

Rapport d'activité DARI 2018 – projet 0292

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

Rapport d'activité

Camille Risi

crlmd@lmd.jussieu.fr, 01 44 27 52 62

L.M.D. - février 2018

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Général	2
1.2	Bilan de notre consommation	2
2	Etude des processus atmosphériques ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ	3
2.1	Entretien d'une version distribuable de LMDZ	3
2.2	Etude de l'organisation de la convection dans LMDZ en configuration d'équilibre radiatif-convectif	4
2.2.1	Variabilité interne du système climatique en RCE-slab	4
2.2.2	Impact de l'agrégation sur le climat	4
2.3	Influence des montagnes et de la stratosphère sur le climat	8
2.3.1	Effet des montagnes	8
2.3.2	Effet de la stratosphère	8
2.4	Paramétrisation de la convection et phénomènes tropicaux	10
2.5	Microphysique des nuages de froids	11
2.5.1	Brumes et précipitations en Antarctique	11
2.5.2	Représentation des nuages hauts	12
2.5.3	Représentation des nuages bas Antarctique	13
3	Variabilité des températures en Atlantique tropical	13
4	Evaluation, amélioration et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	13
4.1	Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE	13
4.2	Couplages surfaces continentales - atmosphère	13
4.2.1	Mieux comprendre les rétroactions humidité du sol température	14
4.2.2	Mieux comprendre les biais relevant du couplage surface continentales-atmosphère dans les modèles de climat et les corriger	14
4.2.3	Évaluation des composantes du bilan d'énergie à la surface en lien avec les développements des paramétrisations de la physique atmosphérique et du modèle de surface sur le site du SIRTA	14

4.2.4	Prise en compte du freinage du vent par les bosquets	14
4.3	Simulation des hautes latitudes et des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE . . .	17
4.3.1	Evaluation et validation du modèle haute-latitude ORCHIDEE-MICT	17
4.3.2	Représentation du cycle du phosphore dans le modèle ORCHIDEE	17
4.3.3	Représentation du transport fluvial de carbone organique dissous dans le modèle ORCHIDEE	18
4.4	Développement de RegIPSL	21
4.5	Influence du temps de résidence des eaux souterraines sur les débits simulés	21
5	Isotopes de l'eau	21
5.1	Développements techniques	21
5.2	Cycle du Tritium et effet des essais nucléaires	23
5.3	Processus nuageux, applications paléo-climatiques et régionales	23
5.3.1	Facteurs contrôlant la qualité de la simulation de la MJO	23
5.3.2	Impact de la profondeur de la convection sur la composition isotopique de la vapeur d'eau	25
5.3.3	Applications paléo-climatiques et régionales	27
5.4	LMDZ-iso au Cénozoïque	27

1 Introduction

1.1 Général

Le projet est centré sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ (section 2), de sa version isotopique LMDZ-iso (section 5, du modèle de surface continentale ORCHIDEE (section 4), et du modèle d'océan NEMO (section 3).

1.2 Bilan de notre consommation

Pour l'allocation A2, nous avons demandé 1 418 000 heures CPU sur Ada, que nous avons obtenues. Suite à une sur-consommation, nous avons obtenu une rallonge au fil de l'eau de 140 000 heures en janvier 2018. En incluant les heures bonus, nous en sommes actuellement à 1 503 000 heures consommées (tableau 1).

thème	heures demandées initialement (k heures CPU)	heures consommées au 1er février 2018 (k heures CPU)	% de consommation par rapport à l'allocation initiale
Etude des processus atmosphériques ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ	942	1 269	135%
dont entretien d'une version distribuable de LMDZ	50	7	14
dont Organisation de la convection	518	283	55%
dont Montagnes et stratosphère	267	747	280%
dont Convection	24	40	167%
dont Microphysique des nuages de glace	83	192	231%
Variabilité des températures en Atlantique tropical	2	0	0%
Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	222	158	72%
dont suivi des versions	40	73	183%
dont couplages surfaces continentales - atmosphère	106	33	31%
dont hautes latitudes et cycles bio-géochimiques	76	30	39%
dont développement RegIPSL	0	6	∞
dont eaux souterraines	0	16	∞
Isotopes de l'eau	252	85	34%
dont entretien	5	5	100%
dont tritium	0	43	∞
dont processus nuageux et applications régionales	57	26	47%
LMDZ-iso du Cénozoïque	190	11	6%
Total	1 418	1 509	106%

TAB. 1 – Tableau comparant les heures de calcul initialement allouées et consommées sur Ada au 1er février 2018 (dont heures bonus).

2 Etude des processus atmosphériques ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ

2.1 Entretien d'une version distribuable de LMDZ

Laurent Fairhead, Ionela Musat

Consommation : 7 000 heures CPU sur Ada

Afin de tenir à jour une version distribuable du modèle LMDZ, il faut lancer régulièrement des simulations de 1 mois pour vérifier que le modèle tourne et donne les résultats attendus dans différentes configurations (séquentielle, MPI, OMP, MPI/OMP, LMDZ seul, LMDZ couplé à ORCHIDEE). Il est parfois nécessaire de lancer une batterie de simulations pour comprendre quand le modèle ne fonctionne pas comme prévu.

Cette année, une partie de ces tests ont été lancés sur le projet dédié à CMIP6, ce qui explique la faible consommation. Les heures ont été principalement utilisées pour la validation de modifications faites par David Coppin pour son travail sur l'organisation de la convection (section 2.2).

2.2 Etude de l'organisation de la convection dans LMDZ en configuration d'équilibre radiatif-convectif

Sandrine Bony, David Coppin (doctorant), Max Popp (post-doc)

Consommation : 280 000 heures CPU sur Ada

L'étude de l'agrégation de la convection vise à mieux comprendre ce qui contrôle la forme que prend la convection et le lien entre cette agrégation et la circulation générale de l'atmosphère. Plus spécifiquement, après nous être intéressés aux différents mécanismes d'agrégation de la convection lors de la demande précédente, nous nous sommes cette fois concentrés sur l'impact de l'agrégation sur le climat et la variabilité du système climatique.

Pour cela, comme précédemment, nous nous plaçons dans un cadre très idéalisé : celui d'une aqua-planète en équilibre radiatif-convectif couplé avec un modèle simplifié de couche océanique dont la température varie (slab). L'ensoleillement est uniforme et il n'y a pas de rotation.

Nous avons utilisé LMDZ-5A en configuration RCE-slab pour deux études différentes. Nous n'avons pas réalisé toutes les simulations prévues avec LMDZ6 pour des raisons techniques et car le groupe était proche d'avoir utilisé toutes les heures de calcul allouées lorsque nous aurions pu le faire, ce qui explique la sous-consommation relative.

2.2.1 Variabilité interne du système climatique en RCE-slab

Dans cette étude, nous avons utilisé la configuration RCE-slab pour étudier comment l'agrégation de la convection interagit avec la température de surface aux "courtes" échelles de temps. Nous avons mis en lumière que le couplage océan-atmosphère en RCE, et plus précisément l'interaction entre l'agrégation de la convection, les gradients de température de surface (SST) et la température moyenne (figure 1), génère une variabilité interne. Cette interaction est robuste puisqu'on la retrouve lorsque la concentration en CO₂ est doublée ou que la profondeur du slab varie (figure 2).

