

RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE:

**Les nouveaux
résultats des
modèles français**

**GLOBAL
WARMING:**

**New Results
from the French
Models**

Préparation du 4^{ème} rapport du GIEC

Dans le cadre de la préparation du prochain rapport du GIEC à paraître en 2007, et à la demande de la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre (MIES), avec le soutien des organismes de recherche (CNRS, CEA, Météo-France), la communauté climatique française vient de réaliser un exercice de simulation de l'évolution du climat sans précédent. C'est en effet la première fois qu'elle participe à la réalisation de l'ensemble des simulations de scénarios recommandés par le GIEC pour servir de base à l'évaluation des changements climatiques futurs. Ces expériences s'appuient sur des scénarios d'évolution de la concentration des gaz à effet de serre et de particules (aérosols) liés aux activités humaines qui couvrent l'ensemble des 20^{ème} et 21^{ème} siècles (**Figure 1**). L'exercice comprend aussi des scénarios de stabilisation des concentrations qui préfigurent l'impact de mesures de réduction des émissions faisant suite au protocole de Kyoto. Ils permettront d'analyser l'inertie du système climatique.

Les deux modèles français considérés représentent la circulation atmosphérique et océanique, la glace de mer, les surfaces continentales et leurs couplages. Ils permettent de générer sur des grilles tridimensionnelles de l'océan et de l'atmosphère les données nécessaires pour caractériser l'évolution du climat au cours du temps. Bien que basés sur les mêmes lois de la physique, ils diffèrent par les traitements des équations et par les degrés d'approximation nécessaires pour représenter les phénomènes de petites échelles (nuages, interactions entre l'atmosphère et la végétation, etc...).

The 4th IPCC report preparation

Within the framework of the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), to be published in 2007, and at the request of the French Interministerial Mission on the Greenhouse Effect (MIES), the French climate research community, with the support of its research bodies (CNRS, CEA, Météo France), has just carried out an unprecedented exercise in climate change simulations. It is, indeed, the first time that this community has realised the full set of scenario simulations recommended by IPCC that will serve as the basis for the assessment of anthropogenic climate change. These scenarios are based on possible concentration evolutions of anthropogenic greenhouse gas and aerosol, and cover the 20th and 21st centuries (**Figure 1**). In particular, this exercise includes scenarios of concentration stabilisation that foreshadow the impact of measures taken to conform to the Kyoto protocol. The inertia of the climate system can thus be studied.

The two French climate models presented here include representations of the atmospheric and oceanic circulation, sea ice, continental surfaces and their interactions. They generate on tri-dimensional grids the data needed to describe the time evolution of the climate system. Although based on the natural laws of physics, the models differ in the solving of the equations and the approximation levels used to represent small-scale phenomena (clouds, atmosphere-vegetation interactions, etc ...).

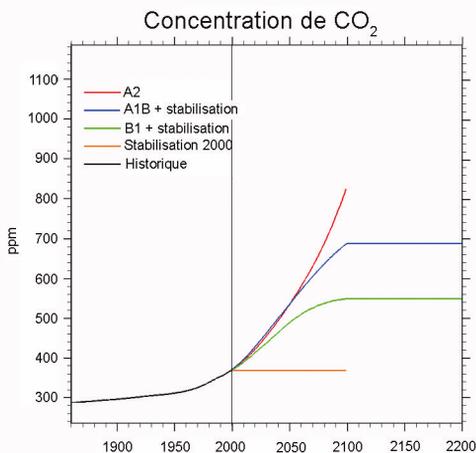


Figure 1

Plusieurs scénarios climatiques ont été réalisés. Le premier est une simulation du climat préindustriel (milieu du 19^{ème} siècle), non encore perturbé par les activités humaines. Le deuxième correspond à l'évolution du climat au cours du 20^{ème} siècle (de 1860 à 2000). Ce scénario est destiné à comprendre comment les différents facteurs (gaz à effet de serre, aérosols sulfatés, modification de la constante solaire et volcanisme) ont contribué à l'évolution du climat sur cette période. Tous les autres correspondent à des projections pour le 21^{ème} siècle suivant différents scénarios d'évolution des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés, estimés à partir d'hypothèses sur les évolutions économiques et démographiques (B1, A1B, A2). Ces scénarios sont complétés par 3 simulations de stabilisation, d'une durée de 200 ans, au cours desquelles les forçages restent fixés au niveau de la fin du 20^{ème} ou de la fin du 21^{ème} siècle.

Several scenario simulations have been realised. The first is a simulation of the pre-industrial climate (middle of the 19th century) in the absence of human perturbations. The second scenario covers the historical period (1860-2000). It will help to understand how different factors (greenhouse gases, sulfate aerosols, change in the solar constant, volcanic activity) have influenced climate over that time period. The remaining scenarios correspond to 21st century projections of greenhouse gas and sulfate aerosol concentrations based on different hypothesis of future socio-economical development (B1, A1B, A2). Finally, three additional 200-year long stabilisation simulations were produced where the radiative forcing is held at its 2000 or 2100 level.

