

Impact des activités humaines sur le climat

Michel Déqué
Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques
42 avenue Coriolis. F-31057 Toulouse Cedex 01
Fax 0561079610 Mel deque@meteo.fr

Résumé

Bien que le climat n'ait pas besoin de l'homme pour évoluer dans les échelles supérieures au millénaire, l'observation de 20^{ème} siècle et les projections du 21^{ème} siècle montrent que nos activités ont contribué et vont contribuer à des fluctuations sur des échelles de temps bien plus courtes. Nous examinons, dans le cadre du scénario A2 du GIEC, quels sont les impacts climatiques possibles que la France métropolitaine est susceptible de subir à la fin de ce siècle.

Introduction

Le climat peut être défini comme la partie du système océan-atmosphère-cryosphère qui est déterminée par ses conditions environnantes. Les fluctuations naturelles, appelées encore chaos, ne sont déterminées que par l'état interne du système; elles sont prévisibles à quelques jours d'échéance (atmosphère) quelques mois (océan) ou quelques années (glaciers). Dans un environnement constant, le climat doit donc, selon cette définition, être considéré comme une constante. Aux échelles géologiques, rien n'est constant sur notre planète: répartition des masses continentales, relief, composition chimique de l'atmosphère, paramètres de l'orbite terrestre, activité énergétique du soleil. En conséquence, le climat de la terre a changé au cours du passé. Le climat a également changé pendant les siècles passés, mais la question de l'attribution à des processus externes des fluctuations de températures séculaires observées (petit âge glaciaire) n'est pas définitivement résolue. L'OMM a défini comme climat l'ensemble des paramètres statistiques de la distribution des variables météorologiques sur une période de 30 ans. Cette définition, certes arbitraire (pourquoi pas 20 ans ou 40 ans ?) n'exclut pas que sur un siècle le climat puisse évoluer, mais rejette l'attribution de fluctuations d'une année sur l'autre à une expression de l'évolution du climat.

Pour le 20^{ème} siècle, nous disposons de suffisamment de mesures et de théories physiques pour expliquer par les activités humaines au moins une partie du réchauffement observé. En effet la révolution industrielle a modifié de façon mesurable la composition chimique de l'atmosphère en l'enrichissant en composants stables dits à effet de serre. Ces composants (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux pour ne citer que les principaux) font que pour que l'énergie émise par la planète vers l'espace équilibre l'énergie venant du soleil, et donc pour que la température moyenne du globe soit stable dans le temps, il faut une troposphère plus chaude et une stratosphère plus froide. La terre n'est pas un système thermodynamiquement isolé et on ne peut pas lui appliquer de considération de conservation de l'énergie.

Que nous réserve le 21^{ème} siècle en matière de climat ? Les causes du réchauffement du 20^{ème} siècle sont en accroissement du fait de la croissance de l'économie et de la démographie mondiales, et le freinage par inertie de l'océan mondial jouera de moins en moins. Cependant de nombreux paramètres nous sont parfaitement inconnus. Pour explorer ce qui pourrait survenir au-delà de 2010, on a recours à des scénarios, c'est à dire des hypothèses plausibles. Ces scénarios se traduisent, en utilisant une chaîne de modèles, par des conséquences sensibles sur l'environnement au sens large. Les modèles sont des visions simplifiées et donc traitables sur le plan informatique, de la réalité. Leur degré de complexité peut toutefois être considérable et nécessiter des moyens de calcul lourds. Il n'en demeure pas moins qu'on ne peut attendre d'eux une exactitude sans faille, car la complexité

de la nature se situe bien des ordres de grandeur au-delà.

Dans la chaîne des modèles, le modèle régional atmosphérique traduit 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. Dans ce qui suit, nous montrons comment le modèle ARPEGE-Climat, qui est le modèle régional de Météo-France, réagit aux forçages résultats du scénario A2 du GIEC pour les paramètres de température, de précipitations et de contenu en eau du sol. Nous mentionnerons également l'impact sur les températures extrêmes.

Un modèle du climat

La base du climat est la moyenne, car c'est le paramètre statistique le plus stable. Cependant la société est plus sensible aux fluctuations autour de cette moyenne. L'étude de l'évolution de la fréquence des événements météorologiques extrêmes est limitée par une contrainte sévère: il faut des séries longues et homogènes. Plus le phénomène est rare, plus la série doit être longue. Pour estimer raisonnablement la fréquence d'un événement qui arrive en moyenne une fois tous les cinq ans, il faut cent ans de données. Or, au cours du siècle passé les observations n'ont pas été homogènes, et il est légitime de penser que le climat n'a pas été homogène, à cause du réchauffement de presque 1°C observé sur la France en moyenne en un siècle.

