

Rapport d'activité IDRIS 2011 – projet 0292

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

Rapport d'activité

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

L.M.D. - Octobre 2011

De janvier à octobre 2011, nous avons consommé :

- 14 000h CPU NEC, soit 70% des ressources allouées jusqu'en décembre,
- 85 000h *IBM SP6*, soit 30% des ressources allouées jusqu'en décembre.

Le calcul sur Vargas a été plutôt faible pour plusieurs raisons : d'abord à cause des difficultés de mise au point des applications, puis par suite des difficultés de post-traitement sur Ulam, enfin parce que nous nous sommes heurtés aux limites de quota d'inodes pendant l'été. Le calcul sur Vargas commence maintenant à prendre son plein régime.

Table des matières

1	Evolution et validation de la version de référence du modèle LMDZ	2
1.1	Amélioration du contenu physique du modèle	2
1.2	Evaluation du modèle LMDZ sur le site instrumenté du SIRTA	3
1.3	L'approche Transpose AMIP pour l'évaluation de modèles climatiques	5
1.4	Rôle de la paramétrisation de la convection dans la simulation des oscillations intrasaisonnières tropicales	6
2	Processus fondamentaux : Montagnes, Ondes de gravité et Stratosphère	6
3	Isotopes de l'eau	8
4	Evolution et validation du modèle ORCHIDEE	10
4.1	Evaluation sur le site instrumenté du SIRTA	10
4.2	Analyse et prédiction du cycle hydrologique et des ressources en eau associées	11
4.3	Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique	12

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

1.1 Amélioration du contenu physique 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 : 2 000 h CPU NEC; 40 000 h CPU IBM SP6

L'année 2011 a été marquée par la finalisation, et l'utilisation pour les projections du changement climatique dans le cadre du projet CMIP5, d'une toute nouvelle version du modèle de climat LMDZ. Ce modèle dit "Nouvelle Physique" est basé sur une refonte complète des paramétrisations de la couche limite, de la convection et des nuages (cette version "Nouvelle Physique" est la composante atmosphérique de la version IPSL-CM5B du modèle couplé de l'IPSL).

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 et 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.

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., 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 et les simulations des grands tourbillons (Rio et al., 2009).

Organisation du travail Nous avons profité intensivement en 2011 du travail des années précédentes qui avait permis de 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 utilisé cette facilité pour 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 ont été 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", était destinée aux simulations climatiques proprement dites. Ces dernières simulations sont encore en cours, le développement et la mise au point de la nouvelle version ayant amené à commencer les simulations finales au début de l'été

(Le present projet étant essentiellement consacré au développement de cette version, la partie réglage et mise au point étant le fait du projet 0239).

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 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.

A titre d’illustration, nous montrons dans la figure 1.1 le cycle diurne des précipitations simulées avec l’ancienne physique, avec la nouvelle physique et la fermeture originelle et avec la fermeture modifiée (ce qui correspond à la version finale de la nouvelle physique). Le changement est considérable : la nouvelle physique permet de simuler des précipitations continentales maximales en fin d’après-midi, en bien meilleur accord avec les observations, résultat encore amélioré par la modification de la fermeture.

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications qui seront soumises presque en même temps que le projet Idris dans le cadre d’un numéro spécial de la revue *Climate Dynamics* :

- From IPSL-CM5A to IPSL-CM5B : revisiting the parameterization of boundary layer, clouds and convection in the LMDZ atmospheric model, Hourdin et al.
- On the control of deep convection by sub-cloud lifting processes, Rio et al.
- What do we learn about clouds in climate models from A-train satellite observations? Konsta et al.

1.2 Evaluation du modèle LMDZ sur le site instrumenté du SIRTA

Frédérique Chéruy, Aurelien Campoy, Frederic, Agnes Ducharne, Jean-Charles Dupont et Martial Haeffelin

Consommation : 1500h CPU NEC

Le couplage surface/atmosphère est essentiel pour déterminer les conditions aux limites en eau et énergie du système atmosphérique sur les surfaces continentales. Il a été montré qu’il était à l’origine du biais chaud dont le modèle de climat de l’IPSL souffre en été aux moyennes latitudes. Les contributions du modèle d’hydrologie, et des paramétrisations de la couche limite ont été étudiées en détail en utilisant l’approche « zoomée-guidée » (Coindreau et al 2007) et les observations recueillies et élaborées au SIRTA (Chéruy et al. 2011). Le modèle d’hydrologie à 11 couches (de Rosnay et al 2000) qui assure une description physique des flux verticaux d’eau dans le sol couplé avec LMDZ a permis d’accroître l’évaporation du sol en été, évitant de simuler de « fausses sécheresses » responsables du biais chaud. Cette amélioration est constatée avec les versions standard (ST) comme « nouvelle physique » (NP) du modèle atmosphérique LMDZ5 (Hourdin et al. 2011). Les nouvelles paramétrisations physiques proposées dans le modèle LMDZ5-NP (Hourdin et al. 2011), assurent une représentation plus réaliste des nuages de couche limite de type « petits cumulus » en été. Ces améliorations sont également observées dans les simulations de type climatique effectuées en mode forcé pour les SST. Nous sommes ainsi mieux armés pour représenter les événements extrêmes pour lesquels le couplage sol/atmosphère est essentiel comme par exemples les canicules estivales.

