

Groupe « 20^e-21^e siècles » Bilan 2004-2008

Version :25 juin 2008

1 Participation au 4^e rapport du GIEC

1.1 Réalisation des simulations de changement climatique

Dans le cadre de la préparation du 4^e rapport du GIEC, le groupe de travail sur les modèles couplés (WGCM en anglais) du programme mondial de recherche sur le climat (WCRP en anglais) a lancé en 2004, sous les auspices du GIEC, une action d'envergure pour encourager les équipes de modélisation à réaliser des simulations d'évolution du climat selon un protocole précis. Les résultats de ces simulations devaient être écrits selon un format standard et mis à disposition de l'ensemble de la communauté scientifique afin d'encourager les analyses croisées entre plusieurs modèles. Pour la première fois, les équipes françaises ont réalisé l'ensemble des simulations requises et ont ainsi pu contribuer plus fortement à la préparation du rapport.

La réalisation de ces scénarios a nécessité d'importantes ressources informatiques : environ 40 000 heures de calcul sur les calculateurs de l'IDRIS (CNRS) et du CCRT (CEA), et les résultats générés occupent un espace mémoire d'environ 40 Tera-octets (To).

1.2 Distribution et mise à disposition des résultats

Nos résultats ont été envoyés à la base de données du WCRP au PCMDI, base de données qui a été utilisée par de très nombreux scientifiques de part le monde. Ils ont ainsi contribué à plusieurs centaines d'articles dans les revues (voir une liste - incomplète - sur http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/subproject_publications.php) et ont été largement intégrés dans le quatrième rapport du GIEC.

Un ensemble plus complet de résultats des simulations de l'IPSL sont aussi accessibles via la page web suivante : mc2.ipsl.jussieu.fr. On y trouve pour chaque expérience les séries temporelles de nombreuses variables à différentes fréquences (hautes fréquences, journalières, mensuelles et annuelles); ainsi que le cycle saisonnier moyen sur 10 ans de tous les fichiers historiques. Les fichiers sont stockés sur le serveur DODS local ou sur celui des centres de calculs (IDRIS/CEA) en fonction de leur taille.

Ces résultats ont été utilisés pour différentes applications, par exemple pour des études de régionalisation.

Ref : Note technique Sébastien ?

2 Analyse des simulations de changement climatique

Un projet d'analyse commune des résultats des deux jeux de simulations réalisée par l'IPSL et le CNRM a été lancé sous le nom de projet ESCRIME. Dans le cadre de ce projet nous avons notamment rédigé un "livre blanc" comprenant un résumé de ces contributions.

2.1 Analyses générale

Les simulations réalisées pour le GIEC couvrent l'évolution du climat de 1860 à nos jours, ainsi que des projections pour le 21e siècle. Pour le 20e siècle, les tendances des températures simulées par les modèles sont cohérentes avec les observations aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle de la France. De nombreuses études ont été réalisées pour caractériser et évaluer les qualités et les limites des modèles aussi bien en terme d'état moyen que de variabilité, en se comparant aux observations récentes. Pour le futur et pour les différents scénarios, les modèles simulent un accroissement de température d'amplitude assez variable selon les modèles mais avec une distribution géographique assez cohérente. Pour les précipitations par contre, les divergences sont plus importantes aussi bien en terme d'amplitude globale qu'en terme de distribution géographique, notamment au dessus des continents.

Dufresne, J.-L., et al., 2006 : Simulation de l'évolution récente et future du climat par les modèles du CNRM et de l'IPSL. *La Météorologie*, **55**, 45–59.

Royer, J.-F., J.-L. Dufresne, and P. Braconnot, 2007 : Les simulations réalisées pour le GIEC. *Livre blanc ESCRIME*, 14–21.

2.2 Contribution des différentes rétroactions au changement de température et à la dispersion de son estimation

Nous avons estimé la part de l'accroissement de température due aux différentes rétroactions pour 12 modèles ayant participé à la préparation du 4e rapport du GIEC. Plusieurs des mécanismes régissant les valeurs des paramètres de rétroaction, et l'accroissement de température, sont maintenant bien identifiés. Les résultats montrent que les rétroactions liées à la vapeur d'eau sont ceux qui contribuent le plus au réchauffement alors que les rétroactions liées aux nuages sont celles qui contribuent le plus à la dispersion des estimations de réchauffement entre les modèles. D'autre part, un article de revue sur notre compréhension physique et sur notre capacité à évaluer physiquement les mécanismes de rétroaction mis en jeu en changement climatique a été rédigé et à servi de support à la rédaction de la section du 4ème rapport du GIEC sur ce sujet.

