

Rapport d'activité DARI 2012 – projet 0292

Modélisation du climat : cycle de l'eau et variabilité climatique

Rapport d'activité

Camille Risi et Jean-Yves Grandpeix
crlmd@lmd.jussieu.fr, 01 44 27 52 62

L.M.D. - Octobre 2012

De janvier à octobre 2012, nous avons consommé 472 000h IBM SP6 (vargas), soit 94% des ressources allouées jusqu'en décembre.

L'essentiel des activités a été consacré au développement, à la validation du modèle de circulation générale atmosphérique LMDZ (Laboratoire de Météorologie Dynamique Zoom) et du modèle de surface continental ORCHIDEE (ORganising Carbon and Hydrology In Dynamic EcosystEms), ainsi que de leur utilisation pour mieux comprendre des processus climatiques.

Table des matières

1	Evolution et validation de la version de référence du modèle LMDZ	2
1.1	Amélioration du modèle	2
1.2	L'approche Transpose AMIP pour l'évaluation de modèles de climat	3
1.3	Evaluation des relations entre le degré d'agrégation de la convection et l'atmosphère grande-échelle dans LMDZ	6
2	Etude des processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat	7
2.1	Sensibilité de la simulation des oscillations intrasaisonniers tropicales au schéma de convection profonde	7
2.2	Montagnes, Ondes de gravité et Stratosphère	7
2.3	Microphysique des nuages de glace et des traînées de condensation des avions	8
3	Impact des ondes longues planétaires et des anomalies interannuelles de vents sur la variabilité des températures en Atlantique tropical.	9
4	Evolution, validation et utilisations du modèle ORCHIDEE	9
4.1	Couplage humidité du sol-climat	9
4.1.1	Développements et tests préliminaires d'un nouveau module d'hydrologie dans LMDZOR	9
4.1.2	Couplage humidité du sol-climat dans les scénarios CMIP5	9
4.2	Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique	12
4.3	Sensibilité de l'évaporation potentielle au changement climatique	12
5	Isotopes de l'eau	14

1 Evolution et validation de la version de référence du modèle LMDZ

1.1 Amélioration du modèle

Sandrine Bony, Frédérique Cheruy, Jean-Louis Dufresne, Laurent Fairhead, Jean-Yves Grandpeix, Frédéric Hourdin, Abderrahmane Idelkadi, Ionela Musat, Jan Polcher, Nicolas Rochetin (Thèse), Arnaud Jam (Thèse)

Consommation : 300 000 heures CPU vargas

L'année 2012 a été consacrée à l'évaluation et à l'amélioration de la version dite "Nouvelle Physique" du Modèle de Circulation Générale, composante atmosphérique de la version IPSL-CM5B du modèle couplé de l'IPSL, avec laquelle ont été réalisées des simulations climatiques de l'exercice CMIP5. Cette version comporte tous les développements effectués depuis une dizaine d'années pour le modèle LMDZ et a mené en 2010-2011 à une refonte complète des paramétrisations de la couche limite, de la convection et des nuages.

Principes généraux des nouvelles paramétrisations physiques

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 ([Grandpeix and Lafore, 2010, Grandpeix et al., 2010]). 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.

Evolution des paramétrisations physiques

Le développement de nouvelles paramétrisations s'est réalisé en grande partie sur la base de simulations 1D, par comparaison avec des simulations explicites à très haute résolution (LES ou CRM) de cas d'études. Le passage de ces développements 1D au cadre tri-dimensionnel est un travail très important. Il faut d'une part faire en sorte ou vérifier que les paramétrisations sont bien valides partout sur le globe et que le modèle soit efficace numériquement et robuste. L'exigence de validité globale de chaque paramétrisation induit un aller-retour entre simulations 1D et simulations globales qui représente une part importante de la consommation du présent projet. C'est à l'occasion de ces nombreux aller-retour que nous avons été amenés en 2011 à modifier la paramétrisation de la convection profonde. Dans la version "standard" de la nouvelle physique, la vitesse verticale w_B à la base des ascendances convectives profondes est un paramètre fixe ($w_B = 1 \text{ m/s}$). Cette variable, qui apparaît dans la fermeture convective, est maintenant une fonction croissante de l'altitude de la base du nuage. Ce changement a permis que le schéma convectif soit adapté aussi bien aux situations continentales que maritimes, ce qui a induit une amélioration globale des résultats de simulation (Rio et al 2012).

Quelques résultats significatifs

Les simulations réalisées en 2011 avaient permis de montrer que l'utilisation du modèle du thermique, couplée au modèle de convection profonde de Kerry Emanuel ([Grandpeix et al., 2004])

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 ([Rio et al., 2009]). Ce résultat a confirmé le résultat obtenu avec des simulations 1D comparées à des simulations des grands tourbillons ([Rio and Hourdin, 2007]), démontrant ainsi le succès du travail de passage des développements 1D au cadre tri-dimensionnel.

L'analyse des simulations réalisées en 2012, en particulier pour l'exercice CMIP5, a révélé aussi des bénéfices inattendus de la "Nouvelle Physique". Ainsi la variabilité de la convection et des nuages a été fortement améliorée, aussi bien à l'échelle inter-diurne (figure 1) qu'à l'échelle intra-saisonnière.

Cette amélioration de la variabilité simulée résulte vraisemblablement de la voie choisie il y a plusieurs années, dans laquelle la convection profonde n'est plus simplement fonction des conditions de grande échelle mais est gouvernée par des processus sous-nuageux explicitement paramétrés. La représentation explicite de ces processus sous-nuageux dans le modèle du thermique et le schéma de poches froides permet au système de s'éloigner du quasi-équilibre, acquérant ainsi une variabilité plus grande.

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications dans le cadre d'un numéro spécial de la revue *Climate Dynamics* (Rio et al 2012, Hourdin et al 2012, Cheruy et al 2012).

1.2 L'approche Transpose AMIP pour l'évaluation de modèles de climat

Sandrine Bony, Solange Fermepin (thèse)

Consommation : 11 000 heures CPU vargas

L'approche Transpose AMIP (également connu comme "utiliser un GCM Climatique en mode Prévission du Temps") permet d'étudier les bias systematiques des modèles qui se développent rapidement. Nous utilisons des reanalyses comme conditions initiales pour les variables d'état du modèle, ce qui nous permet d'étudier les premiers jours de simulations. Cela permet aussi d'étudier la réponse rapide du modèle à une perturbation imposée.

Le LMD fait partie de l'expérience Transpose-AMIP II, un projet international qui promeut l'utilisation des modèles climatiques en mode "prévission du temps". Plusiers centres de recherche participent du projet. Actuellement, cinq centres ont déjà soumis des simulations, dont le LMD (Williams et al. soumis). Pour la mise au point des simulations du projet, nous avons testé différentes méthodes d'initialisation. Plus de 240 simulations ont été faite a cette but. Au cours de l'année, nous avons fait les 64 forecasts demandées pour cette experience

Afin de mieux comprendre le développement rapide des bias du modèle climatique IPSL-CM5A-LR (IPSL Climate Model 5A-Low Resolution) nous avons fait des simulations de 10 jours pour la periode TOGA-COARE (novembre 1992-février 1993) avec LMDZ5 (96x95x39), couplée au modèle de sol ORCHIDEE (proprement initialisée). Pour chaque jour de cette periode, nous avons initialisé le modèle LMDZ avec les réanalyses ERA-Interim et nous avons fait des simulations de 10 jours. Nous avons fait des simulations pour quatre mois de l'annee 2009 pour tenir compte du cycle saisonnier.

Pour étudier la réponse rapide du modèle, nous avons utilisé LMDZOR (96x95x39) pour faire un mois de forecasts pour le mois d'avril 2009, en demarrant le modèle chaque six heures, à 00h00, 06h00, 12h00 et 18h00 et en initialisant le modèle du sol avec une climatologie. Ensuite, nous avons "perturbé" le modèle de different façons.

