

Régionalisation des scénarios de changement climatique

SAMUEL SOMOT

Météo-France/Centre national de recherches météorologiques, *Sigle à développer* (GMGEC/EAC), 42, avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex 1 <samuel.somot@meteo.fr>

Tirés à part :
S. Somot

Résumé. La régionalisation des scénarios de changement climatique issus de modèles est un problème crucial si on veut atteindre des échelles spatiales compatibles avec les études d'impact. En utilisant la capacité de zoom du modèle de climat de Météo-France, ARPEGE-Climat, on peut régionaliser des scénarios de changement climatique à une échelle d'environ 50 km sur la France et sur l'ensemble du bassin méditerranéen. Pour la France, un scénario GIEC de type A2 donne, pour la fin du XXI^e siècle, une augmentation de la température en toutes saisons, une augmentation des pluies en hiver et une diminution en été par rapport au climat présent. La calibration des distributions statistiques modélisées pour la température et les précipitations par rapport aux observations permet également d'étudier l'évolution de la fréquence des extrêmes entre le climat présent et la fin du XXI^e siècle. On obtient ainsi une augmentation du nombre de jours très chauds en été. La fréquence des jours où la température maximale quotidienne dépasse 35 °C est en moyenne multipliée par 10. Pour la plaine toulousaine et la Provence, 1 jour sur 4 pourrait voir sa température maximale dépasser les 35 °C selon les données fournies par notre scénario.

Mots clés : cataclysme ; climat ; effet serre ; France ; modèle théorique ; surveillance environnement

Abstract.

Texte à venir.

Key words: climate; environment monitoring; France; greenhouse effect; models, theoretical; natural disasters

Les scénarios climatiques et le problème de la régionalisation

Il y a deux façons de considérer le climat. Si on consulte une carte des climats du monde ou un atlas, le climat semble une constante immuable conditionnée par les reliefs environnants, la proximité d'une mer et la latitude. Si on consulte la presse, le climat semble changer chaque année. Tel qu'il est perçu par les météorologues, le climat n'est ni l'un ni l'autre. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a défini comme climat

l'ensemble des paramètres statistiques de la distribution des variables météorologiques sur une période de 30 ans. Cette définition n'exclut pas que, sur un siècle, le climat puisse évoluer, mais rejette l'attribution de fluctuations interannuelles à une expression de l'évolution du climat. Les mesures faites au cours du XX^e siècle montrent sans l'ombre d'un doute que le climat a changé en de nombreuses régions du globe, dont la France.

Que nous réserve le prochain siècle ? Les causes du réchauffement du XX^e siècle sont de plus en plus présentes, et le freinage par inertie de l'océan mondial jouera de moins en moins. Cepen-

dant de nombreux paramètres nous sont parfaitement inconnus. La démographie ne nous permet pas de voir au-delà de 50 ans. L'économie et les évolutions politiques ont un horizon bien plus proche. Pour voir ce qui pourrait survenir après 2050, on a recours à des scénarios, c'est-à-dire des hypothèses plausibles.

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, ou *International Panel on Climate Change*, IPCC) a émis des scénarios de concentration des gaz à effet de serre et des aérosols pour le XXI^e siècle [1]. Ces scénarios sont utilisés comme forçages par des modèles de climat couvrant l'ensemble du globe et couplant différentes composantes du système terre (atmosphère, océan, glace de mer, végétation, etc.). Ces modèles de circulation générale (*General Circulation Model*, GCM), très coûteux en temps de calcul, permettent d'obtenir des scénarios de changement des caractéristiques climatiques de la terre à l'échelle globale [2]. Cependant, leur faible résolution (300 km) ne permet pas de répondre de manière régionale aux attentes concernant les changements climatiques. En effet, on évalue à quelques dizaines de kilomètres l'échelle qui permettrait aux citoyens et aux décideurs de tenir compte des résultats de la modélisation numérique dans leurs choix.

Méthodes de régionalisation des scénarios climatiques

Se pose alors la question de la régionalisation des scénarios de changement climatique. L'idée fondamentale est de construire des modèles capables d'atteindre une résolution de l'ordre de 50 km sur la partie du globe que l'on veut étudier, tout en maintenant une bonne représentation des phénomènes à l'échelle globale. Plusieurs méthodes sont possibles. Les modèles à aire limitée sont, par exemple, largement employés [3, 4].