Bony, S., et al., 2006 : How well do we understand and evaluate climate change feedback processes? *J. Climate*, **19** (15), 3445–3482, doi : 10.1175/JCLI3819.1.

Dufresne, J.-L. and S. Bony, 2008 : An assessment of the primary sources of spread of global warming estimates from coupled atmosphere-ocean models. *J. Climate*, **accepted**, doi : 10.1175/2008JCLI2239.1.

2.3 Rétroaction des nuages

Jusqu'à récemment, le ou les types de nuages à l'origine de cette dispersion n'avaient pas été identifiés : les nuages associés à la convection profonde, les cirrus, les petits cumulus, les nuages de couche limite ? Sur la base d'une méthodologie originale permettant d'analyser les nuages tropicaux en fonction des régimes de circulations à grande échelle, nous avons étudié les rétroactions nuageuses simulées par une quinzaine de modèles couplés océan-atmosphère qui ont participé à la préparation du 4^e rapport du GIEC. Ce travail a permis de montrer que c'est principalement la réponse des nuages de couche limite (stratus, stratocumulus et

cumulus) qui est au coeur de cette dispersion entre modèles. Ceci ouvre la voie à de nouvelles stratégies d'étude et d'évaluation des nuages et de leur sensibilité dans les modèles de climat. Une figure du 4^e rapport du GIEC (Figure 8.15) est issue de ce travail.

Bony, S. and J.-L. Dufresne, 2005 : Marine boundary layer clouds at the heart of cloud feedback uncertainties in climate models. *Geophys. Res. Lett.*, **32** (20), L20 806, doi : 10.1029/2005GL023 851.

Bony, S., J.-L. Dufresne, H. Le Treut, J.-J. Morcrette, and C. Senior, 2004 : On dynamic and thermodynamic components of cloud changes. *Climate Dynamics*, **22**, 71–86.

Webb, M. J., et al., 2006 : On the contribution of local feedback mechanisms to the range of climate sensitivity in two GCM ensembles. *Climate Dynamics*, **27** (1), 17–38, doi 10.1007/s00 382–006–0111–2.

Williams, K. D., et al., 2006 : Evaluation of a component of the cloud response to climate change in an intercomparison of climate models. *Climatic Dynamics*, **26** (2-3), 145–165, doi : 10.1007/s00 382–005–0067–7.

2.4 Évolution des modes de variabilité

La variabilité climatique simulée et son changement sous l'action anthropique se caractérise par une grande diversité entre modèles. Cette disparité peut s'expliquer par des interactions spatio-temporelles différentes en particulier entre la variabilité interannuelle de type ENSO et le cycle saisonnier dans le Pacifique Tropical, l'activité intra-saisonnière de l'atmosphère tropicale etc. Elle s'explique aussi par la capacité des modèles à simuler correctement les téléconnexions ENSO qui ont tendance à être surestimées, dominant alors la variabilité des moussons (Afrique, Amérique du Sud etc.) voire des latitudes extra-tropicales. Les réponses des modèles au forçage anthropique, pour le cycle hydrologique en particulier, semblent être contrôlées en grande partie par la nature de ces télé-connexions ENSO. L'analyse des scénarios montrent que les caractéristiques de l'ENSO ne changent pas en climat perturbé. Les changements aux moyennes et hautes latitudes se caractérisent par une dynamique plus zonale se projetant sur la phase positive de l'Oscillation Nord Atlantique sur l'Europe.

Cassou, C. and E. Guilyardi, 2007 : Modes de variabilité et changement climatique. Synthèse du 4^e rapport d'évaluation du Giec. *La météorologie*, **59**.

Guilyardi, E., 2006 : El Niño- mean state - seasonal cycle interactions in a multi-model ensemble. *Climate Dynamics*, **26**, 329–348, doi :10.1007/s00382-005-0084-6.