Cette étude a également montré que la durée des oscillations qui contrôlent cette variabilité interne dépend de la profondeur du slab. Pour des profondeurs de 50m ou 100m, la boucle de rétroaction ressemble à ce qui est observé dans des configurations AGCMs (avec continents, rotation et une répartition méridionale de l'ensoleillement), notamment la transition entre El Niño et La Niña, suggérant un potentiel rôle de l'agrégation de la convection dans la variabilité inter-annuelle tropicale et le développement des événements ENSO.

Ces résultats ont été publiés dans Coppin et al 2017.

2.2.2 Impact de l'agrégation sur le climat

Pour cette étude, nous avons réalisé des simulations RCE slab avec une concentration en CO₂ pré-industrielle ou doublée. Les gradients de SST sont soit présents, soit désactivés de façon à

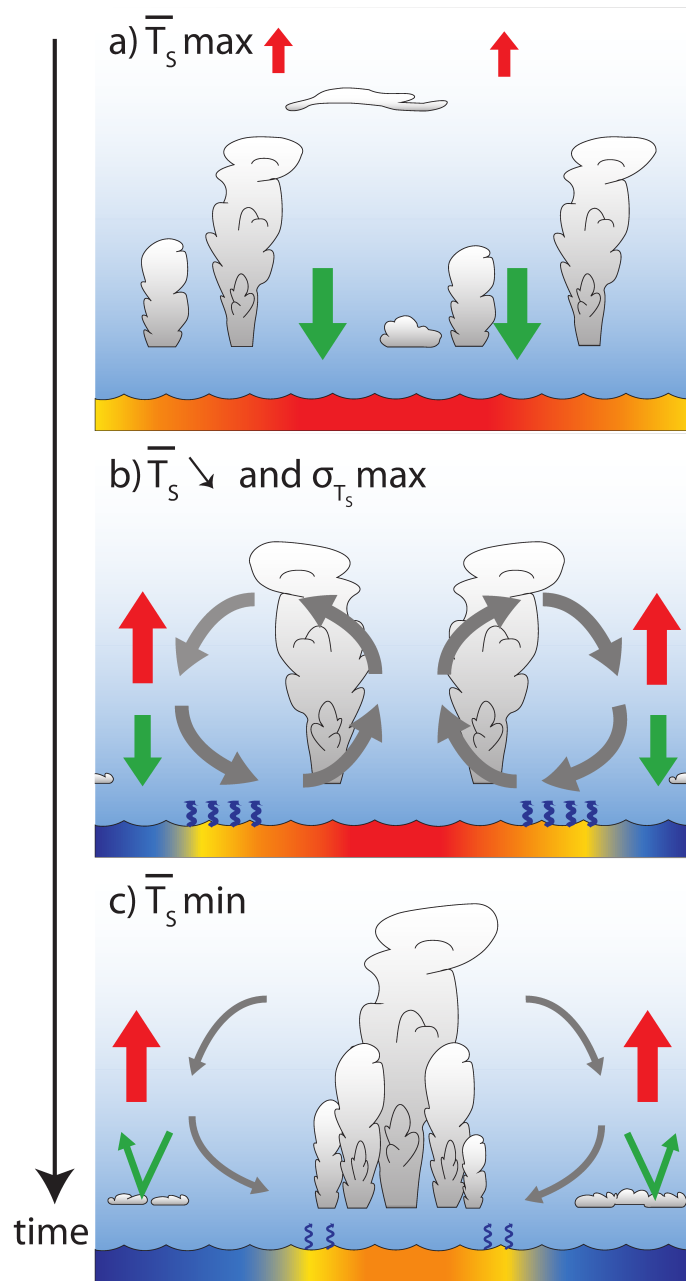


FIG. 1 – Boucle de rétroaction entre agrégation, gradients de SST et température de surface.

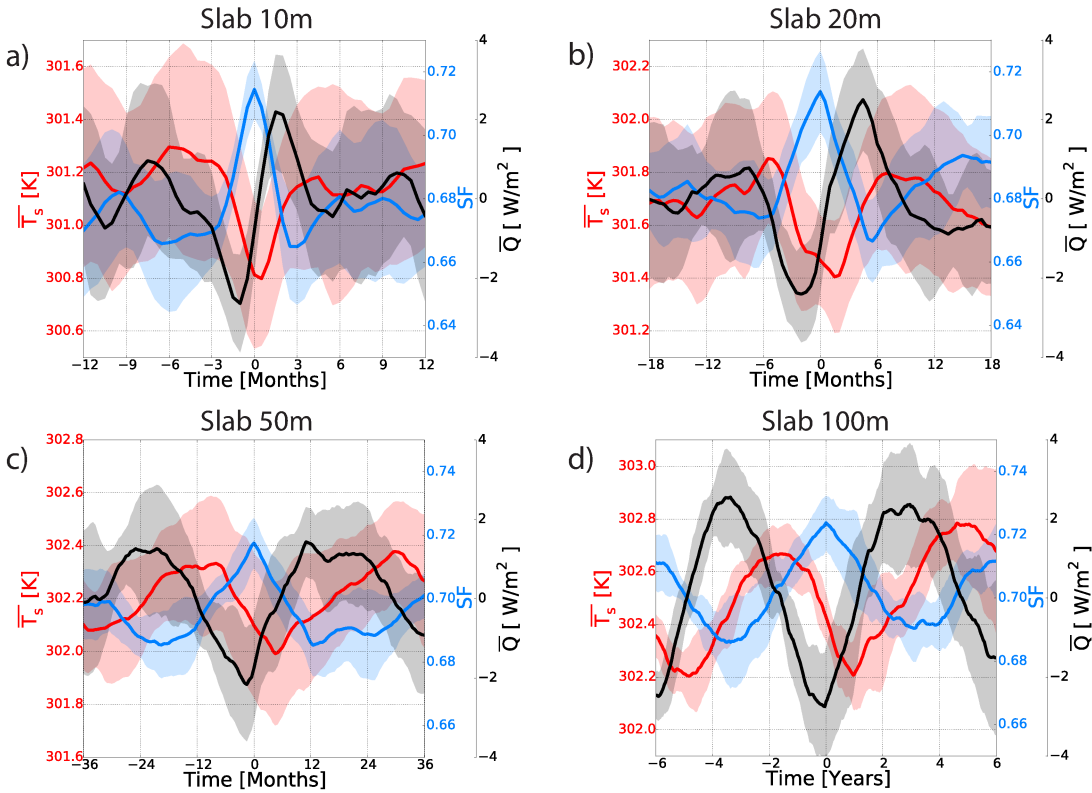


FIG. 2 – Dépendance de la durée de la boucle de rétroaction à la profondeur du slab.

détecter leur impact sur l'agrégation et la sensibilité climatique. Dans ce cas-là, la SST interactive peut évoluer mais de manière uniforme. Ceci nous donne un jeu de 4 simulations. Les simulations sans gradients atteignent très rapidement une agrégation maximale que les simulations avec gradients de SST n'auront jamais, même en doublant le CO₂, ce qui met en évidence une limitation de l'agrégation par les gradients de SST.