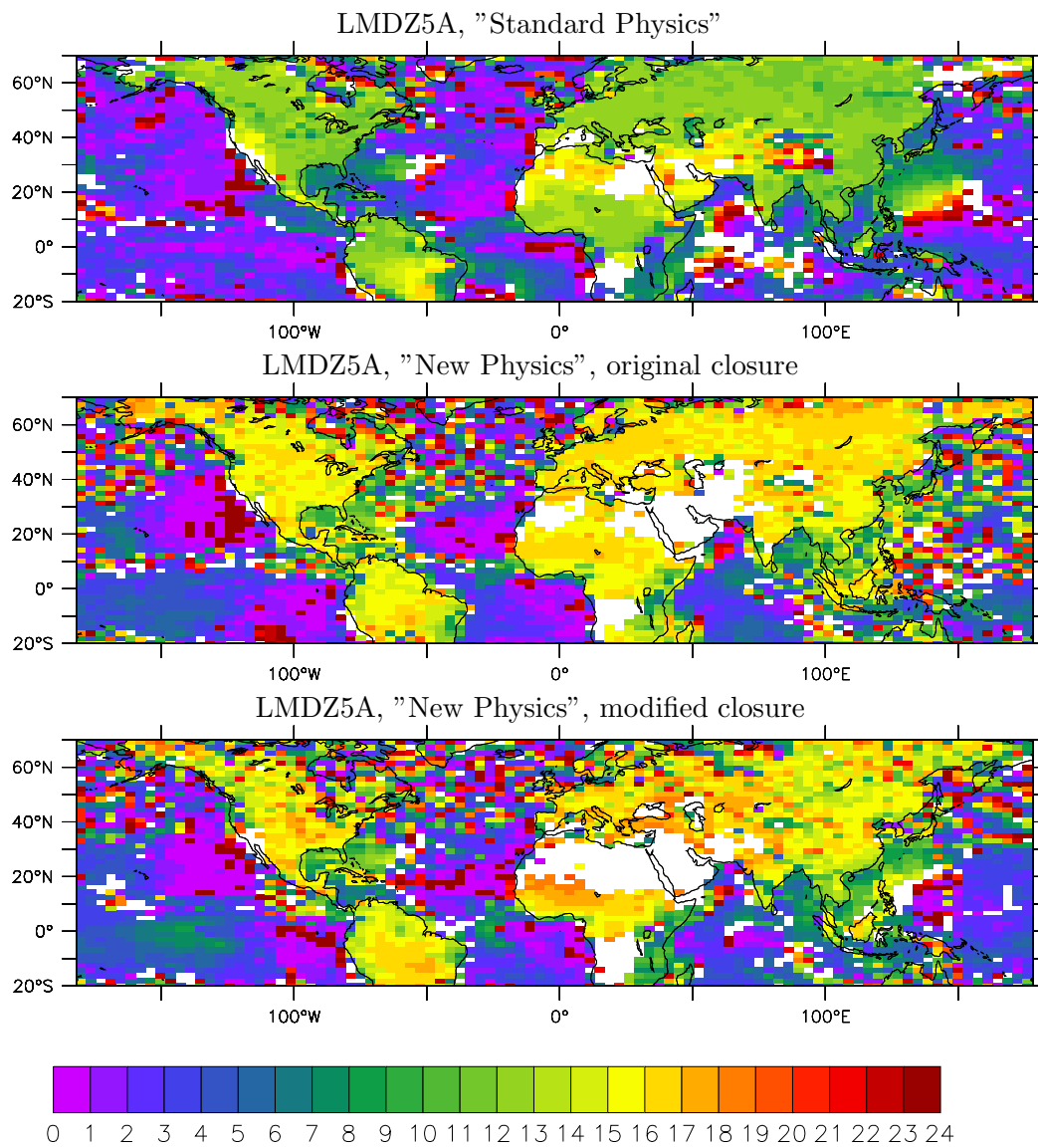


FIGURE 1 – Heure du maximum de précipitation simulé par LMDZ5 utilisant diverses versions de la physique

1.3 L'approche Transpose AMIP pour l'évaluation de modèles climatiques

Sandrine Bony, Solange Fermepin (thèse)

Consommation : 320 heures CPU NEC

Les erreurs systematiques des modèles climatiques sont fréquemment liées à la représentation des processus rapides. Certaines de ces erreurs systematiques observées à l'échelle climatique deviennent évidentes dès quelques jours de simulation. L'approche « Transpose AMIP » propose donc d'évaluer les modèles climatiques dès les premiers jours de simulation, à condition d'initialiser le modèle d'une manière "realiste". Cette approche nous permet de plus d'évaluer la réponse rapide du modèle à une perturbation imposée. Les simulations Transpose AMIP nous donnent aussi un cadre idéal pour étudier la dépendance à la resolution des paramétrisations des modèles.

Le but de ce travail est de mieux comprendre les erreurs systématiques du modèle climatique LMDZ, en particulier celles associées aux paramétrisations de la convection et des nuages, et à la réponse rapide du climat simulée quand la concentration en CO₂ est multipliée par quatre.

Au cours de cette année, nous avons créé tous les états initiaux en utilisant différentes réanalyses du centre européen (ECMWF) et nous avons réalisé plusieurs tests de sensibilité pour optimiser la manière de faire des simulations Transpose AMIP.

Ensuite, nous avons fait des simulations de courte durée (5-10 jours) sur la période de la campagne de terrain TOGA COARE (novembre 1992-fevrier 1993) et y avons identifié des biais systematiques qui apparaissent au bout de quelques jours (Figure 1.3). Des simulations additionnelles sur la même période nous ont permis d'étudier l'influence des effets radiatifs des nuages sur la circulation générale ainsi que la réponse à un quadruplement de CO₂.

Pour tester la sensibilité à la resolution du modèle, nous avons réalisé des simulations à trois resolutions differentes (96x95x39, 144x142x39 et 160x160x39) avec l'ancienne physique. Nous avons aussi réalisé plusieurs tests de sensibilité avec la nouvelle physique.