Guilyardi, E., et al., 2004 : Representing El Niño in coupled ocean-atmosphere GCMs : the dominant role of the atmospheric component. *J. Climate*, **17**, 4623–4629.

2.5 Évolution du climat en arctique

Arzel, O., T. Fichefet, and H. Goosse, 2006 : Sea ice evolution over the 20th and 21st centuries as simulated by current AOGCMs. **12** (3), 401–415, doi :10.1016/j.ocemod.2005.08.002.

Arzel, O., T. Fichefet, H. Goosse, and J.-L. Dufresne, 2008 : Causes and impacts of changes in the Arctic freshwater budget during the 20th and 21st centuries in an AOGCM. *Climatic Dynamics*, **30** (1), 37–58, doi :10.1007/s00382-007-0258-5.

2.6 Évolution du climat sur les calottes polaires et du niveau des mers

Des observations satellitales montrent que les premières contribuent par leur fonte à une élévation du niveau des océans de près d'un mm/an sur la période 1993-2005, qui s'ajoute aux 2mm/an dus à la dilatation thermique des océans en phase de réchauffement. Pour la fin du 21ème siècle, les modèles indiquent que la fonte de la calotte groenlandaise devrait nettement s'accélérer. L'élévation associée du niveau de la mer devrait cependant être modérée en raison d'une augmentation de l'accumulation de neige sur l'Antarctique.

Une étude a été réalisée avec LMDZ4 zoomé sur l'Antarctique (60 km de résolution environ). Le bilan de masse pour le climat présent est correcte. Pour la fin du 21e siècle, les simulations montrent une augmentation du bilan de masse intégré principalement due à une augmentation des précipitations, avec des différences régionales assez marquées. Dans certaines régions, on prévoit même une réduction de la précipitation, à cause d'une augmentation de la glace de mer, elle-même due à une modification de la circulation atmosphérique dans l'océan austral.

Krinner, G., O. Magand, I. Simmonds, C. Genthon, and J.-L. Dufresne, 2007 : Simulated antarctic precipitation and surface mass balance of the end of the 20th and 21st centuries. *Clim. Dyn.*, **28** (2-3), 215–230, doi : 10.1007/s00382-006-0177-x.

2.7 Effet des anomalies de flux d'eau douce et de la fonte des calottes polaires sur le climat

Plusieurs pistes ont été poursuivies pour mieux comprendre le rôle de la branche océanique du cycle hydrologique faisant intervenir le couplage entre l'océan et les flux d'eau provenant de l'atmosphère, du ruissellement continental ou de la fonte des calottes polaires. Une attention particulière a été donnée aux modifications de la circulation thermohaline et à son rôle dans le climat. Les résultats de projets d'intercomparaison indiquent que pour le prochain siècle la réduction de la circulation thermohaline est principalement pilotée par le réchauffement des hautes latitudes qui stratifie l'océan de surface. La grande disparité de résultats entre différents modèles semble due au traitement de flux d'eaux pour lesquelles il existe encore une grande incertitude. En particulier, la fonte du Groenland sous l'effet du réchauffement climatique est négligée dans pratiquement toutes les projections qui ont été réalisées pour le GIEC 2007.

Nous avons analysé l'impact de la fonte des calottes polaires, paramétrisée de manière simple à partir d'un bilan thermodynamique de surface, sur la circulation thermohaline (THC), dans un scénario de doublement de CO2 stabilisé pendant 500 ans. Sur cette période, la paramétrisation mise en place entraînait la fonte de plus de la moitié de la calotte groenlandaise, ce qui est clairement une estimation très haute, résultat en parti dû à la simplicité de la paramétrisation utilisée. En réponse à cette fonte massive, la THC s'effondre dans le modèle, tandis qu'elle revient à son niveau préindustriel dans la simulation sans fonte. Nous avons ensuite utilisé ces deux simulations pour quantifier de manière originale les différentes rétroactions qui régissent la THC. Nous avons ainsi évalué que dans IPSL-CM4, une perturbation de densité de surface en Atlantique Nord était amplifiée par 2.5 du fait des rétroactions positives de la THC. Cette forte amplification explique en partie la forte sensibilité de la THC obtenue dans IPSL-CM4. Ces analyses combinées à l'analyse de simulations complémentaires ont aussi montré le rôle prépondérant du transport de sel des régions tropicales vers les régions de formation d'eau profonde.