Les comportements individuels particuliers des simulations nous permettent d'isoler l'influence de l'agrégation et des gradients de SST sur le coefficient de rétroaction total λ (figure 3).

La valeur de l'indice d'agrégation n'a par exemple pas d'influence sur λ , de même que le doublement de CO₂. Seuls les changements d'agrégation qui surviennent au cours des simulations ont un effet refroidissant significatif (ils font baisser λ). À l'inverse, les gradients de SST constituent une très forte rétroaction positive.

L'étude de la simulation 1CO₂uni où les changements d'agrégation et de gradients de SST n'ont pas lieu en même temps (figure 4) nous permet aussi d'estimer la valeur minimale de la rétroaction associée aux changements d'agrégation : $-2.5 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Ainsi, si l'agrégation est la seule chose qui change lorsque le CO₂ est doublé, un petit changement d'agrégation pourrait avoir un impact très important sur la sensibilité climatique. Cependant, dans un système couplé avec l'océan où les températures de surface réagissent aux changements qui s'opèrent dans l'atmosphère, cet impact est sur-compensé par l'effet des gradients de SST et des nuages bas. Dans ce cas, la sensibilité climatique augmente alors même que l'agrégation de la convection augmente.

Enfin, cette étude avance que l'utilisation des simulations RCE avec SST fixe pour estimer la sensibilité climatique est biaisée par l'absence de prise en compte du couplage avec l'océan et aurait tendance à sur-estimer l'effet de l'agrégation.

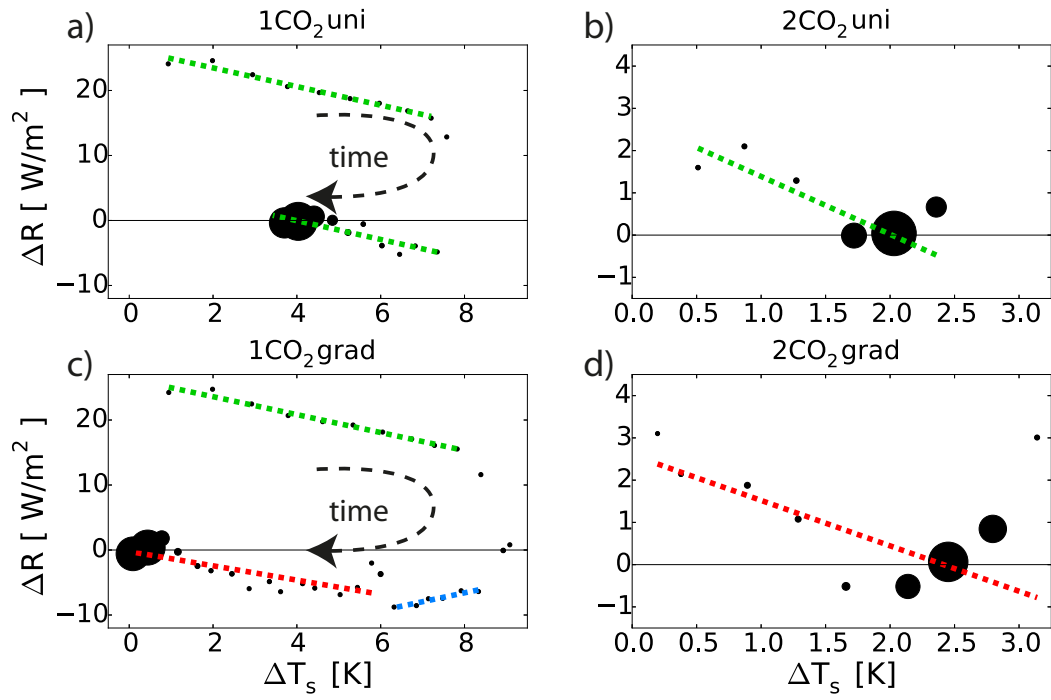


FIG. 3 – Changement radiatif net au sommet de l’atmosphère en fonction du changement de température de surface par rapport à l’équilibre avant perturbation dans les 4 simulations. Les traits pointillés de même couleur indiquent des pentes λ identiques.

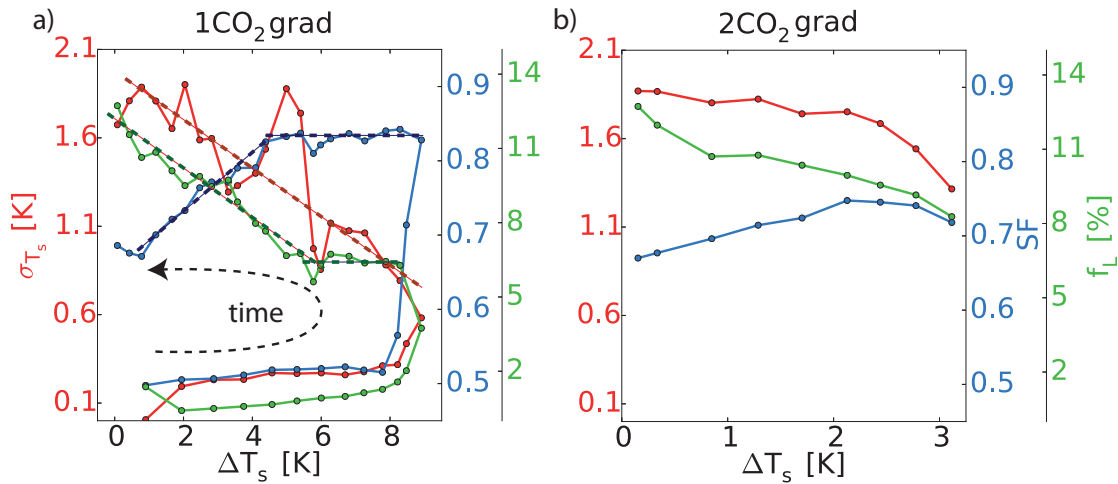


FIG. 4 – Changement radiatif net au sommet de l’atmosphère en fonction du changement de température de surface par rapport à l’équilibre avant perturbation dans les 4 simulations. Les traits pointillés de même couleur indiquent des pentes λ identiques.

Ces résultats font l'objet d'un article soumis prochainement à Geophysical Research Letters (Coppin et al en prep).

2.3 Influence des montagnes et de la stratosphère sur le climat

F. Lott, L. Guez, D. Cugnet, B. Ribstein (post-doc), et S. Mailler

Consommation : 679 000 heures CPU sur Ada

L'équipe « Dynamique et Physique de l'Atmosphère et de l'Océan » (DPAO), implantée à l'Ecole Normale Supérieure et à l'école Polytechnique, participe à l'amélioration des paramétrisations physiques du modèle LMDz et utilise ce modèle pour identifier les processus dynamiques fondamentaux qui contribuent à la variabilité du climat aux grandes échelles d'espace et de temps. Elle s'intéresse en particulier à l'effet de la stratosphère et à l'effet des montagnes.

Les résultats des articles (de la Camara et al. 2016a, b, Berner et al. 2017) relatant les bénéfices pour les modèles de climat des paramétrisations stochastiques des ondes de gravité non-orographiques (c'est à dire produites par la convection et les fronts) ont été décrits dans le rapport précédent.

