

Demande IDRIS 2011 – projet 0292
Modélisation du climat : cycle de l'eau et variabilité climatique

Description du projet de recherche

Jean-Yves Grandpeix, jyg@lmd.jussieu.fr, 01 44 27 74 62

L.M.D. - Octobre 2010

Demande : 20 000 heures CPU sur NEC-SX8, 280 000 heures CPU sur IBM Power-6 ; 100 Tera-octets

1 Résumé

Le projet est centré sur l'évaluation quantitative de la variabilité atmosphérique, l'Afrique de l'Ouest étant étudiée de manière prioritaire (programme AMMA-2 : Analyse Multi-disciplinaire de la Mousson Africaine).

L'essentiel des simulations se fera avec le modèle de circulation générale LMDZ. Ce projet est ainsi très lié au projet 1167, consacré au développement et à l'utilisation de la version transport de LMDZ, et au projet 239, qui utilise LMDZ comme élément du modèle couplé Océan-Atmosphère-Végétation.

Les autres outils de simulation sont le modèle LES du KNMI, qui sert à étudier de manière plus explicite des régions limitées, et le modèle de circulation générale océanique NEMO du LOCEAN.

Ce projet comporte plusieurs volets : (1) l'évolution du modèle LMDZ (demande=6 000h NEC SX8, 120 000h IBM SP6), (2) le développement du modèle de dynamique stratosphérique et mésosphérique (demande=6500h NEC SX8), (3) les isotopes de l'eau (demande=3 000h NEC SX8, 16 000h IBM SP6), (4) représentation des éclairs (demande =400 h CPU NEC SX8), (5) paramétrisation de la convection et MJO (demande =3 000 h NEC SX8, 30 000 h IBM SP6), (6) upwellings des côtes africaines (demande =500 h CPU NEC SX8, 5000 h CPU IBM SP6), (7) l'évolution du modèle de surface continentale ORCHIDEE (demande=300h NEC SX8, 110 000 h CPU IBM SP6). La demande de stockage est de 100 To.

Il s'agit de la dixième année de ce projet.

2 Présentation générale

Le présent projet porte principalement sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale (MCG) atmosphérique LMDZ couplé au modèle de surface et de végétation ORCHIDEE. Ce MCG est un outil d'étude de l'atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l'étranger ; il constitue la composante atmosphérique des modèles couplés IPSL-CM5 et IPSL-CM6 qui seront utilisés pour les simulations de changement climatique du programme international

CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) dont l'analyse alimentera le prochain rapport de l'IPCC (voir projet 239); enfin sa version transport (baptisée LMDZ-T) est développée et utilisée dans le cadre du projet 1167, pour des études de chimie atmosphérique et de transport de traceurs passifs.

Le projet comporte une part de simulations réalisées avec le code LES du KNMI pour des études de couche limite (l'étude des climats régionaux à l'aide du code méso-échelle WRF du NCAR fait maintenant l'objet d'une demande distincte).

Enfin, les processus océaniques liés à la mousson africaine sont étudiés à l'aide du modèle de circulation générale océanique NEMO du LOCEAN.

Le projet porte sur six thèmes. Quatre thèmes sont relatifs à des processus atmosphériques spécifiques : représentation des nuages ; fractionnement isotopique ; processus de surfaces ; montagnes et stratosphère. Le cinquième, la régionalisation, est plus méthodologique. Le dernier thème est consacré à l'Afrique et aux interactions océan-atmosphère qui en affecte le climat ; il se place dans le cadre du projet AMMA-2 (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) proposé au département LEFE de l'INSU.

Nuages

Depuis la création de ce projet, la représentation des processus nuageux constitue un des objectifs principaux des développements du modèle LMDZ. En 2009 la "nouvelle physique" élaborée au LMD, comprenant des paramétrisations des thermiques de couche limite et des courants de densité, a été implémentée dans la version standard de LMDZ. Un grand pas a ainsi été franchi vers la solution du problème du cycle diurne de la convection nuageuse continentale (convection simulée maximale en milieu de journée, alors que la convection observée est maximale en milieu ou fin d'après-midi). Le travail restant sur ce point consiste essentiellement en un réglage de modèle. Les nouveaux défis à relever sont : (1) représenter l'organisation de la convection ; (2) représenter la propagation de la convection dans LMDZ. Dans les deux cas, le nouveau bloc "couche limite-convection-nuage" va jouer un rôle clef. Deux thèses sont en cours au LMD sur l'amélioration du modèle de thermiques nuageux et sur l'organisation de la convection.

Fractionnement isotopique

La composition isotopique de l'eau (c'est-à-dire le rapport des concentrations en molécules "lourdes" et "légères", qui varie à chaque changement de phase) est susceptible d'apporter des informations sur l'origine et la trajectoire des masses d'air, ainsi que sur les mécanismes de transport de l'eau. En modélisant les isotopes de l'eau dans le modèle de circulation générale LMDZ, nous voulons non seulement contribuer à une meilleure interprétation des mesures disponibles (par exemple pour la paléo-climatologie), mais aussi permettre de nouveaux types d'évaluation du modèle par comparaison directe entre le signal isotopique mesuré et simulé. En particulier nous espérons obtenir ainsi une évaluation de la représentation des processus d'entraînement dans les paramétrisations convectives.

Processus de surface

De plus en plus il apparaît que le couplage des processus de surface continentale avec les processus atmosphériques constitue un élément clef pour aboutir à une bonne simulation climatique globale. D'où un travail sur ce couplage et des développements spécifiques du modèle de végétation ORCHIDEE. Une thèse est en cours au LMD sur ce sujet.

Montagnes et stratosphère

Le développement d'un modèle de la dynamique stratosphérique a été commencé en 2005. Ces

développements ont marqué une pause en 2007 ; ils ont repris en 2008. Ils sont motivés par l'intérêt de la chimie stratosphérique et mésosphérique, couplée à la dynamique de la moyenne atmosphère.

Régionalisation

L'étude de climats régionaux prend de plus en plus d'importance dans la communauté des modèles de climat. LMDZ, avec sa faculté de zoom est un outil particulièrement adapté à ce domaine. L'accent est mis sur trois régions : l'Afrique de l'Ouest, la Méditerranée et l'océan Pacifique . Dans chacun de ces cas, une grille spécifique est utilisée qui permet d'avoir une résolution plus fine que 100 km sur la région d'intérêt.

AMMA-2

Le projet AMMA-2 est un projet proposé au département LEFE de l'INSU, qui fait suite au programme international AMMA qui se termine à la fin du mois de Décembre 2009. Il vise à l'étude de la mousson africaine à travers ses composantes de dynamique atmosphérique, chimie atmosphérique, dynamique océanique, hydrologie continentale et dynamique de la végétation, ainsi que les études d'interactions surface-atmosphère. Ce vaste projet a comporté en 2006 des campagnes d'observation. Le programme de travail proposé ici comporte deux parties. La première partie concerne l'atmosphère et analyse, par des simulations spécifiques, l'influence des températures de surfaces des océans sur la mousson africaine. La seconde partie porte sur les processus océaniques : impact des ondes côtières sur les upwellings des côtes africaines.

2.1 Evolution et validation de la version de référence de LMDZ

Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne, Laurent Fairhead, Jean-Yves Grandpeix, Frédéric Hourdin, Abderrahmane Idelkadi, Ionela Musat, Jan Polcher, Romain Roehrig (Thèse, CNRM), Jingmei Yu (Thèse), Nicolas Rochetin (Thèse), Arnaud Jam (Thèse)

Demande : 6 000 heures CPU NEC SX8 ; 120 000 heures CPU IBM SP6. 20 To

La version de CMIP5

Une tâche importante de l'année 2011 va être la poursuite de l'accompagnement des simulations effectuées pour CMIP5. Il y aura en effet, après les simulations de type "Système terre" qui devraient se terminer cette année, les simulations où nous testerons les derniers développements de la physique de LMDZ (l'ensemble de paramétrisations, que nous appelons "Nouvelle physique").

Pour les versions comprenant la nouvelle physique (i.e. le modèle du thermique nuageux et le modèle de courants de densité, ainsi que le couplage de ces deux paramétrisations avec la paramétrisation de convection profonde via l'énergie de soulèvement ALE et la puissance de soulèvement ALP) nous utiliserons une grille 144x142x39. Cette version permet des pas de temps de la physique de 7,5 minutes. Dans ces conditions on s'attend à des temps de simulation sur NEC SX8 d'environ 200 heures par an ; soit 6000 heures pour une simulation de 30 ans.

Pour la mise au point, on utilisera plutôt la configuration 96x95x39, pour laquelle on atteint environ 40 heures par an. L'expérience des années 2009 et 2010 confirme que le temps de mise au point, une fois l'essentiel des paramétrisations et paramètres figés, est de l'ordre de 10 simulations de 30 ans, ce qui donne environ 12 000h CPU NEC pour la mise au point. Les 2 simulations de 30 ans avec la résolution finale devraient consommer environ l'équivalent de 6000 heures sur NEC SX8.

Nous nous proposons de répartir la consommation relative à la mise au point également entre la NEC SX8 et l'IBM SP6 et d'affecter entièrement les simulations finales à l'IBM SP6. Le temps

calcul sur IBM étant environ 10 fois le temps sur NEC, on arrive à une demande de 6 000 heures sur NEC et de 120 000 heures sur IBM.

2.2 Montagnes, ondes de gravité et stratosphère

François Lott, Sylvain Mailler, Lionel Guez

Demande : **6500 heures CPU NEC SX8 ; 3 To**

Toutes les simulations envisagées avec le modèle LMDz, le seront avec sa version parallèle la plus récente. Les temps de simulations sont donnés en temps mono-processeurs, notre estimation est de 6500h CPU NEC.

Influence des montagnes sur le climat

Une prolongation naturelle des études menées sur le plateau Tibétain est d'analyser les relations entre couples équatoriaux et « cold surges » pour les Rocheuses et les Andes. En effet sur les deux continents en aval de ces montagnes, les gouttes froides jouent aussi un rôle significatif sur la variabilité en Hiver. Comme les échelles horizontales sont sensiblement plus petites que pour l'Himalaya, il conviendra de mener des expériences à plus haute résolution.

Une des motivations fondamentales de ces études liant couples et dynamique atmosphérique est que les montagnes d'échelles sous-maille sont toujours paramétrées dans les modèles en imposant des forces sur l'atmosphère. Le couple de ces forces s'ajoute au couple des montagnes explicitement résolu par le modèle, on peut donc espérer mesurer l'effet des paramétrisations et leur réalisme en analysant ces couples. Des études préliminaires faites sur le plateau Tibétain, montrent que les paramétrisations des montagnes d'échelles sous maille participent de manière mesurable à ces couples et qu'elles ont un effet bénéfique sur le développement des « cold surges ». Pour mener à bien ce type d'étude, nous réalisons des simulations où les paramétrisations sont modifiées massifs par massifs. Il convient donc de réaliser des simulations où les paramétrisations sur chacun des massifs concernés sont modifiées, et de comparer dans ces ensembles de simulations l'évolution des couples et le cycle de vie des cold surges.

Pour mener à bien ces études, nous devons mener quatre simulations troposphériques longues (30ans) à haute résolution horizontale (144x143x39). Nous envisageons aussi de mettre à jour la représentation des montagnes dans le modèle, que ce soit via l'utilisation de base de données de l'orographie terrestre plus récentes (il s'agira de remplacer les données de l'USN à résolution de 10'x10' par la base de donnée ETOPO à très haute résolution), que de diagnostics nouveaux, en ce qui concerne l'influence des montagnes sur le climat des régions équatoriales. Ce passage à des résolutions plus élevées, aussi bien en ce qui concerne le modèle LMDz que la base de données orographique, nécessitera des ajustements de la paramétrisation des montagnes d'échelles sous-maille (la dernière mise à jour systématique du module de représentation des montagne d'échelles sous-maille développé dans Lott et Miller (1997) pour le CEPPMT remonte à Lott (1999)). Ce dernier travail, pour lequel nous nous étions déjà engagé en 2010 et que nous n'avons pas eu le temps de réaliser peut être estimé à une simulation longue.

Comme le temps estimé de calcul pour une simulation de 30 ans est de 1100 heures CPU, nous aurons besoins de 5 simulations de ce type en 2009, soit environ 5500hrs-CPU.