À Météo-France, on a choisi la méthode du zoom. Le modèle ARPEGE-Climat couvre l'ensemble du globe et est « zoomable » sur la zone d'intérêt [5]. Cela permet de s'affranchir des problèmes de conditions aux bords rencontrés avec les modèles à aire limitée. La version régionale du modèle ARPEGE-Climat offre une résolution de 50 km sur le bassin méditerranéen et de 60 km sur la France, de sorte qu'il est possible de représenter sommairement les principaux massifs montagneux de notre pays. Ce modèle a fait l'objet de trois simulations couvrant les 40 dernières années du siècle. Il est donc possible de calculer la distribution des températures et précipitations avec une bonne précision statistique et d'évaluer les contrastes géographiques et saisonniers.

Seuls les résultats pour la France seront montrés dans cet article, mais les méthodes d'analyse du modèle sont valides pour toutes les parties couvertes par la zone haute résolution du modèle, c'est-à-dire les pays entourant la Méditerranée ainsi qu'une bonne partie de l'Europe et de l'Afrique.

Une des simulations de 40 ans mentionnées plus haut (1961-2000) a été poursuivie durant tout le XXI^e siècle en utilisant l'hypothèse de croissance des concentrations en gaz à effet de serre du scénario baptisé A2 par le GIEC. Des analyses de

scénarios de changement climatique réalisées avec cette version du modèle ARPEGE-Climat sont présentées dans les études de Déqué, Marquet et Jones [6] et de Gibelin et Déqué [7]. Dans la chaîne des modèles, le rôle du modèle régional de climat va être de traduire l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère et de la température de surface de l'océan en conditions climatiques à l'échelle d'un pays ou d'une région. Dans ce qui suit, nous montrons comment le modèle régional ARPEGE-Climat réagit aux forçages pour les paramètres de température et de précipitations. On dispose d'une série de 140 ans de données quotidiennes simulées.

Résultats

Climat présent, validation et calibration

Les 30 premières années simulées par ARPEGE-Climat (1960-1989) nous permettent de valider le modèle en termes de climat présent en comparant ce climat simulé au climat observé. Pour cela, on extrait pour chaque point de grille du modèle une distribution en fréquence d'occurrences pour des paramètres tels que la température ou les précipitations. Quand on compare ces distributions à celles observées au cours des 50 dernières années dans les stations du réseau de Météo-France, on constate que le modèle est assez fidèle dans les plages moyennes. Il restitue assez bien les fréquences de hautes températures et, en hiver, de précipitations abondantes. Il pêche dans les vagues de froid et dans les précipitations abondantes d'été dont il sous-estime les amplitudes. Dans le domaine des faibles précipitations, le modèle exagère le nombre de jours avec des pluies faibles. Cependant, ces biais peuvent se corriger *a posteriori* en considérant qu'une valeur de température ou de précipitation fournie par le modèle n'a de signification que par rapport à la série des valeurs produites par le modèle. Par exemple, les températures minimales diurnes de - 5 °C au point du modèle le plus près de Paris sont rares dans la série climatique simulée et correspondent, en termes de fréquence, aux minimales de - 10 °C observées à Orly. Une fois les biais corrigés, on dispose de séries modélisées qui ont la même distribution statistique, par construction, que les séries observées à la station météorologique la plus proche. Des précisions sur la méthode de calibration peuvent être obtenues sur le site web du projet IMFREX (<http://medias.cnrs.fr/imfrex/web>).

Scénario et moyennes

La *figure 1* montre l'évolution temporelle des températures moyennées en été (juin, juillet, août) et sur la France au cours de la période. Aucune correction n'est effectuée sur la série car l'évaluation de la tendance temporelle est indépendante de la correction appliquée. Il faut bien souligner que les années individuelles qui apparaissent en abscisse ne sont pas représentatives des années du calendrier. Il s'agit d'années-modèles. En particulier, on ne retrouve pas de pic en 2003 dans cette simulation et le contraire aurait été le fruit du hasard. On peut faire des consta-