1. $4xCO_2$: nous quadruplons la concentration de CO_2 , pour le code radiatife ainsi que pour le modèle du sol
2. $4xCO_2$: nous quadruplons la concentration de CO_2 , que pour le code radiatif
3. Effet radiatif de nuages : nous avons supprimé les effets radiatifs de nuages partout, dans la couche limite ou dans la troposphere libre

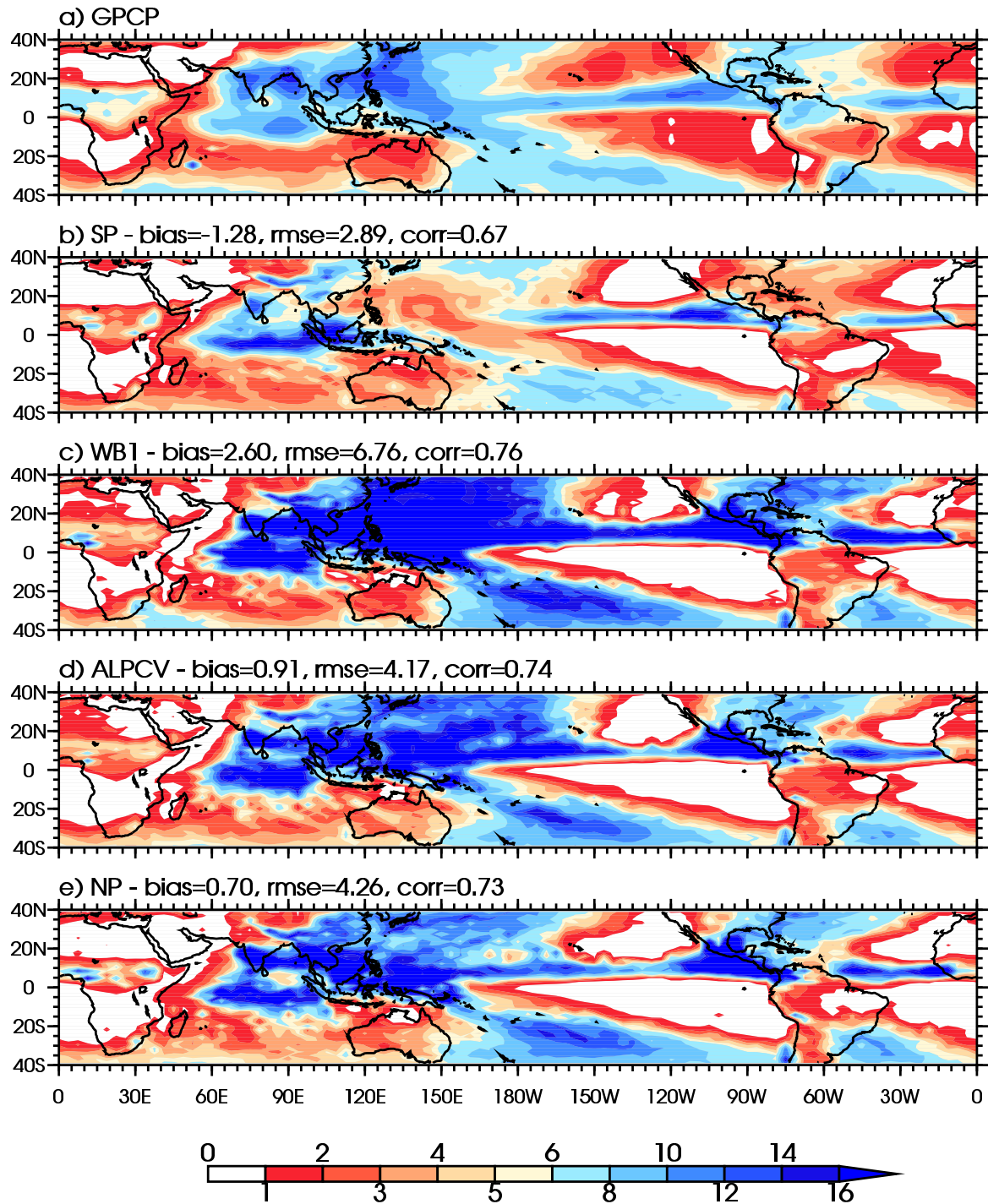


FIGURE 1 – Ecart type des anomalies de précipitations quotidiennes en JJAS (mm/j) observé par GPCP (a) et simulé par le modèle utilisant diverses versions de la physique : (b) physique standard, (c) "Nouvelle Physique" avec une vitesse verticale w_B de la colonne convective à son niveau de convection libre (LFC) imposée à 1 m/s; (d) même chose, mais avec ALP augmentée d'une contribution en convergence de masse; (e) "Nouvelle Physique" avec une vitesse verticale w_B fonction croissante de l'altitude du LFC. Les anomalies de précipitations quotidiennes sont calculées par rapport à leur cycle saisonnier moyen. La faiblesse excessive de la variance dans la simulation avec la physique standard (b) est particulièrement visible dans la baie du Bengale et dans le Pacifique ouest. L'amélioration obtenue avec la nouvelle physique (e) est évidente.

4. Effet radiatif de nuages plus effet radiatif de CO_2 : nous avons répété les simulations 2 mais en quadruplant la concentration de CO_2 dans le code radiatif uniquement.

Nous avons trouvé des biais similaires à ceux qui se développent en mode climatique (figure 2).

Nous avons aussi étudié la réponse rapide et lente de la précipitation au quadruplement de CO_2 (figure 3, Bony et al soumis).

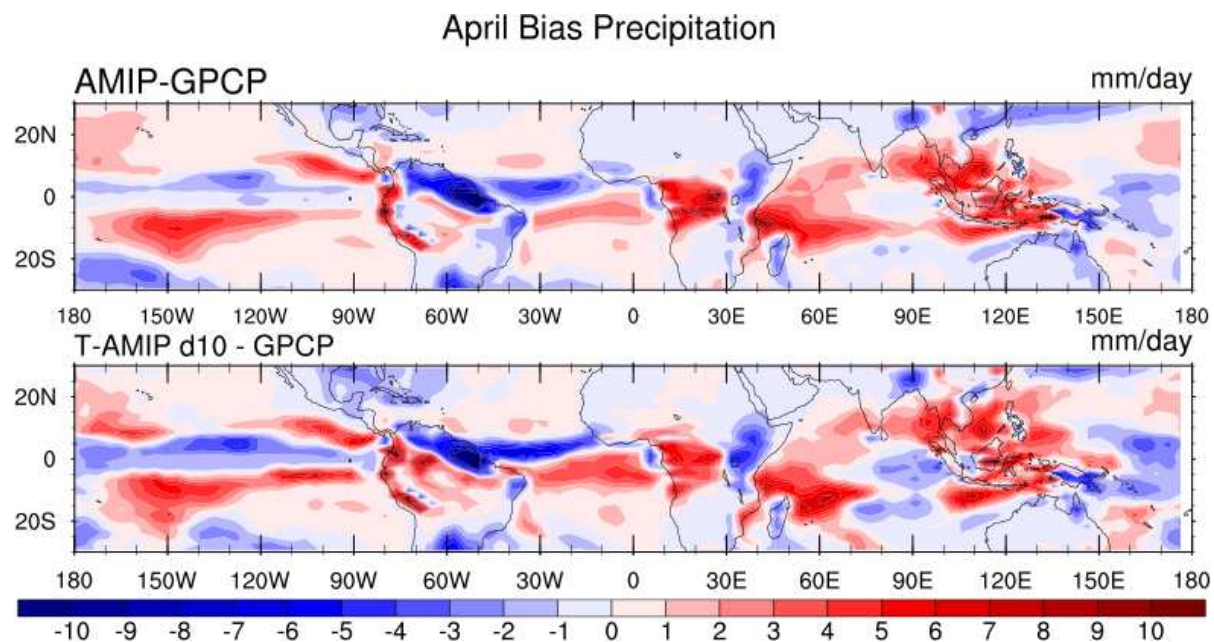


FIGURE 2 – Au dessus : biais de précipitation dans les simulations en mode climatique. En dessous : biais de précipitation dans les simulations en mode « prévision du temps », au 10e jour.

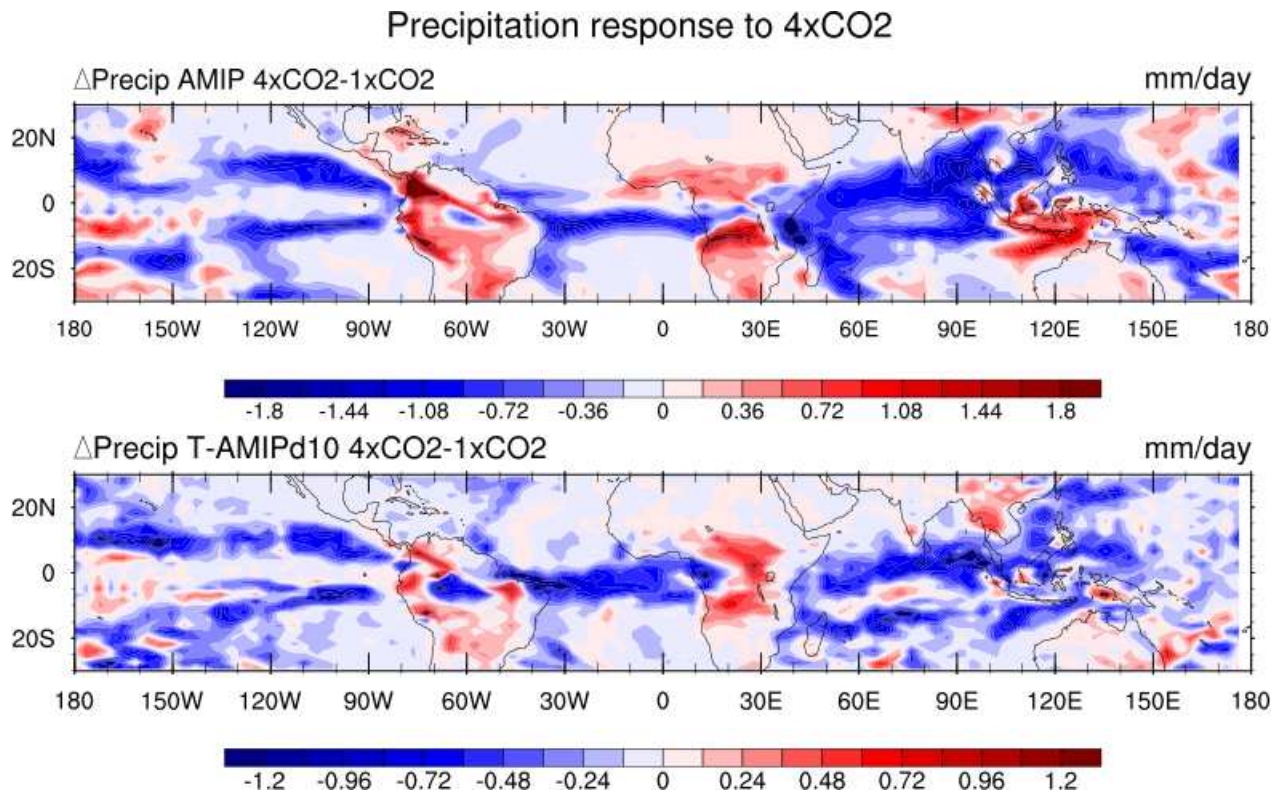


FIGURE 3 – Au dessus : réponse de la précipitation à un quadruplement de CO₂ dans les simulations en mode climatique. En dessous : réponse de la précipitation au 10e jour après un quadruplement brutal de CO₂.