Influence de la stratosphère sur le climat

Afin de déterminer une configuration minimale pour laquelle le modèle LMDz soit capable de

simuler l'Oscillation Quasi Biennale dans la basse stratosphère nous cherchons à savoir dans un premier temps si il simule bien les ondes équatoriales planétaires qu'il est censé résoudre explicitement. Comme on attribue l'origine de ces ondes à la variabilité de la convection, nous sommes en train d'analyser et de comparer des simulations stratosphériques avec des paramétrisations de la convection radicalement différentes (les schémas de Tiedtke et d'Emanuel). Des résultats préliminaires montrent que si la variabilité des précipitations est en effet très différentes entre ces deux configurations, les ondes équatoriales dans la stratosphère ne le sont pas vraiment. Il semble qu'un effet de filtrage très fort se produise, avec les ondes longues et lentes susceptibles d'être produites par la convection largement dissipées lorsqu'elles arrivent dans la stratosphère, car leur longueur d'onde y est très courte. Cet effet de filtrage peut être très fondamental et effectif dans la nature, expliquant peut-être pourquoi la période de la QBO est aussi stable, mais il est évident qu'il doit aussi être très sensible à la résolution verticale dans un modèle. Nous allons donc entreprendre une série de simulations stratosphériques, en accroissant graduellement le nombre de niveaux verticaux, et afin de déterminer l'effet sur ces ondes équatoriales dans la stratosphère.

En plus de cette partie explicitement résolue de la dynamique il est bien établie que l'oscillation quasi-biennale est aussi piloté par les ondes de gravité, celles-ci étant paramétrées dans le modèle suivant une méthode spectrale. Cette méthode impose le spectre de déferlement de ces ondes et est surtout pertinente dans les régions où les ondes sont toujours saturés, c'est à dire dans la très haute atmosphère. Elle n'est donc pas bien adaptée à la basse stratosphère équatoriale, entre autre parce qu'elle impose des ondes de gravité très rapides et peu susceptibles de déferler pour des anomalies de vent telle qu'en produit l'oscillation quasi-biennale. Pour s'affranchir de ces défauts, nous allons chercher à revenir à des paramétrisations des ondes de gravité qui n'imposent pas de spectre à priori, mais qui peuvent en générer si l'on moyenne sur un grand nombre de réalisation. Ce type de paramétrisation peut facilement inclure des ondes nettement plus lentes que les paramétrisations spectrales évoqués plus haut. Elles sont par essence stochastique les caractéristiques des ondes émises variant beaucoup d'un point à un autre et d'un instant à l'autre. Nous envisageons de formuler une telle paramétrisation en 2011 et d'en faire les premier test.

Pour l'étude des ondes résolues, nous estimons avoir besoin de 3 simulations avec 50, 60, et 70 niveaux chacune avec Tiedtke et Emanuel.

Le coût estimé pour 6 simulations de 20 ans est de 700hrs CPU.

La mise au point et les premier tests des paramétrisation des ondes de gravité est estimé à 300hrs CPU, mais une année semble un peu courte pour cette partie du projet.

Références

Lott, F., Alleviation of stationary biases in a GCM through a mountain drag parametrization scheme and a simple representation of mountain lift forces, *Monthly Weather Review*, 127, 788–801, 1999.

Lott, F., and M. Miller, A new subgrid scale orographic drag parameterization ; its testing in the ECMWF model, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, 101-127, 1997.

2.3 Isotopes de l'eau

Sandrine Bony, Camille Risi
Demande : **2900h CPU NEC SX8 ; 17000h Vargas ; 1500Go**

Un an de simulation avec LMDZ4 (résolution $96 \times 71 \times 19$) incluant deux isotopes (HDO et $H_2^{18}O$) nécessite 10h CPU de calcul sur Brodie et 3Go de stockage. Le couplage avec ORCHIDEE demande 1h CPU et 0.1 GO de stockage supplémentaire par an de simulation. Le temps et stockage sont doublé lorsqu'on passe de 19 à 39 niveaux verticaux, ce qui est le cas pour les nouvelles versions d'LMDZ utilisée pour CMIP5. Le simulateur COSP nécessite 10% de temps et stockage supplémentaire. Le temps de calcul augmente lorsqu'on ajoute le water tagging, au premier ordre de manière proportionnelle au nombre de traceurs.

Sur Vargas, nous anticipons qu'un an à 39 niveaux nécessite 200h.

Dans l'année à venir, nous souhaitons :

1. poursuivre nos travaux en cours sur le développement de diagnostics isotopiques permettant de détecter et comprendre de possibles biais dans la représentation par les modèles du cycle hydrologique, à la fois atmosphérique et continental, et d'en étudier l'impact sur les projections climatiques futures.
 - quelques tests de sensibilité additionnels à l'actuel et en changement climatique avec LMDZ4 ($3\text{ ans} * 10 = 30\text{ ans} = 300\text{h}$, 90Go)
 - nouvelles simulations avec water tagging dans LMDZ-ORCHIDEE, à l'actuel et en changement climatique, et dans le cadre de changements de végétation ($5\text{ ans} * 5 = 25\text{ ans} = 500\text{h}$, 75Go)
 - test de sensibilité au modèle de surface continentale : simulation LMDZ couplé avec isoLSM ($5\text{ans pour développement} + 6\text{ans} * 3 = 23\text{ans} = 230\text{h}$, 70Go).
2. implémenter les isotopes de l'eau dans les nouvelles versions d'LMDZ utilisées pour CMIP5 (appelées IPSLCM5A-LR et IPSLCM5B), et préparation du passage à Vargas. Nous analyserons l'impact des améliorations de la physique du modèle sur l'accord avec les données isotopiques.
 - implémentation des isotopes de l'eau dans IPSLCM5A-LR et IPSLCM5B ($4\text{ans} = 80\text{h}$, 24Go)
 - simulations courtes avec IPSLCM5A-LR et IPSLCM5B à l'actuel et quelques tests de sensibilité ($5\text{ans} * 6 = 30\text{ans} = 600\text{h}$, 180Go)
 - préparation du passage à Vargas (4 ans , 800h sur Vargas , 24Go)
3. réaliser plusieurs simulations recommandées par CMIP5 avec isotopes de l'eau, à la fois actuelles, passées et futures, avec IPSLCM5A-LR et IPSLCM5B. Cela permettra de comparer le comportement du modèle sur l'actuel, sa sensibilité climatique aux cours des variations climatiques passées, et sa sensibilité sur les changements futurs. Une simulation transitoire avec augmentation progressive de CO2 permettra d'explorer l'intérêt de mesures isotopiques à long terme pour mieux comprendre les processus hydrologiques associés au changement climatique.
 - simulation AMIP (1988-2010) avec IPSLCM5A-LR incluant le simulateur COSP (permettant la comparaison aux observations satellitaires de nuages) ($22\text{ans} = 440\text{h}$, 150Go)
 - simulation AMIP sur la période d'observations satellitaires (2000-2010) avec IPSLCM5B incluant le simulateur COSP ($10\text{ ans} = 200\text{h}$, 70Go)
 - simulations courtes à l'actuel, en changement climatique (4K, 4xCO2) et sur des périodes passées (dernier maximum glaciaire, moyen-holocène), quelques tests de sensibilité, avec IPSLCM5A-LR ($4\text{ans} * 8 = 32\text{ans} = 640\text{h}$, 190Go)
 - simulation longue forcée par les SST de la simulation couplée avec une augmentation de 1% de CO2 par an, avec IPSLCM5A-LR ($80\text{ ans sur Vargas} = 16000\text{h sur Vargas}$, 480Go)

2.4 Représentation de l'occurrence des éclairs

Line Jourdain

Demande : **400h CPU NEC SX8. Stockage 1 To**

L'objectif est d'améliorer la paramétrisation de l'occurrence des éclairs dans les modèles globaux, en particulier dans le modèle LMDz. Les éclairs produisent dans la moyenne et haute troposphère des oxydes d'azote qui sont des catalyseurs de la formation d'ozone. La paramétrisation des éclairs dans LMDz est basée sur celle de Price and Rind (1992) qui relie la fréquence des éclairs à la hauteur du sommet du nuage convectif. Elle avait été implémentée dans LMDz (Jourdain et al., 2001) lorsque celui-ci avait pour schéma convection celui de Tiedke (1989). Il a été montré que dans cette configuration le modèle LMDz ne pouvait pas reproduire avec satisfaction l'importance relative des régions d'activité orageuse au dessus des continents, ni la variation diurne des éclairs (Jourdain et al., 2001). Le schéma de convection d'Emanuel (Emanuel, 1991 ; Grandpeix, 1998), implémenté dans LMDz depuis, offre l'avantage de décrire de façon plus détaillée la dynamique et la physique des systèmes convectifs. Nous disposons donc avec ce schéma de variables supplémentaires, autres que la hauteur de la convection, pour diagnostiquer le degré d'électrification des cellules convectives. De plus, ce modèle semble mieux simuler le déclenchement et l'évolution de la convection grâce à une hypothèse de fermeture de la convection plus 'physique' et grâce au développement récent d'un schéma de convection de couche limite (incluant thermiques et courants de densité).

Nous prévoyons donc de développer des paramétrisations de l'occurrence des éclairs en se basant sur des études déjà publiées corrélant l'activité électrique à des grandeurs microphysiques et dynamiques du système convectif. Par exemple, dans un premier temps, on pourra utiliser la relation entre les éclairs et les vitesses verticales des ascendances convectives (Deierling et al., 2008) et celle entre les éclairs et les flux d'hydrométéores solides (Petersen et Rutledge, 2001, Deierling et al., 2008). Nous effectuerons des simulations d'un an en utilisant la grille 96x95x39 avec les deux paramétrisations ainsi développées ainsi qu'avec la paramétrisation déjà implémentée de Price and Rind (1992). Nous réaliserons ces simulations avec ou sans le schéma de convection de couche limite. Les distributions spatio-temporelles des éclairs obtenues seront évaluées à l'aide des climatologiques de fréquence d'éclairs fournies par les instruments satellitaires OTD et LIS. Le coût estimé pour les 6 simulations d'un an et les tests de mise au point est de 400h CPU.

Références :

Deierling et al., The relationship between lightning activity and ice fluxes in thunderstorms, J. Geophysical Research, 113, D15210, doi : 10.1029/2007/2007JD009700.

Deierling W. and W.A. Petersen, Total lightning activity as an indicator of updraft characteristics, J. Geophysical Research, 113, D16210, doi : 10.1029/2007/2007JD009598.

Hamid, E. F., Z.-I. Kawasaki, R. Mardiana, Impact of the 1997-98 El-Nino event on lightning activity over Indonesia, Geophys. Res. Lett., 27, 541-544, 2001.

Jourdain L. and D. A. Hauglustaine, The global distribution of lightning NO_x simulated on-line in a General Circulation Model, Phys. Chem. Earth (C), Vol. 26, No 8, pp 585-591, 2001.

Petersen, W.A., and S.A. Rutledge, Regional Variability in Tropical Convection : Observations from TRMM, J. Climate, 14, 3566-3585, 2001.

Price, C., and D. Rind, A simple Lightning Parameterization for Calculating Global Lightning Distributions, J. Geophys. Res., 97, 9919-9933, 1992.

2.5 Rôle de la paramétrisation de la convection dans la simulation des oscillations intrasaisonnières tropicales

J.P. Duvel, J.Y. Grandpeix, L. Guez, M. Rémaud

Demande : **3 000h CPU NEC SX8 et 30 000h IBM Power6. Stockage 5.5 To**

Les oscillations intrasaisonnières (20-100 jours) sont des perturbations de la convection tropicale organisées à grande échelle sur les océans Indien et Pacifique. Ces perturbations sont très importantes dans la variabilité de la mousson asiatique et de la mousson Australienne et sont une source de prévisibilité à l'échelle étendue (15-30 jours). Une simulation correcte des ces oscillations dans les modèles de climat est nécessaire pour obtenir une bonne représentation des moussons, mais aussi du phénomène El Niño. Cependant, la plupart des modèles (en particulier celui de l'IPSL) ont tendance à produire des événements intrasaisonniers trop peu organisés, non réalistes et non reproductibles. Des études précédentes ont montré que cela pouvait être amélioré en modifiant certains paramètres des schémas de convection profonde (fermeture et déclenchement).

L'objectif de ce projet est d'inspecter, de quantifier et de comprendre l'effet de la fermeture du schéma de convection profonde sur la représentation des oscillations intrasaisonnières dans les tropiques et, plus généralement, sur la variabilité des précipitations et l'intensité des transitoires. Les tests consisteront à modifier l'intensité de la convection en fonction d'une prise en compte progressive de la convergence d'humidité de la couche limite dans la fermeture avec la nouvelle physique du modèle. Les sorties quotidiennes de ces simulations seront analysées avec la méthode décrite dans Xavier et al. (2010) afin de déterminer l'activité intrasaisonnière et son lien avec l'organisation de la convection à grande échelle.

