à partir de deux états climatiques très proches peut calculer des projections climatiques significativement différentes ;
- la quatrième source d'incertitude concerne spécifiquement les méthodes de régionalisation. Des différences peuvent en

effet exister entre deux techniques employées. Ces incertitudes sont liées aux contraintes et hypothèses faites par chaque approche. Les méthodes statistiques ont par exemple besoin de séries d'observation homogènes, utilisent l'hypothèse du caractère gaussien des distributions, ou l'hypothèse de stationnarité.

L'information climatique régionalisée est le résultat d'un processus de production qui associe à chaque étape (choix du scénario d'émission, choix du modèle de climat, choix de la méthode de descente d'échelle) une de ces quatre sources d'incertitude. L'utilisation d'une telle information, par exemple pour initialiser des modèles agronomiques ou hydrologiques, doit donc s'effectuer avec prudence. Elle doit tenir compte du fait que ces projections ne représentent qu'une estimation, et qu'elles sont associées à une barre d'erreur. Il est donc nécessaire d'utiliser plusieurs simulations issues de différents modèles, et de différentes méthodes de régionalisation pour tenir compte de leurs incertitudes associées.

Résultats sur la région méditerranéenne

Cette section présente les résultats des projections climatiques à haute résolution sur la Méditerranée, pour les paramètres de température et de précipitation. Les résultats du CERFACS sont issus d'une régionalisation statistique (PAGE, 2009), et ceux du CNRM proviennent du modèle régional Aladin forcé par le MCGA ARPEGE (RADU *et al.*, 2008). Ces dernières ont été produites pour le projet ENSEMBLES (<http://ensemblesrt3.dmi.dk>)

Température

La figure 2 présente les résultats des simulations régionalisées, réalisées par quatre modèles régionaux (CNRM, MPI, MetOffice, ICTP) dans le cadre du projet européen ENSEMBLES. Les résultats sont présentés sur la partie nord-ouest du bassin méditerranéen, sur une grille commune de 25 km de côté. Ils représentent les anomalies de température entre les moyennes saisonnières JJA et DJF de la période 1961-1990 et la période 2060-2080.

Pour les deux saisons d'été et d'hiver, les modèles régionaux mettent en évidence une augmentation de la température dans cette région. L'intensité de l'augmentation est plus marquée durant la saison estivale. Des nuances peuvent toutefois être apportées sur l'estimation quantitative de cette anomalie. En hiver, les anomalies sont comprises en moyenne sur l'ensemble de la région entre +1 et +2°C par le modèle du CNRM, alors qu'elles sont comprises entre 2 et 4°C par celui du MetOffice. Les projections du MPI et de l'ICTP sont quant à elles comprises entre celles du CNRM et celles du MetOffice. On constate également que seuls les modèles du MPI et de l'ICTP, mettent en évidence une différence terre-mer dans l'intensité du réchauffement.

En été, les disparités quantitatives sont moins importantes puisque l'ensemble des modèles estime une anomalie de température comprise entre 2 et 5°C, avec une légère sous estimation pour le modèle de l'ICTP (entre 2 et 4°C). De plus l'ensemble des modèles estime un réchauffement d'intensité différente entre le continent et la mer.

Ce résultat sur l'augmentation de la température à l'horizon 2070 peut donc être considéré comme robuste puisqu'il tient compte de l'incertitude inter-modèle.

Précipitation

Comme pour les températures, les résultats sur les précipitations présentés sur la figure 3 correspondent aux simulations des quatre modèles régionaux du CNRM, du MPI, du MetOffice, et de l'ICTP. Les résultats sont présentés en anomalie de précipitation (en mm/jour) à l'horizon 2070, pour les saisons estivales et hivernales.