1.3 Evaluation des relations entre le degré d'agrégation de la convection et l'atmosphère grande-échelle dans LMDZ

Isabelle Tobin, Sandrine Bony, Jean-Yves Grandpeix

Consommation : 11 000 heures CPU vargas

Des relations statistiques entre le degré d'agrégation de la convection profonde et l'état moyen de l'atmosphère ont été mises en évidence à partir d'observations satellites sur les océans tropicaux à l'échelle synoptique ([Tobin et al., 2012]). En particulier, lorsque la convection est agrégée, la troposphère est plus sèche comparée à une situation de convection dispersée; de même, les flux de surface sont renforcés et l'OLR (Outgoing Longwave Radiation) est augmenté. Ces relations pouvant jouer un rôle dans le système climatique, il est nécessaire d'évaluer la capacité des modèles de climat à les reproduire.

Nous avons cherché ici à évaluer ces relations dans le modèle de circulation générale LMDZ. Le degré d'agrégation est diagnostiqué à partir du champ OLR instantané. Les sorties instantanées n'étant pas disponibles dans les sorties standards des simulations de LMDZ, nous avons dû réaliser de nouvelles simulations. Pour pouvoir diagnostiquer une gamme suffisamment large de degrés d'agrégation, nous avons utilisé LMDZ à la résolution 144x142x39. Par ailleurs, pour disposer de statistiques suffisantes, plusieurs années de simulation avec des sorties à hautes fréquences ont été nécessaires (~ 10 ans). Les simulations ont été réalisées avec des forçages océaniques interannuels (SSTs) pour reproduire au mieux la variabilité existante des degrés d'agrégation. Deux expériences ont été effectuées, l'une avec l'ancienne physique du modèle et l'autre avec la nouvelle physique.

L'analyse de l'atmosphère grande échelle simulée avec l'ancienne physique pour le premier et dernier décile de la distribution du degré d'agrégation suggère que :

1. la sensibilité simulée de l'humidité troposphérique au degré d'agrégation est trop faible par rapport à celle observée
2. la sensibilité observée des flux de surface n'est pas reproduite par le modèle
3. la sensibilité de l'OLR au degré d'agrégation semble raisonnablement reproduite.

La simulation nouvelle physique est en cours d'analyse.

Il s'agira ensuite d'approfondir l'analyse de ces simulations pour comprendre les raisons des réussites et déficiences du modèle LMDZ relatives au degré d'agrégation de la convection et ses relations avec l'atmosphère grande-échelle.

2 Etude des processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat

2.1 Sensibilité de la simulation des oscillations intrasaisonnières tropicales au schéma de convection profonde

Jean-Philippe Duvel, Jean-Yves Grandpeix, Lionel Guez, Marine Rémaud (thèse),
Catherine Rio

Consommation : 7 000 heures CPU sur Vargas

Les modèles de climat ont des difficultés persistantes pour simuler les oscillations intrasaisonnières tropicales. Notre but est d'étudier la sensibilité de la simulation des oscillations intrasaisonnières tropicales à la fermeture du schéma de convection profonde.

En 2012, des premiers tests ont été menés avec des simulations globales forcées. Des simulations de type AMIP ont été réalisées avec LMDZ. On compare en particulier une simulation de contrôle de 10 ans de type AR4 et avec le schéma de convection de Tiedtke avec une simulation identique sauf pour ce qui concerne l'entraînement de grande échelle. Le taux d'entraînement d'origine, basé sur la convergence d'humidité dans chaque couche, est remplacé par un taux d'entraînement dépendant du profil d'humidité et de l'humidité relative dans la couche considérée (entraînement de type Bechtold). Nous sommes en train d'analyser ces simulations.

2.2 Montagnes, Ondes de gravité et Stratosphère

François Lott, Lionel Guez, Sylvain Mailler

Consommation : 20 000 heures CPU vargas

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.

Parmi ces processus, nous étudions en particulier l'influence des montagnes sur le climat, ainsi que l'influence de la stratosphère sur le climat.

Influence des montagnes sur le climat En ce qui concerne les montagnes, relativement peu de nouvelles choses ont été entreprises en 2012, nous avons essentiellement consolidé les résultats théoriques et observationnels décrits dans [Mailler and Lott, 2009, Mailler and Lott, 2010], en les reproduisant avec le modèle LMDZ. Plus précisément, nous avons montré que les forces de portances exercées par les montagnes sur l'écoulement à grande échelle anticipent aussi le développement des gouttes froides dans le modèle (les relations théoriques de ces relations sont décrites dans [Mailler and Lott, 2010]). Nous sommes cependant tombés sur un verrou technologique, car nous obtenons des résultats moins probants lorsque nous substituons aux

forces explicites des forces paramétrés. Nous sommes en train de rédiger un article scientifique concernant ces résultats.

Influence de la stratosphère sur le climat L'effort le plus innovateur que nous avons entrepris cette année concerne la stratosphère. En prologation de l'extension drastique de la résolution verticale du modèle jusqu'à 90 niveaux verticaux, nous avons introduits un sparamétrisation stochastique des ondes de gravité qui nous à permis de simuler une oscillation Quasi-Biennale Nous avons aussi montré que la simulation de l'Oscillation Quasi-Biennale (OQB) amenait à une amélioration de le représentation des ondes équatoriales par le modèle. Suite à ce résultat, nous avons chercher à lier cette paramétrisation stochastique des ondes de gravité aux sources convectives des ondes. Après un nombre relativement important de tests, nous sommes à nouveau arrivés à simuler l'OQB, et même à simuler une oscillation plus réaliste que dans Lott et al 2012, puisque la période en est maintenant nettement supérieure à 2 ans (figure 4).