Une solution à ce problème vient des simulations numériques. On est sûr de l'homogénéité des séries produites, puisque on maîtrise leur production, et on n'est limité pour la durée des séries que par la puissance de calcul disponible. De plus, on peut décider d'imposer au modèle des changements plus drastiques que ceux subis depuis un siècle et ainsi augmenter le rapport signal sur bruit et donc la capacité à discerner les impacts parmi les fluctuations naturelles. Le revers de la médaille est que les séries produites par un modèle n'ont pas exactement la même distribution statistique que les séries observées.

La version régionale du modèle ARPEGE-Climat de Météo-France offre, tout en couvrant le globe, une résolution de 60 km sur la France qui permet de représenter sommairement les principaux massifs montagneux de notre pays. Ce modèle a fait l'objet de trois simulations couvrant les 30 années qui servent arbitrairement de référence (1961-1990). 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 sur la France.

Quand on compare cette distribution à celle observée dans les stations du réseau de Météo-France, on constate que le modèle est assez fidèle pour reconstituer le cycle annuel moyen et les contrastes géographiques de notre pays. Dans sa version globale (résolution uniforme 300 km), aussi bien que dans sa version régionale, qui couvre également le globe, les caractéristiques du climat mondial sont bien reproduites.

Un scénario climatique

Les modèles ne servent pas seulement à satisfaire les scientifiques qui les ont conçus, en reproduisant avec bonheur le comportement du système qu'on leur demande de reconstituer. On utilise leur flexibilité pour répondre à des questions sur les futurs possibles du système. On nomme ce type d'expérience des scénarios. Il ne faut pas confondre un scénario avec une prévision. Dans une prévision, la cause externe qui modifie le comportement du modèle provient soit d'observations, soit d'un autre modèle, mais on est capable d'attribuer une probabilité à cette cause. Dans un scénario, la cause externe provient d'une hypothèse que l'on peut seulement qualifier de raisonnable.

Une des simulations du modèle ARPEGE-Climat mentionnées plus haut a été poursuivie jusqu'en 2100 en utilisant, au delà de 2000, l'hypothèse de croissance des concentrations en gaz à effet de serre du scénario baptisé A2 par le GIEC. On dispose ainsi d'une série de 140 ans de données quotidiennes simulées. La figure 1 montre l'évolution temporelle des températures moyennes

d'hiver (décembre, janvier et février) pour la France métropolitaine. Les croix indiquent les valeurs observées chaque année de 1900 à 2003. Les losanges montrent les températures du modèle pour la période 1961-2100. La figure 2 montre la même chose pour l'été (moyenne de juin, juillet et août). Il faut bien souligner que les années individuelles qui apparaissent en abscisse ne sont pas représentatives des véritables années individuelles. On peut toutefois faire des constatations intéressantes sur ces figures, au delà de la simple observation de la tendance au réchauffement. Si on masquait les 60 dernières années du diagramme, il faudrait assez d'imagination ou des outils statistiques fins pour voir une tendance au réchauffement, à cause des importantes variations d'une année sur l'autre. C'est encore plus vrai si on considérait une température locale, par exemple la température à Paris. Ceci 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.

Impact sur les moyennes

Pour décrire un climat possible de la fin du 21ème siècle, nous considérons les cartes sur la France des moyennes saisonnières (DJF, MAM, JJA et SON) calculées sur les années 2071-2100 auxquelles on soustrait les moyennes correspondantes obtenues dans la simulation pour la période 1961-1990. On appelle ces cartes de différences des impacts ou des anomalies climatiques. En première approximation, les effets des erreurs systématiques du modèle sont éliminés par ce calcul.

Les figures 3, 4 et 5 montrent les cartes pour la température de l'air à 2m, les précipitations, et le contenu en eau du sol disponible au niveau des racines (profondeur de 1 à 3m suivant la région ou le type de végétation). Nous ne détaillons pas ici les résultats, en mentionnant seulement une augmentation de la température en toutes saisons mais surtout en été, une augmentation des pluies en hiver et une diminution des pluies les autres saisons et surtout en été, et une diminution du contenu en eau des sols. Pour ce dernier paramètre, on note une anticipation de la fonte de la neige en surface et de la glace dans le sol au cours du cycle annuel qui se traduit, dans certaines régions froides, par une augmentation notable de l'eau disponible en hiver dans les sols, au détriment du printemps.