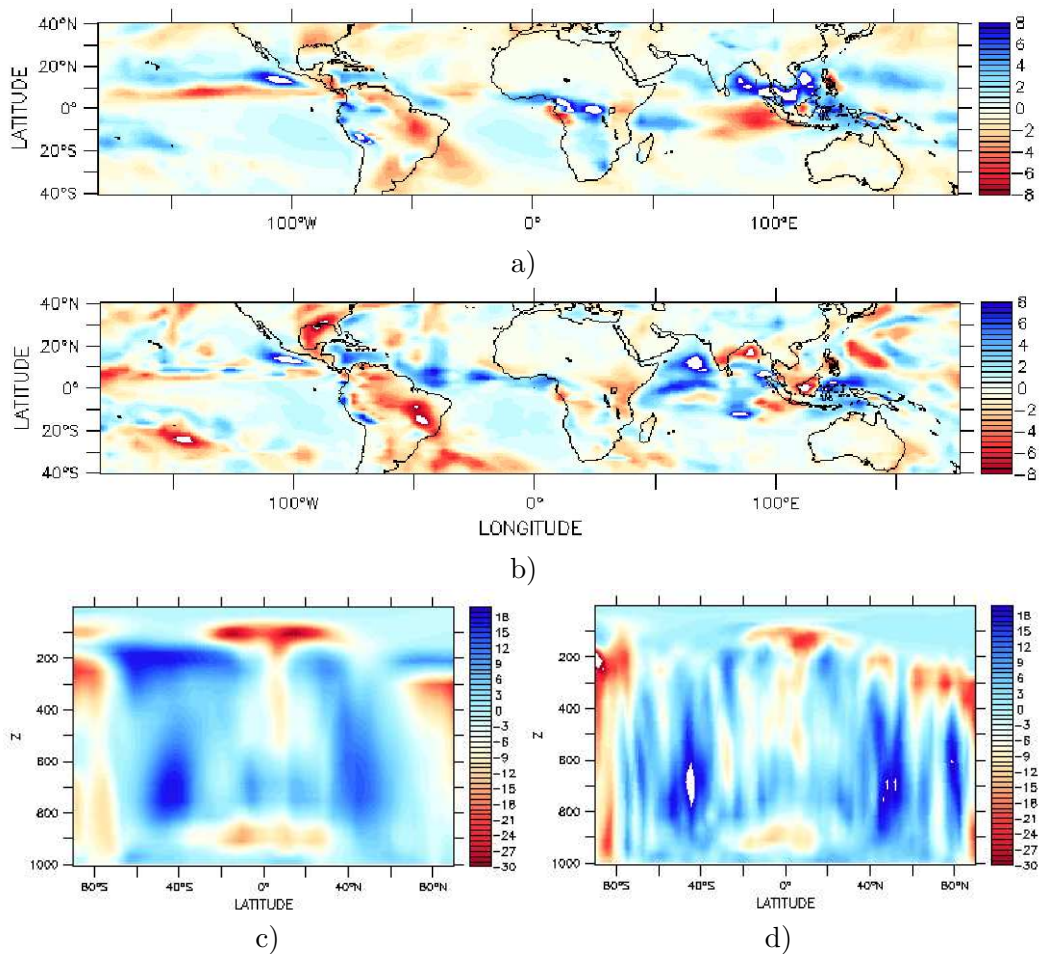


FIGURE 2 – Haut : Biais de precipitation a) climatique et b) jour 5; Bas : Biais de la moyenne zonale d'humidité relative c) climatique et d) jour 5.

1.4 Rôle de la paramétrisation de la convection dans la simulation des oscillations intrasaisonniers tropicales

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

En 2011, des études préliminaires ont été effectuées avec la version 1D du modèle afin de mieux maîtriser l'action de cette fermeture, et celle d'autres paramètres, sur l'évolution temporelle de l'instabilité statique et des pluies dans différentes phases (convectives et subsidentes) de la base de données TOGA-COARE.

Parallèlement, de nouvelles méthodes d'évaluation de l'origine de la variabilité intrasaisonnaire dans les observations et dans les GCMs ont été développées et testées sur le modèle de l'IPSL (ancienne et nouvelle physique de LMDZ) et sur le modèle du CNRM. Ces méthodes et leurs résultats sont reportés dans deux articles soumis en 2011.

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 Le modèle LMDz a été utilisé pour analyser les liens entre les montagnes et les régimes de mousson d'hiver. Nous avons prolongé les études observationnelles et théoriques (Mailler et Lott, 2009 et 2010), liant les couples dynamiques dus aux montagnes et les «cold surge», ces derniers influant à leur tour la mousson d'hiver sur l'Asie du Sud Est et jusqu'à la baie du Bengale. Nous avons étendu ce travail à d'autres massifs montagneux comme les Andes et les Rocheuses. Nous avons aussi montré que les paramétrisations des effets des montagnes aux échelles sous-maille avait un impact positif sur le développement des « cold-surge », et cela pour l'Himalaya. La publication de ce travail est en suspens, le chercheur en étant responsable (S. Mailler) ayant pris un congé sans solde de longue durée.

Influence de la stratosphère sur le climat L'équipe «FST» a aussi pris en charge le développement de la version de la version stratosphérique de LMDz (Lot et al. 2005). Les modifications apportées et validées par l'équipe permettent aujourd'hui à ce module stratosphérique d'être intégré à l'ESM de l'IPSL, et dans les simulations en cours pour le 5ème PCRD au sein de l'IPSL (Hourdin et al., en préparation). Un effort important a été fait cette année pour diagnostiquer la dynamique équatoriale et la dynamique stratosphérique dans cette version couplée (Maury et al. 2011, soumis). La version stratosphérique de LMDz sert aussi à étudier l'influence du cycle solaire sur le climat (Marchand et al. 2011, soumis).

L'effort le plus innovateur que nous avons entrepris cette année concerne une extension drastique de la résolution verticale du modèle. L'objectif est que celui-ci représente mieux la propagation des ondes équatoriales, et soit capable de simuler une Oscillation-Quasi Biennale (QBO). Les résultats sont encourageants, puisque nous arrivons à simuler une QBO, lorsque nous utilisons 80 niveaux verticaux (Figure 3).

