

# Les modèles de prévision climatique en région méditerranéenne

par Valérie JACQ

***Depuis les derniers rapports  
du GIEC, le réchauffement  
climatique de la planète est sans  
équivoque. Mais que prévoient les  
modèles de prévision climatique  
pour la région méditerranéenne ?***

***Valérie Jacq nous expose ici les  
prévisions dont on dispose pour  
notre région, mais aussi le travail  
actuel de Météo-France  
sur la régionalisation des modèles  
climatiques de prévision,  
notamment pour la Méditerranée.***

Créé par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en 1988, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, IPCC en anglais) a publié en 1990, 1995 et 2001, trois rapports :

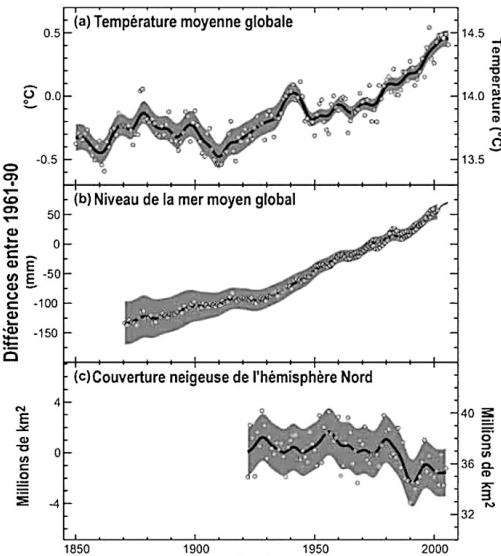
- 1990 : constat d'un réchauffement global ;
- 1995 : ce réchauffement pourrait être imputé aux activités humaines (utilisation des énergies fossiles, aménagement du territoire...) ;
- 2001 : la majeure partie du réchauffement des 50 dernières années est clairement due à l'Homme et devrait s'inscrire dans la durée, avec une fourchette de températures de 1,4°C à 5,8°C selon les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre.

En 2007, le GIEC publie son quatrième rapport, construit sur la base de ses rapports précédents et enrichi des nouveaux résultats de six années de recherche.

Le GIEC comporte trois groupes qui ont publié séparément leurs rapports.

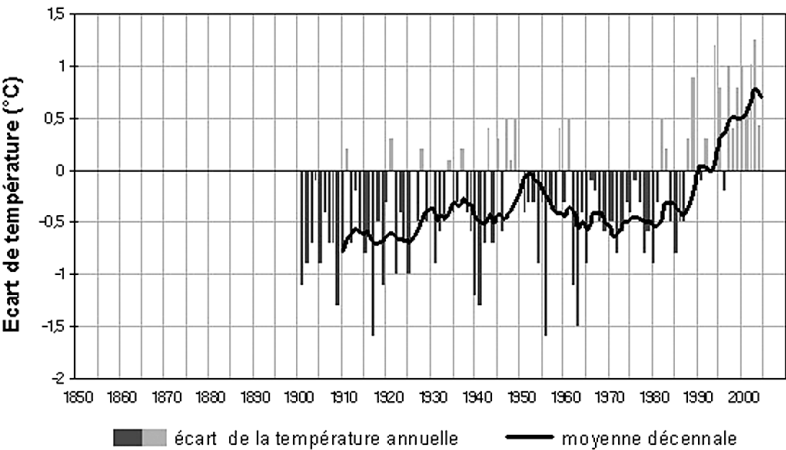
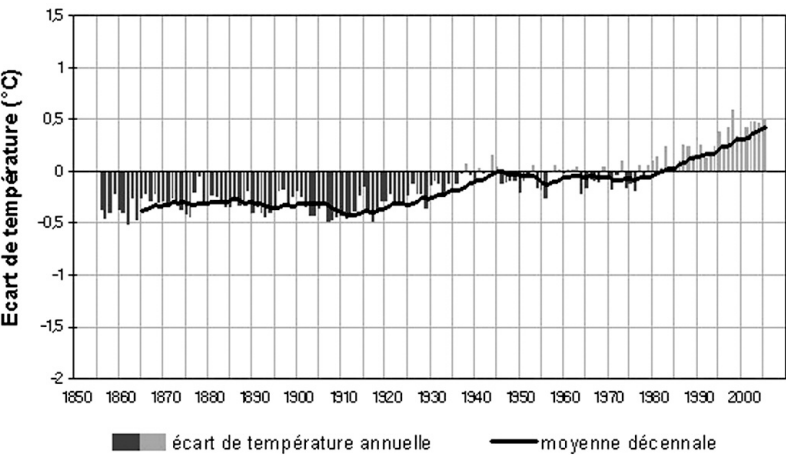
Le groupe 1 fait le point sur l'état de la recherche scientifique en matière de système et d'évolution climatique. Le groupe 2 traite des impacts des changements climatiques et des possibilités de s'y adapter. Le groupe 3 examine les moyens de réduction des gaz à effet de serre et d'atténuation du changement climatique en général.