Ces deux simulations ont aussi permis de quantifier l'impact climatique d'un arrêt de la THC dans IPSL-CM4. Le refroidissement induit par un arrêt de la THC est apparu être plus faible (en valeur absolue) que le réchauffement causé par le doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, hormis très localement autour de la mer d'Irminger. Un arrêt de la THC en réchauffement climatique ne cause donc pas de coup de froid sur l'Europe dans ce modèle. En revanche, la zone de convergence intertropicale est fortement affectée par ce flux d'eau. Les analyses en cours permettront de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu et l'impact sur la mousson africaine.

D'autre part, nous avons aussi évalué l'impact d'un changement de THC sur le cycle du carbone océanique. En utilisant le même type de protocole expérimental que précédemment, mais dans une simulation de 140 ans où l'on quadruple le CO₂ préindustriel, nous avons montré que la THC diminuait de 47% quand la fonte des glaciers était prise en compte, et de 21% sinon. L'intégration du modèle biogéochimique PISCES « off line » forcé par les deux scénarios précédents a révélé peu de changement quant à l'absorption océanique de CO₂, selon que l'on prenne en compte la fonte des calottes ou non. La diminution de la THC est donc apparu avoir un faible impact sur le puit de CO₂ océanique, notamment du fait de la compensation entre des processus liés à la solubilité et d'autres liés à l'alcalinité de l'océan.

Swingedouw, D., L. Bopp, A. Matras, and P. Braconnot, 2007a : Effect of land-ice melting and associated changes in the AMOC result in little overall impact on oceanic CO₂ uptake. *Geophys. Res. Lett.*, **34** (23), L23706, doi :10.1029/2007GL031990.

Swingedouw, D., P. Braconnot, P. Delecluse, E. Guilyardi, and O. Marti, 2007b : The impact of global freshwater forcing on the thermohaline circulation : adjustment of North Atlantic convection sites in a CGCM. *Climate Dynamics*, **28** (2), 291–305, doi :10.1007/s00382-006-0171-3.

Swingedouw, D., P. Braconnot, P. Delecluse, E. Guilyardi, and O. Marti, 2007c : Quantifying the AMOC feedbacks during a 2xCO₂ stabilization experiment with land-ice melting. *Climate Dynamics*, **29** (5), 521–534, doi :10.1007/s00382-007-0250-0.

2.8 Effet des aérosols sulfatés sur le climat

Une première série de travaux a été réalisée avec un évolution prescrite de la concentration en aérosols sulfaté, pré-calculé avec LMDZ et un modèle de chimie. Ces valeurs pré-calculées sont ensuite lues lors des simulations climatiques. L'effet radiatif direct de ces aérosols est pris en compte ainsi que le premier effet indirect et celui-ci a été ajusté dans LMDZ afin de mieux reproduire la relation entre la taille des gouttelettes et l'indice des aérosols donnés par différents jeux d'observations satellitales. Ces aérosols produisent un effet "refroidissant" sur le climat qui masque 30% environ du réchauffement dû à l'accroissement des gaz à effet de serre. Cet effet "refroidissant" pourrait diminuer dans le futur (réduction des émissions des aérosols et leur faible durée de séjour dans l'atmosphère) et ainsi constituer être une bombe à retardement.

Une deuxième série de travaux a été réalisée avec une modélisation dans laquelle le climat et les aérosols sont pleinement couplés. Au cours du travail de thèse de Céline Déandris, la question de l'évolution future du forçage radiatif des différentes composantes de l'aérosol a été étudiée avec ce couplage réalisé. Les inventaires d'émission futurs s'accordent à prédire une réduction de la composante carbonée de l'aérosol entre la période présente et les deux

horizons 2030 et 2050. Quant aux composés soufrés (SO₂ et sulfates) leurs concentrations augmenteraient aux latitudes tropicales et extra-tropicales et diminueraient aux moyennes latitudes jusqu'en 2030 avant de diminuer entre 2030 et 2050. Les variations des contenus en aérosols les plus importants sont projetées entre l'équateur et 30°N alors qu'au XX^e siècle l'augmentation du contenu atmosphérique était surtout prise en compte aux moyennes latitudes. Une série de 7 simulations snap-shot de 10 années alternant l'utilisation des climats et des scénarios d'émissions présents et futurs et des climats a permis de montrer que le facteur essentiel qui influençait les modifications futures en aérosols provenait des changements d'émissions et dans une moindre mesure des changements climatiques.