Pour 2011, 150 ans de simulation forcée (avec des durées pour chaque configuration comprises entre 2 et 10 ans) seront typiquement nécessaires pour évaluer l'effet de la modification de la fermeture sur la variabilité jour-à-jour des précipitations dans les tropiques. Différentes résolutions spatiales seront également considérées. On stockera les moyennes diurnes pour les champs 2D et les champs 3D sur 8 niveaux.

2.6 Impact des ondes côtières sur les upwellings des côtes africaines

Anne Charlotte Peter et Alban Lazar

Demande : **500 h CPU NEC et 5 000 h CPU IBM SP6; 1 To**

Contexte et enjeux scientifiques

Cette demande contribue à l'analyse de l'impact des ondes équatoriales et côtières sur la température des upwellings côtiers le long des côtes de l'Afrique de l'Ouest, des échelles intra-saisonnières à interannuelles. Elle s'intègre dans la partie océanique (EGEE) du projet européen AMMA et s'associe à des actions de recherche complémentaires développées dans d'autres laboratoires dont le LMD. Elle est aussi incluse dans le projet ANETUS d'étude couplée océan-atmosphère du système d'upwelling de l'Atlantique tropical nord-est.

Pour distinguer les effets des ondes de ceux des autres forçages locaux de la température océanique dans les régions d'upwellings, des coups de vent idéalisés équatoriaux sont surimposés sur des simulations effectuées avec une nouvelle configuration atlantique tropicale de NEMO $\frac{1}{4}^\circ$ en mode climatologique (40°N-40°S, 70°W-30°E). Ces expériences nécessitent encore des tests de sensibilité,

en particulier sur la période, l'amplitude de l'extension géographique du coup de vent à l'origine de ces ondes. Ces runs, ainsi que la fin et la validation du phasage à la version 3.2 puis 3.2.1 de NEMO, seront effectués sur BRODIE. Parallèlement, le code sera parallélisé et porté sur la machine VARGAS, une nouvelle simulation de référence, interannuelle cette fois, y sera calculée et validée. Cette simulation de référence couvrira les années ERA-INTERIM, i.e. 1989-2010.

A partir de ce formalisme, déjà validé et utilisé, de nouvelles expériences vont être menées pour atteindre ces différents objectifs :

1. Quantifier le rôle de l'onde de Kelvin équatoriale dans la boucle de rétroaction de Bjerknes en Atlantique en fonction de la période et l'amplitude de l'onde ;
2. Introduire un coup de vent dans l'ouest Atlantique au nord de l'équateur pour vérifier l'existence d'un mécanisme de forçage hors-équateur des Kelvin
3. Augmentation de la résolution du modèle le long des côtes africaines par la mise en place d'AGRIF sur la zone ouest africaine de 5°N-20°N et 10°W- 25°W

Heures CPU sur Brodie :

- Fin et validation du phasage de la version de référence = $10 \times (8 \text{hCPU} / \text{an}) = 80 \text{h}$
- Simulations de sensibilité de 1 an (coups de vent intra-saisonniers) x 10 expériences = 80h.

Total \simeq 200 hCPU NEC.

Stockage sur Brodie : 6 Go pour 1 an de simulation \Rightarrow Total \simeq 200 Go

Heures CPU sur Vargas :

- Simulation interannuelle de référence = 80hCPU /année x (20 ans de run) = 1 600h
- Simulations pour les différentes expériences de 1 an x 4 expériences + tests = 320h pour les expériences, x 5 par tests = 1 600h.
- Mise en place d'AGRIF et simulations (100 hcpu pour 1 an de run) = 2000 hcpu

Total \simeq 5 000 h CPU IBM SP6.

Stockage sur Vargas :

6 Go pour 1 an de simulation sans AGRIF, \simeq 12 Go avec AGRIF \Rightarrow Total \simeq 800 Go

2.7 Evolution et validation du modèle ORCHIDEE

Matthieu Guimberteau, Josyane Ronchail, Benjamin Sultan, Katia Laval , Alain Perrier et Jan Polcher

Demande : 300 h CPU NEC SX8 ; 110 000 heures IBM SP6 ; 2To

Projet WATCH

Le projet WATCH (<http://www.eu-watch.org>) est financé par la Commission Européenne dans le cadre du 6ème PCRD. Il rassemble 25 institutions partenaires qui couvrent les domaines suivants : climatologie, hydrologie et ressources en eau. L'objectif du projet est d'analyser, de quantifier et de prédire les composants du cycle hydrologique continental actuel et future. Cela comprendra une évaluation des incertitudes et établira la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques et autres pressions anthropiques. En particulier WATCH conduira les actions scientifiques suivantes :

1. Analyser et décrire le cycle hydrologique continental actuel et en particulier les chaînes causales de certains évènements extrêmes (inondations et sécheresses).
2. Évaluer l'impact sur le cycle hydrologique moyen et ses extrêmes du changement climatique ainsi que les changements d'utilisation des sols.
3. Évaluer l'impact des rétroactions dans le système couplé continents/atmosphère et leurs conséquences sur le cycle hydrologique (irrigation par exemple).
4. Analyser les incertitudes dans les prévisions du cycle hydrologique future en combinant des ensembles de modèles issues de différentes spécialités (climat, hydrologie et ressources en eau) et des observations.
5. Améliorer les modèles afin de mieux évaluer la vulnérabilité des ressources en eau dans le cadre des changements globaux.
6. Donner une description quantitative et qualitative de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau et établir les vulnérabilités majeurs à prévoir pour le XXIème siècle.

Dans le cadre de ce projet le LMD c'est engagé à fournir des simulations, réalisées avec le modèle ORCHIDEE, du cycle hydrologique global sur le XXème siècle et d'analyser l'impact d'un certain nombre d'hypothèses de modélisation sur la capacité à représenter les extrêmes (inondations et sécheresses). Ensuite le modèle de surface sera utilisé pour simuler les ressources en eau pour le XXIème siècle suivant 3 scénario climatiques (issus des modèles du système terre suivants : ECHAM, Hadely-Centre et IPSL). Avec le modèle couplé LMDZ/ORCHIDEE nous analyseront l'impact de l'irrigation sur la mousson Indienne et en particulier la précipitation. Au total, 1400 années de simulations devront être effectuées. L'étude évaluera le débit des fleuves, et identifiera les événements extrêmes tels que les sécheresses liées au changement climatique ainsi l'a pratique de l'irrigation intensive.

Projet européen GIS REGYNA

La dernière partie du projet européen GIS REGYNA a débuté. L'objectif est d'évaluer le devenir des débits des rivières sur le bassin amazonien (81°W :49°W / 22°S :7°N) dans un contexte de changement climatique grâce au modèle de surface ORCHIDEE (ORganising Carbon and Hydrology In Dynamic EcosystEms) de l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace), couplé avec le module de routage de l'eau et des plaines d'inondation. Pour cela, plusieurs simulations de sensibilité du modèle (test des données en pluies observées notamment sur le Pérou, cartes des zones inondées, hauteur d'eau des plaines d'inondations...) sont en cours pour qu'une simulation de référence des débits amazoniens sur la période 1980-2000 soit définitivement déterminée. Pour cela, une demande de **100 heures** de calcul est souhaitée.

Le dernier objectif du projet est d'ajouter au forçage météorologique NCC (résolution 1°x1° (Ngo-Duc et al., 2005), corrigé par des pluies observées sur le bassin amazonien) les anomalies climatiques (pluies, vent, humidité de l'air...) produites entre une situation future et une situation actuelle simulées par les différents modèles de l'IPCC. Le modèle ORCHIDEE est forcé par le forçage NCC ainsi modifié sur la période 1980-2000. Il résulte donc une série de plusieurs simulations :

22 modèles IPCC x 3 scénarios de l'IPCC (A1B, A2, B1) x 2 périodes temporelles futures (2046-2065 et 2079-2098) = 132 simulations soit 132 x ~1 heure/simulation = **~150 heures**

Ainsi, on obtiendra un spectre de changement des débits des rivières de divers amplitudes selon le forçage utilisé qui sera comparé aux résultats de la simulation de référence. L'analyse d'une possible tendance des étiages et crues sera faite pour des ensembles de modèles IPCC.

Demande : 300 heures sur Brodie ; 1To

3 Méthode

Ce projet porte sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ et sur l'utilisation de deux autres codes de simulation atmosphérique : le code méso-échelle WRF (développé au NCAR) et un code LES (développé au KNMI).

Le modèle de circulation générale LMDZ est divisé en deux parties : (1) une partie dynamique qui consiste en une résolution par différences finies des équations tridimensionnelle de la météorologie dans l'approximation hydrostatique ; (2) une partie physique qui consiste en une résolution de modèles unidimensionnels (les paramétrisations physiques) représentant les divers processus d'échanges verticaux à échelle sous-maille (échanges radiatifs, processus de couche limite, convection profonde, effet de l'orographie).

Dans le présent projet, le modèle est utilisé dans différentes configurations : (1) configuration climatique, où les seules forçages sont les températures de surface des océans (SST = Sea Surface Temperature) et le forçage solaire, la grille étant régulière ou zoomée sur une région particulière, l'Afrique de l'Ouest ou la Méditerranée dans notre cas ; (2) configuration guidée, dans laquelle certains champs dynamiques ou thermodynamiques sont rappelés vers les valeurs données par des analyses ou réanalyses. On pourra ainsi guider le modèle vers les analyses du Centre Européen ou du NCEP. Par exemple, en guidant étroitement le modèle en dehors de l'Afrique de l'Ouest, et en le laissant libre sur l'Afrique de l'Ouest, on peut faire fonctionner le modèle dans des conditions synoptiques proches de l'observation et le confronter aux observations.

Depuis le début de l'année 2008 une nouvelle utilisation du modèle LMDZ a été mise en place : les variables de grande échelle du GCM sont utilisées localement pour forcer des simulations explicites de la couche limite avec un modèle de type LES (Il s'agit du modèle LES du KNMI, utilisé en mode parallèle-vectorel sur NEC [8 processeurs]). Ces simulations explicites peuvent être ensuite exploitées pour analyser le comportement des paramétrisations de couche limite.

Le code LMDZ

Le code est conçu de façon modulaire. Les constantes physiques sont passées par Common Fortran. Toutes les autres variables sont passées en argument, ce qui permet de changer aisément les modules des paramétrisations physiques. Cette facilité est essentielle à la vie d'un modèle climatique, puisque les paramétrisations utilisées ont des origines très variées et font l'objet d'échanges permanents entre laboratoires.

Le modèle est optimisé pour la vectorisation. Les boucles intérieures traitent des vecteurs dont la longueur est en général la taille de la grille (7000 dans la version standard), sauf pour certains processus (comme la convection qui n'est active que sur 20% des mailles) pour lesquels on effectue un ré-indicesage des champs. Les performances obtenues sont de l'ordre de 3 Gflops sur NEC SX8.

Le code existe maintenant en version parallèle MPI/OpenMP : (1) le découpage du domaine en bandes de latitude est géré par MPI ; (2) le découpage vertical est géré par OpenMP. La version MPI est utilisée sur NEC afin de permettre l'utilisation de résolutions spatiales plus fines. La version MPI/OpenMP est utilisée sur IBM Power 6. Des tests ont été effectués avec succès utilisant 96 processeurs.

4 Rapport d'activité

4.1 Evolution et validation de la version de référence de LMDZ

Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne, Laurent Fairhead, Jean-Yves Grandpeix, Frédéric Hourdin, Abderrahmane Idelkadi, Ionela Musat, Jan Polcher, Romain Roehrig (Thèse, CNRM), Jingmei Yu (Thèse), Nicolas Rochetin (Thèse), Arnaud Jam (Thèse)

Consommation : 650 h CPU NEC ; 75500 h CPU IBM SP6

Depuis plusieurs années, l'équipe développe une nouvelle paramétrisation de la couche limite, basée sur la combinaison d'une approche en diffusion turbulente (basée en pratique sur une équation pronostique de l'énergie cinétique turbulente issue des travaux de Mellor et Yamada) et un schéma en flux de masse – le "modèle du thermique", qui vise à représenter le transport par les structures organisées de la couche limite convective. Cette paramétrisation, développée et testée à l'origine sur des cas de convection sèche (Hourdin et al., 2002), a depuis été étendue à la représentation des cumulus de couche limite.

