

Les nouveaux résultats des modèles français

Dans le cadre de la préparation du prochain rapport du GIEC⁷ à paraître en 2007, et à la demande de la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre avec le soutien des organismes de recherche (CNRS, CEA, Météo-France), la communauté climatique française vient de réaliser un exercice de simulation du climat sans précédent. La contribution des équipes françaises à l'élaboration du précédent rapport (2001) avait été limitée à l'exploitation des résultats de quelques simulations (scénarios de croissance régulière de la concentration du gaz carbonique, scénario original prenant en compte le couplage entre le climat et le cycle du carbone, scénarios climatiques régionalisés sur l'Europe, simulation des paléoclimats). C'est la première fois qu'elle participe à la réalisation d'un ensemble important de simulations de scénarios recommandés par le GIEC pour servir de base à l'évaluation des changements climatiques futurs.

Cet exercice de simulation du climat est aussi sans précédent au niveau international. Les simulations recommandées par le GIEC s'appuient sur des scénarios d'émission 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. Pour l'élaboration du précédent rapport (2001), seuls 8 groupes de modélisation avaient pu réaliser les simulations de scénarios de changement climatique recommandés et seulement 2 scénarios d'émissions pour le futur avaient été analysés à partir de l'ensemble des modèles (scénarios A2 et B2). L'exercice actuel rassemble les résultats de 14 groupes de modélisation, dont l'IPSL et le CNRM, et l'ensemble des simulations de scénarios climatiques à réaliser a été largement étendu. Ceci va permettre d'étudier de façon plus approfondie les impacts régionaux du changement climatique.

Les différents scénarios climatiques

Les simulations de scénarios climatiques sont au nombre de 11.

- Reproduire et comprendre le climat du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle

Le premier scénario, dit de référence, est une simulation non perturbée du climat du milieu du 19^{ème} siècle, correspondant à des conditions proches du pré-industriel. Le deuxième scénario 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. Il servira de support aux études de détection du changement climatique dans les observations récentes et à la détermination de la part des évolutions attribuable aux activités humaines.

- Simuler le climat du 21^{ème} siècle selon divers scénarios

Tous les autres scénarios correspondent à des projections pour le 21^{ème} siècle ou au-delà. Trois simulations sont associées à différents scénarios d'évolution des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés au cours du 21^{ème} siècle. Ces scénarios (définis par le GIEC) sont

⁷ Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

basés sur différents types d'évolution privilégiant une croissance démographique et économique rapide (scénarios A) ou des préoccupations environnementale (scénarios B) avec (type1) ou sans (type 2) transferts de technologie (voir graphique 1). Ces scénarios sont identiques à ceux qui étaient présentés dans le précédent rapport du GIEC. **Par contre, fait nouveau, ils sont complétés par des scénarios de stabilisation des concentrations qui, pour certains, préfigurent l'impact de mesures de réduction des émissions faisant suite au protocole de Kyoto.** Ces scénarios de stabilisation permettront aussi d'analyser l'inertie du système climatique. Ils consistent en 3 simulations portant sur une durée de 200 ans au cours desquelles les concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés restent fixées aux niveaux de la fin du 20^{ème} ou du début du 21^{ème} siècle. Enfin, pour compléter le panorama, il faut ajouter 3 autres scénarios plus académiques, en particulier destinés à comparer les résultats des modèles actuels à ceux des modèles de la génération précédente. Il s'agit d'un scénario d'augmentation de 1% par an de la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère et de deux scénarios de stabilisation à 2 et 4 fois la teneur actuelle. (voir graphique 2)

- L'investissement de calcul

La réalisation de ces scénarios représente un investissement de calcul considérable. Afin de terminer les simulations dans les délais impartis, des arrangements particuliers ont dû être trouvés sur les différents centres de calcul utilisés (centre de calcul de Météo-France à Toulouse, centres du CNRS (IDRIS⁸) et du CEA⁹ pour l'IPSL). L'ensemble des scénarios à réaliser représente environ 2000 années simulées, correspondant à 22 600 heures de calcul pour Météo-France et 20 000 heures de calcul pour l'IPSL, étalés sur 8 à 12 mois. Ces simulations 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. Cela représente 13 Teraoctets(To)¹⁰ de données pour Météo-France et 25 To de données pour l'IPSL. Les résultats ont été mis en forme et envoyés dans une base de données internationale localisée à Livermore (USA), d'où elles sont extraites pour être analysées par des chercheurs du monde entier.