De manière globale, les résultats sur les précipitations mettent en évidence une diminution des pluies à l'horizon 2070. Durant les saisons estivales (Cf. Fig. 3, droite), l'ensemble des modèles estime une diminution des précipitations sur les espaces continentaux de l'ordre de -0,3 à -2 mm/jour. La diminution estimée par le modèle de l'ICTP est spatialement moins vaste que celle des autres. L'ensemble des modèles étudiés ne montre pas de modification significative au dessus des espaces maritimes.

En hiver, les incertitudes inter-modèles sont trop importantes pour dégager une tendance significative. En effet, on constate

durant cette saison, qu'aucun modèle ne s'accorde sur le signe de l'anomalie, notamment sur les espaces continentaux. Ainsi, sur le Nord de la zone étudiée, le modèle du CNRM met en évidence une diminution des précipitations, contrairement à ceux du MPI et de l'ICTP. Le modèle du MetOffice estime pour sa part une diminution des précipitations à l'Est de la zone, et une augmentation à l'Ouest.

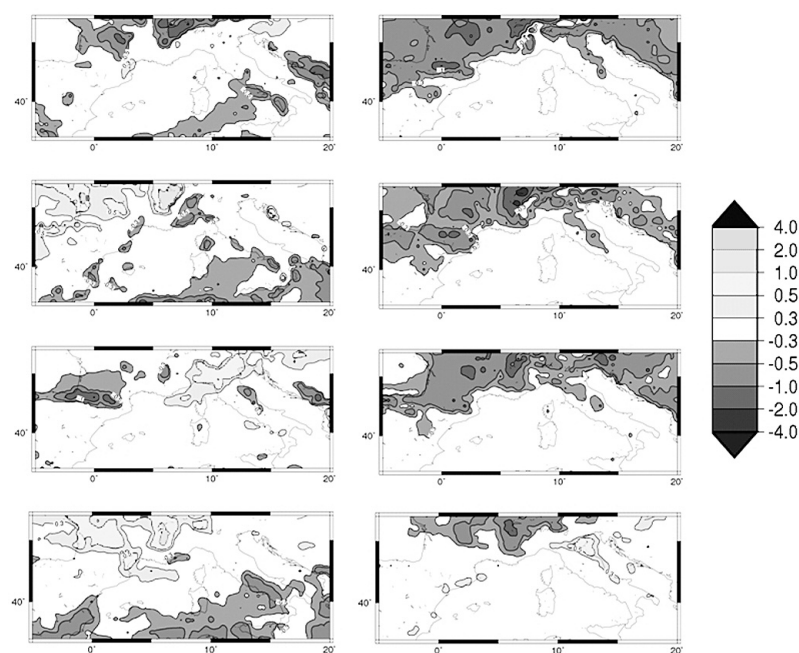
Cette incertitude inter-modèle souligne la difficulté de modéliser les précipitations. Ces dernières sont associées à des processus physiques encore difficilement représentés dans les modèles. Les résultats de projections sur les précipitations sont donc à utiliser avec encore plus de précautions que ceux sur les températures.

Les résultats de la figure 4 sont ceux obtenus par une méthode de régionalisation statistique développée au CERFACS. Ils représentent, à une résolution horizontale de 8 km sur la France, la différence (exprimée en pourcentage) entre les moyennes saisonnières JJA et DJF des périodes 1961-1990 et 2046-2065. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par les modèles régionaux (Cf. Fig. 3). En été, on constate un signal cohérent sur l'ensemble de l'espace étudié de diminution des précipitations. Sur le pourtour méditerranéen, cette baisse est évaluée entre 30 et 40 %. En revanche pour la saison

d'hiver, on constate que le signal n'est pas spatialement homogène. Les projections montrent une diminution des précipitations sur la partie ouest du territoire, alors qu'elles montrent une augmentation sur la partie est, notamment sur le pourtour méditerranéen. Ce signal ressemble fortement à celui obtenu par le modèle régional du MetOffice (Cf. Fig. 3, col. gauche, ligne 3).