Boucher, O. and M. Pham, 2002 : History of sulfate aerosol radiative forcings. *Geophys. Res. Lett.*, **29** (9), 1308, doi :10.1029/2001GL014048.

Deandreis, C., 2008 : Impact des aérosols anthropiques sur le climat présent et futur. Thèse, Université Pierre et Marie Curie.

Dufresne, J.-L., J. Quaas, O. Boucher, F. Denzil, and L. Fairhead, 2005 : Contrasts in the effects on climate of anthropogenic sulfate aerosols between the 20th and the 21st century. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L21 703, doi : 10.1029/2005GL023 619.

Pham, M., O. Boucher, and D. Hauglustaine, 2005 : Changes in atmospheric sulfur burdens and concentrations and resulting radiative forcings under IPCC SRES emission scenarios for 1990-2100. *J. Geophys. Res.*, **110**, D06112, doi :10.1029/2004JD005125.

Quaas, J. and O. Boucher, 2005 : Constraining the first aerosol indirect radiative forcing in the LMDZ GCM using POLDER and MODIS satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L17814, doi :10.1029/2005GL023850.

Quaas, J., O. Boucher, J.-L. Dufresne, and H. Le Treut, 2004 : Impacts of greenhouse gases and aerosol direct and indirect effects on clouds and radiation in atmospheric GCM simulations of the 1930-1989 period. *Clim. Dyn.*, **23**, 779–789, doi :10.1007/s00382-004-0475-0.

Reddy, M. S., O. Boucher, N. Bellouin, M. Schulz, Y. Balkanski, J.-L. Dufresne, and M. Pham, 2005 : Estimates of global multicomponent aerosol optical depth and direct radiative perturbation in the Laboratoire de Météorologie Dynamique general circulation model. *J. Geophys. Res.-Atm.*, **110**, D10S16, doi :10.1029/2004JD004 757.

2.9 Effet du changement d'utilisation des sols sur le climat

Les changements de la couverture végétale, liés principalement à l'agriculture et l'élevage, affectent déjà 40% environ des continents et se poursuivra dans le futur. Ces actions sur les surfaces continentales influencent à la fois les cycles biogéochimiques et le système climatique. Des simulations ont été effectuées avec le modèle couplé pour une distribution de végétation pré-industrielle, une distribution actuelle et une distribution future (scénario SRES A2, caractérisé par une large déforestation tropicale).

Le fort impact régional de la végétation provient principalement des modifications de l'albédo de la surface. On simule à l'échelle globale un faible refroidissement pour la période actuelle (0.05 K) et un refroidissement plus marqué pour le futur (0.14K). On montre également que la sensibilité climatique au forçage induit par le changement d'utilisation des sols est nettement plus faible que celle due à la présence de gaz à effet de serre.

Davin, E. L., N. de Noblet-Ducoudré, and P. Friedlingstein, 2007 : Impact of land cover change on surface climate : Relevance of the radiative forcing concept. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L13702, doi :10.1029/2007GL029678.

de Noblet-Ducoudre, N., S. Gervois, P. Ciais, N. Viovy, N. Brisson, B. Seguin, and A. Perrier, 2004 : Coupling the soil-vegetation-atmosphere-transfer scheme ORCHIDEE to the agronomy model STICS to study the influence of croplands on the european carbon and water budgets. *Agronomie*, **24 (6-7)**, 397–407, doi :10.1051/agro :2004031.

Lathière, J., D. Hauglustaine, N. D. Noblet-Ducoudré, G. Krinner, and G. A. Folberth, 2005 : Past and future changes in biogenic volatile organic compound emissions simulated with a global dynamic vegetation model. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L20818, doi : 10.1029/2005GL024164.