2.3.1 Effet des montagnes

Nous avons commencé à analyser l'impact sur les ondes planétaires des modifications des paramètres contrôlant le frottement des montagnes d'échelles sous-maille. Les impacts sont importants, aux moyennes latitudes de l'hémisphère nord ils ressemblent beaucoup (en amplitude et en régionalisation) à la réponse aux anomalies de température de surface de la mer dues aux ENSO extrêmes. Ce travail est en cours, il illustre combien les erreurs systématiques d'un modèle peuvent affecter notre capacité à prédire la régionalisation du changement climatique (on considère en effet que les ENSO extrêmes actuels et de la période historique deviendront la norme dans le futur, c'est le thème du projet GOTHAM accepté au Belmont-Forum, financement ANR).

2.3.2 Effet de la stratosphère

Nous avons continué les expériences associées au programme international QBOi (Quasi-Biennial Oscillation initiative) et analysé comment la QBO dans le modèle LMDz se comporte par rapport aux autres modèles (Butchart et al. 2017). On constate que la proportion d'ondes de gravité non-orographique paramétrisées (Lott and Guez 2013, de la Camara and Lott 2015) est du même ordre de grandeur que dans les autres modèles (Figure 5). Nous voyons aussi que la QBO dans le modèle LMDz s'allonge fortement dans le cadre du changement climatique, un effet plus prononcé que dans les autres modèles. Une cause est peut-être que dans LMDz les ondes de gravité sont explicitement liées à leurs sources convectives, que celles ci changent lorsque le climat change, mais on ne peut exclure à l'heure actuelle que la QBO dans LMDz ne soit pas suffisamment robuste (par exemple qu'elle disparaisse lors de modifications relativement mineures du modèle).

Nous commençons aussi à tester des modification des paramétrisations des ondes de gravité non-orographiques, afin de les rendre plus réalistes lorsque on teste leurs impacts sur la propagation des infrasons (Cugnet et al. 2017, et programme Européen ARISE-2). Cela demande d'imposer des ondes de gravité avec des vitesses de phases plus courtes que dans le passé, une contrainte forte mais suggérée par d'autres évidences observationnelles (Plougonven et al. 2017). Le problème est que les ondes avec des vitesses de phase faibles sont fortement absorbées lorsqu'elles se propagent

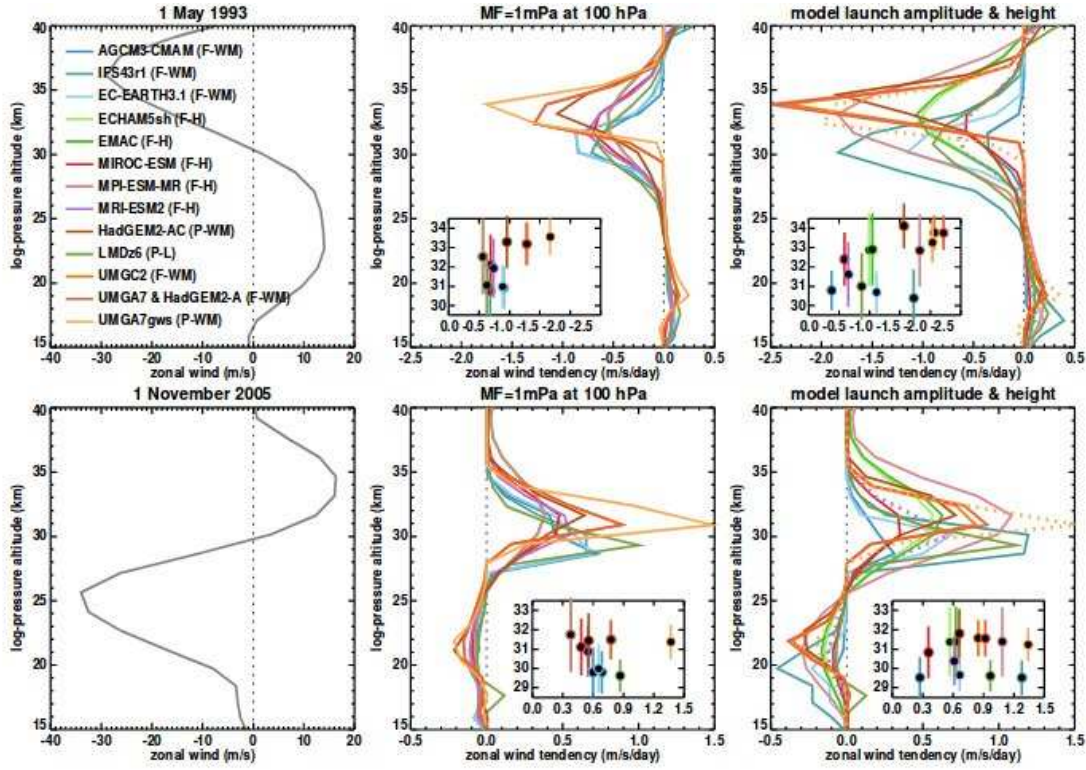


FIG. 5 – Profils verticaux des traînées dues aux ondes de gravité dans la stratosphère équatoriale en utilisant les schémas de paramétrisation opérationnels dans les différents modèles participant au programme SPARC-WRCP «QBO initiative". Pour rendre les courbes comparables, toutes les paramétrisations ont été lancées en mode «off-line» et pour un même profil de vents issu des ré-analyses ERAI. Les deux lignes correspondent à des phases différentes de la QBO (figures de gauche). Les figures au centre montrent les traînées lorsqu'on impose des ondes associées à un flux de quantité de mouvement fixe et égal à 1mPa à 100hPa. Les figures de droite montrent les flux opérationnels dans chacun des modèles. Figure issue de Butchart et al 2017.

verticalement. Cela les empêche en partie d'arriver jusqu'à la mésopause (environ 90km) ou elles sont nécessaires pour forcer la branche inter-hémisphérique de la circulation de Brewer-Dobson.

2.4 Paramétrisation de la convection et phénomènes tropicaux

Catherine Rio, Frédéric Hourdin, Jean-Yves Grandpeix, Jean-Philippe Duvel

Consommation : 40 000 heures CPU sur Ada

Le projet sur l'impact du schéma de convection sur les dépressions tropicales est à présent terminé, les résultats obtenus par les calculs des années précédentes ont maintenant été publiés (Duvet et al 2017).