Impact sur les extrêmes

Grâce à la multiplication des simulations (3 simulations de 30 ans pour le climat présent et 3 simulations de 30 ans pour le climat du scénario), on peut calculer les fréquences de phénomènes rares mais assez nombreux pour constituer un échantillon stable. L'impact sur les précipitations est faible dans le modèle. Les froids extrêmes sont en régression. Les vagues de chaleur estivales sont en nette augmentation (voir les figures 6 et 7).

Conclusion

Le climat change pour diverses raisons, et l'impact des activités humaines a imposé et risque d'imposer un changement beaucoup plus rapide que les changements naturels. Sous certaines hypothèses, les principales caractéristiques sur la France du changement climatique seraient pour les cent années à venir:

- une augmentation de la température en toutes saisons
- une augmentation des pluies d'hiver
- une diminution des pluies d'été
- une diminution du contenu en eau des sols, sauf en hiver dans les régions de gel.

La conjonction du réchauffement et de l'assèchement estival conduit à une augmentation assez spectaculaire des fréquences de canicules (températures supérieures à 35°C) et des épisodes chauds (températures supérieures à 30°C pendant plus de 10 jours consécutifs).

Remerciements

Ce projet a été soutenu par la Commission Européenne dans le cadre du projet PRUDENCE (EVK2-2001-00156) et par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable dans le cadre du projet GICC-IMFREX.