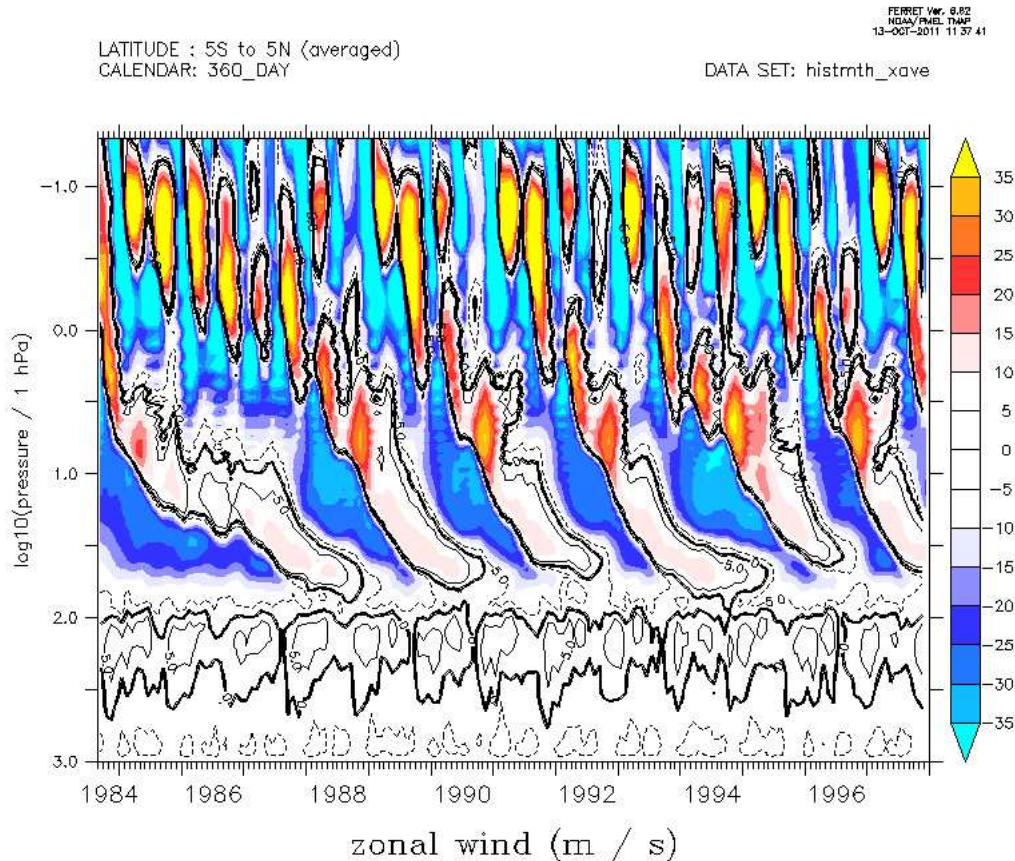


FIGURE 3 – vent zonal en moyenne zonale et à l'équateur issue du modèle LMDz avec 80 niveaux verticaux. Le coût de simulation sur brodie est de 75h/an, soit ici un total d'environ 1000h pour cette figure. L'alternance des vents positifs et négatifs dans la basse stratosphère, c'est à dire entre 100 et 1hPa est caractéristique de l'Oscillation Quasi Biennale. Sa période dans le modèle est cependant plus biennale que quasi-biennale, ce qui va nécessiter des ajustements.

3 Isotopes de l'eau

Camille Risi, Sandrine Bony

Consommation : 3000h CPU NEC au 12 octobre, 300h supplémentaires prévues jusqu'en décembre ; 1000h IBM SP6 prévues jusqu'en décembre.

Depuis 5 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 2011, en révision), que nous avons continué à utiliser cette année pour différentes applications.

Processus convectifs, nuageux et de transport dans la troposphère tropicale Nous avons comparé nos simulations avec LMDZ à de nombreuses données isotopiques obtenues récemment à la fois par satellite (SCIAMACHY, TES, ACE-FTS, MIPAS, GOSAT) et au sol (télé-détection au sol, mesures in-situ) (Risi et al. 2011a, soumis). Nous avons pour cela développé des outils de comparaison LMDZ-données innovants, que d'autres groupes utilisent à présent (Kurita et al. 2011 en révision, Berkelhammer et al. 2011,

soumis). 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 établissons des diagnostics isotopiques permettant de détecter de possibles biais des modèles atmosphériques dans leur traitement des processus contrôlant l'humidité atmosphérique (Risi et al. 2011b, soumis). De plus, nous comparons le comportement en changement climatique de nos différents tests de sensibilité, afin de comprendre l'impact de biais actuels dans la représentation des processus contrôlant l'humidité sur les changements futurs d'humidité.

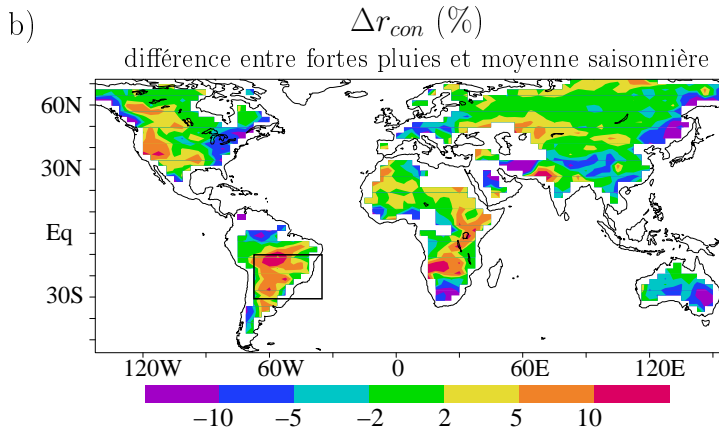
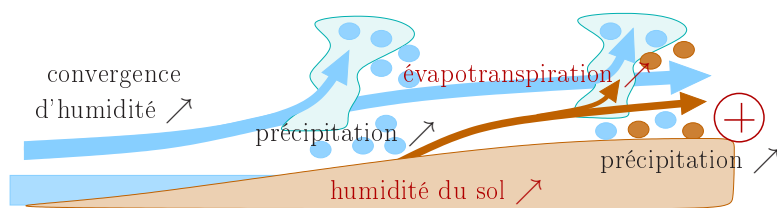
Changements de précipitation passés et futurs en réponse aux changements climatiques Nous avons relancés nos différents tests de sensibilité pour différents climats passés (6ka, 21ka et 126ka) et différentes projections de changement climatique futur, et nous analysons les changements de précipitation associés. Nous comparons nos résultats aux archives isotopiques disponibles pour discriminer quelles simulations présentent les changements passés de précipitation les plus réalistes. En comparant les changements de précipitation passés et futurs, le but est d'en tirer des implications pour les changements de précipitation futurs.

Rétroactions continent-atmosphère Nous avons utilisé des simulations couplées LMDZ-ORCHIDEE avec traçage de l'eau pour quantifier le rôle des rétroactions continent-atmosphère dans les variations de précipitations, à différentes échelles de temps et en réponse à différents forçages : à l'échelle intra-saisonnière, en changement climatique et en réponse à l'irrigation. Par exemple, nous avons ainsi montré que les rétroactions continent-atmosphère amplifient les variations intra-saisonnières de précipitation dans la plupart des régions de mousson (figure 4a). L'intensité de ces rétroactions dépend fortement de la représentation des processus continentaux, en particulier de la réponse de l'évapo-transpiration à l'humidité du sol. Le lien fort entre l'intensité des rétroactions et la composition isotopique suggère que des observations isotopiques pourraient aider à discriminer quelle représentation des processus continentaux est la plus réaliste (figure 4b).

Applications régionales Nous avons continué à appliquer LMDZ sur des exemples régionaux, pour contribuer à interpréter des observations isotopiques ou les variations climatiques passées : sur le Tibet (Gao et al. 2011, Shi et al. 2011, en révision, Yao et al. en préparation, Eagle et al. en préparation), sur le Groenland (Steen-Larsen et al. 2011, Masson-Delmotte et al. 2011, Sime et al. en préparation), sur l'Amérique du Sud (Vimeux et al. 2011).