Les premiers résultats obtenus montrent qu'il existe toujours une large plage d'incertitude entre les projections climatiques réalisées avec les deux modèles. Pourtant, les modèles ont été améliorés depuis le précédent exercice du GIEC (2001), et la complexité du système climatique (banquise, rôle des grands fleuves, etc...) est mieux représentée. La raison de ce paradoxe tient à la difficulté de représenter dans les modèles la complexité des rétroactions en jeu dans le système climatique. Une illustration de ces incertitudes est donnée par l'évolution de la température à l'échelle de la planète simulée par les deux modèles français (Figure 2).

The results obtained show that, although the two models have been improved and the complexity of the climate system (sea ice, rivers run-off,...) is better represented since the previous IPCC report, there is still a wide range of uncertainty between their climate projections. This seeming paradox comes from the inherent difficulty in representing in climate models the complexity of the various feedbacks in the climate system. An illustration of such uncertainty is given by the evolution of temperature as simulated by the two French models (Figure 2).

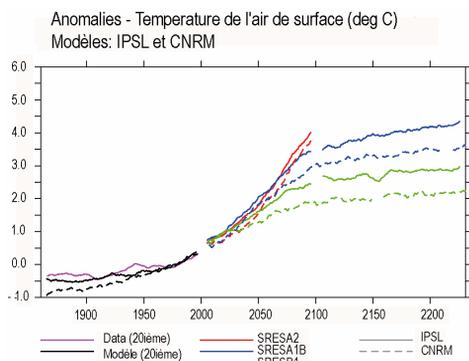


Figure 2

Evolution de la température simulée pour les différents scénarios.

Toutes les valeurs sont ramenées aux moyennes des années 1961-1990 qui constitue une période de référence. Les deux modèles français simulent un réchauffement planétaire moyen similaire de 4°C en 2100 pour le scénario le plus pessimiste (scénario A2). Le réchauffement simulé par le modèle du CNRM est moins marqué que celui du modèle de l'IPSL pour les scénarios de concentration plus faibles. Pour le scénario B1, la différence entre les deux modèles atteint 0.5°C en 2100. La stabilisation de la concentration du gaz carbonique ne suffit pas à maintenir la température planétaire. Le système climatique continue à se réchauffer d'autant plus fortement que le niveau de stabilisation est élevé. Ainsi les deux modèles français suggèrent une augmentation de température additionnelle d'environ 0.5°C pour le scénario B1 et de 0.7°C pour le scénario A1B à l'horizon de 2300, après stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre aux valeurs de 2100.

Change in temperature as predicted for the different scenarios. Results are shown as anomalies relative to the reference period (1961-1990). The two French models simulate a global warming of some 4°C by 2100 for the worst case scenario (A2). CNRM warming is lower than IPSL for lower concentration scenarios. For the B1 scenario, the difference in temperature between the models reaches 0.5°C by 2100. The stabilisation of greenhouse gas concentrations does not translate into a stabilisation of temperature. Because of inertia, the climate system will continue its warming trend; the larger the stabilisation concentration, the larger the additional warming. The two French models simulate a further rise in temperature, around the year 2300, of 0.5°C for the B1 scenario and 0.7°C for the A1B scenario, after stabilisation of greenhouse gas concentrations at their year 2100 level.

La répartition des changements de température ou de précipitation est comparable à très grande échelle d'espace (tropiques, moyennes et hautes latitudes, continents par rapport aux océans) entre les deux modèles (Figures 3 et 4). Cependant, à l'échelle d'une région particulière de la planète (comme l'Atlantique Nord ou les régions de mousson), les différences sont notables. La plus grande disparité sur l'amplitude et la répartition géographique des précipitations provient du caractère de très petite échelle des nuages et de la pluie. Les processus de petite échelle sont difficiles à représenter dans les modèles climatiques, d'où l'intérêt d'utiliser différents modèles. Une analyse approfondie de l'origine des différences permettra de mieux appréhender la question des incertitudes.

The distribution in the changes of temperature or precipitation levels is similar between the two models (Figures 3 et 4) at very large scales (tropics, mid and high latitudes, land /sea contrast). However, when considering a particular region (such as the North Atlantic or monsoon regions), differences between the two models are marked. The discrepancy in amplitude and geographic distribution of precipitation stems from the small scale character of rain and clouds which is difficult to properly represent in large scale models. This shows the value in using several models with differing behaviours at these scales. A detailed analysis of these differences will allow us to better address the climate uncertainty issue.