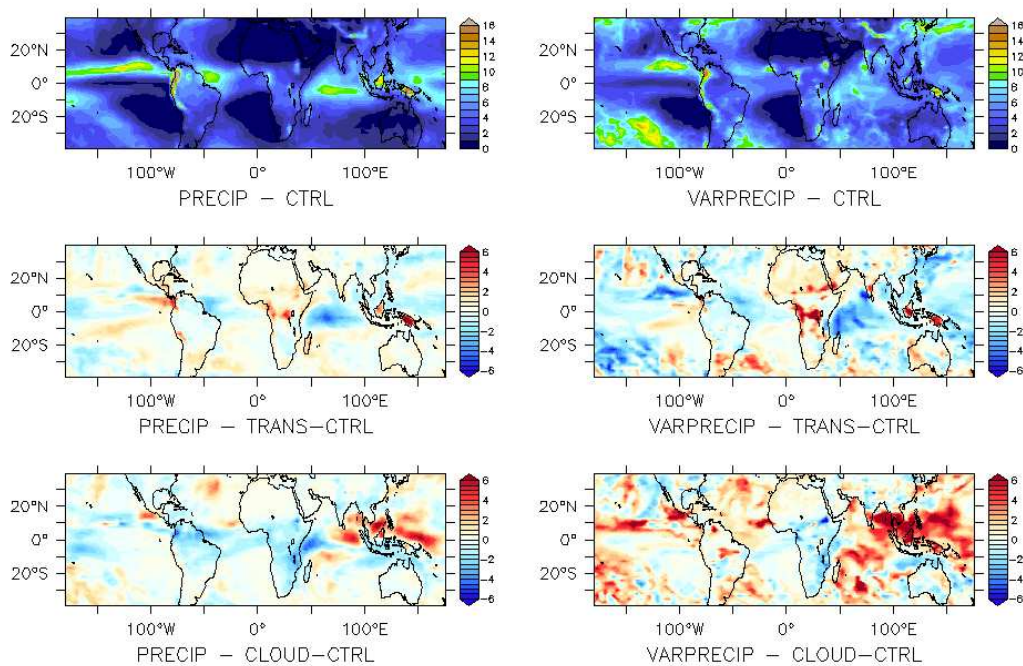


FIG. 6 – Moyenne (gauche) et variance (droite) des précipitations dans une simulation de référence du modèle LMDZ (en haut) et impact sur la moyenne et la variance des précipitations de l'augmentation de l'entraînement d'air à la base des nuages convectifs (simulation TRANS, milieu) et de l'augmentation de la fraction nuageuse moyenne associée à la convection profonde (simulation CLOUD, bas).

La plupart des heures consommées cette année concernent l'étude de l'impact du transport et des nuages convectifs sur la distribution et la variabilité des précipitations tropicales. Il s'agit de comprendre le rôle des processus physiques sous-maille (convection, nuages) sur la distribution et la variabilité des précipitations tropicales en parallèle du développement des versions successives du modèle LMDZ. Des tests ont d'abord été réalisés avec une version du modèle zoomée sur l'Afrique de l'Ouest et guidée à l'extérieur du domaine vers les vents des ré-analyses. Cette configuration permet d'étudier l'impact de la physique du modèle sur la pluie de mousson en Afrique de l'ouest sur des périodes relativement courtes (de l'ordre du mois). Cependant, il s'avère que les modifications du schéma de convection ont très souvent des impacts différents sur continent et océan. L'amélioration de la représentation des pluies de mousson en Afrique de l'Ouest en se basant sur ce type de configuration se fait donc souvent au détriment de la représentation des précipitations sur océan, à la fois pour leur intensité et leur variabilité. La version du modèle LMDZ en développement pour CMIP6 présentait donc une meilleure distribution des pluies de mousson que les versions précédentes, mais cela au détriment de la distribution spatiale et temporelle des précipitations sur l'ensemble de la bande tropicale. C'est pourquoi une deuxième série de tests a été réalisée à partir de simulations à grille régulière forcées en SST d'une durée de 3 ans, période suffisamment longue pour avoir une première estimation de l'impact des processus physiques sur la distribution spatiale, l'intensité et la variabilité des pluies tropicales.

Les développements testés concernent d'une part le transport vertical par le schéma de convection profonde (en augmentant le mélange à la base des nuages convectifs par exemple, simulation TRANS) et d'autre part la fraction nuageuse couverte par les nuages convectifs (en modifiant la distribution de l'eau utilisée pour diagnostiquer la fraction nuageuse par exemple, simulation CLOUD). Les résultats montrent que le transport vertical comme la fraction nuageuse impactent la distribution spatio-temporelle des précipitations dans les Tropiques (figure 6), de façon souvent contrastée entre différentes régions du globe. Par exemple, l'augmentation de l'entraînement d'air de la basse troposphère dans les tours convectives tend à augmenter les pluies et leur variabilité sur l'Afrique de l'Ouest et à les réduire sur l'Amazonie et l'océan Indien. Inversement, l'augmentation de la fraction couverte par les nuages convectifs dans la moyenne troposphère tend à réduire les pluies et leur variabilité sur l'Afrique de l'Ouest et à les augmenter sur le continent maritime. Ces résultats illustrent l'importance de tester les développements en global pour identifier et comprendre les mécanismes à l'oeuvre dans différentes régions du globe. Cependant, contrairement à l'approche zoomée guidée précédente, il serait nécessaire, pour valider les résultats, de refaire les simulations après ré-équilibrage des flux radiatifs au sommet de l'atmosphère.

2.5 Microphysique des nuages de froids

Consommation : 191 heures CPU sur Ada

2.5.1 Brumes et précipitations en Antarctique

Jean-Baptiste Madeleine, F. Lemonnier (thèse)

Nous avons consommé seulement 113 heures car nous n'avons pas encore lancé les simulations mentionnées dans la précédente demande mais seulement réalisé des tests préliminaires. L'objectif de la demande DARI 2017 était d'évaluer sur l'Antarctique des paramétrisations dans le modèle LMDz après les avoir développées et testées en 1D. Nous avons réalisé ces tests préliminaires 1D et sommes en train de valider le comportement en 3D sur les machines locales du LMD avec des petites

configurations du modèle LMDz (figure 7). Nous sommes donc prêts à réaliser les simulations 3D mentionnées dans la précédente demande, mais avons pris du retard.