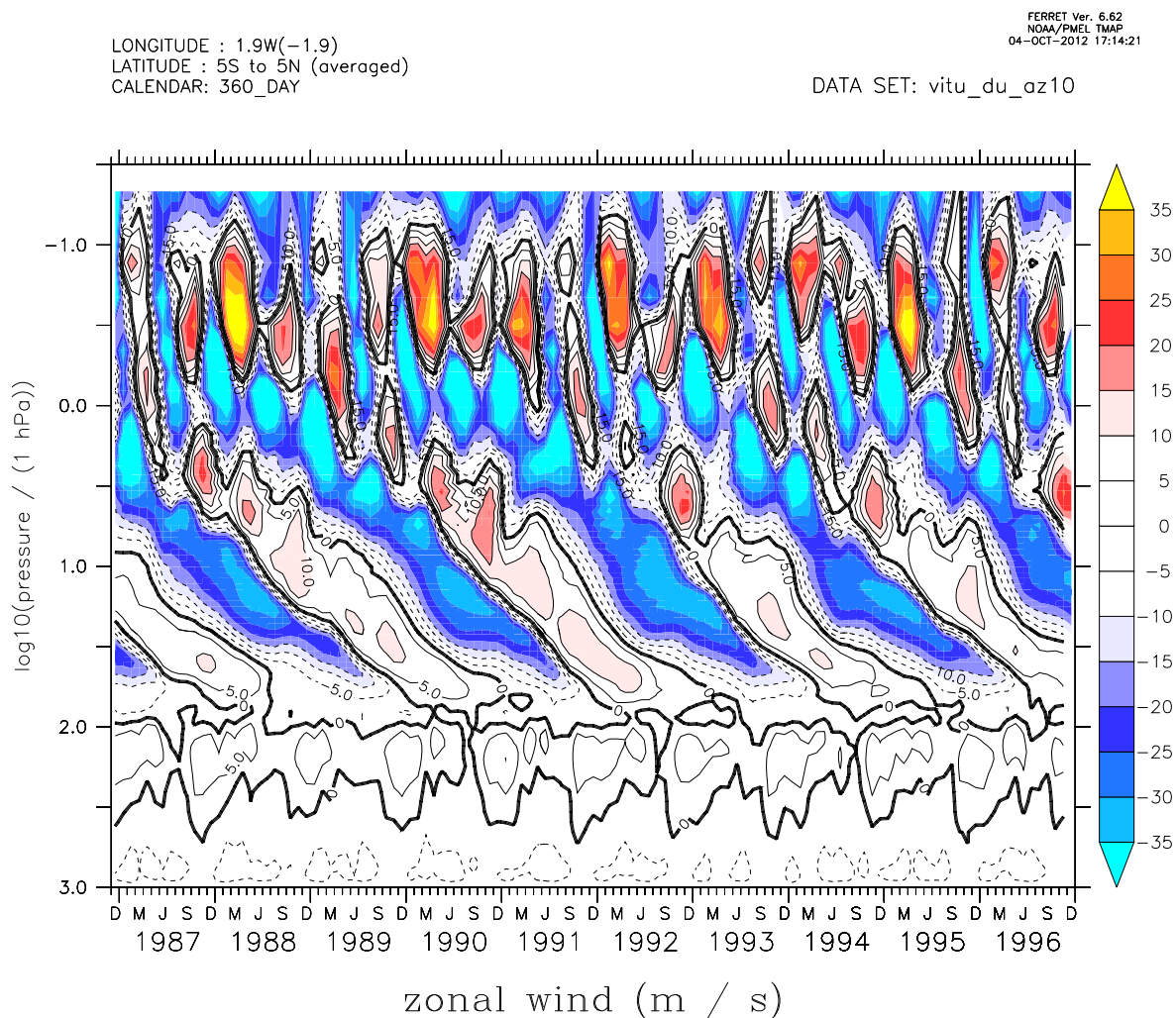


FIGURE 4 – Evolution inter-annuelle du vent zonal simulée par LMDZ.

2.3 Microphysique des nuages de glace et des traînées de condensation des avions

Olivier Boucher, Marine Bonazzola, Marie Nguyen

Consommation : 10 000 heures

Les mesures in-situ et par satellite montrent que la concentration en vapeur d'eau varie considérablement dans la haute troposphère, y compris à des échelles spatiales très courtes. On sait également que l'atmosphère peut être sursaturée par rapport à la glace sans qu'il y ait présence d'un nuage, en raison du manque de noyaux glaçogènes dans la haute troposphère. C'est pourquoi les traînées de condensation formées par les avions peuvent persister pendant des heures, voire se transformer en cirrus. Nous cherchons à modéliser cet effet et à quantifier le forçage radiatif des traînées persistantes et des cirrus induits dans le cadre du projet IMPACT financé par la Direction Générale de l'Aviation Civile.

La version actuelle du modèle LMDZ inclut une représentation très simplifiée des variations de la concentration en vapeur d'eau et de la formation de cirrus à l'échelle sous-maille. Cette paramétrisation a été modifiée par Marine Bonazzola pour autoriser la sursaturation par rapport à la glace dans la partie de ciel clair, qui jusque là n'était pas considéré. Des premières simulations ont été réalisées en mode zoomé guidé autour du SIRTa afin d'évaluer les paramétrisations. Elles montrent que les nuages hauts répondent bien au guidage et que les observations réalisées au SIRTa permettront de contraindre les paramétrisations.

3 Impact des ondes longues planétaires et des anomalies interannuelles de vents sur la variabilité des températures en Atlantique tropical.

Malick Wade, Marta Martín del Rey et Alban Lazar

Consommation : 200h sur vargas

L'année 2012 a permis d'une part de compléter un ensemble d'expériences de sensibilité des SST équatoriales et côtières d'Afrique aux coups de vents équatoriaux aux échelles intra-saisonnières. D'autre part, elle a permis de réaliser le portage de la configuration de brodie à vargas. La suite de ce projet nous permettra de préciser certains phénomènes intra-saisonniers ainsi que de les examiner aux échelles interannuelles.

4 Evolution, validation et utilisations du modèle ORCHIDEE

4.1 Couplage humidité du sol-climat

Frédérique Cheruy , Agnès Ducharne et Aurélien Campoy (thèse)

Consommation : 70 000 heures CPU vargas

4.1.1 Développements et tests préliminaires d'un nouveau module d'hydrologie dans LMDZOR

La chaîne d'évaluation du modèle couplé, LMDZOR, en configuration zoomée et guidée (Cheruy et al. 2012) qui fonctionnait sur brodie, a été implémentée sur vargas. Le nouveau module d'hydrologie, permettant une représentation physique des flux d'eau dans les premiers mètres du sol et de tenir compte des nappes phréatiques capables de soutenir l'évaporation en période sèche. Des tests de sensibilité à la profondeur du toit des nappes phréatiques ont été effectués en configuration zoomée guidée sur l'Europe de l'Ouest (Campoy et al. en préparation, figure 6)

4.1.2 Couplage humidité du sol-climat dans les scénarios CMIP5

Dans le cadre du projet FP7 EMBRACE, nous avons participé à l'expérience GLACE-CMIP5 dans le but de quantifier l'impact du couplage humidité du sol/climat dans les projections

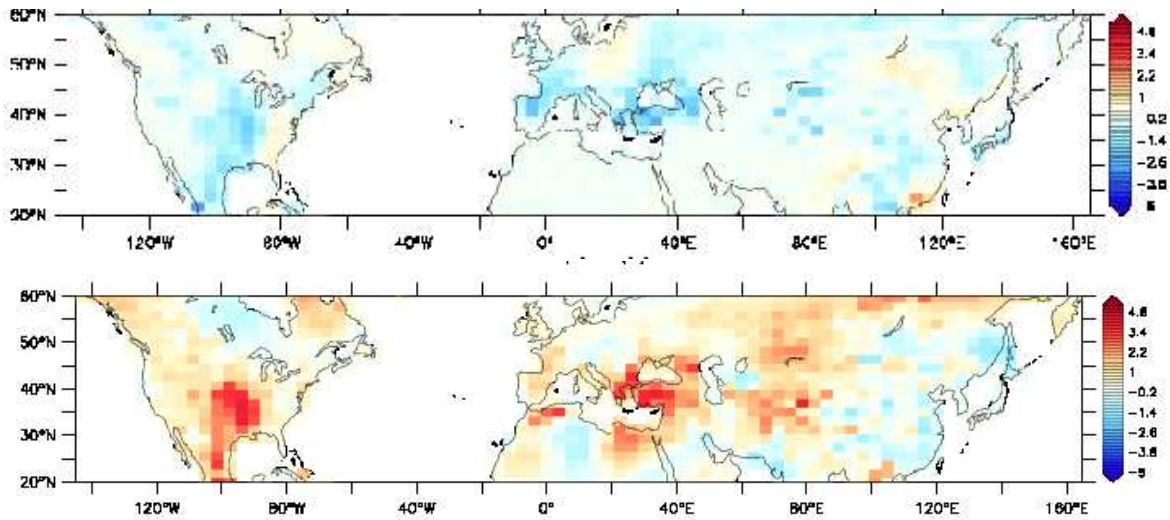


FIGURE 5 – Effet de l’humidité des sols sur les changements de précipitation (au dessus) et de température (en dessous) en été en changement climatique (scénario RCP8.5). Ces cartes montrent la différence de précipitation et de température moyenne sur la période 2071-2100 entre l’expérience GLACE-1A85 et l’expérience GLACE-1B85. Dans l’expérience GLACE-1A85, l’humidité du sol est constante, alors que dans l’expérience GLACE-1B85, la tendance d’assèchement des sols simulée en changement climatique dans la simulation de référence est prise en compte. Cette figure montre que l’assèchement des sols contribue à réduire les précipitations et amplifier le réchauffement en changement climatique.

climatiques CMIP5. Pour ce faire, une expérience de référence et 2 expériences de sensibilité à l’humidité du sol ont été réalisées sur la période historique (1850-2005) et pour le climat futur 2006-2100. L’expérience de référence a consisté à réaliser des expériences numériques similaires aux runs ”historique” et RCP8.5 préparé pour CMIP5 mais en prescrivant les températures de surface de la mer, glace de mer et la végétation à partir des séries de simulations homonymes couplées à l’océan. Une correction dans le schéma d’hydrologie a dû être appliquée, de façon à améliorer le réalisme de l’humidité des sols en zone semi-aride.

1. La première expérience de sensibilité, GLACE-1A85, a été réalisée en prescrivant un cycle saisonnier de l’humidité du sol égal au cycle saisonnier climatologique obtenu pour les années 1971-2000, pour la période historique (1850-2006) et le siècle en cours (2006-2100).
2. La seconde expérience, GLACE-1B85 a consisté à prescrire un cycle saisonnier transitoire obtenu par moyenne glissante sur une période de 30 ans de l’humidité du sol des expériences de référence.