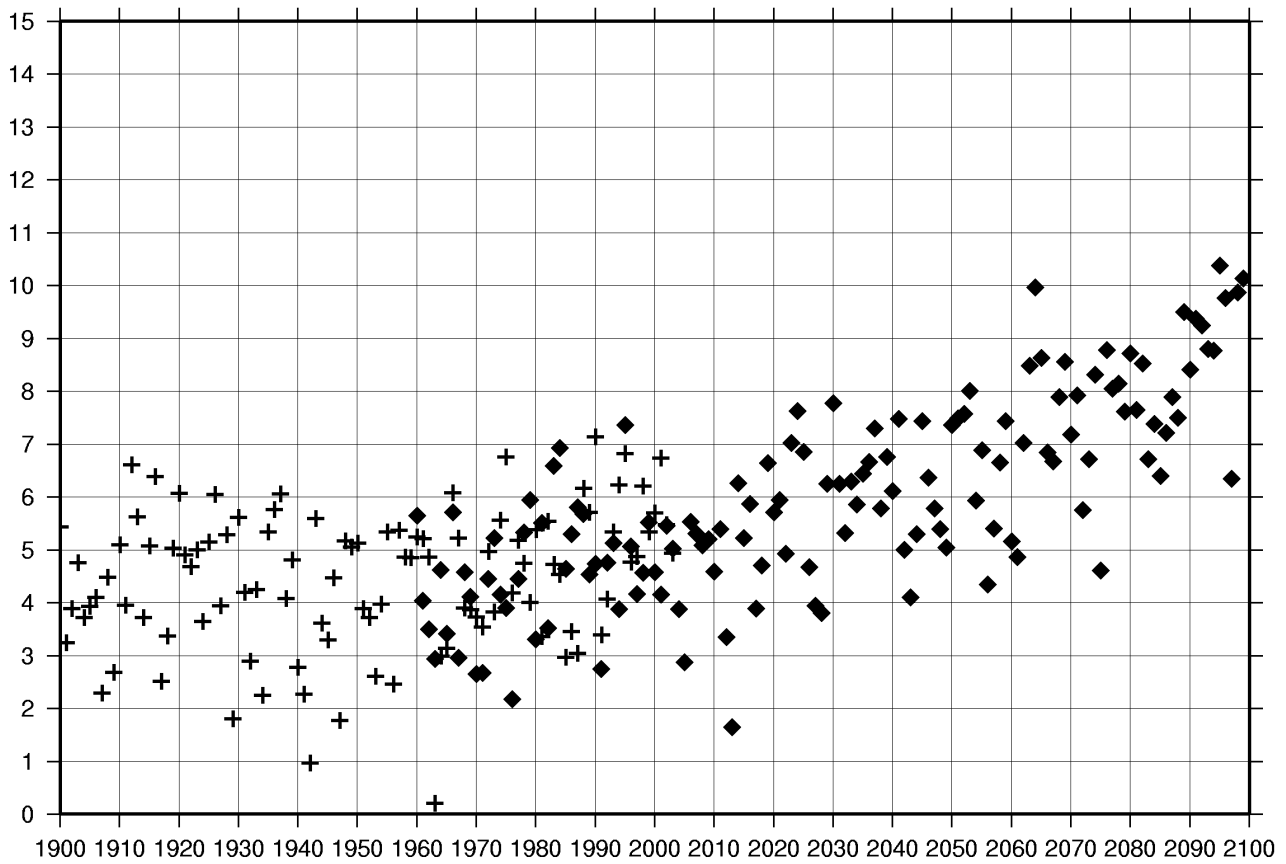


Figure 1: Température moyenne (°C) sur la France pour l'hiver (DJF) observée de 1900 à 2003 (croix) et simulée de 1961 à 2100 (losanges).

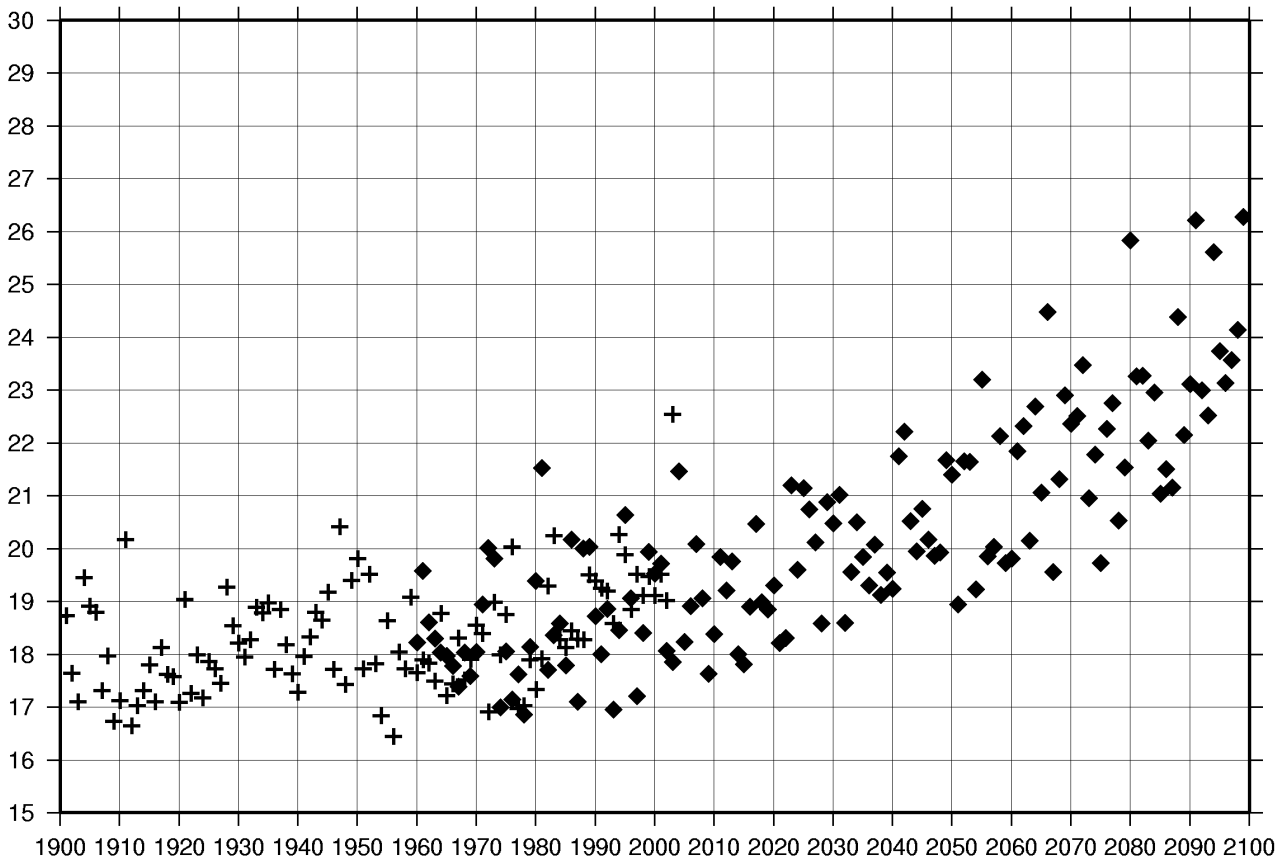


Figure 2: Température moyenne (°C) sur la France pour l'été (JJA) observée de 1900 à 2003 (croix) et simulée de 1961 à 2100 (losanges).