**Fig. 1 (ci-contre) :**  
Modification  
de température,  
de niveau de la mer et de  
couverture neigeuse.  
Source : GIEC, 2007



**Fig. 2a (ci-dessous) :**  
Evolution  
des températures  
moyennes mondiales  
de 1856 à 2005  
Source Climate Research  
Unit (CRU)

**Fig. 2b (en bas) :**  
Evolution  
des températures  
moyennes en France  
métropolitaine  
depuis 1901  
Source Météo-France



Les résumés des trois rapports, ainsi que le rapport de synthèse, publié à Valence le 16 novembre 2007, sont accessibles sur le site de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique :  
ONERC, rubrique GIEC :  
<http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html>

Les principaux apports des travaux du groupe 1 sont :

- une compréhension scientifique des causes humaines et naturelles des changements climatiques actuels et futurs ;
- une amélioration dans la compréhension des processus et dans leur simulation par des modèles ;
- une exploitation plus complète des fourchettes d'incertitude.

## Les résultats publiés par le GIEC en 2007

Pour la première fois, dans les rapports des trois groupes, les degrés d'incertitude sont exprimés dans les mêmes termes (Cf. Tableau ci-dessous).

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque (Cf. Fig. 1), car il est maintenant évident dans :

- les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan. La courbe du haut montre l'évolution de la température moyenne à la surface de la Terre depuis le

### Vraisemblance

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| – pratiquement certain     | > 99% de probabilité |
| – extrêmement probable     | > 95%                |
| – très probable            | > 90%                |
| – probable                 | > 66%                |
| – plus probable que non    | > 50%                |
| – très peu probable        | < 10%                |
| – extrêmement peu probable | < 5%                 |

### Confiance

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| – très grande confiance | au moins 9 chances sur 10 d'être exacte |
| – grande confiance      | 8 chances sur 10                        |
| – confiance moyenne     | 5 chances sur 10                        |
| – faible confiance      | 2 chances sur 10                        |
| – très faible confiance | moins d'une chance sur 10               |

début des mesures instrumentales. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la température moyenne du globe a augmenté de plus de 0,7 °C. Depuis 1975, le réchauffement est très net et s'accélère. Les températures moyennes de l'hémisphère Nord au cours des 50 dernières années sont vraisemblablement les plus élevées depuis au moins 1300 ans ;

- l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (l'élévation moyenne totale du niveau de la mer au XX<sup>e</sup> siècle (1961-2003) est comprise entre 12 et 22 cm) ;

- la fonte généralisée de la neige et de la glace.

Au XX<sup>e</sup> siècle, la terre s'est réchauffée en moyenne de 0,74 (0,56 à 0,92)°C (Cf. Fig. 2a).

En France métropolitaine, ce réchauffement est voisin de 1°C (Cf. Fig. 2b).

Grâce à un travail de saisies de données anciennes entrepris depuis plusieurs années à Météo-France, de nombreuses séries climatiques de 100, voire 150 ans, sont à présent disponibles.

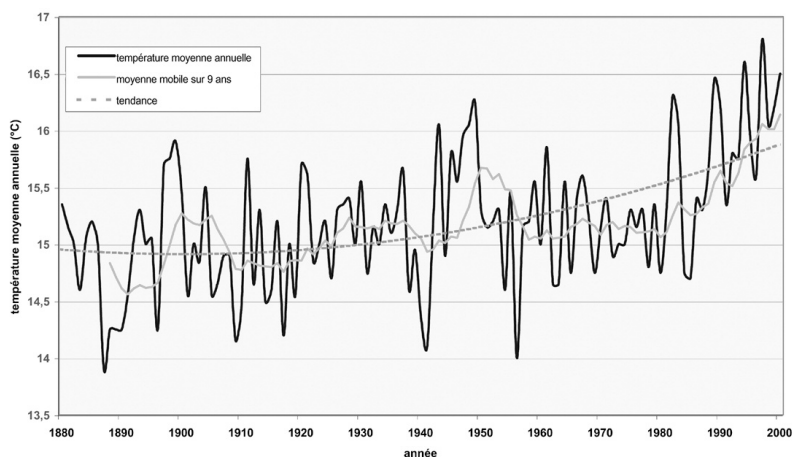
Ces séries subissent des traitements statistiques afin de les rendre homogènes. Elles permettent de quantifier le réchauffement climatique sur notre territoire.