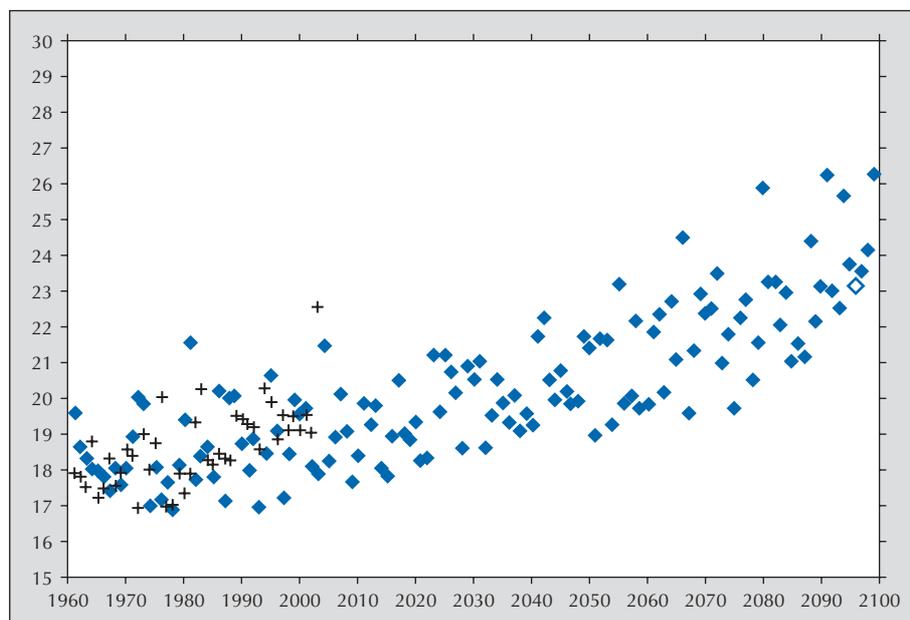


Figure 1. Températures moyennes (°C) en été (juin, juillet, août) pour la France. Simulation numérique de 140 ans (losanges) et observations jusqu'en 2003 (croix).

tations intéressantes sur cette figure, au-delà de la simple observation de la tendance au réchauffement. La variabilité interannuelle masque cette tendance jusque vers 2050. Si on masqueait les 60 dernières années du diagramme, il faudrait de l'imagination pour voir une tendance au réchauffement. Cela explique pourquoi les études de scénario se concentrent sur la période 2071-2100 et illustre la difficulté de détecter un changement régional dans les séries observées du siècle passé. Les extrêmes de cette série montrent que les étés les plus chauds de 1961-2000 sont plus chauds que les étés les plus frais de la fin du XXI^e siècle. Cependant, on ne trouve plus de température inférieure à 18 °C au-delà de 2020, tandis que des températures supérieures à 22 °C ne sont rencontrées qu'après 2040. On voit également que l'été 2003 des données observées (dernière croix sur la figure 1) correspond assez bien à ce que pourrait être un été moyen dans les années 2070 ou 2080.

Pour décrire un climat possible de la fin du XXI^e siècle, nous présentons ici les températures (figure 2) et les précipitations (figure 3) d'hiver et d'été sur la métropole dans le climat simulé, mais recalibrées par rapport aux observations comme indiqué plus haut, de la fin du XX^e siècle et dans le climat de la fin du XXI^e siècle sous l'hypothèse A2.

Scénario et extrêmes

Dans le cadre du projet européen PRUDENCE [8] et du projet français GICC-IMFEX (<http://medias.cnrs.fr/imfex/web>), le modèle a fait l'objet de trois simulations de 30 ans avec des conditions supposées pour les années 2070-2099 dans l'hypothèse du scénario A2 du GIEC et avec les températures de surface de la mer fournies par le *Hadley Centre* (centre de recherche britannique). L'expérience de 140 ans citée au paragraphe pré-

cédent utilise un autre jeu de températures de surface de la mer, calculé avec le modèle couplé océan-atmosphère de Météo-France [2]. Les séries quotidiennes ont subi le même traitement que celles du XX^e siècle. On fait l'hypothèse (raisonnable mais invérifiable) que les défauts du modèle ne dépendent pas cruciallement de la perturbation climatique introduite via les concentrations de gaz à effet de serre. On peut donc calculer de nouvelles fréquences pour des phénomènes rares, mais assez nombreux pour constituer un échantillon.

Le tableau 1 présente, pour 8 villes françaises et les 8 points de grille du modèle les plus proches, les probabilités de dépassement du seuil 35 °C par la température maximale quotidienne (la figure 1 présente des températures moyennées sur l'été, il ne s'agit donc pas du même paramètre) pour le climat présent et pour le climat projeté à la fin du XXI^e siècle. Ces résultats ont été obtenus avec des données observées non homogénéisées issues de la base de données « Climathèque » de la direction de la Climatologie de Météo-France. Le tableau 1 se lit comme suit : sur les 3 mois d'été à Toulouse, la probabilité que la température maximale d'une journée quelconque prise au hasard dépasse 35 °C est de 2 % en climat présent et de 24 % à la fin du XXI^e siècle, c'est-à-dire environ 1 jour sur 4.