L'équipe développe également depuis plusieurs années, en collaboration avec Jean-Philippe Lafore (CNRM), une paramétrisation des poches froides (ou courants de densité) engendrées par l'évaporation des pluies convectives, ainsi qu'une nouvelle formulation du déclenchement et de la fermeture convectives. Dans cette formulation, ce sont les processus de soulèvement sous-nuageux (thermiques de la couche limite, poches froides, processus orographiques) qui contrôlent la convection profonde : les paramétrisation qui les représentent déterminent maintenant les contributions des divers processus à l'énergie de soulèvement ALE (= Available Lifting Energy) et à la puissance de soulèvement ALP (Available Lifting Power). La ALE détermine, par comparaison à l'inhibition convective CIN, le déclenchement de la convection (il y a convection si $ALE > |CIN|$), tandis que la ALP en fournit l'intensité.

Plus récemment, toujours avec l'approche uni-colonne, le couplage entre convection de couche limite et convection profonde a été étudié. Nous avons montré que l'utilisation du modèle du thermique, couplée au modèle de convection profonde de Kerry Emanuel (Grandpeix et al., 2003) et à une paramétrisation des poches froides permettait de décaler de plusieurs heures dans l'après midi le déclenchement de la convection profonde, en bien meilleur accord avec les observations et les simulations des grands tourbillons.

D'un point de vue informatique, une part importante du travail des années précédentes a consisté à structurer le modèle LMDZ de façon à permettre l'utilisation soit de l'ancien ensemble de paramétrisations (utilisé pour les simulations préparant le précédent rapport de l'IPCC), soit du nouveau, la bascule de l'un à l'autre se faisant simplement par un jeu de paramètres lus dans un fichier de commande. Nous avons profité intensivement de cette facilité pour accompagner en 2010 la mise en place et la réalisation des simulations destinées au programme d'intercomparaison CMip5, simulations qui serviront de base scientifique au prochain rapport du GIEC. Deux versions du modèle couplé de l'IPSL sont mises en oeuvre, l'une comportant "l'ancienne physique" pour les simulations de type "Earth System Model", dans lesquelles le modèle de climat est couplé à divers modèles (cycle du carbone par exemple), l'autre, comportant "la nouvelle physique", sera utilisée pour les simulations climatiques proprement dites. Cette deuxième version est encore en cours de mise au point. L'objectif est qu'elle soit opérationnelle et permette la réalisation des principales simulations CMip5 avant Mars 2011, de sorte que les résultats soient pris en compte dans le prochain rapport du GIEC.

Evolutions des paramétrisations physiques

Les développements de paramétrisations concernent d'abord le modèle de couche limite : d'une part la paramétrisation de l'entraînement dans les thermiques a été largement modifiée pour représenter les lois d'entraînement telles qu'elles apparaissent dans les simulations de type "grands tourbillons" (LES = large eddy simulations) ; d'autre part un nouveau modèle des nuages associés aux thermiques a été développé, fondé sur une description statistique bi-modale de la répartition sous-maille de l'eau. Ces deux modifications ont permis d'améliorer de manière importante les couvertures nuageuses simulées (voir plus loin le nouveau climat du modèle, Fig. 1).

Une autre amélioration importante porte sur la fermeture convective. Alors que les thermiques et les courants de densité fournissent une puissance de soulèvement menant à des intensités convectives proches des observations sur continent, il n'en est pas de même sur océan : la ALP fournie par ces processus y conduit à une convection profonde d'intensité très insuffisante. Nous avons introduit une source de ALP liée à la convergence de masse, l'idée étant que cette source représentait les cas où la convection profonde intense apparaît sur des couches limites non-convectives (comme dans le "Pot au Noir"). Avec cette nouvelle source de ALP, le comportement de la convection profonde sur océan devient beaucoup conforme aux observations.

Evolution de l'architecture et du schéma temporel

Le modèle du thermique ne s'étant révélé stable que pour des pas de temps inférieurs à cinq minutes, nous avons été amené à modifier le schéma temporel. Dans le but de réduire le temps calcul, les échanges entre la partie dynamique et la partie physique ont été limités : la partie dynamique conserve la même discrétisation temporelle qu'auparavant fondée sur le critère CFL, la partie physique utilise une discrétisation temporelle dictée par la stabilité du schéma du thermique et l'interaction entre les deux n'a lieu que tous les quelques pas de temps physiques. En outre, il est apparu que les oscillations numériques associées à des pas de temps physiques un peu plus grand que cinq minutes ne perturbaient pas appréciablement les résultats. Nous sommes arrivés ainsi à des configurations comme : incrément temporel dynamique = 2 minutes, incrément temporel physique = 7,5 minutes, rythme de couplage = toutes les 15 minutes.

Le nouveau climat du modèle

A titre d'illustration nous présentons dans la Fig. 1 les moyennes zonales de variables appréciablement modifiées par le changement de paramétrisation (d'autres champs comme les précipitations voient leurs moyennes zonales peu modifiées et ne sont pas représentés ici). On voit que presque tous les champs sont améliorés sur la majorité de la surface terrestre ; ceci est vrai particulièrement pour les champs nuageux : les nuages bas et moyens sont quasiment absents dans la bande inter-tropicale dans la simulation avec l'ancienne physique, alors qu'ils approchent les valeurs observées dans la simulation avec la nouvelle physique.

4.2 Processus fondamentaux : Montagnes, Ondes de gravité et Stratosphère

François Lott

Consommation : 1700 h CPU NEC

Depuis quelques années déjà, le modèle LMDz est utilisé de façon expérimentale par l'équipe «Fluide Stratifié et Tournant», implantée à l'Ecole Normale Supérieure et à l'école Polytechnique. Il s'agit pour cette équipe d'identifier les processus dynamiques fondamentaux propres à l'atmosphère, et contribuant à la variabilité du climat aux grandes échelles d'espace et de temps.

Influence des montagnes sur le climat

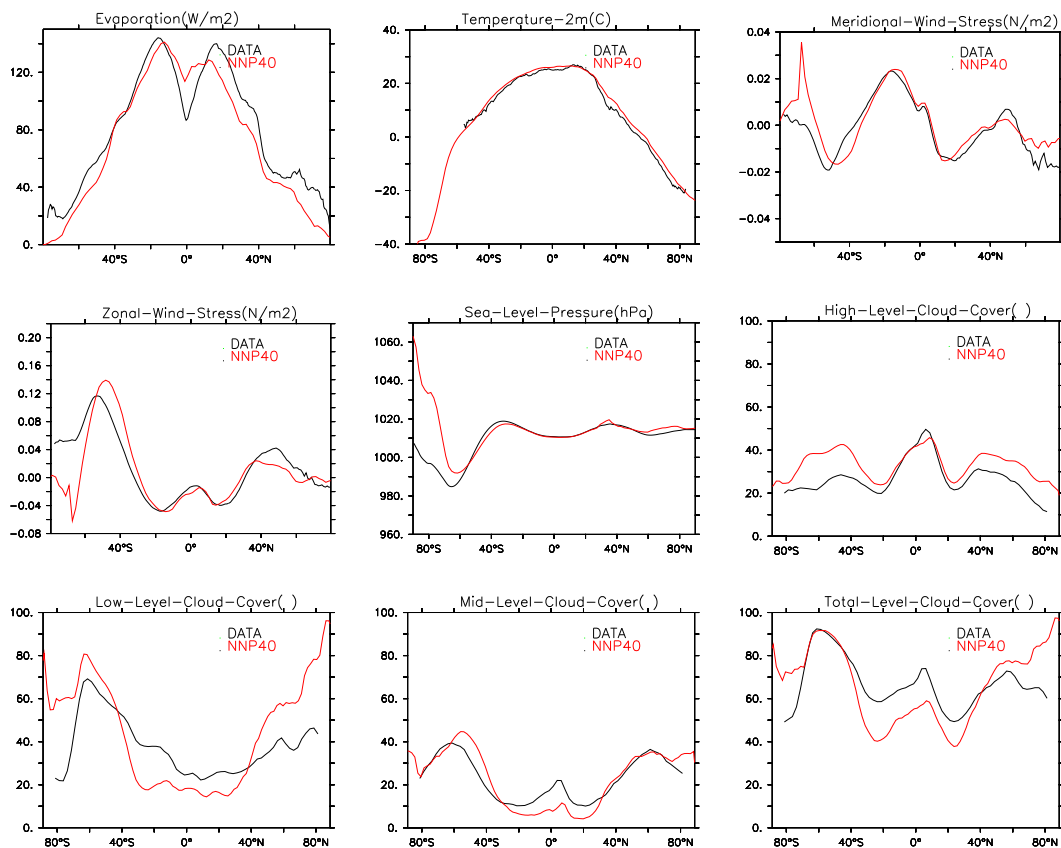
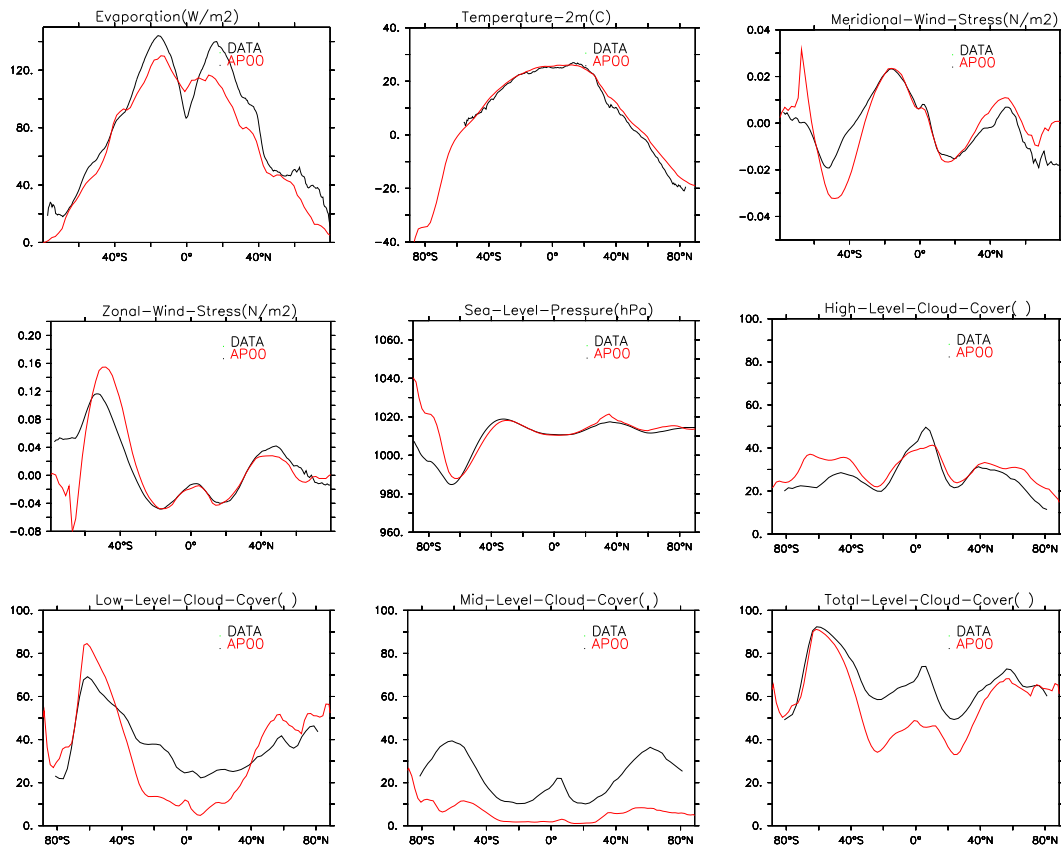


FIG. 1 – Quelques moyennes zonales de champs simulés avec le GCM comportant "l'ancienne physique" (courbes rouges en haut) et avec le GCM comportant "la nouvelle physique" (courbes rouges en bas), comparés aux observations (courbes noires)

Au court de l'année 2010, le modèle LMDz a été utilisé pour étudier le lien entre le forçage dynamique des montagnes et la variabilité météorologique climatique en Asie du Sud-Est. Le forçage dynamique est mesuré par les trois composantes du couple des montagne exercé par le plateau Tibétain sur l'atmosphère. Ces études préliminaires nous ont montré que les relations entre l'évolution de ce couple et le développement des « cold surges » identifiées dans les données de réanalyses et de précipitation par Mailler et Lott (2009) et Mailler et Lott (2010) de retrouvait dans le modèle LMDz. En plus de fournir des données entièrement indépendantes des observations, l'avantage du modèle sur les ré-analyses est qu'il permet de fermer parfaitement le bilan de moment angulaire. Cela enlève une source importante d'incertitude. Ce qui est remarquable dans ces résultats est que le développement des colds surges est précédé de quelque jour par un signal sur la composante du couple selon le second axe équatorial (celui qui croise l'équateur à la latitude 90°N), ce couple étant produit par des anomalies de haute pression au Nord du plateau Tibétain. Ce résultat traduit donc à l'échelle globale l'idée développée dans Lott (1999) que les forces de portance jouent un rôle important dans la dynamique atmosphérique près des montagnes. Ces résultats sont potentiellement intéressant en terme de climat régional, si on rappelle en effet que couple des montagnes et « cold surge » interagissent aussi avec la mousson d'hiver sur l'Asie du Sud Est et jusqu'à la baie du Bengale (Mailler et al. 2009).