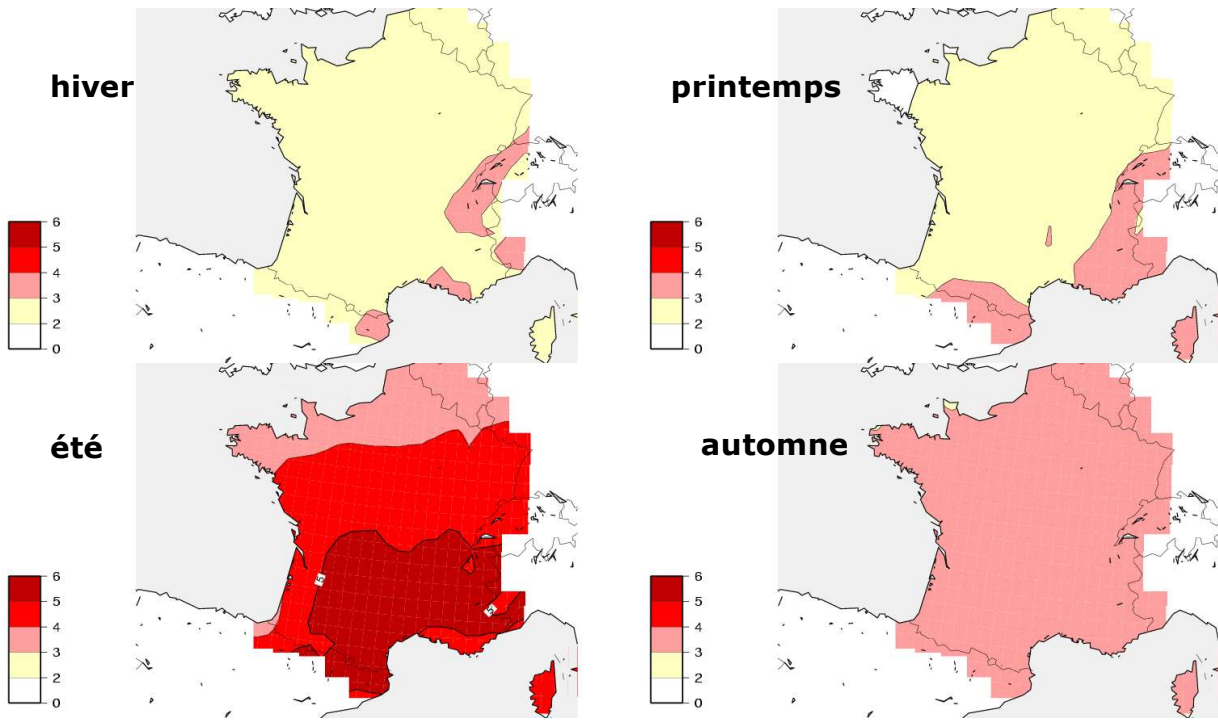


Figure 3: Différence de température (°C) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les 4 saisons