Développement des isotopes de l'eau dans la nouvelle version du modèle LMDZ Nous avons presque terminé l'implémentation des isotopes de l'eau et du traçage de l'eau dans la nouvelle version d'LMDZ (version parallèle) et dans la nouvelle physique. Le schéma de poches froides, relié au schéma de convection, pose encore quelques soucis mais nous y travaillons. Nous sommes aussi en train de tester la nouvelle version sur vargas.

a) processus pendant les fortes pluies:



c) Exemple sur l'Amazonie

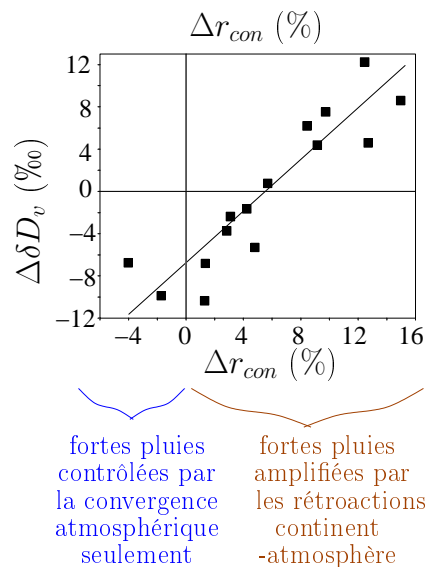


FIGURE 4 – Quantification du rôle des rétroactions continent-atmosphère dans les variations intra-saisonniers de précipitation. a) Principe : les fortes pluies sont associées à des épisodes de convergence d’humidité. Les rétroactions continent-atmosphère peuvent amplifier les pluies : plus il pleut, plus le sol est humide, plus l’évapo-transpiration est forte, plus l’air est humide, donc plus il pleut. Dans ce cas, la proportion de la vapeur venant de l’évapo-transpiration continentale (r_{con}) augmente pendant les événements pluvieux. En traçant l’eau d’origine continentale dans le modèle LMDZ, on peut donc quantifier l’intensité des rétroactions continent-atmosphère. b) Dans le modèle, différence entre la proportion de la vapeur venant de l’évapo-transpiration continentale (r_{con}) pendant les événements pluvieux et en moyenne saisonnière. Les zones positives (resp. négatives) indiquent les zones où les rétroactions continent-atmosphère amplifient (resp. réduisent) les pluies. c) Différence entre le δD (mesurant la concentration en HDO) de la vapeur d’eau pendant les fortes pluies et en moyenne saisonnière, en fonction de la différence de r_{con} . Chaque point représente une maille dans le cadre sur la carte. Les régions de rétroactions positives (resp. négatives) sont caractérisées par des δD plus forts (resp. faibles) pendant les fortes pluies.

4 Evolution et validation du modèle ORCHIDEE

4.1 Evaluation sur le site instrumenté du SIRTA

Agnès Ducharne, Aurélien Campoy (thèse), Frédéric Hourdin

Consommation : 6000h CPU NEC

ORCHIDEE dispose de deux versions d’hydrologie de surface, un standard dite «à 2 couches» utilisée par défaut qui représente l’eau des surfaces continentale à travers deux réservoirs conceptuels. La seconde dite «à 11 couches» est en cours de développement, elle représente l’infiltration de l’eau dans le sol et la diffusion verticale via l’équation de Fokker-Planck et grâce à une discrétisation des deux premiers mètres du sol en 11 points. La version 11 couches fut utilisée couplée à LMDZ pour des simulations de 10 ans (sur Brodie) à l’aide d’une configuration zoomée sur l’île de France et guidé par les analyses ERA (Cheruy et al. 2011 en préparation). Nous avons ainsi put tester différentes configurations de LMDZ (AR4 et P70) et de ORCHIDEE (2 et 11 couches) et pus ainsi évaluer la performance du couplage de ces deux modèles

sur la météo régionale par comparaisons aux observations du SIRTA (Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique).

Nous avons ainsi mis en évidence la performance de l’approche zoomée guidé pour reconstituer une météorologie régionale (fig 5). Nous avons constaté que le choix d’un modèle d’hydrologie de surface importait autant que le choix de la physique atmosphérique utilisé.

Nous savions déjà que le modèle ORCHIDEE 2 couches couplé à LMDZ entraînait constamment des canicules numériques l’été en Europe. Le passage à ORCHIDEE 11 couches permit d’effacer ce biais l’été, mais le couplage avec la dernière version de LMDZ (P70) amène à un biais froid l’hiver qui n’était pas présent avec LMDZ-AR4 (fig. 6). Ce biais froid reste à comprendre à ce jour.

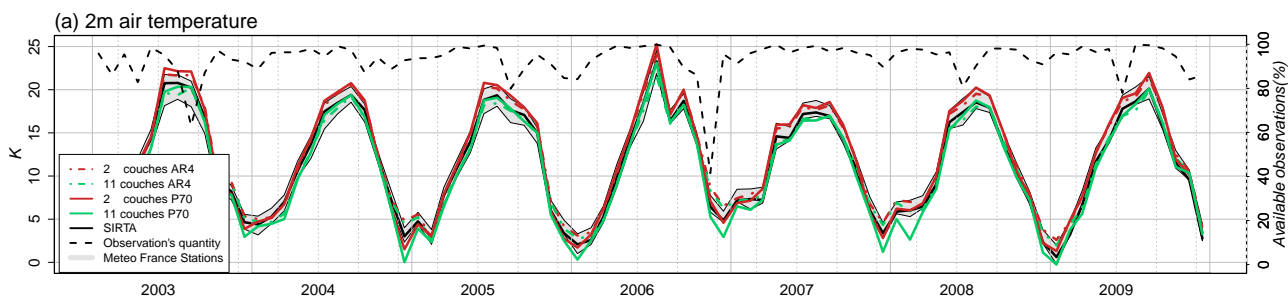


FIGURE 5 – Moyennes mensuelles de la température de l’air à 2m observé au SIRTA sur la période 2003-2009 (trait noir plein). La fraction observée de chaque mois est en pointillé noir, définissant ainsi un masque temporel. Les moyennes mensuelles de la température de l’air à 2m (tenant compte du masque temporel défini par les observations du SIRTA) de chaque simulation sont en couleur, et les minimum et maximum des stations Météo-France proche du SIRTA caractérise le polynôme gris.