Une analyse préliminaire multi-modèles des résultats de ces expériences a fait l’objet d’une publication en révision à GRL (Seneviratne et al. 2012). Le modèle de l’IPSL indique de façon cohérente avec les modèles qui participent à l’exercice que la décroissance moyenne de l’humidité des sols simulée dans le scénario RCP8.5, a des conséquences importantes sur les climats estivaux de plusieurs régions aux moyennes latitudes, en particulier le bassin méditerranéen en Europe. L’impact est particulièrement important pour les températures maximales, et les précipitations intenses (figure 5). Les régions de transitions, comme l’Afrique Subsaharienne montrent également une grande sensibilité. Les résultats sont actuellement analysés en détail pour chacun des modèles

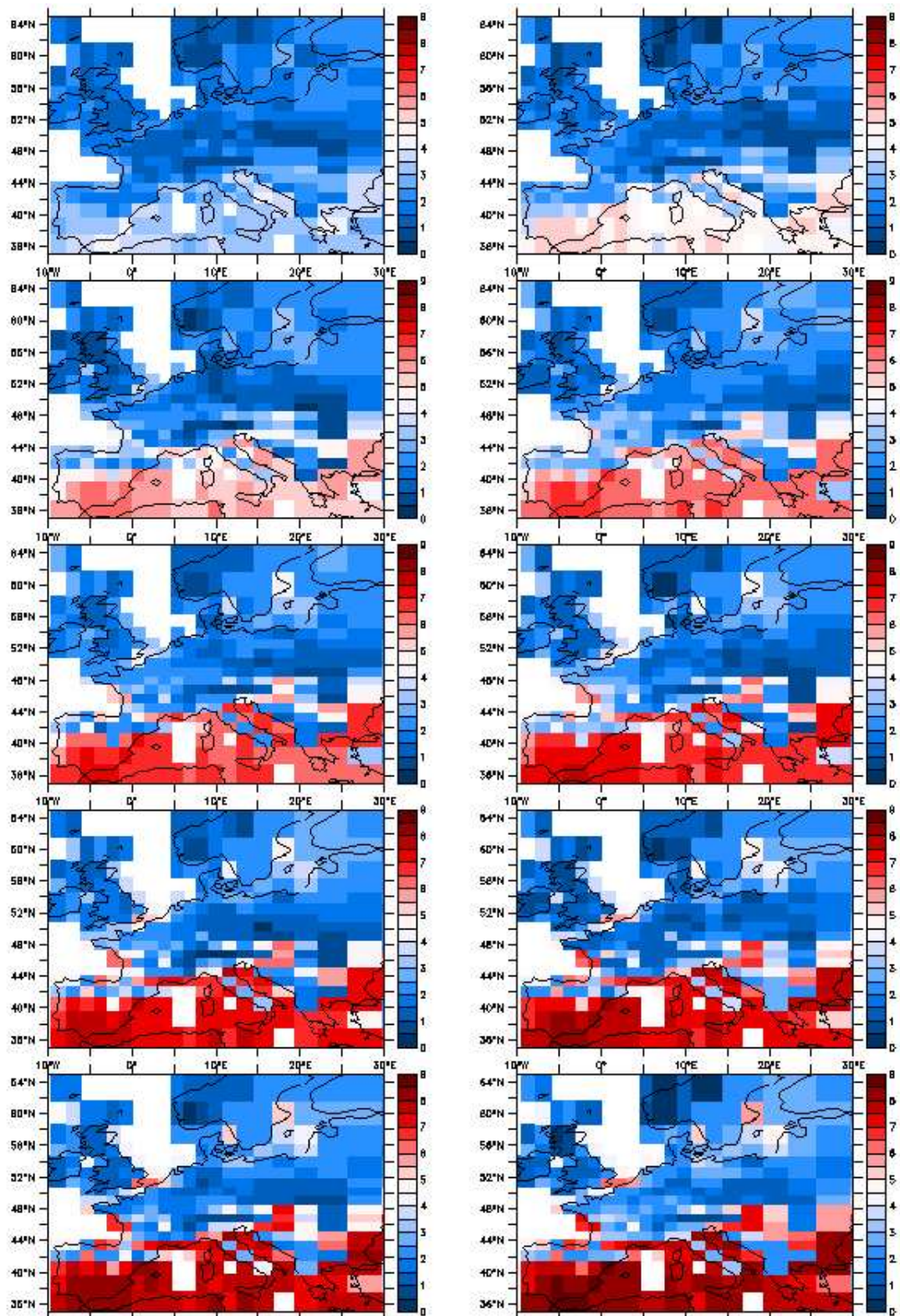


FIGURE 6 – Profondeur du toit des nappes phréatiques (en mètre) au mois d'aout obtenu au bout de 10 ans de simulation dans l'hypothèse d'un sol homogène superposé à une couche de sol imperméable à 10m de profondeur.

4.2 Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique

Matthieu Guimberteau, Agnès Ducharne, Philippe Ciais

Consommation : 1000 heures Vargas

L'utilisation des ressources allouées par les machines de l'Idris a permis de mener à bien une partie du projet européen de 3ans AMAZALERT (Raising the alert about critical feedbacks between climate and long-term land use change in the Amazon, <http://www.eu-amazalert.org/home>) qui a débuté le 1er octobre 2011. L'objectif principal était de comparer l'hydrologie 2 couches et l'hydrologie 11 couches dans le modèle de surface ORCHIDEE couplé avec plusieurs modules (routage et plaines d'inondation, carbone STOMATE et forcé par des données météorologiques. De nombreux tests avec ORCHIDEE ont été mis en place ainsi que des comparaisons avec des estimations/mesures des variables hydrologiques.

Un exemple de comparaison en évapotranspiration (ET) de la simulation avec l'hydrologie 11 couches et l'estimation de Zhang et al. (2010) sur le bassin Amazonien est donné dans la Figure 7. Cette comparaison a pu mettre en évidence une sous-estimation globale de l'ET de l'ordre de 15 à 20% sur la majeure partie du bassin en accord avec d'autres comparaisons effectuées dans Guimberteau et al. (2012). De plus, une identification de zones de fortes sous-estimations de l'ET (>50%) par le modèle a pu aussi être faite. Ces régions subissent une saisonnalité des pluies très marquée durant l'année. Elles peuvent atteindre 14 à 15mm/j en période humide et sont quasi-nulles en période sèche. De ce fait, le rôle de l'infiltration de l'eau dans le sol est primordial dans ces régions. Dans notre cas, la capacité d'infiltration du sol dans ORCHIDEE devient vite limitée dans les couches superficielles. Ainsi, l'eau ne s'infiltré plus et part en ruissellement de surface. La conséquence directe est l'assèchement du sol (la teneur en eau est proche du résiduelle) qui réduit considérablement la croissance de la végétation (le LAI devient rapidement proche de 0) et par conséquent réduit l'évaporation totale. Enfin, il a été montré que la répartition d'une pluie d'un pas de temps du forçage (ici 3h) en fonction des pas de temps du modèle (30min) est primordiale pour l'infiltration de l'eau dans le sol.

4.3 Sensibilité de l'évaporation potentielle au changement climatique

Jan Polcher, Anaïs Barella-Ortiz (thèse)

Consommation : 8500 heures sur Vargas

L'évaporation potentielle (ETP) est une quantité importante utilisée dans les modèles hydrologiques et agronomiques. C'est aussi la base pour plusieurs calculs de l'évaporation réelle. Nous avons implémenté une nouvelle façon de calculer l'ETP dans le modèle de surface ORCHIDEE. Nous considérons un bilan d'énergie pour une surface non limitée en eau (méthode USEB). Les résultats montrent des valeurs similaires aux valeurs calculées selon l'implémentation préalable.

Nous avons comparé les résultats donnés par la méthode USEB à ceux données par la méthode FAO (Food and Agriculture Organization) pour une période de 11 ans. Les 2 formulations donnent des valeurs différentes, surtout pour les zones arides. Si on remplace la résistance aérodynamique proposé par FAO par celle qui est calculé dans ORCHIDEE, les valeurs d'ETP devient plus proches d'USEB.

Nous avons aussi étudié la sensibilité de l'ETP au changement climatique pour le XXI ème siècle (figure 8). L'ETP selon la méthode USEB est plus sensible que l'ETP selon la méthode proposé par la FAO. Le déficit de pression de vapeur pilote une tendance global positive, et la résistance aérodynamique l'amplifie. Cette étude a aussi été faite pour 3 méthodes d'estimation de l'ETP simplifiées : Hargreaves, Priestley-Taylor et Rohwer. Les deux premières donnent une