Sur la figure 3 est représentée l'évolution des températures moyennes annuelles sur la ville de Marseille depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

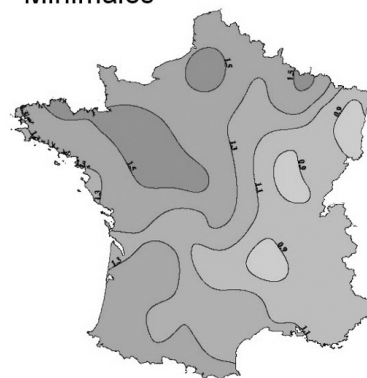
Ce réchauffement n'est pas uniforme spatialement.

De plus, il est plus marqué sur les minimales que sur les maximales (Cf. Fig. 4).

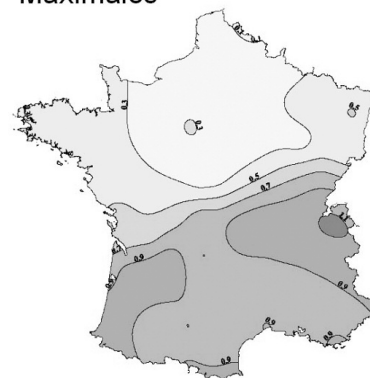
En ce qui concerne les phénomènes extrêmes (tempêtes ou pluies diluviennes), il n'a pas été constaté d'augmentation significative au cours du XX<sup>e</sup> siècle en France métropolitaine (Cf. Fig. 5).



Minimales



Maximales



De haut en bas :

**Fig. 3 :**

Evolution de la température moyenne annuelle à Marseille depuis 1880

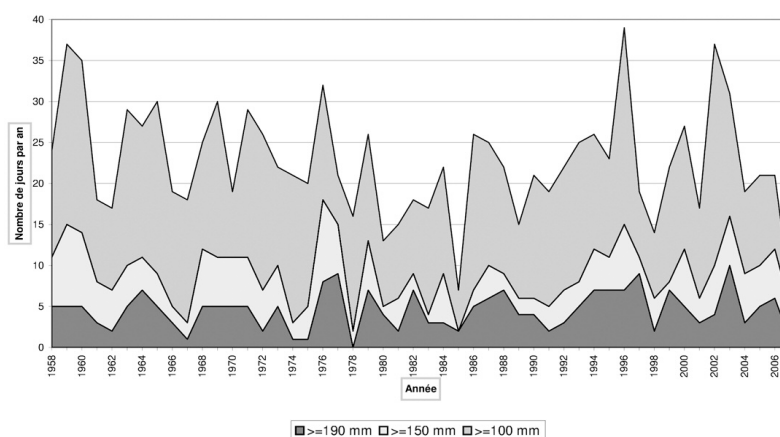
**Fig. 4 :**

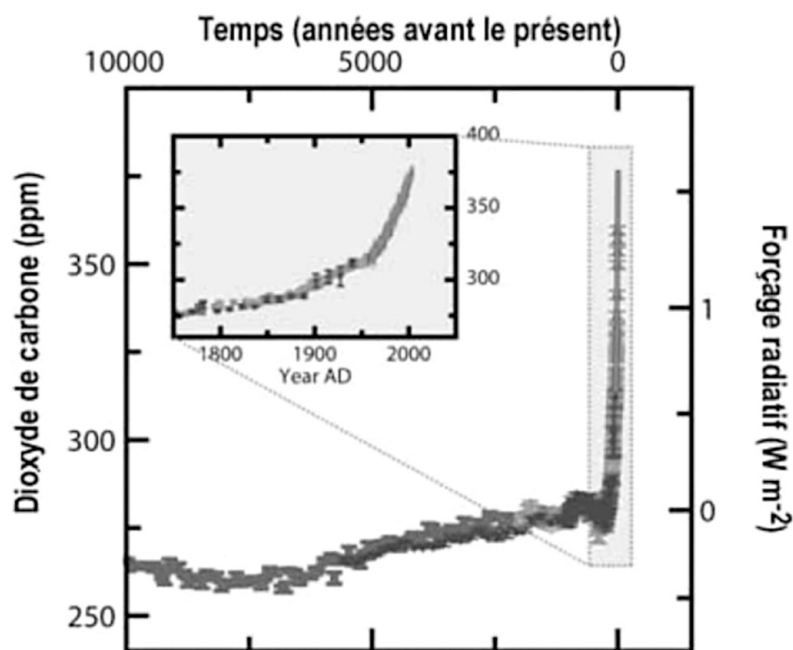
Tendance des températures maximales et minimales, 1901 - 2000, en °C par siècle