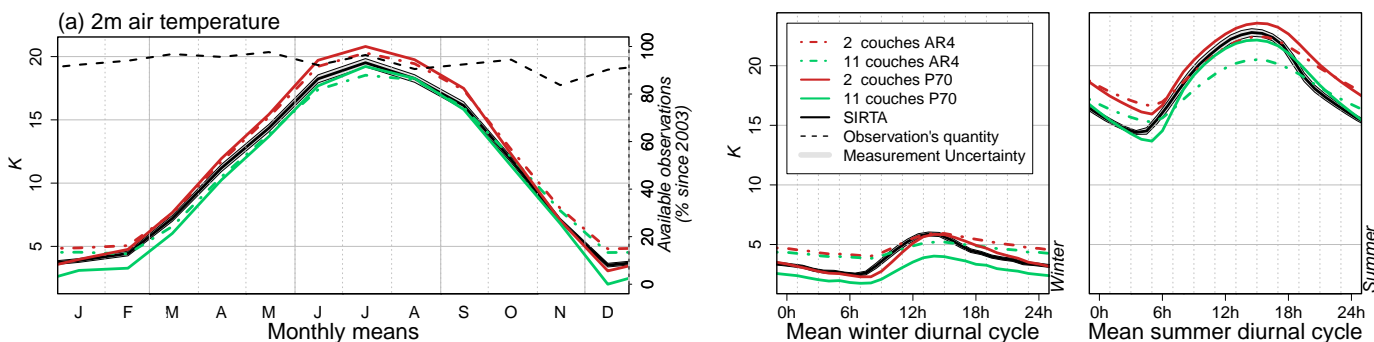


FIGURE 6 – Cycle annuel moyen (à gauche), cycle diurne moyen hivernal (au milieu) et estival (à droite) de la température de l’air à 2m observé au SIRTA sur la période 2003-2009 (trait noir plein). La fraction temporelle observée est en pointillé noir. Les moyennes mensuelles de chaque simulation sont en couleur, et l’incertitude des instruments de mesure du SIRTA caractérise le polynôme gris.

4.2 Analyse et prédiction du cycle hydrologique et des ressources en eau associées

Nathalie Bertrand, Jan Polcher

Consommation : 45 000h IBM SP6

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. Pour cela, le modèle de surface Orchidee fut forcé sur la période 1901-2001 avec la version du modèle de sol à 2 couches dite de Choissnel et celle à 11 couches CWRR, pour une résolution de 0.5° . L’inter-comparaison des deux modèles de sol nous permet d’identifier une représentation de l’hydrologie dans le sol plus réaliste

avec les modèle à 11 couches. Ce résultat a été mis en évidence par l'étude d'inter-comparaison des modèles participant au projet WATCH (Haddeland et al, 2011 et Gudmundsson et al, 2011). Nous avons comparés comment les deux modèles représentés les sécheresses météorologiques et agronomiques. Les sécheresses météorologiques sont caractérisées avec l'indice standardisé de précipitation (SPI). Cet indice a été adapté pour calculer les sécheresses agronomiques avec l'indice standardisé de l'humidité du sol. Les résultats mettent en évidence une meilleure corrélation entre les deux indices de sécheresses pour le modèle à 11 couches en l'Europe. Enfin, afin d'étudier l'évolution des débits des fleuves, d'identifier les événements extrêmes tels que les sécheresses liées au changement climatique et à la pratique de l'irrigation intensive, les sorties des modèles IPSL, ECHAM et CNRM du scénario A2 ont été sélectionnées pour représenter le climat futur. Ces 300 années de simulations seront analysées très prochainement.

4.3 Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique

Matthieu Guimberteau, Josyane Ronchail, Benjamin Sultan

Consommation : 230 heures CPU NEC

L'objectif était d'évaluer le devenir des débits sur le bassin amazonien dans un contexte de changement climatique avec ORCHIDEE (ORganising Carbon and Hydrology In Dynamic EcosystEms), dans le cadre du projet européen GIS REGYNA. Plusieurs études de sensibilité ont d'abord été réalisées en période actuelle (1980-2000) afin d'obtenir, au final, une simulation de référence actuelle. Celle-ci comporte des modifications majeures pour l'amélioration de la simulation des débits amazoniens par ORCHIDEE :

- l'implémentation dans le forçage NCC (Ngo-Duc et al 2005) des pluies journalières krigées HYBAM (HYdrogéodynamique du Bassin AMazonien) observées sur le bassin amazonien
- la prescription au modèle d'une nouvelle carte de répartition spatiale des plaines d'inondations et des marécages/forêts inondées construite d'après Martinez et al. 2007 et Prigent et al. 2007.

Le dernier objectif du projet REGYNA a été rempli. Il consistait à ajouter au forçage météorologique NCC, corrigé par les pluies HYBAM, les anomalies climatiques futures (pluies, vent, humidité de l'air...). Celles-ci ont été produites par différence entre une situation future et une situation actuelle simulées par les différents modèles de l'IPCC. Une série de plusieurs forçages climatiques "futurs" a ainsi été constituée (2 horizons temporels, 3 scénarios pour chacun des 8 modèles IPCC) pour effectuer par la suite les simulations futurs avec le même schéma hydrologique, ORCHIDEE. Enfin, les comparaisons ont été faites entre les simulations en condition de changement climatique et la simulation de référence actuelle pour évaluer l'impact du changement climatique sur les débits amazoniens.

Pour tous les scénarios et les horizons temporels, la plupart des modèles IPCC utilisés dans cette étude prévoit une augmentation des précipitations sur la région ouest du bassin de l'Amazone, persistante sur l'année en Équateur et au Pérou et conduisant à une augmentation des crues. Sur les autres régions du bassin, les modèles de l'IPCC simulent des changements de précipitations très hétérogènes dans le temps et l'espace pour le scénario A1B à l'horizon temporel 2046-2065. Dans les régions sud et est du bassin, une diminution des précipitations est simulée principalement pendant la saison sèche (JJA) (Figure 7) et les étiages sont réduits en conséquence (Figure 8). C'est également le cas dans le nord du bassin. Dans l'extrême nord du bassin, la plupart des modèles prédisent une diminution des précipitations durant toute l'année (sauf en MAM) conduisant à une diminution des crues et des étiages. Enfin, le débit moyen à Obidos, la dernière station de mesure sur le cours principal, n'est pas significativement affecté. Toutefois, une diminution des étiages est simulée pour le scénario SRESA1B en 2046-65 et une augmentation des crues est prévue pour la période 2079-98 en utilisant le scénario d'émission SRESA2.