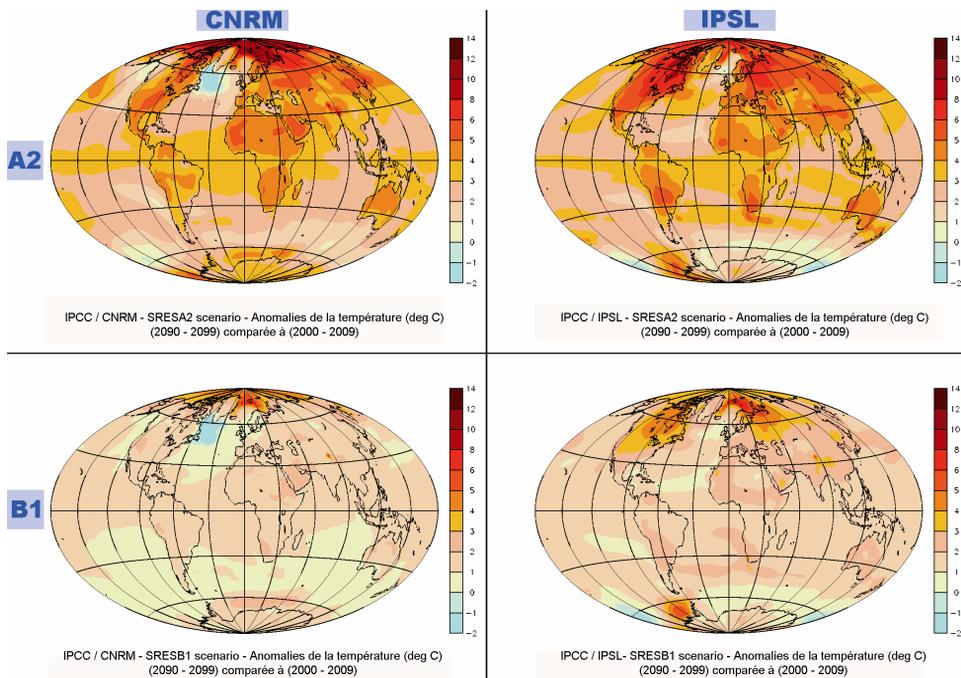


Figure 3

Réchauffement simulé (en °C) à l'horizon 2100 pour les scénarios A2 et B1 par les modèles du CNRM et de l'IPSL.

Les deux modèles simulent un réchauffement supérieur à 5°C pour les régions continentales de l'hémisphère nord et les régions arctiques. Dans l'hémisphère sud le réchauffement est moins marqué, voir inexistant autour de l'Antarctique. Une zone de température légèrement plus froide (ou sans changement notable) dans l'Atlantique Nord reflète des modifications de la circulation océanique. Les résultats indiquent pour le scénario le plus pessimiste (A2) un réchauffement marqué sur l'Europe et l'Eurasie d'environ 3 à 5°C suivant la zone. Néanmoins, les estimations entre les deux modèles varient d'environ 1°C à 2°C. On peut aussi noter que le réchauffement simulé dans les régions sèches s'étendant de l'Afrique au nord de l'Inde est relativement marqué (environ 4°C) pour les deux modèles, et plus fort que les résultats obtenus pour le rapport de 2001. Pour un même modèle, le réchauffement simulé a une amplitude moindre pour le scénario le plus optimiste (B1).

Warming trends (°C) around year 2100 simulated by the CNRM and IPSL models for the A2 and B1 scenarios.

Both models simulate a warming trend larger than 5°C for the Northern Hemisphere continental regions and the Arctic regions. In the Southern Hemisphere, the warming trend is less pronounced and even negligible around the Antarctic. A region of slightly cooler temperatures (or without significant change) in the North Atlantic reveals a change in oceanic circulation. For the worst case scenario (A2), a marked increase in temperature, of some 3 to 5°C depending on the region, can be observed over Europe and Eurasia. Nevertheless, temperature change between the two models can vary between 1°C and 2°C. One can also point out that the simulated warming over dry regions, stretching from North Africa to northern India, is rather pronounced (4°C) for both models and stronger than that obtained for the 2001 IPCC report. For both models, the simulated warming shows smaller amplitude for the best case scenario (B1).