Ainsi les projections régionalisées de précipitations mettent en évidence une diminution significative des précipitations dans la partie nord-ouest du bassin méditerranéen, pour les saisons estivales pour le milieu et la fin du XXI^e siècle. En revanche, il est difficile de mettre en évidence un signal significatif pour les saisons hivernales, puisque les résultats inter-modèles et inter-méthodes ne sont pas convergents.

Fig. 3 :
Anomalies de précipitation (mm/jour) pour les saisons d'hiver (col. gauche) et d'été (col. droite) à l'horizon 2070, calculées par les modèles régionaux du CNRM (ligne 1), du MPI (ligne 2), de MetOffice (ligne 3), de l'ICTP (ligne 4)



Conclusion

Les tendances climatiques globales, synthétisées dans le dernier rapport du GIEC (RANDALL *et al.*, 2007), mettent en évidence un réchauffement significatif sur la région méditerranéenne. Toutefois ces tendances doivent être précisées à l'échelle régionale. Des méthodes de régionalisation, ou descente d'échelle, permettent d'obtenir des projections à haute résolution spatiale. Les méthodes statistiques et dynamiques sont les deux types d'approche permettant, d'une part d'analyser plus précisément l'évolution climatique locale, et d'autre part d'initialiser des modèles d'impact. Les résultats de ces simulations régionales présentées dans cet article montrent d'une part que les résultats sont plus robustes sur la température que sur les précipitations, et également durant l'été que durant l'hiver. Ainsi, ces projections régionales montrent durant la saison d'été une augmentation des températures et une diminution des précipitations. Durant l'hiver, les modèles s'accordent sur une augmentation de la température, avec néanmoins des incertitudes sur l'amplitude de cette augmentation. En revanche, l'absence de signal robuste sur les précipitations hivernales ne permet pas de dégager de tendances significatives.

Au CERFACS, des simulations climatiques régionalisées à l'aide d'une méthode statistique, sont disponibles sur la France à

une résolution spatiale de 8 km (PAGÉ *et al.*, 2009). Au CNRM, l'approche dynamique est employée. Dans le cadre du projet ENSEMBLES, le modèle régional Aladin a été utilisé (RADU *et al.*, 2008). Des simulations du modèle ARPEGE avec une maille décentrée et étirée (GIBELIN et DÉQUÉ, 2003) sur la Méditerranée permettent également d'obtenir des données à haute résolution pour les études régionales. Ces différentes données seront directement accessibles fin 2011, aussi que des simulations régionales de l'IPSL, via le portail d'accès DRIAS (LÉMOND *et al.* 2010).

Les perspectives de régionalisation climatique sont nombreuses. Le CERFACS envisage de régionaliser les simulations de la prochaine expérience de comparaison des modèles globaux CMIP-5, ainsi que les expériences du projet ENSEMBLES. Météo-France est lui impliqué dans le projet de régionalisation dynamique national SCAMPEI et international CORDEX. Ces projets actuels et futurs permettront ainsi de préciser l'évolution climatique de la région Méditerranée.

J.L., C.P., M.D.

Bibliographie

- Boé J., Terray L., Habets F., Martin E., 2006: A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *J. Geophys. Res.*, 111, D21106.
- Boé, J., 2007 : Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier – Toulouse III, 256 pp
- Bubnova, R., G. Hello, P. Benard and J-F Geleyn, 1995: Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain-following coordinate in the framework of the ARPEGE/Aladin NWP system. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 515-535.
- Cattiaux, J., Vautard, R. and Yiou, P., Origins of the extremely warm European fall of 2006, 2009: *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1029/2009GL037339.
- Déqué, 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.
- Gibelin A.L., Déqué, 2003: Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Clim Dyn* 20: 327-339.
- Hourdin, F., I. Musat, S. Bony, P. Braconnot, F. Codron, J.-L. Dufresne, L. Fairhead, M.-A. Filiberti, P. Friedlingstein, J.-Y. Grandpeix, G. Krinner, P. Levan, Z.-X. Li, and F. Lott, 2006: The LMDZ4 general circulation model: climate