Le modèle ayant environ 300 points de grille sur notre sol, on peut affiner géographiquement les résultats ci-dessus en utilisant les 91 séries quotidiennes de référence établies par la direction de la Climatologie de Météo-France dans le cadre du projet IMFEX. Chaque point de grille du modèle est corrigé à partir de la station d'observation la plus proche. La figure 4 montre que la plage de probabilité 2-5 % qui couvre actuellement le Sud-Ouest et la Provence (à l'échelle du modèle) concernerait tout le pays. Ces deux régions connaîtraient, dans l'hypothèse du scénario A2, des probabilités comprises entre 20 et 30 %.

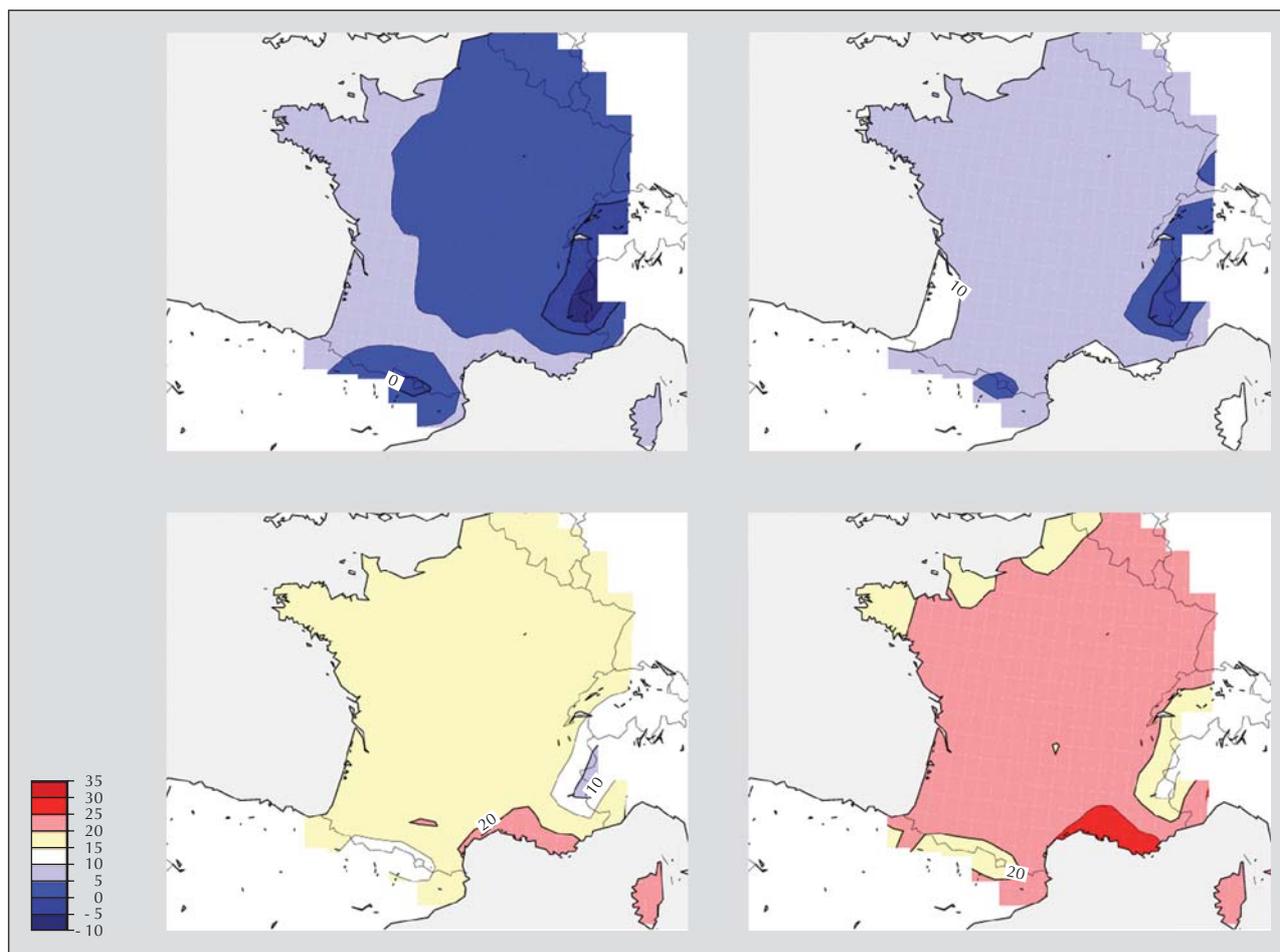


Figure 2a. Température moyenne en hiver (°C) : climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite).