Changement de précipitation

Change in precipitation

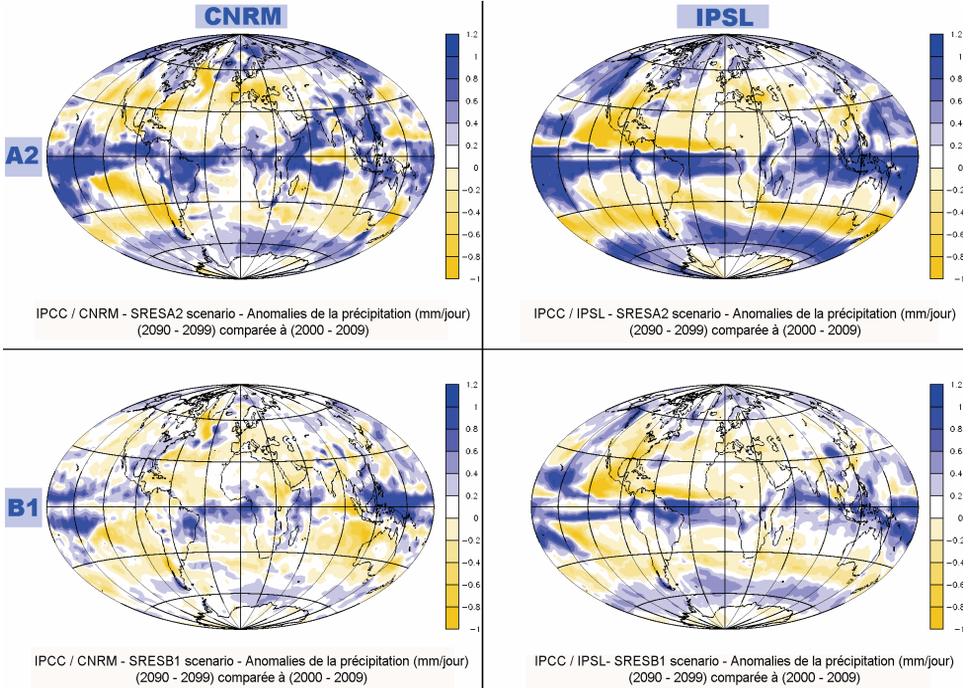


Figure 4

Changement de précipitation (en mm/jour) simulé à l'horizon 2100 pour les scénarios

A2 et B1 pour les modèles du CNRM et de l'IPSL. Comme pour les cartes de changements de température, de grandes similitudes apparaissent sur des cartes de changement de précipitation. Les régions du globe aujourd'hui sèches tendent à s'assécher encore et les régions humides à s'humidifier. L'augmentation des précipitations est la plus marquée dans les régions tropicales, et l'assèchement plus marqué dans les régions subtropicales. Les deux modèles s'accordent pour simuler une aridification des régions méditerranéennes et une humidification des régions plus nordiques (Europe du Nord). Les résultats des deux modèles sont plus comparables pour le scénario A2 que pour le scénario B1, notamment sur la partie nord du continent américain. Alors que le réchauffement des régions africaines présente de nombreuses analogies entre les deux modèles, les changements de précipitations sont très différents.

Precipitation changes (mm/day) around year 2100 simulated by the CNRM and IPSL

models for the A2 and B1 scenarios. As for temperature change, generic patterns emerge on the precipitation changes maps. Regions of the globe that are already dry tend to become drier and wet regions wetter. Increases in precipitation are most pronounced in the tropics, while the largest decreases occur in the subtropics. Both models predict a drying of Mediterranean regions and a moistening at higher latitudes (Northern Europe). The models agree better when using scenario A2 than when using scenario B1, particularly over North America. Although the temperature change of African regions shows strong similarities between the two models, precipitation changes over these regions are quite different.

Pour analyser ces simulations, les chercheurs du CNRM, du CERFACS, de l'IPSL et d'autres laboratoires du CNRS comme le LGGE, se sont ralliés sous la bannière du projet ESCRIME. Dans les mois à venir, les nombreux projets d'analyses donneront une bonne image de notre capacité à modéliser le changement climatique (tendance et changement de variabilité). Sans être exhaustif, les thématiques abordées concernent en particulier l'étude du rôle des nuages, des connexions entre les tropiques et les moyennes latitudes, des régions de mousson, des régions australes ou encore l'influence du changement climatique sur les événements extrêmes. Les résultats seront valorisés par l'intermédiaire de l'ONERC.

To analyse these simulations, researchers from CNRM, CERFACS, IPSL and other CNRS laboratories, such as LGGE, have joined forces in the ESCRIME project. In the coming months, numerous sub-projects will provide a clear understanding of our ability to model climate change (trends and variability). Themes that will be studied include the role of clouds, the interconnections between tropical and mid-latitude regions, monsoon regions, southern regions and the influence of climate change on extreme events. All these results will be promoted through ONERC.

Sigles / Acronyms

CEA :	Commissariat à l'Energie Atomique
CERFACS :	Centre Européen de Recherche et de Formation en Calcul Scientifique
CNRM :	Centre National de Recherches Météorologiques
CNRS :	Centre National de la Recherche Scientifique
ESCRIME :	Etude des Scénarios Climatiques Réalisés par l'IPSL et Météo France
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
IPSL :	Institut Pierre-Simon Laplace
LGGE :	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
MIES :	Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre
ONERC :	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