Influence de la stratosphère sur le climat

En ce qui concerne l'influence la prise en compte de la stratosphère dans le modèle de climat LMDz (Lott et al. 2005), son couplage avec le module chimique Reprobus (Jourdain et al. 2008, Marchand et al. 2010) a permis de diffuser les résultats du modèle couplée chimie climat dans la communauté internationale, amenant un certain nombre de publications collectives. La plus récente concerne les liens entre la stratosphère et l'Oscillation Arctique (Morgenstein et al. 2010), une autre l'évolution de la TTL telle que prédite par ces modèles couplés (Gettelman et al. 2009). D'un point de vue plus fondamental, nous avons mis en évidence dans le modèle comme dans les observations qu'il existait un effet en retour de l'Oscillation Arctique dans la troposphère sur les émissions d'ondes de Rossby planétaires vers la moyenne atmosphère aux haute latitudes (Nikulin et Lott 2010). Ce lien en retour suggère qu'il y a un peu du mécanisme de l'Oscillation Quasi-Biennale dans le mécanisme de l'Oscillation Arctique. Nos études plus récentes se concentrent sur la dynamique équatoriale, et en suivant les diagnostics d'ondes planétaires équatoriales présentés dans Lott et al. (2009). Ces diagnostics nous sont nécessaires pour évaluer si le modèle a une potentialité à l'avenir pour simuler l'Oscillation Quasi Biennale (ce qu'il ne fait pas à l'heure actuelle).

4.3 Isotopes de l'eau

Sandrine Bony, Camille Risi (post-doc)

Consommation : 5100h CPU NEC, 300h supplémentaires prévues jusqu'en décembre.

LMDZ est utilisé en résolution $96 \times 71 \times 19$ ou en mode zoomé.

Depuis 4 ans, nous travaillons sur le développement de diagnostics basés sur les isotopes stables de l'eau (HDO , $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$) pour mieux comprendre les processus hydrologiques atmosphériques et continentaux et mieux évaluer leur représentation dans les modèles de climat. Nous avons pour cela implémenté les isotopes stables de l'eau dans le le modèle de circulation générale atmosphérique LMDZ (Risi et al., 2010) et le modèle de surface continentale ORCHIDEE (Risi et al., a, submitted).

Au cours de cette année :

- nous avons poursuivi le développement du water tagging (la possibilité de colorier virtuellement les molécules d'eau selon leur origine ou les processus qu'elles subissent, et de suivre

ces molécules colorées au cours de leur transport) à la fois dans LMDZ et dans ORCHIDEE. Cette technique a permis de mieux quantifier le rôle relatif de différents termes du bilan hydrologique et de mieux comprendre les contrôles de la composition isotopique de l'eau sur l'Afrique de l'Ouest (Risi et al., a, 2010, in press). Des simulations permettant de tracer de manière plus fine les processus hydrologiques continentaux sont en cours de finalisation.

- Nous avons comparé nos simulations avec LMDZ a de nombreuses données isotopiques obtenues récemment à la fois par satellite (SCIAMACHY, TES, ACE-FTS, MIPAS) et au sol (télédétection au sol, mesures in-situ). En comparant divers tests de sensibilité à la microphysique, à la convection atmosphérique, au transport de vapeur d'eau et aux résolutions horizontale et verticale, nous travaillons à établir une liste de diagnostics basés sur les mesures isotopiques permettant de détecter de possibles biais des modèles atmosphériques dans leur traitement des processus contrôlant l'humidité atmosphérique (Risi et al., c, 2010, en préparation ; figure 2).
- Nous comparons le comportement en changement climatique de nos différents tests de sensibilité, en imposant la températures de surface d'une simulation 4xCO2 du modèle couplé de l'IPSL, afin de comprendre l'impact de biais actuels dans la représentation des processus contrôlant l'humidité sur les changements futurs d'humidité. Nous étudions aussi la façon dont les changements hydrologiques en changement climatique sont enregistrés par la composition isotopique de l'eau.
- Nous avons utilisé LMDZ-iso en mode zoomé sur plusieurs régions : Afrique de l'Ouest, Amérique du Sud et Tibet. Les simulations zoomées sur l'Afrique de l'Ouest ont aidé à l'interprétation des données isotopiques de précipitation obtenues lors de la campagne AMMA (Risi et al., b, 2010, in press). Les simulations zoomées sur l'Amérique du Sud et le Tibet ont permis d'étudier le signal isotopique enregistré dans ces régions avec des applications paléo-climatologiques (Vimeux et al., en préparation, Gao et al., soumis, Shi et al., soumis).

Gao, J., Masson-Delmotte, V., Yao, T., Risi, C., Hoffmann, G., and Tian, L. Precipitation water stable isotopes in the south Tibetan Plateau : observations and modelling. *J. Clim.*, submitted.

Risi, C., Bony, S., Ogée, J., Bariac, T., and co authors. What can we learn from water stable isotopes about land surface processes ? Investigation with an isotopic version of the ORCHIDEE land surface model. *J. Geophys. Res.*, submitted.

Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., Frankenberg, C., and Noone, D. Understanding the Sahelian water budget through the isotopic composition of water vapor and precipitation. *J. Geophys. Res.*, in press.

Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., and Jouzel, J. (2010). Water stable isotopes in the LMDZ4 General Circulation Model : model evaluation for present day and past climates and applications to climatic interpretation of tropical isotopic records. *J. Geophys. Res.*, 115, D12118 :doi :10.1029/2009JD013255.

Risi, C., Noone, D., Worden, J., Frankenberg, C., Stiller, G., Kiefer, M., Funke, B., Walker, K., Bernath, P., M. S., Wunch, D., Wernberg, P., Sherlock, V., Bony, S., Jeonghoon Lee, D. B., Uemura, R., and Sturm, C. Are general circulation models representing processes controlling tropical and subtropical free tropospheric relative humidity properly ? The added value of water vapor isotope measurements. *J. Geophys. Res.*, in prep.

Shi, C., Masson-Delmotte, V., Risi, C., Eglin, T., Stievenard, M., Pierre, M., bin Zhang, Q., and Daux, V. Sampling Strategy and Climatic Implications of Tree-Ring Stable isotopes in Southeast Tibetan Plateau. *Earth Planet. Sci. Lett.*, submitted.

Vimeux, F., Tremoy, G., Risi, C., and Gallaire, R. A 1-year long event-based isotopic composition of precipitation in the Bolivian Andes : spatial and temporal controls of the intra-seasonal variability.

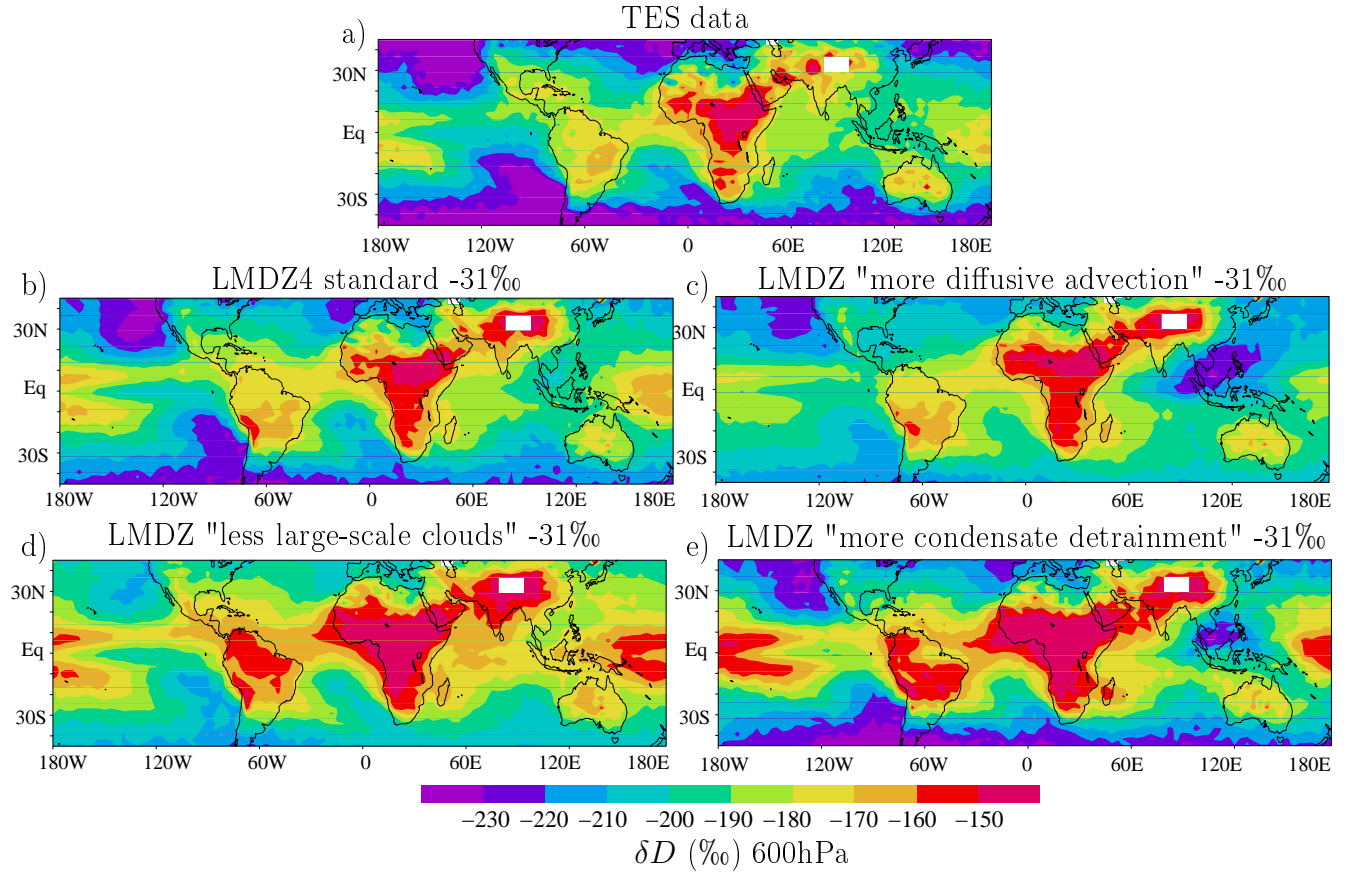


FIG. 2 – Comparaison de la concentration en HDO (exprimée en δD en ‰) mesurée par l'instrument TES à bord du satellite Aura (a), simulée dans la version standard d'LMDZ (b) et dans des tests de sensibilité à la physique du modèle induisant un biais humide pour 3 raisons différentes : advection trop diffusive (c), variabilité sous-maille de la vapeur d'eau sous-estimée (d) et détrainement de condensat par la convection trop fort (e). La simulation standard d'LMDZ se compare très bien aux données hormis un biais riche uniforme, tandis que les simulations avec un biais humide présentent des désaccords, qui sont différents selon la cause de ce biais. Ainsi, la comparaison à des données de la composition isotopique simulée apporte une information sur la cause de possibles biais du modèle dans leur représentation des processus contrôlant l'humidité.

4.4 Incertitude sur la sensibilité climatique : étude des rétroactions climatiques liées aux changements de température, vapeur d'eau, albédo, et nuages dans des expériences de changement climatique passé et futur.