Figure 2b. Température moyenne en été (°C) : climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite).

Conclusion et discussion

Le principal impact sur la France du changement climatique serait :

- une augmentation de la température en toutes saisons ;
- une augmentation des pluies d'hiver ;
- une diminution des pluies d'été.

Grâce à une méthode de calibration par rapport aux observations, le scénario permet également d'étudier la fréquence d'occurrence de certains phénomènes. Cette étude fréquentielle acquiert toute son importance lorsque l'on veut étudier l'impact du changement climatique sur des organismes vivants. En effet, ceux-ci sont aussi sensibles à des effets de seuil ou à des événements extrêmes qu'à des valeurs moyennes. C'est par exemple le cas dans les domaines de l'agriculture, des maladies émergentes et de la dynamique des populations de vecteurs de maladies ou d'oiseaux migrateurs.

Le caractère assez spectaculaire observé sur la fréquence des vagues de chaleur estivales s'explique par le fait que, dans nos régions, la valeur 35 °C se situe dans une plage où la densité de probabilité décroît très rapidement. Ainsi, une faible variation en

température se traduit par une forte variation en fréquence. Quand on applique cette méthode à d'autres seuils (25 °C), d'autres régions du monde (les tropiques), ou d'autres paramètres (les précipitations), la réponse du changement climatique en termes de probabilité est plus modeste.

De manière générale, les études d'impact régional du changement climatique sont contraintes par de nombreuses incertitudes (variabilité naturelle du climat, choix des modèles, hiérarchie de modèles, choix du scénario). Le projet européen PRUDENCE [8] propose des méthodes pour évaluer l'impact de ces différentes incertitudes sur un processus ou une région donnée. ■

Remerciements

Ce travail bénéficie du soutien du projet européen PRUDENCE (contrat EVK2-2001-00156) du *European Union Program Energy, Environment and Sustainable Development* (5^e PCRD) et du programme français GICC-IMFRET du ministère de l'Écologie et du Développement durable. Je tiens également à remercier M. Michel Déquy pour sa relecture du manuscrit.