Julien LÉMOND
Direction de la
Climatologie,
Météo-France
Toulouse, France
Auteur
correspondant :
julien.lemond@
meteo.fr

Christian PAGÉ
SUC au CERFACS,
URA CERFACS/CNRS
N°1875, Toulouse,
France

Michel DÉQUÉ
CNRM / GAME,
Météo-France, CNRS,
Toulouse, France

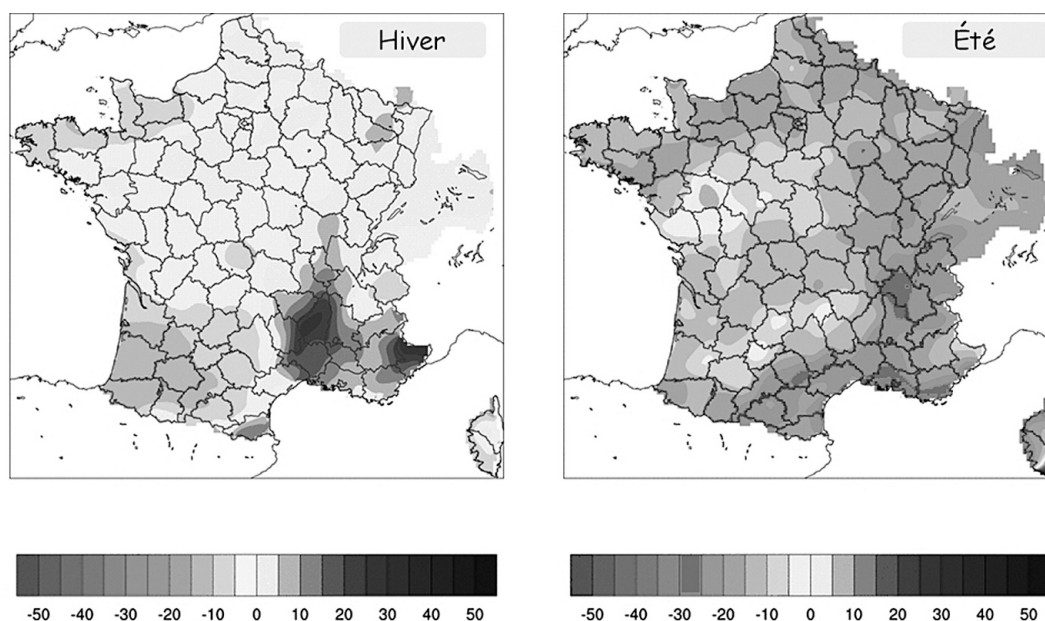


Fig. 4 :
Anomalies de précipitation (%) pour les saisons d'hiver (col. gauche) et d'été (col. droite) à l'horizon 2050, calculées à partir d'une désagrégation statistique sur les modèles globaux du GIEC. Les cartes représentent la moyenne multi-modèles.

- performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection, *Clim Dyn*, 27, 787–813.
- Hallegatte S., Somot S., Nassopoulos H., 2008 : Région Méditerranéenne et Changement Climatique, IPAMED, 63 pages.
- Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fiechfet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A. and Taylor, K.E.: Climate Models and Their Evaluation, in: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L. (eds.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Lémond J., Ph. Dandin, S. Planton, R. Vautard, C. Pagé, J. Cattiaux, M. Déqué, S. Denvi, C. Drevet, L. Franchistéguy, S. Geindre, M. Kerdoncuff, L. Li, J.M. Moisselin, T. Noël, L. Terray, 2010: DRIAS project – A step toward French Climate Services, *soumis à Advances in Science and Research*.
- Nakicenovic, N. et al, 2000: Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp
- Pagé, C., L. Terray et J. Boé, 2008: Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21^e siècle : les scénarii SCRATCH08. *Technical Report TR/CMGC/08/64*, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875, Toulouse, France.
- Pagé, C., L. Terray et J. Boé, 2009: dslim: A software package to downscale climate scenarios at regional scale using a weather-typing based statistical methodology. *Cerfacs Technical Report TR/CMGC/09/21*, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875, Toulouse, France.
- Quintana Segui P., Moigne P. L., Durand Y., Martin E., Habets F., Baillon M., Canellas C., Franchistéguy L. et Morel S., 2008: Analysis of Near Surface Atmospheric Variables : Validation of the SAFRAN analysis over France, *J. App. Meteo. Clim.* 47, 92-107
- Rowell D. P. et Jones R. G., 2006: Causes and uncertainty of future summer drying over Europe, *Clim. Dyn.*, 27(2-3), 281–299, doi: 10.1007/s00382–006–0125–9.
- Rowell D. P., 2006 : A demonstration of the uncertainty in projections of UK climate change resulting from regional model formulation, *Clim. Change*, 79(3-4), 243–257, doi :10.1007/s10584–006–9100–z.
- Salas y Mélia D., Chauvin F., Déqué M., Douville H., Guérémy J.F., Marquet P., Planton S., Royer J.F., Tyteca S., 2005: Description and validation of CNRM-CM3 global coupled climate model, *Note de Centre du GMGEC N103*, décembre 2005.
- Radu R., Déqué M., Somot S., 2008: Spectral nudging in a spectral regional climate model, *Tellus*, Vol 60, Issue 5, 898–910, DOI: 10.1111/j.1600-0870.2008.00341.

Résumé

La forte sensibilité climatique de la région méditerranéenne, notamment celle des espaces forestiers, nécessite une meilleure prise en compte des projections climatiques pour le siècle à venir. Pour ce faire, l'information climatique mise à disposition doit être à haute résolution spatiale. D'une part pour prendre en compte de manière plus réaliste que les simulations globales, les contraintes et processus physiques d'échelle fine (liés par exemple aux reliefs, ou aux contrastes terre-mer). Et, d'autre part, pour permettre à certaines communautés (agronomes, hydrologues...) d'alimenter des modèles d'impacts par des variables atmosphériques scalairement cohérentes. Les méthodes de régionalisation (ou descente d'échelle) statistiques et dynamiques sont les deux grandes approches méthodologiques permettant de produire une information climatique régionalisée, allant de 50 à 8 km de résolution horizontale en fonction de la méthode et de la région prise en compte. Les résultats de ces méthodes obtenues par la communauté climatique française (CNRM, Météo-France, CERFACS, IPSL) mettent en évidence pour la fin de siècle une augmentation (diminution) des températures (précipitations) en été. En hiver une incertitude persiste sur l'amplitude du réchauffement, alors qu'aucune tendance sur les précipitations ne se dégage.

Summary

Mediterranean climate in the future: what trends?

The great sensitivity to climate in the Mediterranean region, particularly of forest species, requires that we take into better account climate projections for the coming century. To this end, the climatic information available for use must have high spatial resolution. This is necessary first of all in order to take into account, in a manner more realistic than is possible with global simulations, the constraints and physical processes at a very detailed level (for example, effects linked to relief or to sea-land contrasts). And secondly, to enable certain professions (agronomists, hydrologists...) to provide variable atmospheric data, as input for modelling climatic impact, at a suitably coherent scale. The two main methodological approaches for obtaining climatic information at a regional level (a narrowing-down in scale) are dynamic and statistical and these two make possible a horizontal resolution ranging from 50 km to 8 km depending on the method and the region involved. The results obtained by these two methods by the scientific community working in France (CNRM – meteorological research body, Météo-France – national weather forecasters, CERFACS- European Centre for Research and Advanced Training in Scientific Computation, IPSL - research institute) have highlighted for the end of the century an increase in temperatures and a decrease in rainfall in summer. For winter, some doubt remains as to the degree of warming while no clear trend appears for precipitation.