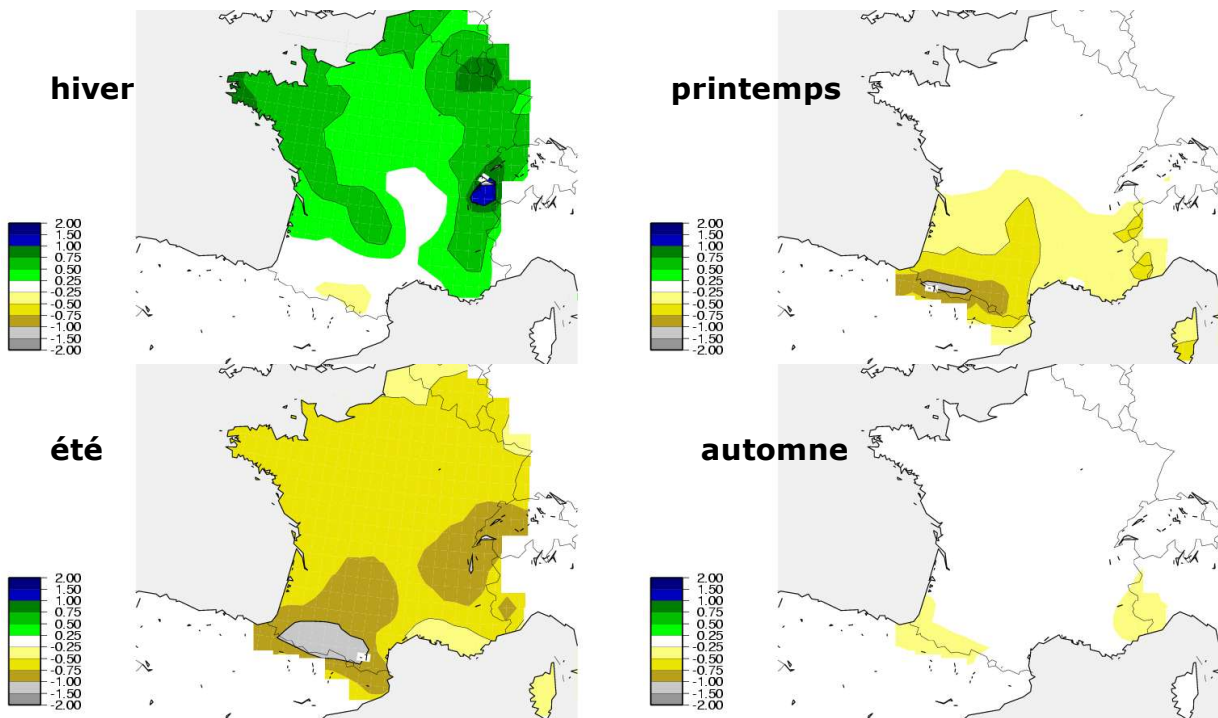


Figure 4: Différence de précipitations (mm/jour) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les 4 saisons