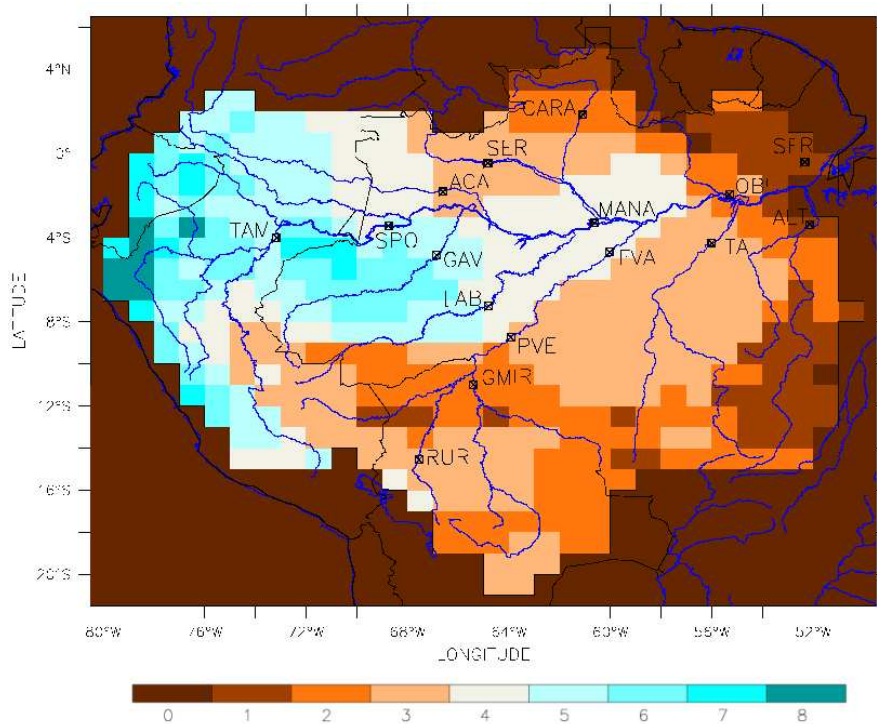


FIGURE 7 – Nombre de modèles IPCC (sur huit au total) projetant une augmentation des précipitations sur le bassin amazonien pour la période Juin-Juillet-Août

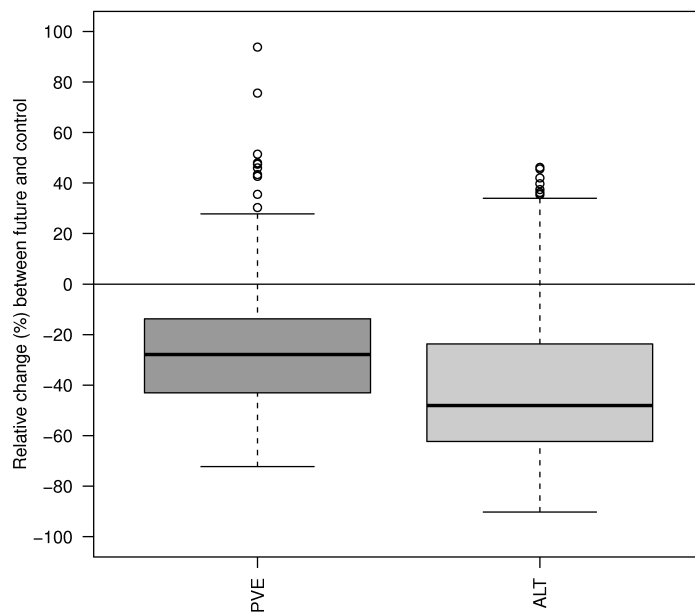


FIGURE 8 – Changement relatif (%) du premier décile du débit (étiage) simulé par ENSEMBLE (moyenne de 8 modèles IPCC), pour le scénario SRESA1B et l’horizon temporel 2046-2065, aux stations sud du bassin : Porto Velho (PVE) et Altamira (ALT). Pour chaque année de simulation future, les différences annuelles sont faites entre la simulation future et la climatologie de la simulation actuelle.

Publications liées au projet

Berkelhammer, M., Risi, C., Kurita, N., and Noone, D. The moisture source sequence for the Madden-Julian Oscillation as derived from satellite retrievals of HDO. *J. Geophys. Res.*, *J. Geophys. Res.*, **soumis**

Eagle, R., Risi, C., Eiler, J. M., Seibt, U., Li, G., and Tripathi, A. K. High regional climate sensitivity over continental China inferred from glacial-recent changes in temperature and the hydrologic cycle. *Nature*, **en préparation**.

Gao, J., Masson-Delmotte, V., Yao, T., Risi, C., Hoffmann, G., and Tian, L. (2010). Précipitation water stable isotopes in the south Tibetan Plateau : observations and modelling. *J. Clim.*, **sous presse**.

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,.

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.

Gudmundsson, L. Tallaksen, L.,M. Stahl.,K. Clark, D., B. Dumont, D. Hagemann, S. Bertrand, N. Gerten, D. Heinke, J. Hanasaki, N. VoB, F. Koirala, S (2011) Comparing Large-scale Hydrological Models to Observed Runoff Percentiles in Europe, *J. Hydrometeor.* (**accepted**).

Haddeland, I., D. Clark, W. Franssen, F. Ludwig, F. Voß, N.W. Arnell, N. Bertrand, M. Best, S. Folwell, D. Gerten, S. Gomes, S.N. Gosling, S. Hagemann, N. Hanasaki, R. Harding, J. Heinke, P. Kabat, S. Koirala, T. Oki, J. Polcher, T. Stacke, P. Viterbo, G.P. Weedon, and P. Yeh (2011) Multi-Model Estimate of the Terrestrial Global Water Balance : Setup and First Results, *J. Hydrometeor.*, 12, 869-884, doi : 10.1175/2011JHM1324.1

Kurita, N., Noone, D., Schmidt, G. A., Yamada, H., , and Yoneyama, K. Enhanced moist- ening through a recharge-dissipation cycle at the onset of the Madden-Julian Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **en révision**.

Lott, F. and C. Millet, The representation of Gravity Waves in Atmospheric General Circulation Models (GCMs), Infrasound monitoring for atmospheric studies, A. Le Pichon et al. (eds.), 685-699, 2010.

Mailler, S. and Lott, F. (2010). Equatorial mountain torques and cold surge preconditioning. *J. atm. sci.*, 67 (6) :21012120

Marchand, M., Cugnet, D., Lefebvre, S., Jumelet, J., Keckhut, P., Claud, C., Hauchecorne, A., Lef'vre, F., Lott, F., Hourdin, F., Thuillier, G., Poulain, V., Lemennais, P., David, C., Melo, S., , and e Bekki, S. Stratospheric Solar response simulated with the Chemistry-Climate Model LMDz-Reprobus. *J. Geophys. Res.*, **soumis**.