2.10 Rétroaction climat-carbone

Une nouvelle version du modèle couplé Climat Carbone (IPSL-CM4-LOOP) a été développé dans lequel les cycles du carbone, continentale (composante STOMATE d'ORCHIDEE) et océanique (PISCES), ont été couplé au modèle climatique IPSL-CM4. Les estimations à l'aide de ce modèle montrent que pour le scénario SRES-A2, cette rétroaction climat-carbone pourrait amplifier l'augmentation du CO₂ de 35 ppm en 2100. Ce CO₂ additionnel s'explique (i) dans la biosphère terrestre principalement par une réduction du carbone stocké dans les plantes (réduction de la photosynthèse) et dans les sols (augmentation de la respiration hétérotrophe) (ii) Dans l'océan par une augmentation de la température de surface des océans qui entraîne une stratification de l'océan, donc une réduction de la couche de mélange et également un ralentissement de la circulation thermohaline. Il en résulte une diminution des nutriments qui remontent des couches plus profondes de l'océan vers la couche de mélange, ce qui entraîne une diminution de la biologie et donc de l'export de matière organique.

Nous avons également montré que la prise en compte des gaz à effet de serre (GES) autre que le CO₂ et des aérosols double l'amplitude de la rétroaction climat carbone par rapport aux simulations traditionnelles de type C4MIP. L'effet des aérosols se traduit par un refroidissement des moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord qui induit une diminution de la photosynthèse et donc une réduction de la capacité de la biosphère à stocker du carbone.

Des simulations historiques ont également été réalisées avec ORCHIDÉE afin d'étudier l'évolution de la biosphère continentale (LAI, runoff, flux de déforestation). Nous montrons que l'évolution historique du runoff est essentiellement due à l'évolution du climat et du land use et non à l'effet du CO₂ sur la physiologie des plantes. Nous avons également étudié les causes des modifications du cycle saisonnier du CO₂ atmosphérique en automne. A nos latitudes, elles sont principalement dues au réchauffement et à son effet sur la respiration des sols.

Berthelot, M., P. Friedlingstein, P. Ciais, J.-L. Dufresne, and P. Monfray, 2005 : How uncertainties in future climate change predictions translate into future terrestrial carbon fluxes. *Global Biogeochemical Cycles*, **11**, 959–970, doi : 10.1111/j.1365–2486.2005.00957.x.

Bopp, L., O. Boucher, O. Aumont, S. Belviso, J.-L. Dufresne, M. Pham, and P. Monfray, 2004 : Will marine dimethylsulphide emissions alleviate global warming? a model study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **61 (5)**, 826–835.

- Friedlingstein, P., 2008 : A steep road toward climate stabilization. *Nature*, accepted.
- Friedlingstein, P. and S. Solomon, 2005 : Contributions of past and present human generations to committed warming caused by carbon dioxide. **102**, 10 832–10 836, doi : 10.1073/pnas.0504755102.
- Friedlingstein, P., et al., 2006 : Climate-carbon cycle feedback analysis : Results from the C4MIP model intercomparison. *J. Climate*, **19** (14), 3337–3353, doi :10.1175/JCLI3800.1.
- Morales, P., et al., 2005 : Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major european forest biomes. *Global Change Biology*, **11** (12), 2211–2233, doi :10.1111/j.1365-2486.2005.01036.x.
- Piao, S., P. Friedlingstein, P. Ciais, N. Viovy, and J. Demarty, 2007 : Growing season extension and its impact on terrestrial carbon cycle in the Northern Hemisphere over the past 2 decades. *Global Biogeochemical Cycles*, **21**, GB3018, doi :10.1029/2006GB002888.
- Piao, S., et al., 2008 : Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. *Nature*, **451**, 49–52.

3 Diffusion de l'Information Scientifique, valorisation des résultats

Plusieurs documents et articles « tout publique » ont été rédigés à partir des résultats des simulations réalisées dans cadre de la préparation du 4^e rapport du GIEC :

- brochure « RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE : Les nouveaux résultats des modèles français » réalisés pour la 1^ème conférence des parties (COP) de l'ONU.
- Le livre blanc ESCRIME « étude des simulations climatiques réalisées par l'IPSL et Météo-France
- La contribution ESCRIME à la plaquette du GIEC pour la séance plénière à Paris.