Sandrine Bony, Christelle Castet, Jean-Louis Dufresne

Consommation : environ 500h CPU NEC. Cette étude est réalisée dans le but de comprendre les différences inter-modèles de rétroactions climatiques en climat passé (dernier âge glaciaire) et futur (accroissement de CO₂ de 1paléoclimatiques peuvent permettre de contraindre la sensibilité du climat futur. L'analyse des rétroactions liées aux changements de température, de vapeur d'eau, d'albédo, et de nuages à été réalisée suivant la méthode de calcul de "radiative kernels" développée par Soden et Held (2006). Le calcul de "radiative kernels" est effectué online toutes les 3 heures sur une simulation d'une durée de un an produite avec le modèle LMDZ. Il consiste à perturber : la température ou la vapeur d'eau niveau par niveau, et la température ou l'albédo à la surface, pour quantifier la réponse des flux radiatifs au sommet de l'atmosphère à chaque perturbation. La figure Fig. 3 illustre les différents kernels en ciel clair. Les kernels de température, vapeur d'eau, et albédo sont ensuite utilisées pour diagnostiquer les rétroactions climatiques à partir de calculs off-line appliqués aux sorties de 5 différents modèles, et pour des expériences de climat passé et futur. Cela permet d'identifier si l'intensité et la localisation des rétroactions sont comparables en paléoclimat et climat futur pour ensuite analyser les processus expliquant les différences. Ces différentes analyses sont en cours.

4.5 Rôle des océans dans la variabilité de la mousson de l'Afrique de l'ouest (MAO)

Elsa Mohino, Serge Janicot

Consommation : 100 heures (Brodie)

L'essentiel des calculs a eu lieu en 2009. L'essentiel des résultats a été produit en 2010 et est présenté ici.

1. Decadal variability of West African monsoon and SST

Mohino, E., S. Janicot and J. Bader, 2010 : Sahel rainfall and decadal to multi-decadal sea surface temperature variability. *Climate Dyn.* doi :10.1007/s00382-010-0867-2. Decadal Sahelian rainfall variability was mainly driven by Sea Surface Temperatures (SSTs) during the 20th century. At the same time SSTs showed a marked long-term global warming trend (GW). Superimposed on this long-term trend decadal and multi-decadal variability patterns are observed like the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and the Inter-decadal Pacific Oscillation (IPO). Using an atmospheric general circulation model we investigate the relative contribution of each component to the Sahelian precipitation variability. To take into account the uncertainty related to the use of different SST data sets, we perform the experiments using HadISST1 and ERSSTv3 reconstructed sets. The simulations show that all three SST signals have a significant impact over West Africa : the positive phases of the GW and the IPO lead to drought over the Sahel, while a positive AMO enhances Sahel rainfall. The tropical SST warming is the main cause for the GW impact on Sahel rainfall. Regarding the AMO, the pattern of anomalous precipitation is established by the SSTs in the Atlantic and Mediterranean basins. In turn, the tropical SST anomalies control the impact of the IPO

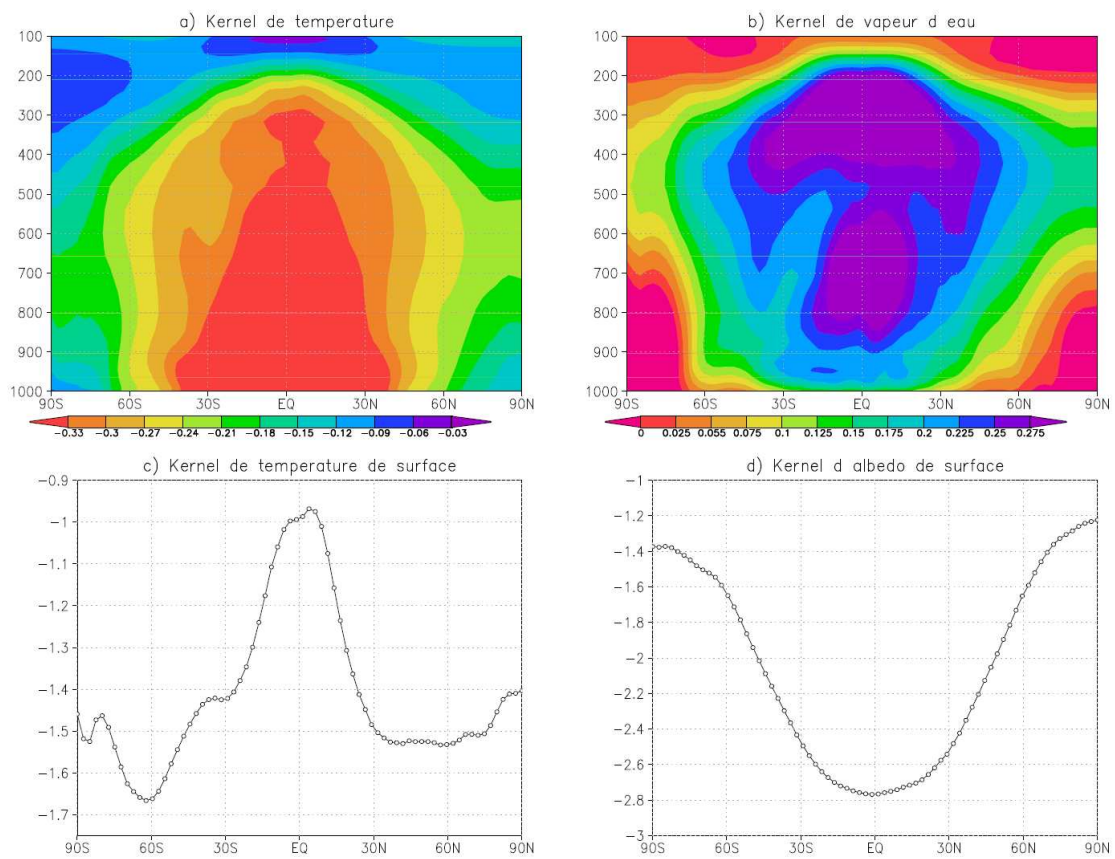


FIG. 3 – Moyenne zonale et annuelle des kernels de : (a) température et (b) vapeur d'eau dans l'atmosphère ($W\ m^{-2}\ K^{-1}/100\ hPa$), et de : (c) température, et (d) albédo de surface ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$).

component on West Africa. Our results suggest that the low-frequency evolution of Sahel rainfall can be interpreted as the competition of three factors : the effect of the GW, the AMO and the IPO. Following this interpretation, our results show that 50% of the SST-driven Sahel drought in the 1980s is explained by the change to a negative phase of the AMO, and that the GW contribution was 10%. In addition, the partial recovery of Sahel rainfall in recent years was mainly driven by the AMO.

2. Impact of summer MJO on West African monsoon

Mohino, E. S. Janicot, H. Douville and L. Li, 2010 : Impact of summer MJO on West Africa using nudged climate simulations. Submitted to *Climate Dynamics* There is observational evidence that suggests a link between the summer Madden Julian Oscillation (MJO) and anomalous convection over West Africa. This link is further studied with the help of the LMDZ and ARPEGE atmospheric general circulation models. The approach is based on nudging the models towards observations in the Asian monsoon region. This technique consists in relaxing one or several prognostic variables towards the observed fields. The simulations successfully capture the convection associated with the summer MJO in the nudging region. Outside this region the models are free to evolve. Over West Africa the LMDZ model simulates convection anomalies that are similar in magnitude, structure, and timing to the observed ones. Though noisier, the ARPEGE simulation also suggests an impact of the MJO on West African convection. As the observations, the simulations show that 13 to 17 days after the maximum increase (decrease) of convection in the Indian Ocean there is a significant reduction (increase) in West African convection. The simulations strongly suggest the westward propagation of a Rossby equatorial wave as the main mechanism for this link.

Component	Impact on West Africa	SST key areas	Mechanism	Contribution to 1980s Drought	Contribution to mid-1990s recovery
GW		Tropical Indo-Pacific Tropical Atlantic	Enhanced subsidence over West Africa Increased humidity fluxes into Guinea Gulf	10%	-20%
AMO		Atlantic + Mediterranean + Tropical Indian + Maritime Continent	Northward shift of the ITCZ	50%	80%
IPO		Tropics	Enhanced subsidence over West Africa	40%	40%

FIG. 4 – Summary table with the impact of each component of SST low-frequency variability on West Africa rainfall. The second column plots the average impact using ERSSTv3 and HadISST1 simulations (mm/day). The SST key areas with impact on West African rainfall and the mechanism for the connection are shown in columns third and fourth. Columns fifth and sixth show the relative contribution of each component to Sahel’s drought in the 1980s and to its partial recovery in the mid 1990s

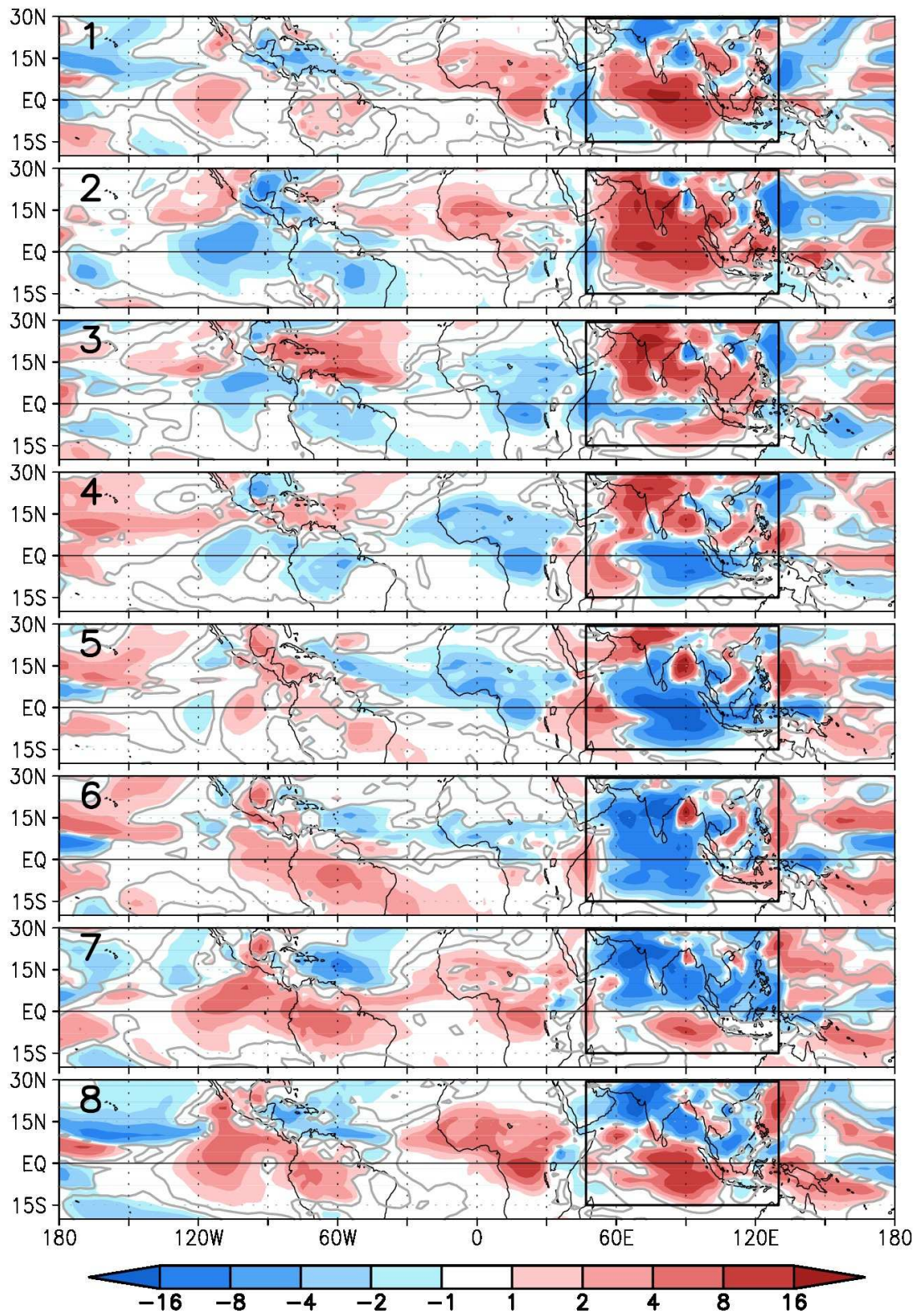


FIG. 5 – Summer composites of observed OLR (W/m^2) according to the eight phases of the summer MJO. Grey contours mark 95% significant regions (according to a one-sample t-test). Box marks the nudged area