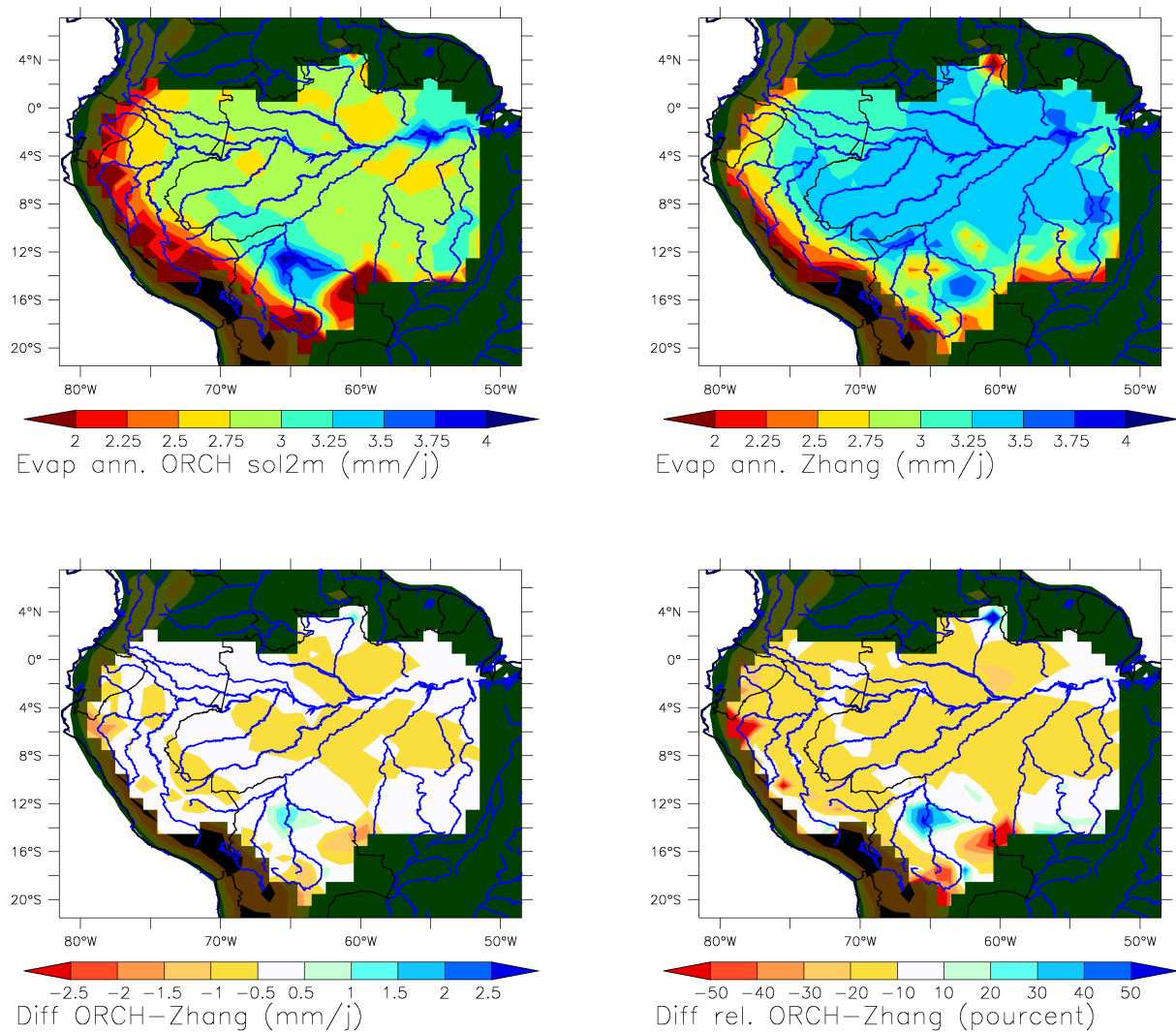


FIGURE 7 – Evapotranspiration (mm/j) sur le bassin amazonien en moyenne sur 30ans. (a) Simulation par ORCHIDEE, (b) estimation par Zhang et al. (2010), (c) différence entre (a) et (b) et (d) différence relative (%) entre (a) et (b).

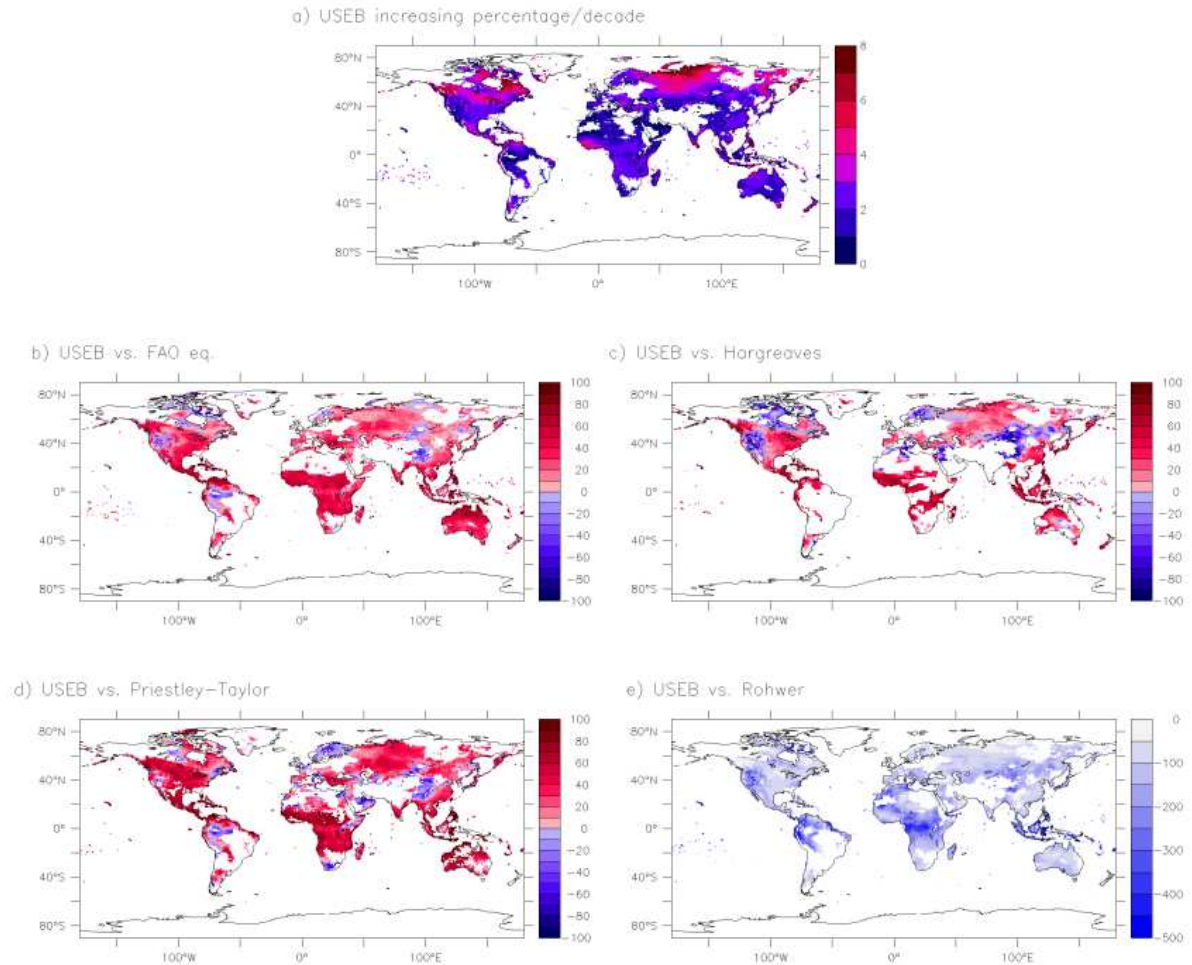


FIGURE 8 – a) Tendence d’augmentation de l’ETP en changement climatique, en %/décennie, selon la méthode USEB. (b-e) Différences par rapport à (a), en % de %/décennie, entre la méthode USEB et les autres méthodes de calcul de l’ETP. Les zones blanches sont là où aucune tendance n’est significative.

sensibilité plus faible que selon la méthode USEB, tandis que Rohwer donne une sensibilité plus forte. Un article est en préparation sur ces travaux.

5 Isotopes de l’eau

Camille Risi, Sandrine Bony

Consommation : 35 000 heures vargas

Depuis 6 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 LMDZ ([Risi et al., 2010]) et dans ORCHIDEE ([Risi et al.,]).

Cette année a été principalement consacrée au transfert des isotopes de l’eau dans la nouvelle version d’LMDZ. Cela a impliqué l’implémentation des isotopes de l’eau dans la dynamique parallèle du modèle, ainsi que dans plusieurs nouvelles paramétrisations physiques (poches froides,

modèle du thermique, nouvelle version de la convection profonde). Un temps de calcul important a été consacré au débogage.

En plus de cela, nous avons réalisé plusieurs simulations :

- mise à jour régulière de la simulation actuelle : au cours de la première semaine de chaque mois, le mois précédent est simulé, à partir des réanalyses opérationnelles. Cela permet aux personnes mesurant la composition isotopique sur le terrain de comparer leurs données à LMDZ pratiquement en temps réel. Ils peuvent ainsi interpréter rapidement leurs mesures isotopiques (Steen-Larsen et al soumis, Tremoy et al 2012)
- tests de sensibilité à la physique du modèle : nous avons commencé à analyser la signature isotopique de la représentation des processus physiques (en particulier les processus convectifs et nuageux) dans la vapeur d'eau troposphérique. Pour cela, nous avons activé/désactivé plusieurs paramétrisations et fait varier certains paramètres. L'analyse de ces simulations est en cours et s'accélèrera l'année prochaine.
- simulation zoomée sur l'Asie centrale et du Sud-Est : la composition isotopiques des glaciers tibétains montrent un fort potentiel pour reconstituer les variations passées de la mousson indienne. Afin de mieux comprendre les signaux isotopiques enregistrés, plusieurs collaborations sont en cours pour analyser les simulations isotopiques dans cette région (Lee et al 2012, Yao et al en révision, Eagle et al soumis, Gao et al en préparation). Pour cela, plusieurs simulations zoomées pour différentes périodes de temps ont été réalisées, avec une résolutions de 50km sur toute l'Asie centrale et du Sud-Est. Des simulations dans lesquelles l'eau évaporée sur différents bassins océaniques est tracée ont aussi été réalisées, ce qui permet de mieux comprendre l'origine de l'humidité selon les saisons (figure 9).