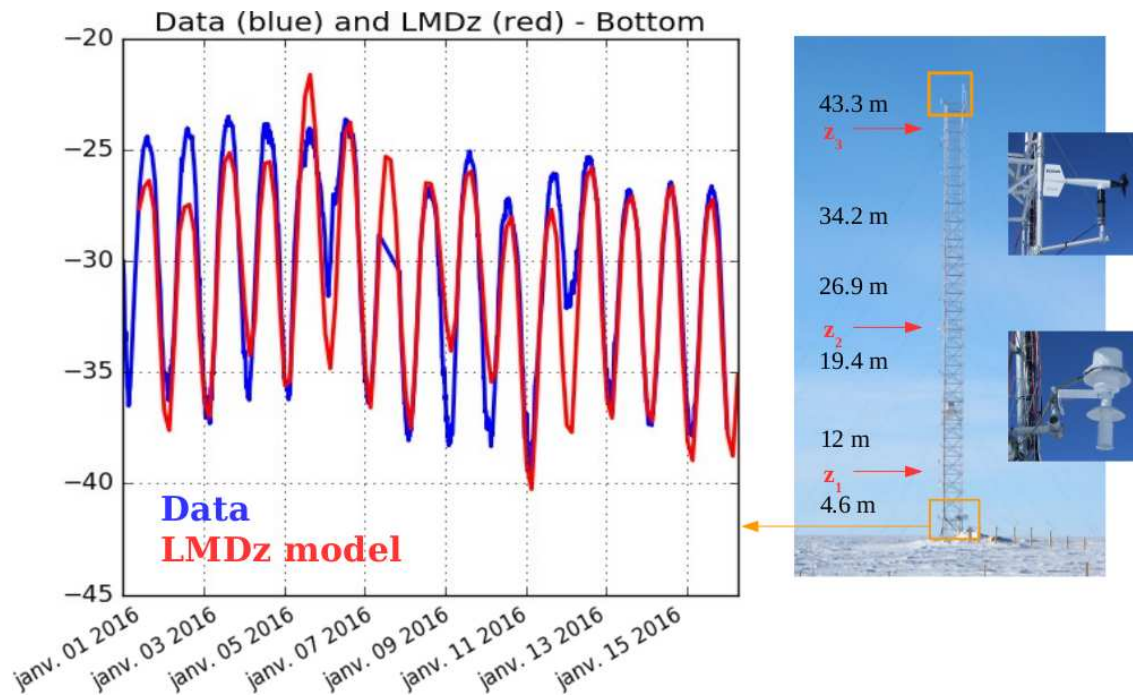


FIG. 7 – *Gauche* : Températures mesurées sur le mât de la base Concordia et modélisées. *Droite* : Mât de mesure.

2.5.2 Représentation des nuages hauts

Consommation : 191 heures CPU sur Ada

Marine Bonazzola

Les données AIRS et IASI ont récemment été utilisées pour construire des systèmes de nuages hauts en considérant la pression et l'émissivité des nuages adjacents. Les coeurs convectifs, les enclumes et les cirrus fins à l'intérieur de ces systèmes ont pu être identifiés par leur émissivité. Ceci a permis de relier la structure horizontale de l'enclume à l'intensité convective. Les systèmes convectifs présentent d'autant plus de cirrus fins qu'ils sont intenses.

Cette approche basée sur les systèmes de nuages hauts a été utilisée pour évaluer les systèmes nuageux de la haute troposphère dans LMDZ. Nous avons réalisé la comparaison des sorties du modèle avec les observations en utilisant notre simulateur AIRS, et nous avons adapté l'approche de systèmes nuageux à la résolution spatiale du modèle (144x142x79).

Nous avons montré que les proportions de cirrus fins, d'enclumes et de nuages opaques, la taille des systèmes convectifs, leur composition et en particulier la dépendance du rapport cirrus fins/enclumes à l'intensité de la convection, sont très sensibles à deux paramètres du modèle mal contraints par les observations : la vitesse de sédimentation des cristaux de glace et la fraction de condensat convectif detrainé. Ces paramètres sont habituellement utilisés pour "tuner" le système vers l'équilibre radiatif. Les nouveaux diagnostics utilisés permettent donc d'ajouter des contraintes sur ces paramètres et d'améliorer les propriétés des nuages hauts de LMDZ.

Ce travail fait l'objet d'un article en préparation (Stubenrauch et al).

2.5.3 Représentation des nuages bas Antarctique

M. Bonazzola

La fonte de la glace en Arctique affecte potentiellement la distribution des nuages en modifiant les flux de chaleur latente et sensible entre l'océan et l'atmosphère. Les observations lidar (CALIPSO) montrent davantage de nuages dans les régions nouvellement découvertes de glace en hiver et en automne, mais aucun changement en couverture nuageuse n'a été détecté en été. Ceci a une implication climatique, car l'albedo de la glace n'est pas remplacé par celui des nuages en été.

Un article est en préparation (Morrison et al).

3 Variabilité des températures en Atlantique tropical

Marta Martin del Rey (doctorante) et Alban Lazar

Consommation : 0 h CPU sur Ada

Le changement de poste de M. Martin del Rey (recrutée en 2017 en postdoc au CERFACS) a ralenti momentanément le projet et le plan de simulations prévues a été redéfini avec des objectifs modifiés.

Les simulations des années précédentes ont donné lieu à une publication (Martin-Rey et al 2018).

4 Evaluation, amélioration et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE

Le modèle de surface continentale ORCHIDEE est utilisé soit seul (offline), soit couplé avec LMDZ. On nomme LMDZOR la configuration couplée.

4.1 Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE

Josefine Ghattas

Consommation : 70 000 heures CPU sur Ada

Une batterie des tests automatiques a été mise en place pour vérifier les versions successives du modèle ORCHIDEE et assurer son bon fonctionnement sur le calculateur ada. Le modèle est testé avec les différents niveaux de compilation et différents nombre de tâche MPI pour détecter d'éventuelle erreurs introduites involontairement dans le code. Différentes configurations sont régulièrement lancées modèle pour tester les différents modes d'utilisations d'ORCHIDEE (forcé, couplé avec LMDZ avec plusieurs physiques en mode libre et en mode guidé). Ces tests ont été effectués régulièrement pour évaluer les différentes mises à jour et amélioration du modèle de surface.

4.2 Couplages surfaces continentales - atmosphère

F. Cheruy, A. Ducharne, L. Mellul, J.L. Dufresne, J. Ghattas, L. Fairhead, Y. Zhao

Consommation : 34 000 heures CPU sur Ada

4.2.1 Mieux comprendre les rétroactions humidité du sol température

Nous avons poursuivi l'analyse et publié les résultats montrant le rôle de l'inertie thermique sur la température de surface continentale et les rétroactions humidité du sol/température (Cheruy et al 2017).

D'autre part, nous avons réanalysé les expériences pour le projet d'inter-comparaison de modèles LS3MIP, qui combine LSMIP (Land Surface Model Intercomparison Project) et GLACE-CMIP (Global Land Atmosphere Coupling Experiment – Coupled Model Intercomparison Project). Pour cela, nous avons mis au point une méthodologie de guidage en adaptant au modèle multi-couche la méthode qui avait été mise au point avec le schéma hydrologique bi-couche. La possibilité de guider le manteau neigeux a également été introduite et testée. Nous avons travaillé maintenant à la comparaison des résultats des différents modèles.

4.2.2 Mieux comprendre les biais relevant du couplage surface continentales-atmosphère dans les modèles de climat et les corriger

Les simulations effectuées pour le projet CAUSES (Clouds above the United States and Errors at the Surface) ont été analysées et plusieurs articles rédigés (Morcrette et al en révision, Ma et al 2018, Van Weverberg en révision).

Les principaux résultats de cet exercice sont les suivants :

- Le biais en température présente un cycle diurne qui n'est pas commun à tous les modèles ;
- Ce biais s'étend verticalement et horizontalement : le site des grandes plaines semble donc représentatif d'une large région.
- La fraction évaporative et le rayonnement contribuent au biais.
- Le biais de rayonnement est associé aux nuages profonds de type convectifs (fig 8). Un des défauts principaux mis en évidence est le déficit de pluie provenant principalement d'un déficit de pluie nocturne (fig 9). La cause vient probablement de la difficulté à représenter la propagation des systèmes convectifs dans les GCM qui est à l'origine de nuages étendus verticalement absents de la plupart des simulations.