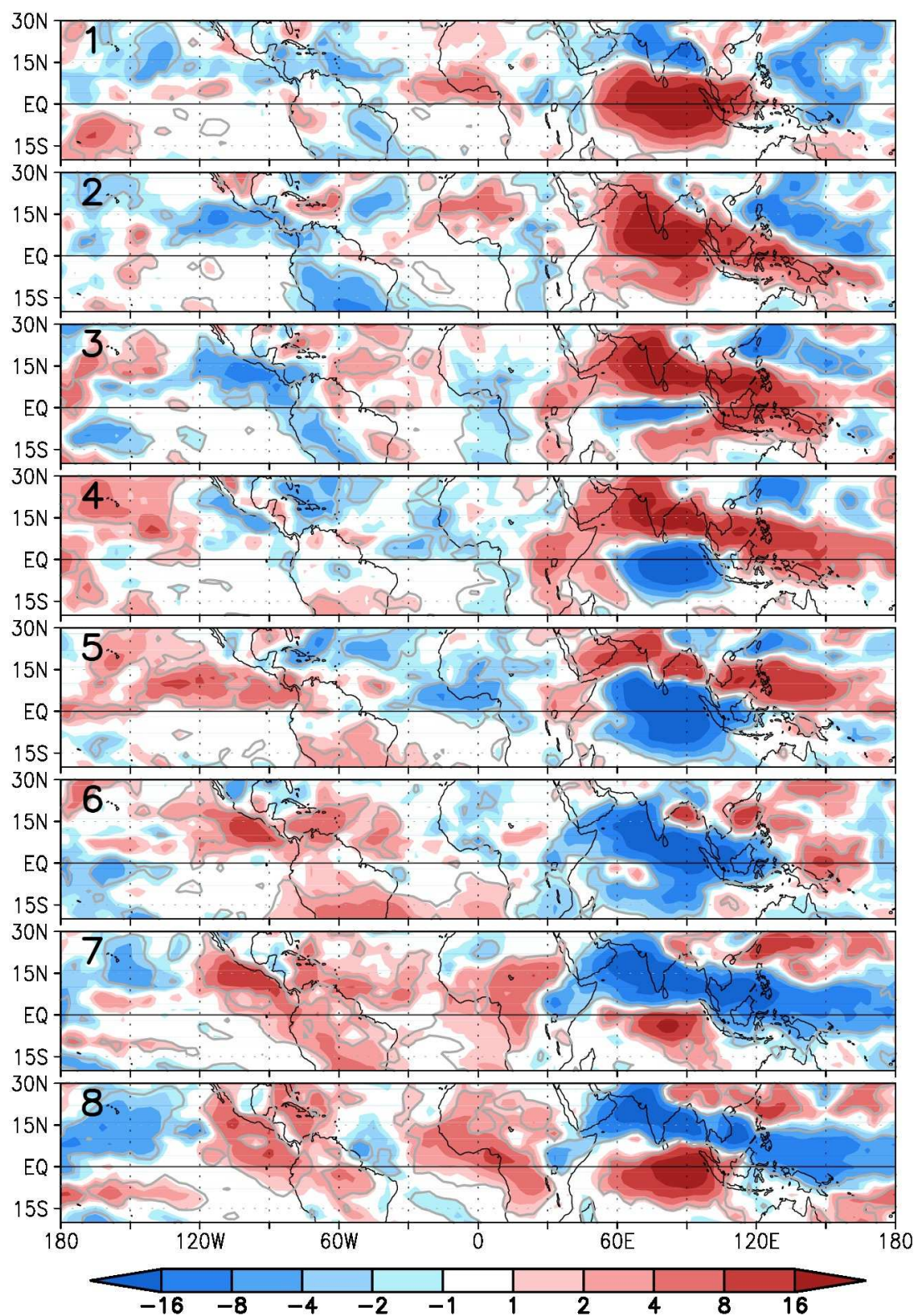


FIG. 6 – Summer composites of LMDZ simulated OLR according to the eight phases of the summer MJO. Grey contours mark 95% significant regions (according to a one-sample t-test).

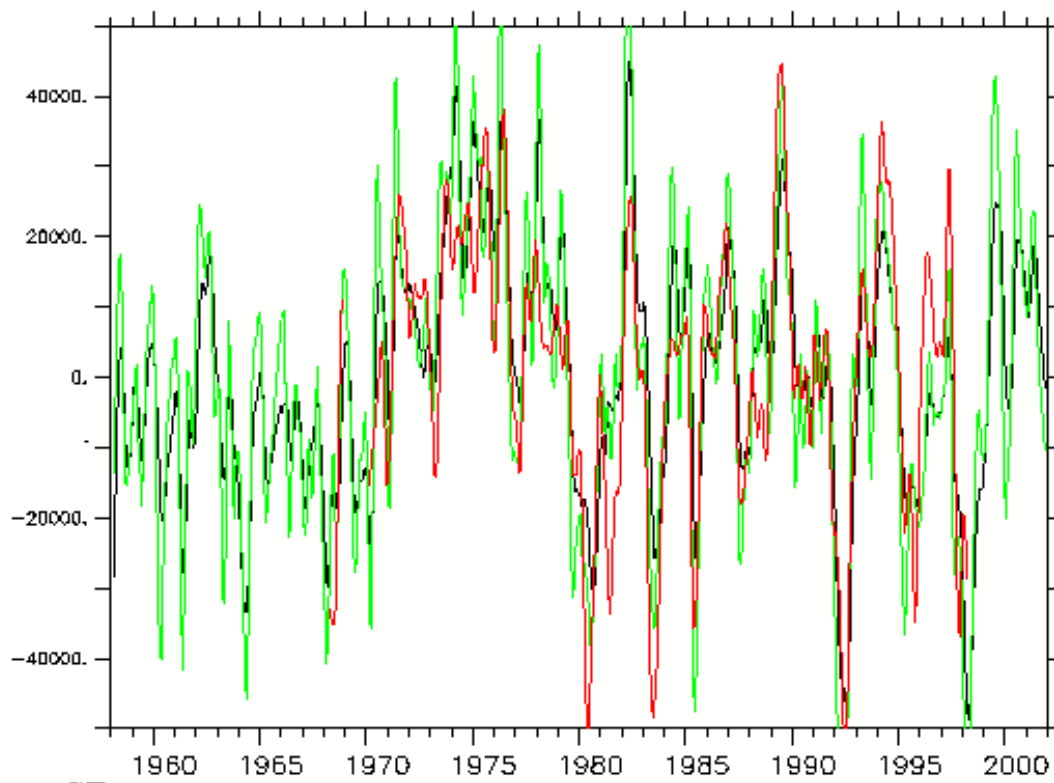


FIG. 7 – Comparaison des anomalies du débit de l’Amazonie à Obidos sur la période 1958 - 2001 Observation (en rouge), CWRR (en vert) et Choissnel (en noir) .

4.6 Evolution et validation du modèle ORCHIDEE

Matthieu Guimberteau, Nathalie Bertrand, Katia Laval , Alain Perrier et Jan Polcher

Consommation : 600 heures CPU NEC et 35000 heures CPU SP6

Rapport d’activité

Consommation : 35 000 heures

Des travaux de simulation ont été effectués dans le cadre du projet européen WATCH. L’objectif étant d’analyser et de quantifier les composants actuels et futurs du cycle hydrologique à l’échelle globale. Ce projet requiert des simulations du modèle de surface Orchidee forcé par différents scénarios de changement climatique. Les simulations du modèle de surface Orchidee forcé sur la période 1901-2001 ont été effectuées avec la version du modèle de sol à 2 couche dite de Choissnel et celle à 11 couches CWRR, à résolution $0,5^\circ$. L’inter-comparaison des deux modèles de sol nous permet d’identifier une représentation de l’hydrologie dans le sol plus réaliste avec le modèle à 11 couches. Le modèle CWRR sera donc préféré à la version dite de Choissnel pour la suite de l’étude. L’analyse des résultats montre que le débit des fleuves est surestimé par Orchidee pour les deux versions du modèle de sol (Fig. 7). Ce résultat a été mis en évidence par l’étude d’inter-comparaison des modèles participant au projet WATCH (Haddeland et al, 2010).

Rapport d’activité 2009-2010 Matthieu Guimberteau, Josyane Ronchail, Benjamin

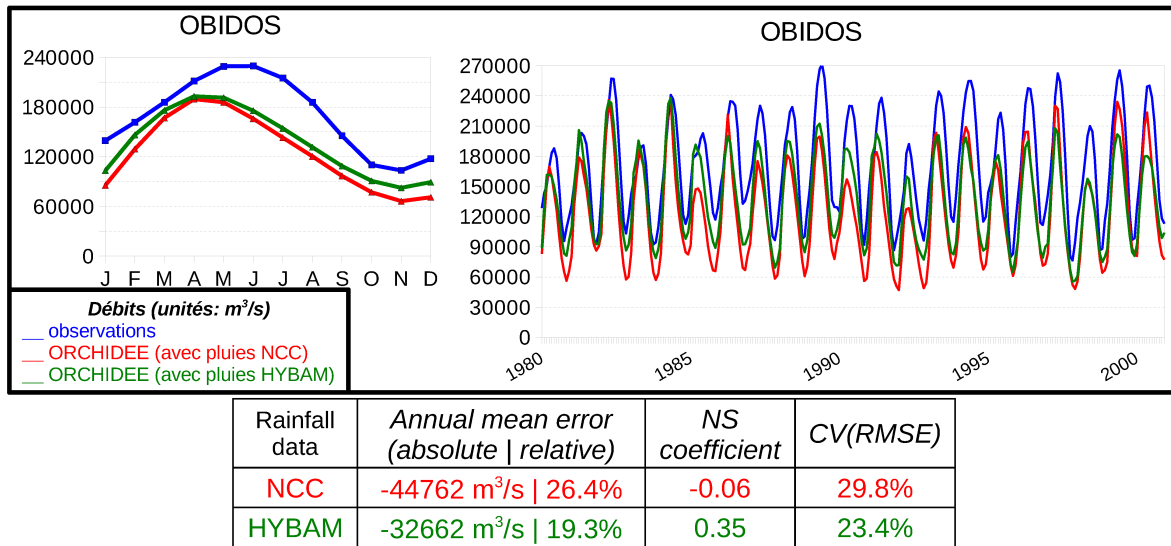


FIG. 8 – Variations saisonnières et interannuelles du débit à Obidos sur la période 1980-2000. Statistiques évaluant la performance de modèle à simuler le débit par rapport aux observations. Le coefficient Nash–Sutcliffe (NS) est compris entre $-\infty$ to 1. Une valeur 1 correspond à une correspondance parfaite entre simulations et observations. Une valeur 0 indique que les prédictions du modèle sont aussi précises que la moyenne des observations. En dessous de 0, l'état moyen observé est un meilleur indicateur que le modèle. Plus le coefficient est proche de 1, plus le modèle est performant dans la simulation du débit. CV(RMSE) est le coefficient de variation de la RMSE qui est similaire à l'erreur R^2 . Il mesure le degré de dispersion des données. Plus la valeur est faible, plus le modèle est précis.

Sultan

Consommation : 197 heures sur Brodie

L'objectif est d'évaluer le devenir des débits des rivières sur le bassin amazonien dans un contexte de changement climatique dans le cadre du projet européen GIS REGYNA. Ce travail permettra notamment d'évaluer la vulnérabilité et la pérennité de fonctionnement de plusieurs infrastructures en projet et de produire des cartes de zones à risques pour les populations, l'élevage et les cultures de céréales autour de villes et des vastes plaines d'inondations. Plusieurs études de sensibilité ont été réalisées afin d'obtenir une simulation de référence en période actuelle, étape préalable à celle de l'ajout des anomalies climatiques futures.

L'une des modifications majeures pour l'amélioration des débits des rivières simulés par ORCHIDEE (ORganising Carbon and Hydrology In Dynamic EcosystEms) de l'Institut Pierre Simon Laplace Institute (IPSL) sur 1980-2000 a été l'implémentation des pluies krigées HYBAM (HYdro-géodynamique du Bassin AMazonien) observées sur le bassin dans le forçage NCC (Ngo-Duc et al., 2005). Ainsi, chaque valeur journalière de pluies HYBAM a été décomposée toutes les 6 heures selon les proportions NCC. Les pluies journalières sur le Pérou n'étant pas encore disponibles, des valeurs mensuelles ont été utilisées. Le débit proche de l'embouchure de l'Amazone (station Obidos) est mieux simulé avec les pluies HYBAM et particulièrement les étiages sur la quasi totalité des années (Fig. 8). Le coefficient NS passe de -0.06 à 0.35 et le CV(RMSE) de 29.8% à 23.4%. Néanmoins, le cycle annuel reste décalé de 1 à 2 mois.