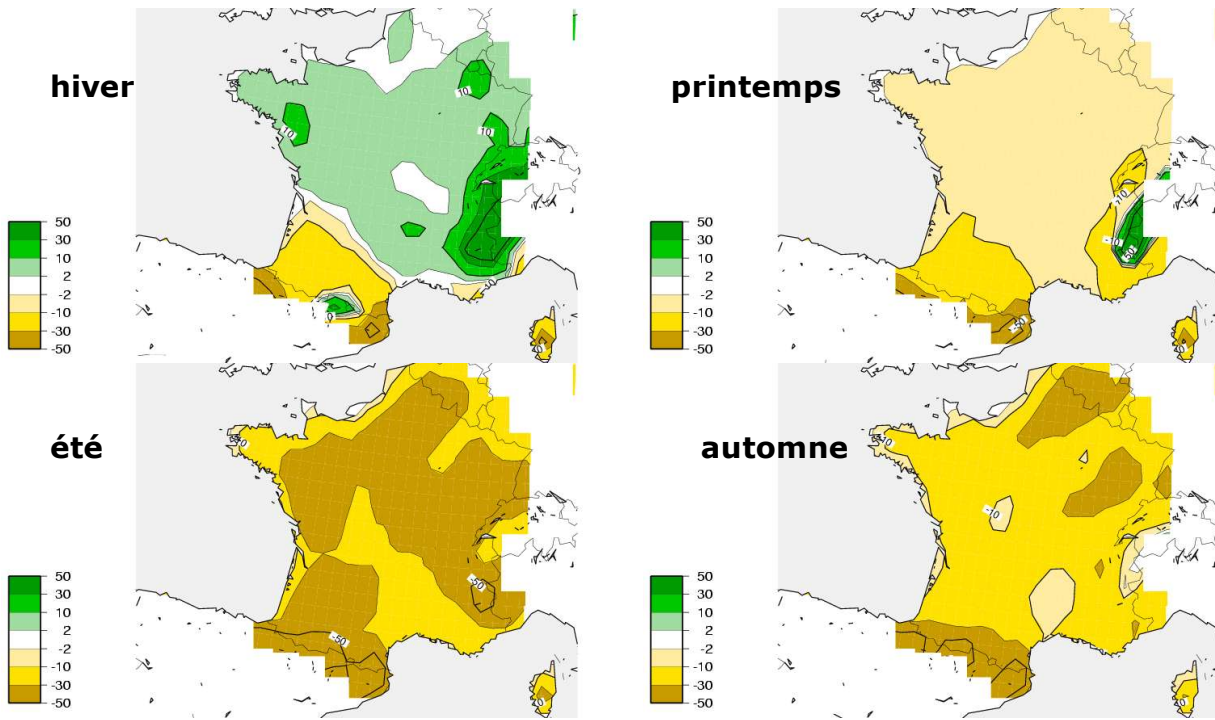


Figure 5: Différence de contenu en eau du sol (kg/m^2) entre les périodes 2070-2099 et 1960-1999 pour les 4 saisons

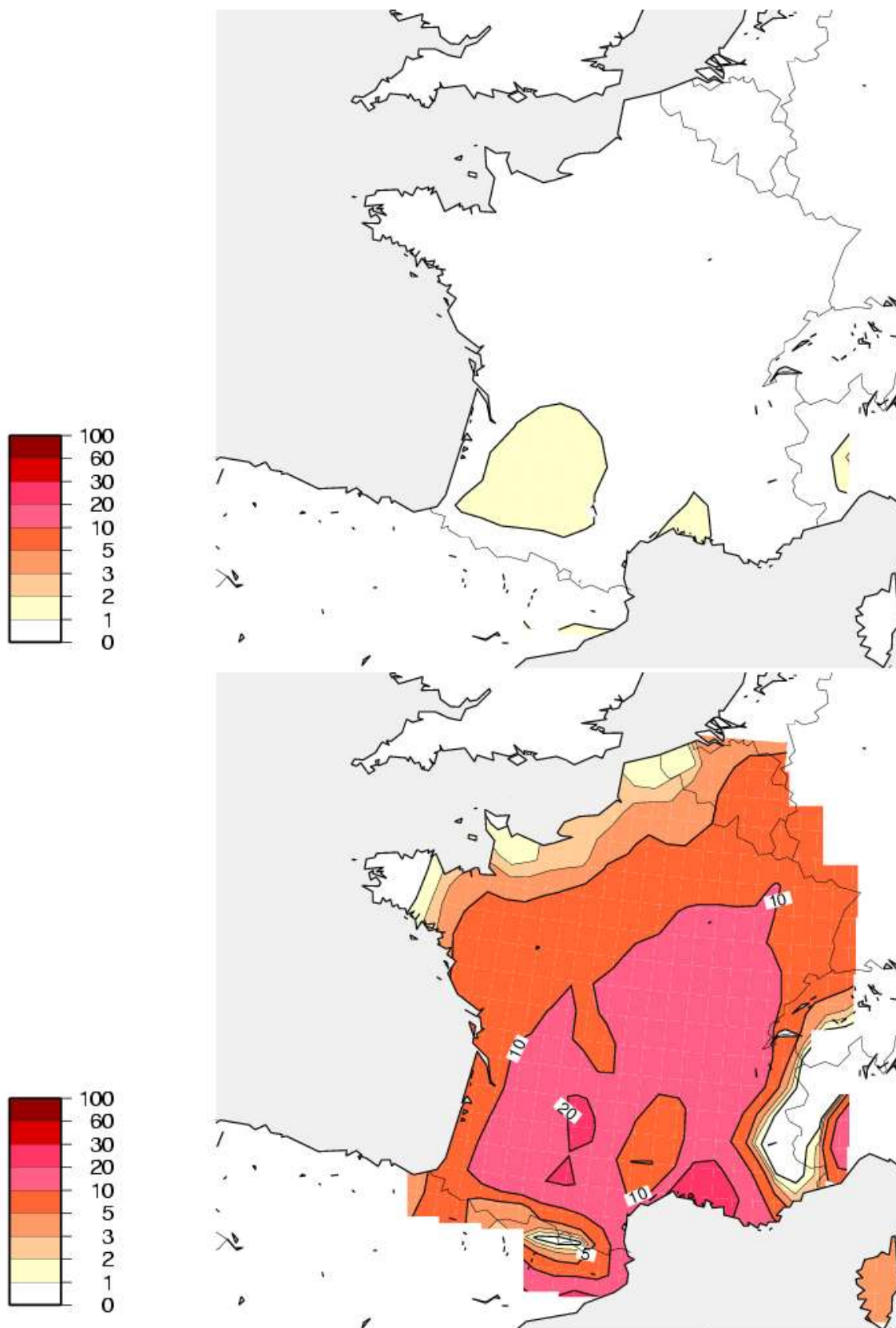


Figure 6: Nombre moyen de jours par an avec une température maximale diurne supérieure à 35°C pour le climat présent (haut) et le scénario (bas)