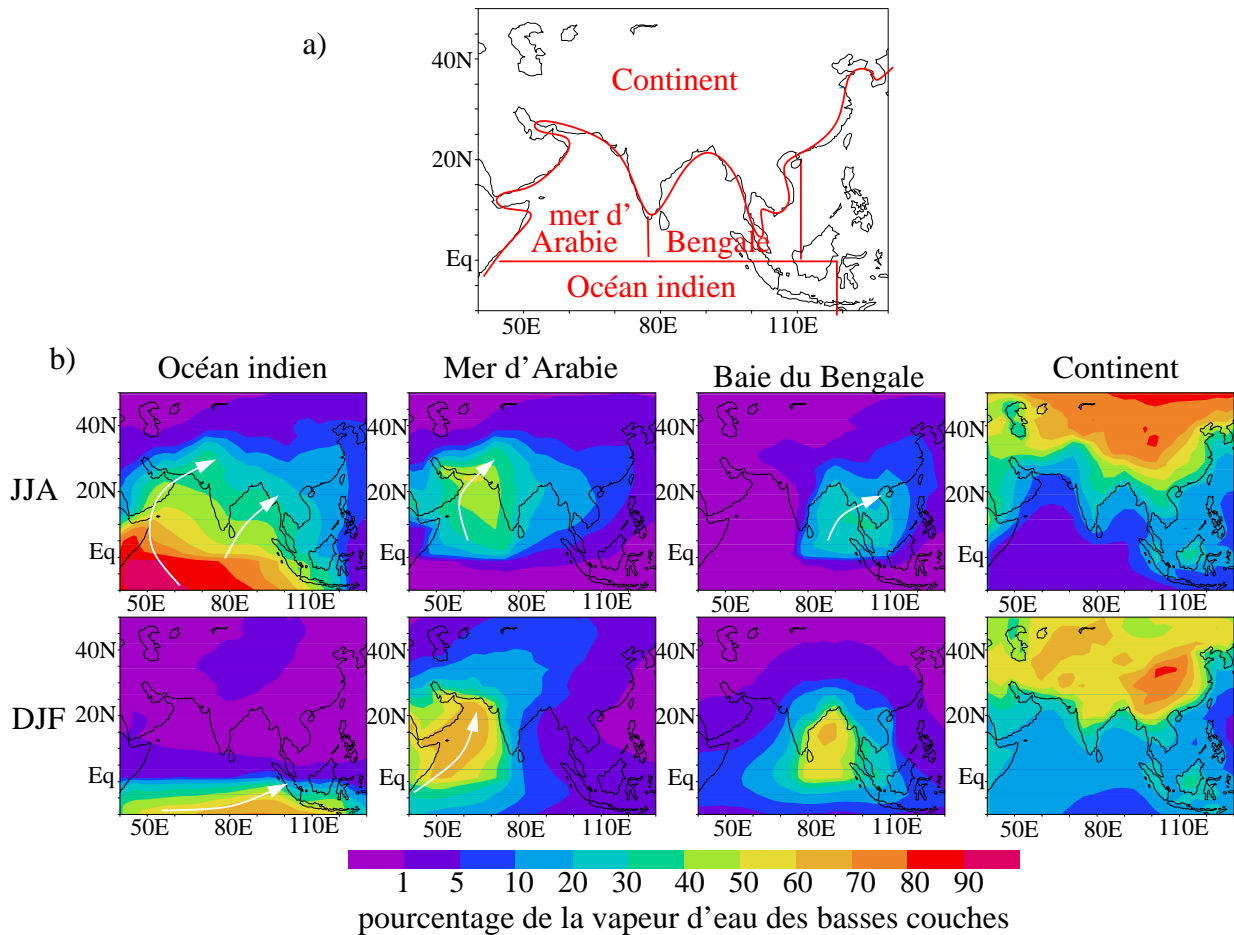


FIGURE 9 – Exemple d’application du traçage de l’eau pour mieux comprendre l’origine de l’humidité en Asie du Sud-Est. a) définition des domaines pour lesquels l’eau est tracée. b) proportion de la vapeur d’eau des basses couches provenant des différents domaines définis en a, en été (JJA : Juin juillet aout) et en hiver (DJF : décembre, janvier, février). D’après Yao et al en révision.

Publications récentes liées au projet

1. S. Bony, G. Bellon, D. Klocke, S. Fermepin, S. Sherwood and S. Denvil. Direct effect of carbon dioxide on tropical atmospheric circulation and regional rainfall, **soumis** à Nature.
2. A. Campoy, A. Ducharne, F. Cheruy, F. Hourdin, 2013 Influence of the drainage boundary condition and prescribed water table on land surface fluxes in a general circulation model. **en préparation**
3. M. Casado, P. Ortega, V. Masson-Delmotte, C. Risi, D. Swingedouw, V. Daux, D. Genty, F. Maignan, N. Viovy, O. Solomina, B. Vinther, P. Yiou. Impact of precipitation intermittency on NAO-temperature signal in proxy records. **en préparation**.
4. Charlton-Perez, A., M. Baldwin , T. Birner , R. Black , A. Butler , N. Calvo , N. Davis , E. Gerber , N. Gillett , S. Hardiman , J. Kim , K. Krueger , Y.-Y. Lee , E. Manzini , B. McDaniel , L. Polvani , T. Reichler , T. Shaw , M. Sigmund , S.-W. Son , M. Toohey , L. Wilcox , S. Yoden , B. Christiansen , F. Lott, D. Shindell , S. Yukimoto , S. Watanabe, 2012, Mean Climate and Variability of the Stratosphere in the CMIP5 models, J. Geophys. Res., **soumis**.
5. F. Cheruy, A. Campoy, J-C Dupont, A. Ducharne, F. Hourdin, M. Haeffelin, M.Chiriaco, A. Idelkadi 2012 Combined influence of atmospheric physics and soil hydrology on the simulated meteorology at the SIRTA atmospheric observatory. **accepté**, Climate dynamics. DOI 10.1007/s00382-012-1469-y
6. R. Eagle, C. Risi, J. Mitchell, J. Eiler, U. Seibt, D. Neelin, G. Li, A. Tripathi. High regional climate sensitivity over continental China inferred from glacial-recent changes in temperature and the hydrologic cycle, **soumis** à Science
7. Dufresne, J-L, Foujols, M-A, Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O, Balkanski, Y, Bekki, S, Bellenger, H, Benschila, R, Bony, S, Bopp, L, Braconnot, P, Brockmann, P, Cadule, P, Cheruy, F, Codron, F, Cozic, A, Cugnet, D, de Noblet, N, Duvel, J-P, Ethé, C, Fairhead, L, Fichefet, T, Flavoni, S, Friedlingstein, P, Grandpeix, J-Y, Guez, L, Guilyardi, E, Hauglustaine, D, Hourdin, F, Idelkadi, A, Ghattas, J, Joussaume, S, Kageyama, M, Krinner, G, Labetoulle, S, Lahellec, A, Lefebvre, M-P, Lefevre, F, Levy, C, Li, Z. X., Lloyd, J, Lott, F, Madec, G, Mancip, M, Marchand, M, Masson, S, Meurdesoif, Y, Mignot, J, Musat, I, Parouty, S, Polcher, J, Rio, C, Schulz, M, Swingedouw, D, Szopa, S, Talandier, C, Terray, P, Viovy, N : Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model : from CMIP3 to CMIP5, Climate Dynamics, **en révision**.
8. Duvel, J. P., H. Bellenger, G. Bellon and M. Remaud (2012) : An event-by-event assessment of tropical intraseasonal perturbations for general circulation models, Clim. Dyn. doi : 10.1007/s00382-012-1303-6
9. Gao, J, Masson-Delmotte, V. Risi, C. He, You, Yao, T. What controls the 18O in precipitation on the Plateau at seasonal and intra-seasonal scales ? **en préparation**
10. Grandpeix J.-Y. and J.P. Lafore (2010) A density current parametrization coupled to Emanuel's convection scheme. Part I : The models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67, 4, 881-897,.
11. Grandpeix J.-Y., J.P. Lafore and F. Cheruy (2010) A density current parametrization coupled to Emanuel's convection scheme. Part II : 1D simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67, 4, 898-922.
12. M. Guimberteau, G. Drapeau, J. Ronchail, B. Sultan, J. Polcher, J.-M. Martinez, C. Prigent, J.-L. Guyot, G. Cochonneau, J. C. Espinoza, N. Filizola, P. Fraizy, W. Lavado, E. De Oliveira, R. Pombosa, L. Noriega, and P. Vauchel (2012), Discharge simulation in the sub-basins of the Amazon using ORCHIDEE forced by new datasets, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 911-935