La seconde amélioration fut de prescrire au modèle une autre carte de plaines d'inondations et

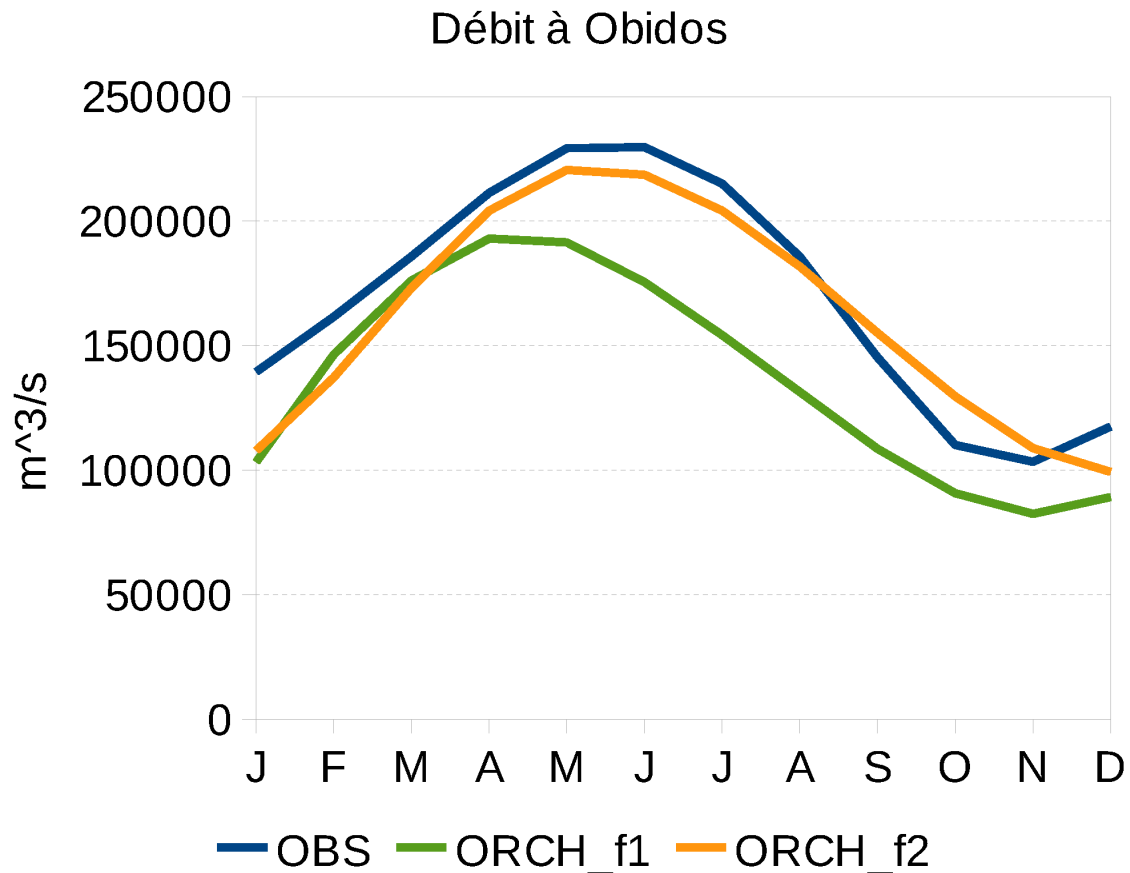


FIG. 9 – Variations saisonnières du débit à Obidos sur la période moyenne 1980-2000 mettant en évidence l’effet des plaines d’inondation plus prononcé avec la nouvelle carte prescrite au modèle qu’avec l’ancienne.

de marécages/forêts inondées réalisée par Martinez & Le Toan, 2007. Cette carte semble plus réaliste que celle habituellement utilisée dans ORCHIDEE puisque la fraction inondée de la surface du bassin amazonien est maintenant d’environ 4% (contre 0.36% auparavant). De plus, la fraction des marécages/forêts inondées a également été augmentée (8,8% contre 6.5% auparavant). Le résultat de cette modification (ORCH_f2) est un retard de la crue à Obidos par rapport à la simulation précédente (ORCH_f1) (Fig. 9) du à un volume plus grand qui stagne aux bords du fleuve avant d’atteindre l’embouchure. Ce retard est judicieux quand on compare le débit nouvellement simulé (ORCH_f2) aux observations (Fig. 9) : le coefficient NS est maintenant de 0.76 et le CV(RMSE) de 14.2%.

Publications liées au projet

- Mailler, S. and F. Lott, Equatorial mountain torques and cold surges dynamics, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Soumis en 2009.
- Mailler, S. and F. Lott, Dynamical influence of the Himalayas on the winter monsoon over southeastern Asia, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06708, 2009. doi :10.1029/2008GL036952.
- Nikulin, G. and F. Lott, On the time-scales for which the tropospheric planetary waves and the stratospheric circulation are related, Soumis en 2009.
- Lott, F., J. Kuttippurath, and F. Vial, A Climatology of the Gravest Waves in the Equatorial Lower and Middle Stratosphere : Method and comparison between the ERA-40 re-analysis and the LMDz-GCM, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 66, 1327-1346, 2009.
- Lott, F. and C. Millet, The representation of Gravity Waves in Atmospheric General Circulation Models (GCMs), *Infrasound monitoring for atmospheric studies*, Sous press, 2009.
- Bony, S., Risi, C., and Vimeux, F. (2008). Influence of convective processes on the isotopic composition (O18 and D) of precipitation and water vapor in the Tropics. Part 1 : : Radiative-convective equilibrium and TOGA-COARE simulations. *J. Geophys. Res.*, 113 :D19305.
- Risi, C., Bony, S., and Vimeux, F. (2008a). Influence of convective processes on the isotopic composition (O18 and D) of precipitation and atmospheric water in the Tropics : Part 2 : Physical interpretation of the amount effect. *J. Geophys. Res.*, 113 :D19306.
- Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., Descroix, L., Boubacar, I., Mamadou, I., Lebreton, E., and Sultan, B. (2008b). What controls the isotopic composition of the African monsoon precipitation ? Insights from event-based precipitation collected during the 2006 AMMA campaign. *Geophys. Res. Lett.*, in press.
- Risi, C., Landais, A., Bony, S., Masson-Delmotte, V., Jouzel, J., and Vimeux, F. (2008c). Coupling a single column model and a distillation model to explore the origins of O17-excess and d-excess variations in polar precipitation and its source vapor. *J. Geophys. Res.*, submitted.
- Gao, J., Masson-Delmotte, V., Yao, T., Risi, C., Hoffmann, G., and Tian, L. Precipitation water stable isotopes in the south Tibetan Plateau : observations and modelling. *J. Clim.*, submitted.
- Risi, C., Bony, S., Ogée, J., Bariac, T., and co authors. What can we learn from water stable isotopes about land surface processes ? Investigation with an isotopic version of the ORCHIDEE land surface model. *J. Geophys. Res.*, submitted.
- Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., Frankenberg, C., and Noone, D. Understanding the Sahelian water budget through the isotopic composition of water vapor and precipitation. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., and Jouzel, J. (2010). Water stable isotopes in the LMDZ4 General Circulation Model : model evaluation for present day and past climates and applications to climatic interpretation of tropical isotopic records. *J. Geophys. Res.*, 115, D12118 :doi :10.1029/2009JD013255.
- Risi, C., Noone, D., Worden, J., Frankenberg, C., Stiller, G., Kiefer, M., Funke, B., Walker, K., Bernath, P., M. S., Wunch, D., Wernberg, P., Sherlock, V., Bony, S., Jeonghoon Lee, D. B., Uemura, R., and Sturm, C. Are general circulation models representing processes controlling tropical and subtropical free tropospheric relative humidity properly ? The added value of water vapor isotope measurements. *J. Geophys. Res.*, in prep.
- Shi, C., Masson-Delmotte, V., Risi, C., Eglin, T., Stievenard, M., Pierre, M., bin Zhang, Q., and Daux, V. Sampling Strategy and Climatic Implications of Tree-Ring Stable isotopes in Southeast Tibetan Plateau. *Earth Planet. Sci. Lett.*, submitted.

Vimeux, F., Tremoy, G., Risi, C., and Gallaire, R. A 1-year long event-based isotopic composition of precipitation in the Bolivian Andes : spatial and temporal controls of the intra-seasonal variability. *J. Geophys. Res.*, in prep.

Références

- Austin, J., K. Tourpali, E. Rozanov, H. Akiyoshi, S. Bekki, G. Bodeker, C. Bruhl, N. Butchart, M. Chipperfield, M. Deushi, V. I. Fomichev, M. A. Giorgetta, L. Gray, K. Kodera, F. Lott, E. Manzini, D. Marsh, K. Matthes, T. Nagashima, K. Shibata, R.S. Stolarski, H. Struthers, and W. Tian, Coupled chemistry climate model simulations of the solar cycle in ozone and temperature, *Journal of Geophysical Research*, 113, D11306, doi :10.1029/2007JD009391.
- Bony S and J-L Dufresne, 2005 ; Marine boundary layer clouds at the heart of tropical cloud feedback uncertainties in climate models, *Geophys. Res. Lett.*, 32, No. 20, L20806, doi :10.1029/2005GL023851.
- Dufresne J-L and S Bony, 2008 : An assessment of the primary sources of spread of global warming estimates from coupled ocean-atmosphere models. *J. Climate*, 21 (19), 5135-5144.
- Emanuel, K.A. and M. Zivkovic-Rothman, 1999 : Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766–1782.
- Gottelman, A., T. Birner, V. Eyring, H. Akiyoshi, D. A. Plummer, M. Dameris, S. Bekki, F. Lefevre, F. Lott, C. Bruhl, K. Shibata, E. Rozanov, E. Manzini, G. Pitari, H. Struthers, W. Tian, and D. E. Kinnison, The tropical tropopause layer 1960-2100, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, 1367-1413, 2008.
- Jourdain, L. , S. Bekki, F. Lott, and F. Lefevre, The coupled chemistry climate model LMDz Reprobus : description of a transient simulation of the period 1980-1999 : *Annales Geophysicae*, *Annales Geophysicae*, 26, 6, 1391-1413, 2008.
- Lott, F., O. deViron, P. Viterbo and F. Vial, Axial Atmospheric Angular Momentum Budget at Diurnal and Subdiurnal Periodicities, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65,156171, 2008.
- Lott, F., L. Goudard and A. Martin, Links between the mountain torque and the Arctic Oscillation in the Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMDz) general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, 110, D22107, doi : 10.1029/2005JD006073, 2005.
- Lott, F. , L. Fairhead, F. Hourdin, and P. Levan, The stratospheric version of LMDz : Dynamical Climatologies, Arctic Oscillation, and Impact on the Surface Climate, *Climate Dynamics*, 25, 851-868, DOI : 10.1007/s00382-005- 0064-x, 2005.
- Lott, F. and F. D’Andrea, Mass and wind angular momentum responses to mountain torques in the 1–25 day band. Links with the Arctic Oscillation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, 1483-1500, doi : 10.1256/qg.03.168, 2005.
- Lott, F., A. W. Robertson and M. Ghil, Mountain torques and Northern-Hemisphere low-frequency variability Part I : Hemispheric and oscillatory aspects, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61, 1259-1271, 2004.
- Lott, F., A. W. Robertson and M. Ghil, Mountain torques and Northern-Hemisphere low-frequency variability Part II : Regional and episodic aspects, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61, 1272-1283, 2004.
- Lott, F., Alleviation of stationary biases in a GCM through a mountain drag parametrization scheme and a simple representation of mountain lift forces, *Monthly Weather Review*, 127, 788–801, 1999.
- Lott, F., and M. Miller, A new subgrid scale orographic drag parameterization ; its testing in the ECMWF model, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, 101-127,

- Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor, 2007 : Climate Models and Their Evaluation. In : Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Tompkins, A. M. and K.A. Emanuel, 2000 : Simulated equilibrium tropical temperature and water vapor profiles and their sensitivity to vertical resolution. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 1219–1238.
- de Viron O., G. Schwarzbaum, F. Lott and V. Dehan, Diurnal and sub-diurnal effects of the atmosphere on the Earth rotation and geocenter Motion, *Journal of Geophysical Research*, 110, B11404, doi : 10.1029/2005JB003761, 2005.