4.2.3 Évaluation des composantes du bilan d'énergie à la surface en lien avec les développements des paramétrisations de la physique atmosphérique et du modèle de surface sur le site du SIRTA

Nous avons installé une chaîne de comparaison en temps réel des simulations LMDZOR guidées aux observations des sites français du réseau ACTRIS, en particulier le SIRTA et la Météopole. La mise en place de cette chaîne demande d'effectuer des simulations préliminaires de mise à l'équilibre de quelques années qui ont été effectuées sur Ada. Nous avons montré que LMDZOR reproduisait correctement la vague de chaleur qui a sévit en France pendant l'été 2017. Néanmoins le modèle surestime significativement les flux sensibles alors que les flux latents sont raisonnables. Plusieurs voies sont actuellement explorées pour expliquer ces différences : non représentativité du site de mesure, défaut de la paramétrisation de la couche de surface, compensation d'un excès de rayonnement SW.

4.2.4 Prise en compte du freinage du vent par les bosquets

La résolution verticale actuellement adoptée dans LMDZ demande de revisiter les paramétrisations des interactions entre l'atmosphère et les caractéristiques de la surface (ville, forêts...). Une première étape dans cette direction est de prendre en compte le freinage du vent par les obstacles et l'accroissement de turbulence induit. En nous appuyant sur les travaux de [Masson and Seity, 2009],

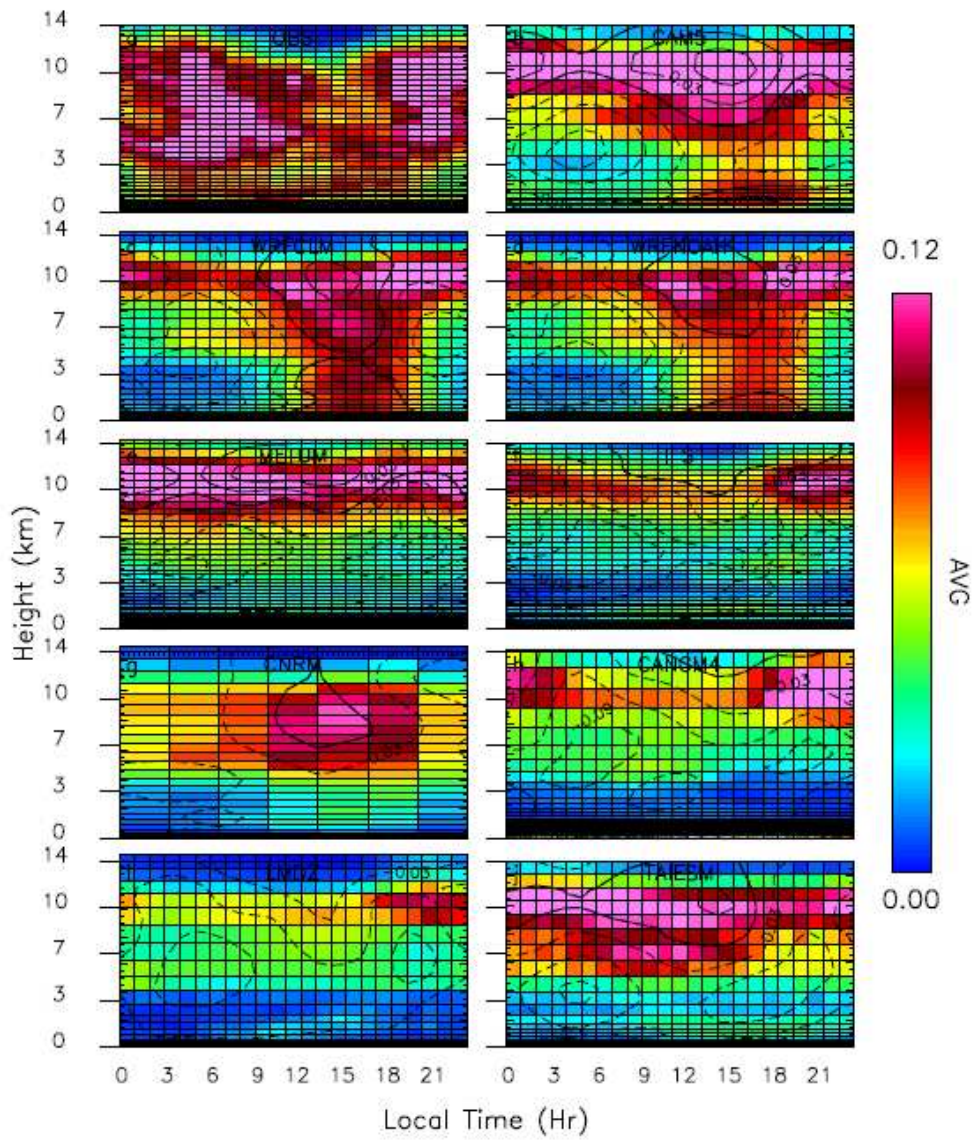


FIG. 8 – Cycle diurne moyen de la couverture nuageuse pendant la période Avril-Aout 2013 (en haut à gauche observé), les autres graphes correspondent aux simulations des modèles ayant participé à CAUSES.

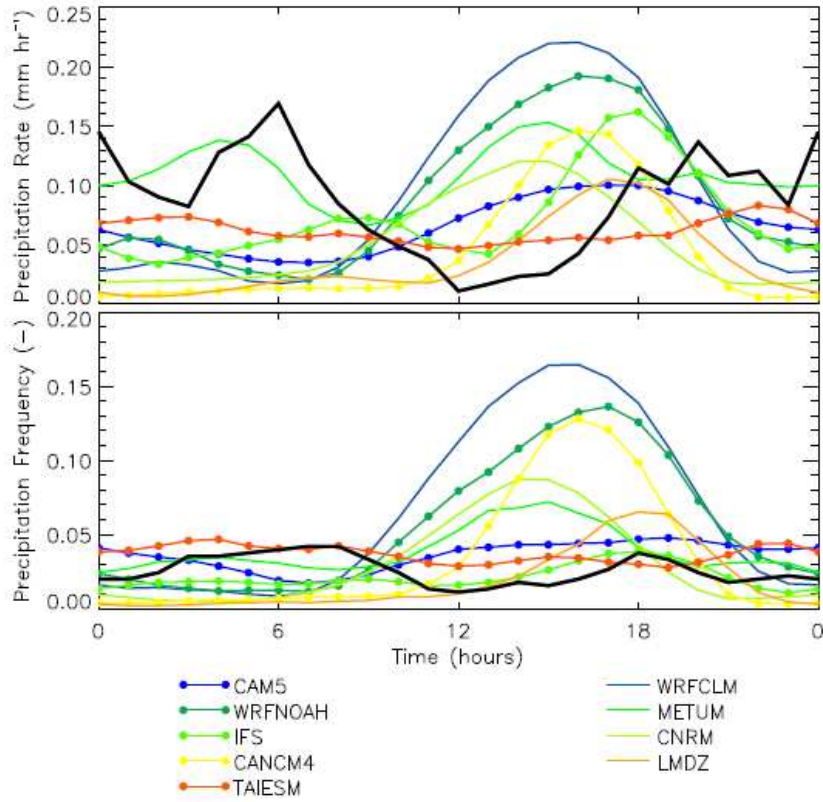


FIG. 9 – Cycle diurne moyen de la couverture nuageuse pendant la période Avril-Aout 2013 (en haut à gauche observé), les autres graphes correspondent aux simulations des modèles ayant participé à CAUSES.

nous avons introduit dans les équations d'évolution du modèle un terme de freinage calculé comme un effet de traînée liée aux obstacles, et pris en compte dans le schéma de diffusion turbulente l'énergie cinétique associée. Ces travaux se poursuivront dans l'année à venir.