Les résultats des modèles climatiques

Les premiers résultats obtenus avec l'ensemble des modèles ayant participé au même exercice suggèrent qu'il est illusoire de s'attendre à une réduction des incertitudes des projections climatiques. Pourtant, globalement, les modèles ont été améliorés depuis le précédent exercice. La complexité du système climatique (banquise, rôle des grands fleuves, ...) est mieux représentée. La raison de ce paradoxe et de cette incertitude tient à la complexité des différentes rétroactions qui se produisent dans le système climatique et la difficulté de la représenter dans les modèles.

- Les résultats des modèles français

Les deux modèles français ont un comportement satisfaisant vis à vis de nombreux critères climatologiques et une sensibilité (augmentation de température pour un scénario donné) légèrement plus forte que la moyenne des autres modèles. Malgré les nombreuses différences concernant la représentation des caractéristiques de la circulation de l'atmosphère et de ses couplages avec la circulation océanique, les surfaces continentales et la glace de mer, les deux modèles simulent un réchauffement planétaire moyen similaire de 4°C en 2100 pour le scénario le plus pessimiste (scénario A2) (voir graphiques 3 et 4). Les résultats des scénarios de stabilisation indiquent que la stabilisation de la concentration du gaz carbonique ne suffit pas à maintenir la température planétaire, le système climatique continuant à se réchauffer d'autant plus fortement que les émissions en gaz à effet de serre

⁸ Institut du Développement et des Ressources en Information Scientifique - CNRS

⁹ Commissariat à l'Energie Atomique

¹⁰ 1 teraoctet = 10¹² octets

sont élevées. Ainsi les deux modèles français suggèrent une augmentation de température additionnelle d'environ 0.5°C pour le scénario B1 (*voir graphiques 5 et 6*) 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. La répartition des changements de température ou de précipitation est aussi très comparable à très grande échelle d'espace (tropiques, moyennes et hautes latitudes, continents par rapport aux océans). Cependant, à l'échelle d'une région particulière de la planète (comme l'Atlantique Nord ou les régions de mousson), les différences sont notables. Cela montre l'intérêt d'utiliser plusieurs modèles dont les comportements sont différents à ces échelles. Une analyse approfondie de l'origine des différences permettra de mieux appréhender la question des incertitudes.

- L'analyse des résultats et le projet ESCRIME

Pour analyser ces simulations, les chercheurs du CNRM, du CERFACS¹¹, de l'IPSL et d'autres laboratoires du CNRS comme le LGGE¹², se sont ralliés sous la bannière du projet ESCRIME (Etude des scénarios climatiques réalisés par l'IPSL et du CNRM). 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). Dans le cadre du projet ESCRIME, un appel a également été lancé pour que d'autres équipes françaises analysent les résultats produits par le CNRM et l'IPSL. Une quinzaine de projets a d'ores et déjà été soumise dont 4 devraient contribuer directement au quatrième rapport du GIEC. Sans être exhaustif, les thématiques abordées concernent en particulier l'étude du rôle des nuages, l'étude des connexions entre les tropiques et nos latitudes, l'étude des régions de mousson, celle des régions australes ou encore l'influence du changement climatique sur les événements extrêmes.

En conclusion, l'activité autour des simulations de scénario climatique qui seront analysées dans le 4^{ème} rapport du GIEC, représente un véritable saut qualitatif par rapport à l'exercice précédent. Ce saut se mesure par le nombre de modèles participants, le nombre d'heures de calcul investi, la taille de la base de données et l'investissement de la communauté scientifique qui va analyser les résultats de ces simulations. Les résultats qui seront présentés dans le quatrième rapport du GIEC porteront sur les grandes tendances du changement climatique, l'analyse des différents facteurs affectant la sensibilité climatique, mais aussi sur une meilleure appréhension du climat aux échelles régionales et un intérêt accru pour la caractérisation des événements extrêmes. La part prise par la communauté scientifique française est aujourd'hui très significative mais cet effort ne pourra être maintenu à l'avenir sans un important investissement notamment en moyens de calcul scientifique ou l'accès aux machines les plus performantes.

¹¹ Centre Européen de Recherche et de Formation en Calcul Scientifique

¹² Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (CNRS/Université de Grenoble I)