Quelques résultats globaux des simulations de l'IPSL et du CNRM sont accessibles via le site de l'ONERC (<http://onerc.org>).

+ FONDERI??

Bony, S. and J.-L. Dufresne, 2007 : Processus régissant la sensibilité climatique. *La Météorologie*, **56** (1), 29–32.

Bony-Léna, S. and J.-L. Dufresne, 2007 : Les mécanismes du réchauffement climatique. *Sciences et Avenir, Hors-Série "Le Réchauffement climatique"*, 18–22.

Braconnot, P., P. Friedlingstein, and J.-L. Dufresne, 2003 : Le climat de demain : inquiétudes face à l'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre,. *revue "Flux"*, (223).

Dufresne, J.-L., et al., 2006 : Simulation de l'évolution récente et future du climat par les modèles du CNRM et de l'IPSL. *La Météorologie*, **55**, 45–59.

Friedlingstein, P., 2007 : Le CO₂ sous haute surveillance,. *Sciences et Avenir, Hors-Série "Le Réchauffement climatique"*, 30–34.

Friedlingstein, P. and J.-L. Dufresne, 2005 : Cycle du carbone et climat. une accélération des changements climatiques? *Lettre du MURS*, (29).

Joussaume, S., S. Bony, P. Braconnot, J.-L. Dufresne, P. Friedlingstein, S. Planton, and L. Terray, 2008 : Météo incertaine pour 2050. *La Recherche, Objectif Terre 2050*, (415), 16–23.

4 Travail en cour et enjeux

Changements climatiques Passer de l’alerte des risques à : Mieux décrire ces changements pour s’y préparer ou pour les éviter Simuler les événements extrêmes Mieux décrire les interactions avec le milieu naturel et les activités humaines Suivre et prévoir les changements aux échelles de la décennie Paléoclimats Simuler les entrées et sorties des glaciations, les variations abruptes

4.1 Exploiter et étendre les possibilités du ESM de l’IPSL

Améliorer la pertinence des modèles : Asseoir la crédibilité, la fiabilité Améliorer le contenu Améliorer la climatologie de base

Élargir le nombre de phénomènes considérés (complexité) Autres rétroactions possibles (amplificatrices ou non) Explorer des effets de seuils, d’irréversibilité..

Faire des ensembles des simulations : Explorer un espace de paramètres Prévisibilité

Faire de simulations très longues : Entrée-sortie de glaciation Variation abrupte du climat

Aborder les échelles de temps décennales : Analyser les changements climatiques en cours (? obs) Prévisibilité

Évaluer les impacts des changements climatiques : Événements extrêmes Impacts régionaux

4.2 Préparer le 5^erapport du GIEC

4.3 Réaliser les simulations le 5^erapport du GIEC

4.4 Diffusion des données et des résultats

Dans e cadre de la préparation du 4^erapport du GIEC, une premier ensemble de données est envoyé à la base de donnée du WCRP/IPCC en utilisant un format et une nomenclature précise. Un deuxième ensemble de données, plus large a été mis à disposition sur le site mc2.ipsl.jussieu.fr. Ce portail fait office de portail d’accès aux données des simulations de référence mais ne s’adresse qu’à des utilisateurs déjà largement familié de notre façon de travailler (les membres du pôle de modélisation, des partenaires nationaux et européens, quelques études d’impact).

Les données produites par le Earth System Model de l’IPSL dans le cadre du 5e rapport du GIEC, mais également celles produites par les différentes thématiques scientifiques, nous placeront face à un véritable déluge de données. La complexification du système modélisé et la montée en résolution des différentes composantes ne laissent aucune place au doute à ce sujet. Notre activité de modélisation étant par nature multi-centres (entre terme de centre de calcul), le stockage des données produites spatialement distribué, l’approche centralisé étant à exclure de part la masse de données dont il est question, les technologies de grille de données s’imposent comme une solution pour le moins attractive.

Afin de poursuivre la distribution de nos données à une large palette d’utilisateurs (de la régionalisation, aux études d’impact, pas seulement les auteurs du GIEC), une réorientation

de notre politique de gestion des données est nécessaire, s'appuyant sur les technologies de type grille de données et offrant aux utilisateurs un portail d'accès susceptible de satisfaire la plus large palette possible d'utilisateurs.