**Fig. 5 :**

Evolution du nombre annuel de jours de pluies  $\geq 100$ , 150 ou 190 mm sur les régions méditerranéennes de la France de 1958 à 2007

Source Météo-France





**Fig. 6 :**  
Evolution des  
concentrations de CO<sub>2</sub>  
depuis 100 000 ans  
Source GIEC

L'essentiel de ce réchauffement est très vraisemblablement (probabilité > 90 %) dû à l'augmentation des gaz à effet de serre anthropiques.

La concentration du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère est à son plus haut niveau depuis 650 000 ans. Elle atteignait 379 parties par millions en 2005 contre 280 ppm environ à l'ère préindustrielle (Cf. Fig. 6).

## Modélisation du climat

Comment les scientifiques affirment que l'effet de serre additionnel est la cause du réchauffement récent du climat ?

Pour connaître les effets des gaz à effet de serre, les scientifiques simulent le comportement du système terrestre à l'aide de modèles climatiques fonctionnant sur d'énormes calculateurs. C'est en effet le seul moyen dont ils disposent pour comprendre et reproduire la complexité du système terrestre et les multiples interactions entre ses composantes : l'atmosphère, l'océan, les glaces, les sols et la végétation.

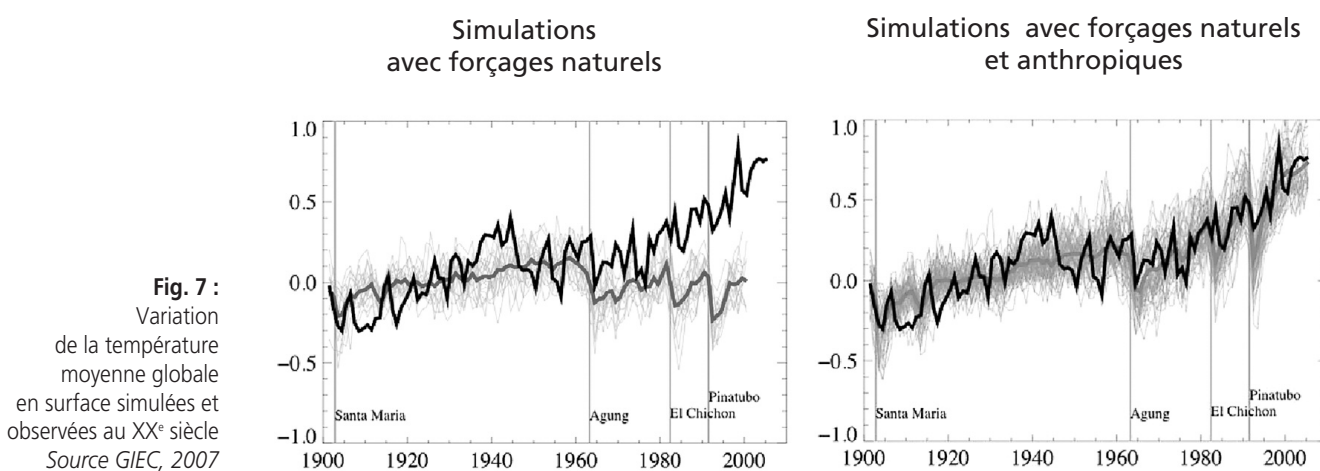
Les modèles climatiques les plus complexes ont une résolution spatiale (la maille du modèle) variant de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres.

Les modèles décrivant l'évolution du climat sur plus d'un siècle sont couplés à des modèles décrivant l'évolution de l'océan, de la banquise...

La modélisation du système climatique et de son évolution au cours du XX<sup>e</sup> siècle en réponse aux modifications des sources de variabilité climatique, est utilisée pour déterminer l'origine des évolutions climatiques récentes...