Masson-Delmotte, V., Braconnot, P., Hoffmann, G., Jouzel, J., Kageyama, M., Landais, A., Lejeune, Q., Risi, C., Sime, L., Sjolte, J., Swingedouw, D., and Vinther., B. (2011). Sensitivity of interglacial greenland temperature and delta18o to orbital and CO2 forcing : climate simulations and ice core data. *Clim. Past*, pages doi :10.5194/cpd715852011.

Maury, P., Lott, F., Guez, L., and Duvel, J.-P. (2011). Tropical variability and stratospheric equatorial waves in the IPSLCM5 model. *Clim. Dyn.*, **soumis**.

Morgenstein, O. and 33 co-authors including F. Lott (2010), Anthropogenic forcing of the Northern Annular Modes in CCMVal-2 models, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M03, doi :10.1029/2009JD013347.

Nikulin, G. and F. Lott (2010), On the time-scales for which the tropospheric planetary waves and the stratospheric circulation are related, *Annales Geophysicae*, 339-351.

Risi, C., Bony, S., Ogée, J., Bariac, T., Raz-Yaseed, N., and Wingate, L. Water stable isotopes e to evaluate the hydrological budget in large-scale land surface models : investigation with ORCHIDEE-iso. *Clim. Dyn.*, **en révision**.

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., Schneider, M., Wunch, D., Sherlock, V., Deutscher, N., Griffith, D., Wernberg, P., Bony, S., Jeonghoon Lee, D. B., Uemura, R., and Sturm, C. Process-evaluation of tropical and subtropical tropospheric humidity simulated by general circulation models using water vapor isotopic observations. Part 1 : model- data

intercomparison. *J. Geophys. Res.*, **soumis**, a

Risi, C., Noone, D., Worden, J., Frankenberg, C., Stiller, G., Kiefer, M., Funke, B., Walker, K., Bernath, P., Schneider, M., Wunch, D., Sherlock, V., Deutscher, N., Griffith, D., Wernberg, P., Bony, S., Lee, J., Brown, D., Uemura, R., and Sturm, C. Process-evaluation of tropical and subtropical tropospheric humidity simulated by general circulation models using water vapor isotopic observations. Part 2 : an isotopic diagnostic of the mid and upper tropospheric moist bias. *J. Geophys. Res.*, **soumis**, b

Shi, C., Daux, V., Risi, C., Hou, S.-G., Stievenard, M., Pierre, M., Li, Z., and Masson-Delmotte, V. Reconstruction of southeast Tibetan Plateau summer cloud cover over the past two centuries using tree ring $\delta^{18}O$. *Clim. Past*, doi :10.5194/cpd718252011. **en révision**.

Sime, L. C., Risi, C., J. C. Tindall, J. S., Wolff, E. W., Masson-Delmotte, V., and Capron, E. Last interglacial isotopic changes across Greenland : observations and isotopic model analysis. *Quat. Sci. Res.*, **en préparation**.

Steen-Larsen, H.-C., Masson-Delmotte, V., Sjolte, J., Johnsen, S., Vinther, B., Breon, F.-M., Clausen, H., Dahl-Jensen, D., Falourd, S., Fettweis, X., Gallee, H., Jouzel, J., Kageyama, M., Lerche, H., Minster, B., Pichard, G., Punge, H., Risi, C., Salas-Méla, D., J. Schwander, K. S., Sveinbjornsdottir, A., Svensson, A., and White, J. (2011). Understanding the climatic signal in the water stable isotope records from the NEEM cores in North-West Greenland. *J. Geophys. Res.*, 116 :D06108, doi :10.1029/2010JD014690.

Vimeux, F., Tremoy, G., Risi, C., and Gallaire, R. (2011). A strong control of the South American SeeSaw on the intraseasonal variability of the isotopic composition of precipitation in the Bolivian Andes. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 307 (1-2) :47-58.

Yao, T., Masson-Delmotte, V., Gao, J., Tian, L., Yu, W., Yang, X., Risi, C., Sturm, C., Kurita, N., He, Y., Shi, C., and Hou, S. A Review of Stable Isotope Studies in precipitation from observation stations and Ice Cores in Tibetan Plateau and surrounding regions. **en préparation**.

Autres références

Coindreau, O., Hourdin, F., Haefelin, M., Mathieu, A., and Rio, C. (2007). Assessment of physical parameterizations using a global climate model with stretchable grid and nudging. *Mon. Wea. Rev.*, 135 :1474.

de Rosnay P, M, B., and J., P. (2000). Sensitivity of the surface fluxes to the number of layers in the soil model used in GCMs. *Geophys. Res. Lett.*, 27 (20) :3329-3332.

Grandpeix JY, Phillips V, Tailleux R (2004) Improved mixing representation in Emanuel's convection scheme. *Q J R Meteorol Soc* 130 :3207–3222

Hourdin, F., F. Couvreux, and L. Menut, 2002 : Parameterization of the dry convective boundary layer based on a mass flux representation of thermals. *J. Atmos. Sci.*, 59, 1105–1123.

MM Lott, F., Fairhead, L, Hourdin, F and Levan, P. (2005). The stratospheric version of lmdz : Dynamical climatologies, arctic oscillation, and impact on the surface climate. *Clim. Dyn.*, 25 :851-868

Mailler, S. and Lott, F. (2009). Dynamical influence of the Himalayas on the winter monsoon over southeastern Asia. *Geophys. Res. Lett.*, 36 :L06708, doi :10.1029/2008GL036952.

Martinez, J. M. and LeToan, T. (2007). Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the Amazon floodplain using multitemporal SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 108 (3) :209-223.

T. Ngo-Duc, J. P. and Laval, K. (2005). A 53-year forcing data set for land surface models. *J. Geophys. Res.*, 110 :D06116, doi :10.1029/2004JD005434.

Prigent, C., Papa, F., Aires, F., Rossow, WB and Matthews, E. (2007). Global inundation dynamics inferred from multiple satellite observations, *J. Geophys. Res.*, 112 :1993-2000.

Rio C., F. Hourdin, J.-Y. Grandpeix and J.P. Lafore (2009) Shifting the diurnal cycle of parameterized deep convection over land. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07809, doi :10.1029/2008GL036779.