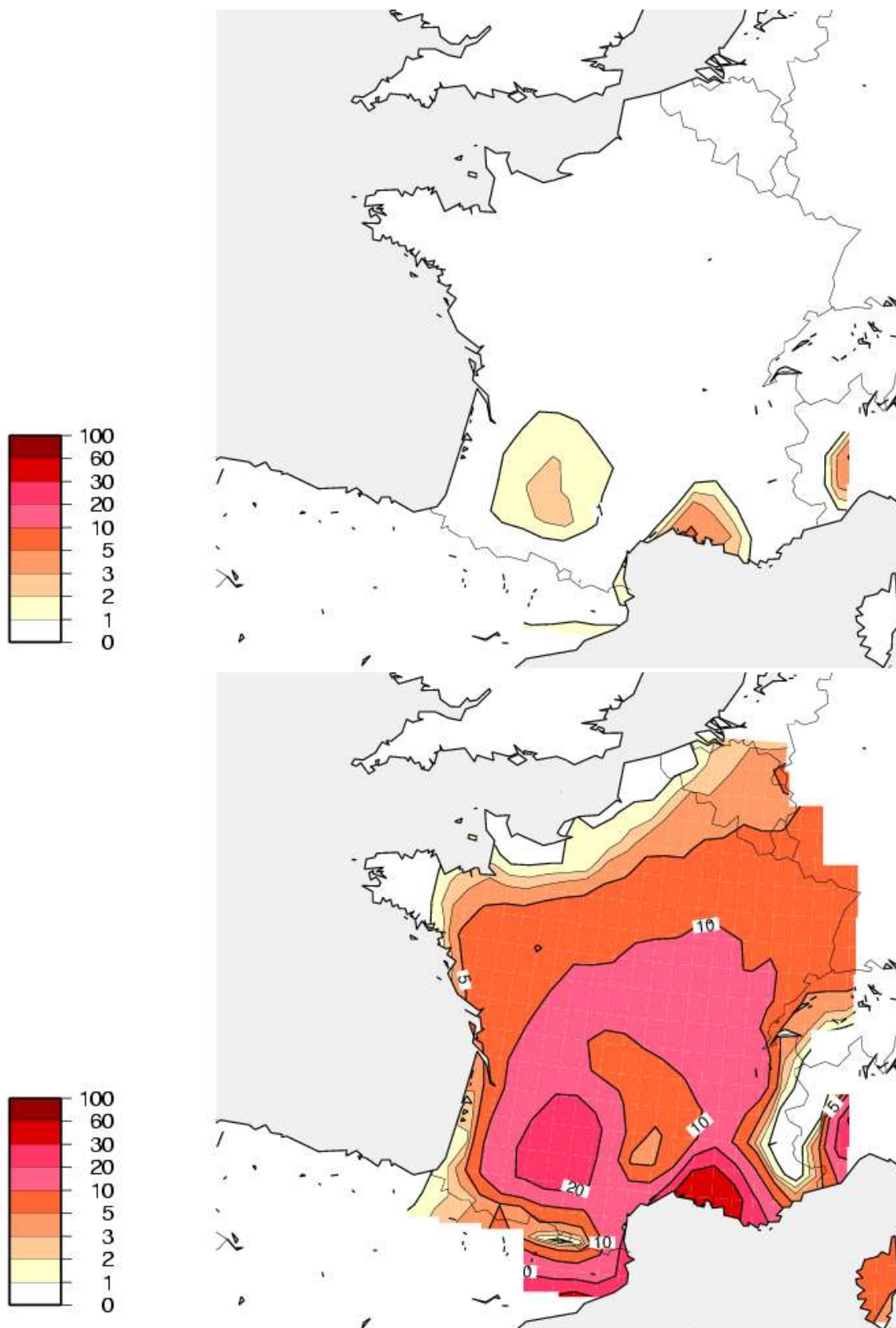


Figure 7: Nombre moyen de jours par an avec une température maximale diurne supérieure à 30°C pendant au moins 10 jours consécutifs pour le climat présent (haut) et le scénario (bas)