Certes, il existe des facteurs naturels susceptibles de faire varier la température à la surface de la Terre : la variabilité intrinsèque du climat, les variations du rayonnement solaire arrivant sur la Terre, les variations orbitales terrestres, les cycles solaires, l'activité volcanique... mais elles ne suffisent pas à expliquer le réchauffement observé (Cf. Fig. 7, à gauche).

Le seul facteur capable d'expliquer l'amplitude et les caractéristiques de ce réchauffement est l'émission de gaz à effet de serre (Cf. Fig. 7, à droite).



**Fig. 7 :**  
Variation  
de la température  
moyenne globale  
en surface simulées et  
observées au XX<sup>e</sup> siècle  
Source GIEC, 2007



## Evolutions prévues pour 2100

Les estimations les plus probables du réchauffement au XXI<sup>e</sup> siècle sont comprises entre 1,8° et 4°C pour les différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre pris en compte dans les modèles, et probablement comprises entre 1,1° à 6,4°C en tenant compte des incertitudes de la simulation du climat.

Les projections du réchauffement ne sont pas uniformes sur l'ensemble du globe : il est plus marqué sur l'hémisphère Nord. Au niveau des précipitations, les projections peuvent être différentes d'un modèle à l'autre en ce qui concerne les régimes de mousson. En revanche, en ce qui concerne l'augmentation des précipitations au nord, et leur diminution autour du bassin méditerranéen, ils concordent.

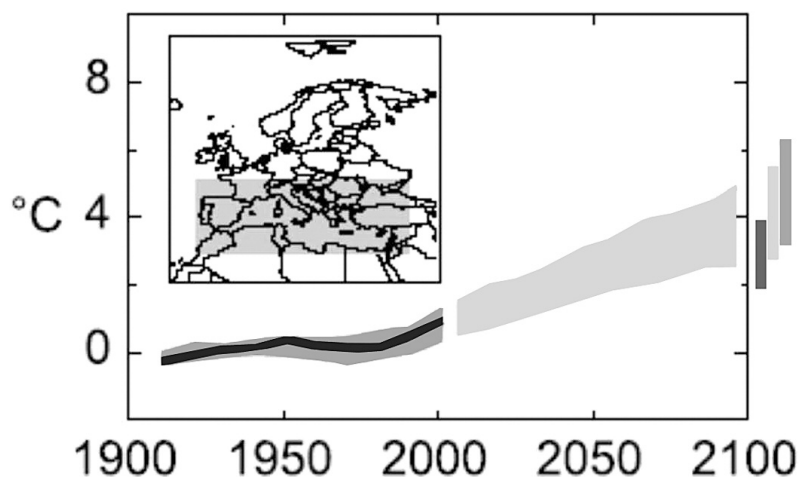
## Régionalisation de l'étude du climat et projections sur le bassin méditerranéen

Le but de la régionalisation du climat est d'étudier des phénomènes régionaux (quelques dizaines de km) non accessibles aux modèles de climat globaux classiques, de résolution spatiale trop basse (de l'ordre de 200 à 300 km) et de les étudier à différentes échelles temporelles climatiques (intra-saisonnier, variabilité interannuelle, tendance...). La régionalisation climatique nécessite donc en même temps de longues simulations (plusieurs dizaines d'années) et de la haute résolution spatiale (de l'ordre de 50 à 20 km).

Actuellement, les simulations disponibles pour la France métropolitaine sont issues du modèle « Arpège Climat étiré », dont la maille, de taille variable, est de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres sur notre pays.

Des modélisations sont en cours pour utiliser le modèle ALADIN-Climat, de résolution plus fine (20 km), sur la zone méditerranéenne, ce modèle étant « emboîté » dans le précédent, c'est-à-dire utilisant ses résultats en limite de zone.

Le bassin méditerranéen est un bon objet d'étude pour la régionalisation climatique. En effet, il est entouré de nombreux reliefs aux formes complexes qui canalisent des vents régionaux (mistral, tramontane...). Il



possède également de nombreuses îles de relativement petite taille qui font obstacle au flux en basse couche et son trait de côte est particulièrement complexe (présence de presqu'îles telles que l'Italie et la Grèce). Ces caractéristiques géographiques nécessitent une modélisation numérique à haute résolution. En Méditerranée, ce qui est vrai pour l'atmosphère est également vrai pour la mer (trait de côte complexe, îles, détroits peu profonds). Afin d'être correctement représentée, celle-ci nécessite des modèles océaniques à une résolution de l'ordre de 10 km.