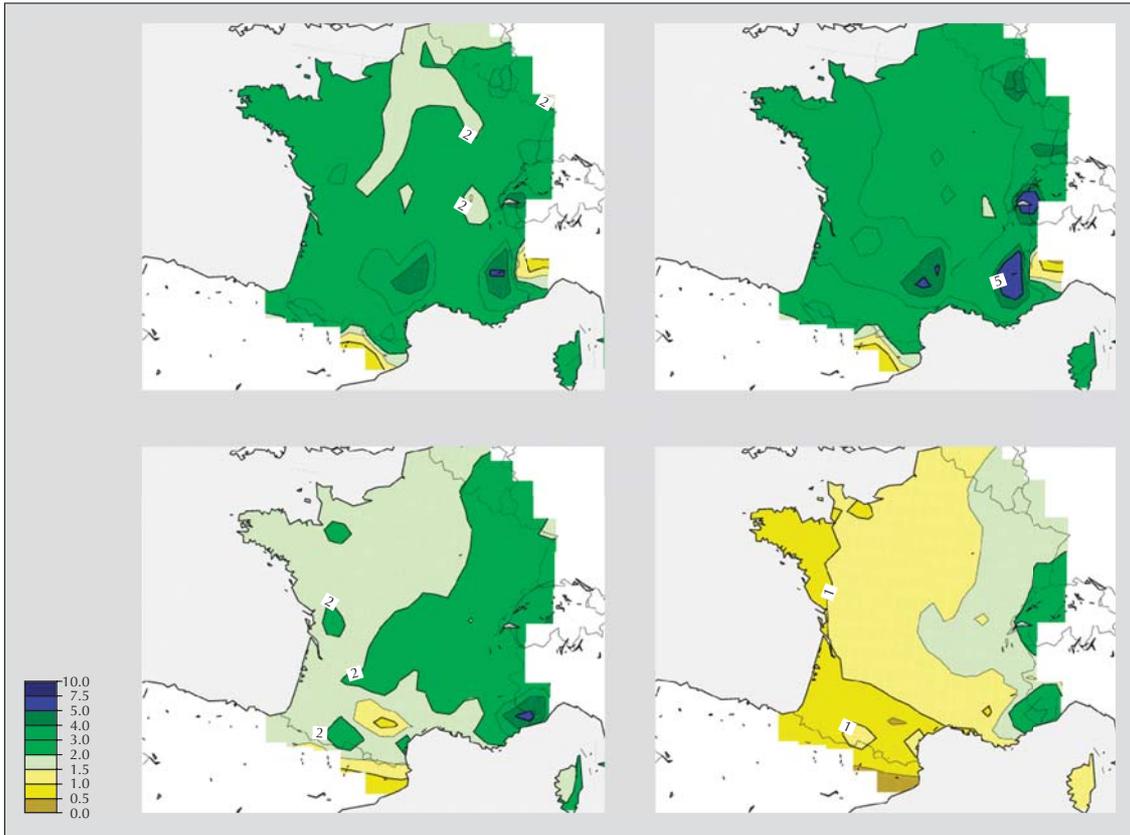


Figure 3aa. Précipitations moyennes en hiver (°C) : climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite).
Figure 3b. Précipitations moyennes en été (°C) : climat actuel (gauche) et scénario A2 (droite).

Tableau 1. Probabilité (en %) d'avoir une température maximale supérieure à 35 °C sur les trois mois d'été pour le climat actuel et le scénario A2.

	Lille	Rennes	Paris	Strasbourg	Lyon	Bordeaux	Toulouse	Marseille
Actuel	1	1	1	1	2	2	2	1
Scénario	5	9	11	13	22	12	24	27

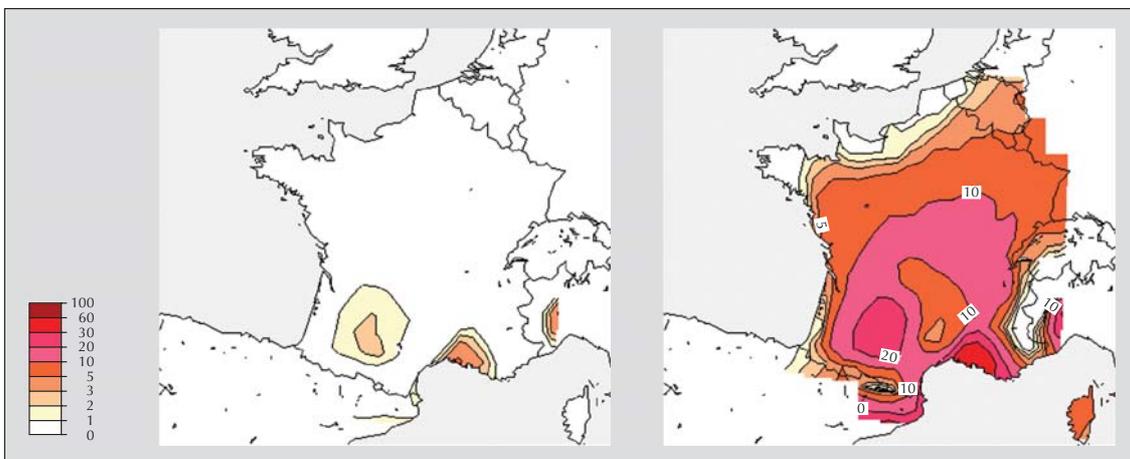


Figure 4. Probabilité (en %) d'avoir une température maximale supérieure à 35 °C en été pour la période 1961-1990 (à gauche) et la période 2071-2100 (à droite).

Références

1. International Panel on Climate Change (IPCC). In : Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, *et al.*, eds. *Climate Change 2001. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the IPCC*. Cambridge (Royaume-Uni : Cambridge University Press, 2001 : 881.
2. Royer JF, Cariolle D, Chauvin F, *et al.* Simulation of climate changes during the 21st century including stratospheric ozone. *Géosciences* 2002 ; 334 : 147-54.
3. Giorgi F, Mearns LO. Regional climate modelling revisited. An introduction to the special issue. *J Geophys Res* 1999 ; 104 : 6335-52.
4. Giorgi F, Bi X, Pal JS. Mean, Interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961-1990). *Clim Dyn* 2004 ; 22 : 733-56.
5. Déqué M, Piedelievre JP. High-resolution climate simulation over Europe. *Clim Dyn* 1995 ; 11 : 321-39.
6. Déqué M, Marquet P, Jones RG. Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model. *Clim Dyn* 1998 ; 14 : 173-89.
7. Gibelin AL, Déqué M. Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Clim Dyn* 2003 ; 20 : 327-39.
8. Christensen JH, Carter TR, Giorgi F. PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. *Eos* 2002 ; 83 : 147.