13. Hourdin, F., J.-Y. Grandpeix, C. Rio, S. Bony, A. Jam, F. Cheruy, N. Rochetin, L. Fairhead, A. Idelkadi, I. Musat, J.-L. Dufresne, A. Lahellec, M.-P. Lefebvre, and R. Roehrig (2012) LMDZ5B : the atmospheric component of the IPSL climate model with revisited parameterizations for clouds and convection, *Clim. Dyn.*, **79**. doi :10.1007/s00382-012-1343-y
14. Hourdin F., M-A Foujols, F. Codron, V. Guemas, J-L Dufresne, S. Bony, S. Denvil, L.Guez, F. Lott, J. Ghattas, P. Braconnot, O. Marti, Y. Meurdesoif, L. Bopp : Climate and sensitivity of the IPSL-CM5A coupled model : impact of the LMDZ atmospheric grid configuration, *Climate Dynamics*, **accepté**
15. Lacour, J-L, Risi, C, Clarisse, L, Bony, S, Hurtmans, D, Clerbaux, C, Coheur, P-F. Mid-tropospheric deltaD observations from IASI/MetOp at high spatial and temporal resolution, **soumis à ACP/ACPD**
16. J-E. Lee, I. Fung, C. Risi, J. Worden, R. Scheepmaker, C. Frankenberg. Asian monsoon hydrology from LMDZ GCM and two satellite measurements (TES and SCIAMACHY) of water vapor isotopes : implications for speleothem data interpretation (2012), *J. Geophys. Res.*, doi :10.1029/2011JD017133
17. Lott, F., L. Guez, and P. Maury 2012 : A stochastic parameterization of non-orographic gravity waves : Formalism and impact on the equatorial stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L06807, doi :10.1029/2012GL051001.
18. Marchand, M; Keckhut, P. Lefebvre, S., Claud, C., Cugnet, D., Hauchecorne, A.,Lefevre, F., Lefebvre, M. -P.), Jumelet, J., Lott, F., Hourdin, F., Thuillier, G., Poulain, V., Bossay, S., Lemennais, P., David, C., Bekki, S (2012) Dynamical amplification of the stratospheric solar response simulated with the Chemistry-Climate Model LMDZ-Reprobus, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, **75**, 147-160.
19. Maury, P. , F. Lott, L. Guez, and J.-P. Duvel (2011) Tropical variability and stratospheric equatorial waves in the IPSLCM5 model, *Climate Dynamics*, 31 Dec. 2011, 11-14.DOI 10.1007/s00382-011-1273-0
20. Rio C., J.-Y. Grandpeix F. Hourdin, F. Guichard, F. Couvreux, J.P. Lafore , A. Fridlind, A. Mrowiec, S. Bony, N. Rochetin, R. Roehrig, A. Idelkadi, M.-P. Lefebvre, I. Musat (2012) Control of deep convection by sub-cloud lifting processes : The ALP closure in the LMDZ5B general circulation model , doi : 10.1007/s00382-012-1506-x, **soumis à Clim. Dyn.**
21. Rio C., J.-Y. Grandpeix, F. Hourdin, F. Guichard, F. Couvreux, J.-P. Lafore, A. Fridlind, A. Mrowiec, N. Rochetin, R. Roehrig, A. Idelkadi, M.-P. Lefebvre (2012) Control of deep convection by sub-cloud lifting processes : the ALP closure in the LMDZ5B general circulation model. *Clim. Dyn.*, **accepted for publication**
22. Risi, C., D. C. Noone, J. Worden, C. Frankenberg, G. P. Stiller, M. Kiefer, B. Funke, K. A. Walker, P. F. Bernath, M. Schneider, D. Wunch, V. J. Sherlock, N. Deutscher, D. W.T Griffith, P. O. Wennberg, K. Strong, D. Smale, E. Mahieu, S. Barthlott, F. Hase, O. García, J. Notholt, T. Warneke, G. C. Toon, D. S. Sayres, S. Bony, J. Lee, D. P. Brown, R. Uemura, and C. Sturm (2012). Process-evaluation of tropospheric humidity simulated by general circulation models using water vapor isotopologues. Part 1 : Comparison between models and observations, *J. Geophys. Res.*, doi :10.1029/2011JD016621
23. Risi, C., D. C. Noone, J. Worden, C. Frankenberg, G. P. Stiller, M. Kiefer, B. Funke, K. A. Walker, P. F. Bernath, M. Schneider, S. Bony, J. Lee, D. P. Brown, and C. Sturm (2012). Process-evaluation of tropospheric humidity simulated by general circulation models using water vapor isotopic observations. Part 2 : Using isotopic diagnostics to understand the mid and upper tropospheric moist bias in the tropics and subtropics, *J. Geophys. Res.*, doi :10.1029/2011JD016623

24. Seneviratne S., M. Wilhelm, T. Stanelle, B. van den Hurk , S. Hagemann, A. Berg, F. Cheruy, M. E. Higgins, A. Meier, V. Brovkin, M. Claussen, J-L Dufresne, K. Findell, D M. Lawrence, S. Malyshev, and B. Smith : Impact of soil moisture climate feedbacks on CMIP5 projections first results from the GLACE-CMIP5 Experiment, **en revision** pour GRL
25. L. C. Sime, C. Risi, J. C. Tindall, J. Sjolte, E. W. Wolff, V. Masson-Delmotte, E. Capron. Last interglacial isotopic changes across Greenland : observations and isotopic model analysis. **soumis** à QSR
26. Steen-Larsen, H.-C. Johnsen, S., Masson-Delmotte, V., Stenni, B., Risi, C., Sodemann, H., Balslev-Clausen, D., Blunier, T., Dahl-Jensen, D., Ellehoej, M., Falourd, S., Gkinis, V., Grindsted, A., Jouzel, J., Popp, T., Sheldon S., Simonsen S., Sjolte J., Steffensen J., Sperlich P., Sveinbjornsdottir A., Vinther B., White, J.W.C. Continuous monitoring of summer surface water vapour isotopic composition above the Greenland Ice Sheet. **soumis** à J. Geophys. Res.
27. Tremoy, T., Vimeux, F., Mayaki, S., Souley, I., Cattani, O., Risi, C. Favreau, G. Oi, M (2012). A 1-year long delta18O record of water vapor in Niamey (Niger) reveals insightful atmospheric processes at different timescales, Geophys. Res. Lett. doi :10.1029/2012GL051298
28. Vial J., T.J. Osborne, and F. Lott, 2012 : Relationship between the sudden stratospheric warmings and tropospheric blockings as simulated by the multi-century IPSL-CM5 coupled climate model, Clim. Dynamics, **en révision**.
29. K.D. Williams, A. Bodas-Salcedo, M. Deque, S. Fermepin, B. Medeiros, M. Watanabe, C. Jakob, S.A. Klein, C.A. Senior and D.L. Williamson. The Transpose-AMIP II experiment and its application to the understanding of Southern Ocean cloud biases in climate models, **soumis** à J. Clim.
30. T. Yao, V. Masson-Delmotte, J. Gao, L. Tian, W. Yu, X. Yang, C. Risi, C. Sturm, N. Kurita, Y. He, C Shi and S. Hou. A Review of Stable Isotope Studies in precipitation from observation stations and Ice Cores in Tibetan Plateau and surrounding regions. **en révision** pour Rev. Geophysics

Autres références

- [Grandpeix and Lafore, 2010] Grandpeix, J.-Y. and Lafore, J.-P. (2010). A density current parameterization coupled with Emanuel’s convection scheme. Part I : The models. *J. Atm. Sci.*, 67 :881–897.
- [Grandpeix et al., 2010] Grandpeix, J.-Y., Lafore, J.-P., and Cheruy, F. (2010). A density current parameterization coupled with Emanuel’s convection scheme Part II : 1D simulations. *J. Atm. Sci.*, 67 :898–922.
- [Grandpeix et al., 2004] Grandpeix, J. Y., Phillips, V., and Tailleux, R. (2004). Improved mixing representation in Emanuel’s convection scheme. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 130 :3207–3222.
- [Hourdin et al., 2002] Hourdin, F., Couvreux, F., and Menut, L. (2002). Parameterization of the dry convective boundary layer based on a mass flux representation of thermals. *J. Atmos. Sci.*, 59 (6) :1105–1123.
- [Mailler and Lott, 2009] Mailler, S. and Lott, F. (2009). Dynamical influence of the himalayayas on the winter monsoon over southeastern asia. *Geophys. Res. Lett.*, 36 :L06708, doi :10.1029/2008GL036952.
- [Mailler and Lott, 2010] Mailler, S. and Lott, F. (2010). Equatorial mountain torques and cold surge preconditioning. *J. atm. sci.*, 67 (6) :2101–2120.

- [Rio and Hourdin, 2007] Rio, C. and Hourdin, F. (2007). A thermal plume model for the convective boundary layer : representation of cumulus clouds. *J. Atm. Sci.*, 65 :407–425.
- [Rio et al., 2009] Rio, C., Hourdin, F., Grandpeix, J.-Y., and Lafore, J.-P. (2009). Shifting the diurnal cycle of parameterized deep convection over land. *Geophys. Res. Lett.*, 36 :L07809, doi :10.1029/2008GL036779.
- [Risi et al.,] Risi, C., Bony, S., Ogée, J., Bariac, T., Raz-Yaseed, N., and Wingate, L. Water stable isotopes to evaluate the hydrological budget in large-scale land surface models : investigation with ORCHIDEE-iso. *Clim. Dyn.*, en révision.
- [Risi et al., 2010] 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.
- [Tobin et al., 2012] Tobin, I., Bony, S., and Roca, R. (2012). Observational evidence for relationships between the degree of aggregation of deep convection, water vapor, surface fluxes and radiation. *Journal of Climate*.