Le bassin méditerranéen est une région où les résultats entre les modèles globaux du GIEC sont en accord, à savoir :

- une augmentation forte de la température annuelle moyenne, le réchauffement étant maximal en été et plus fort sur les températures maximales. Il devrait être sensible rapidement au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ;
- une diminution des précipitations moyennes sur l'année, plus forte en été (visible au milieu du XXI<sup>e</sup> siècle) et du nombre de jours de pluie .

Ceci entraînera un risque de sécheresse plus important (assèchement des sols), une diminution de la période enneigée et des débits des fleuves méditerranéens.

Météo-France travaille actuellement sur la régionalisation de ses modèles climatiques de prévision, notamment en Méditerranée, afin de quantifier dans l'espace et le temps, les diverses projections du changement climatique, les principales préoccupations étant l'évolution des températures, de la ressource en eau et des phénomènes extrêmes.

V.J.

**Fig. 8 :**  
Anomalies de température par rapport à la période 1901-1950 pour la zone Méditerranée

■ observations  
■ simulations GIEC  
■ projections A1B.  
Barres d'incertitude :  
période 2091-2100  
■ scénario B1  
■ scénario A1B  
■ scénario A2  
Source GIEC

Valérie JACQ  
Responsable  
du service  
de climatologie  
Direction  
Interrégionale Sud-  
Est - Météo-France  
2 Boulevard du  
Château-Double  
13098 Aix-en-  
Provence cedex 02  
Mél : vale-  
rie.jacq@meteo.fr

## Résumé

---

D'après le quatrième rapport du GIEC, le réchauffement du système climatique planétaire est sans équivoque : observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan ; fonte généralisée de la neige et de la glace ; élévation du niveau moyen mondial de la mer.

L'essentiel de ce réchauffement est dû (probabilité > 90 %) à l'augmentation des gaz à effet de serre anthropiques. Les estimations les plus probables du réchauffement au XXI<sup>e</sup> siècle sont comprises entre 1,8° et 4°C.

Au XX<sup>e</sup> siècle, la terre s'est réchauffée en moyenne de 0,74 (0,56 à 0,92)°C. En France métropolitaine, ce réchauffement, non uniforme, est voisin de 1°C.

A l'échelle du bassin méditerranéen, les 23 modèles climatiques mis en œuvre par le GIEC concordent sur les prévisions suivantes : augmentation forte de la température annuelle moyenne ; réchauffement maximal en été et plus fort pour les températures maximales ; réchauffement sensible rapidement ; diminution des précipitations moyennes sur l'année et plus forte en été ; diminution du nombre de jours de pluie ; risque de sécheresse plus important ; diminutions de la période enneigée et des débits des fleuves méditerranéens ; diminution du nombre de dépressions et des vents forts associés.

Météo-France travaille actuellement sur la régionalisation de ses modèles climatiques de prévision, notamment en Méditerranée, afin de quantifier dans l'espace et le temps, les diverses projections du changement climatique, les principales préoccupations étant l'évolution des températures, de la ressource en eau et des phénomènes extrêmes.

## Summary

---

### Models for predicting climate around the Mediterranean Rim

According to the fourth report of the IGSC (GIEC), there can be no doubting that our planet's climatic system is getting warmer: observations have registered an increase worldwide in the mean temperatures of the atmosphere and the oceans ; generalised melting of snow and ice ; a rise in the average sea-level worldwide.

The main part of this warming is due (probability >90%) to the increase in greenhouse gases coming from human activity. The most likely estimates of warming during the 21st century range from 1.8°C to 4°C. In the 20th century, the Earth's temperature went up by an average 0.74°C (0.56-0.92°C). In mainland France, this non-uniform increase was around 1°C.

For the areas around the Mediterranean Rim, the 23 climate models generated by the IGSC (GIEC) agree about the following forecasts : a big rise in the mean annual temperature ; maximum warming in summer and even more so for the maximum temperatures ; an appreciable rise early on ; a drop in levels of rainfall, both for the year-round average and especially in summer ; a drop in the number of rainy days ; higher likelihood of drought ; shortened periods under snow and a drop in flow rates of Mediterranean rivers ; a drop in the number of depressions and the strong winds accompanying them. Météo-France is presently working to regionalise its models for climate forecasting, especially for the Mediterranean, in order to quantify in space and time the various projections for climate change, most notably the evolution in temperatures, the water resource and extreme phenomena.