4.3 Simulation des hautes latitudes et des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE

Matthieu Guimberteau, Philippe Ciais, Fabienne Maignan, Albert Jornet, Zun Yin
(post-doc)

Consommation : 30 000 heures CPU sur Ada

L'utilisation des ressources allouées par les machines de l'IDRIS a permis de mener à bien plusieurs études dans des domaines de recherche très différents, valorisées par 7 publications. Quatre d'entre elles ont été réalisées dans le cadre du projet European Research Council Synergy grant ERC-2013-SyG-610028 IMBALANCE-P.

4.3.1 Evaluation et validation du modèle haute-latitude ORCHIDEE-MICT

Une meilleure représentation des projections de la transformation future des écosystèmes arctiques et boréaux nécessite l'amélioration des modèles de surface continentale qui intègrent les processus propres à ces biomes froids. C'est pourquoi, nous avons intégré de nouvelles paramétrisations dans le modèle ORCHIDEE afin de décrire les interactions entre le carbone du sol, la température du sol et l'hydrologie, et les rétroactions qui en résultent sur l'eau et les flux de CO₂. Les développements clés du modèle ORCHIDEE-MICT incluent les effets de rétroaction de la concentration de carbone organique du sol sur la dynamique thermique et hydrique du sol. Étant donné que la physique du sol, affectée par le carbone organique du sol, modifie les composantes aériennes et souterraines du cycle du carbone, ainsi que la transpiration des plantes par contrainte hydraulique, on peut s'attendre à des effets indirects complexes sur les bilans énergétiques, hydriques et de carbone. Les principaux résultats du modèle évalués sont (i) les gradients de température entre l'atmosphère et les sols profonds, (ii) les composantes hydrologiques des grands bassins versants arctiques (Figure 10b), et (iii) les observations du flux de CO₂ et des stocks de carbone.

Le modèle représente raisonnablement l'épaisseur de la couche active du pergélisol, son étendue (Figure 11) et les stocks et profils de carbone. De plus, nous avons montré que les composantes simulées du bilan hydrique et leur transition saisonnière entre le stockage en saison froide, surtout sous forme solide, et la perte en saison chaude sont comparables aux observations. Le modèle représente la saisonnalité des débits des grands bassins arctiques de manière plus ou moins satisfaisante selon le forçage météorologique utilisé (CRUNCEP ou GSWP3) (Figure 12).

Ce travail a donné lieu à une publication (Guimberteau et al., 2018), une autre a été soumise (Yin et al).

4.3.2 Représentation du cycle du phosphore dans le modèle ORCHIDEE

Le cycle du phosphore terrestre a été implémenté dans le modèle ORCHIDEE en suivant les principes développés précédemment pour l'introduction du cycle de l'azote dans ORCHIDEE. Il s'agit du premier modèle global de phosphore qui simule explicitement l'absorption du phosphore dissous par les racines en tenant compte des effets de l'humidité du sol sur la mobilité du phosphore. Le modèle a été évalué à partir des données d'une expérience de fertilisation à long terme dans une

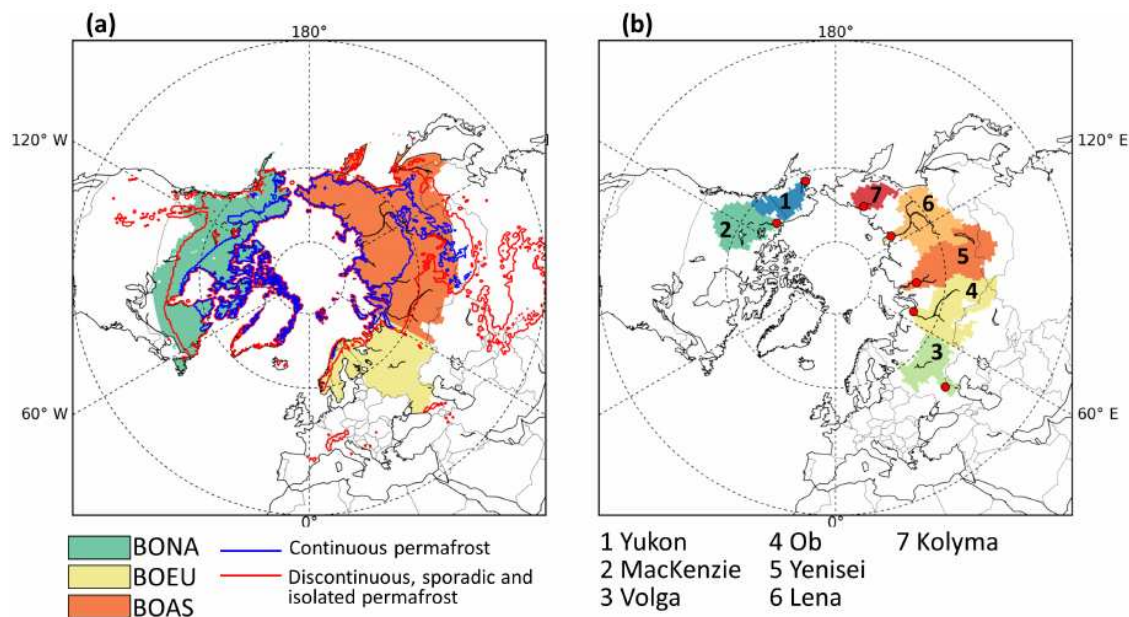


FIG. 10 – (a) Les trois sous-régions boréales utilisées dans cette étude : l’Amérique du Nord boréale (BONA), l’Europe boréale (BOEU) et l’Asie boréale (BOAS). Les lignes bleues et rouges indiquent, respectivement, l’étendue du pergélisol continu et toutes les catégories de pergélisol, selon la carte du pergélisol de l’IPA. (b) Les sept bassins arctiques sélectionnés pour cette étude avec les stations de mesures (cercles rouges sur la carte).

chronoséquence de formation du sol à Hawaï. Le modèle reproduit les différentes sensibilités de la productivité primaire nette à l’ajout d’éléments nutritifs entre les deux sites d’Hawaï (Figure 13). Le modèle reproduit les différences entre l’indice de surface foliaire (LAI) et la productivité au niveau des feuilles suite à l’atténuation du stress causé par l’azote et le phosphore. Comme nous avons prescrit une paramétrisation commune à tous les processus biologiques pour les deux sites, la réponse contrastée de la végétation à l’ajout d’éléments nutritifs entre les sites est le résultat des différences dans les caractéristiques physico-chimiques du sol.

Ce travail a donné lieu à 2 publications (Sun et al 2017 et Goll et al., 2017).

4.3.3 Représentation du transport fluvial de carbone organique dissous dans le modèle ORCHIDEE

Le transport fluvial du carbone organique dissous (DOC) et du CO₂ a été implémenté dans ORCHIDEE afin de représenter la production de DOC à partir de la végétation et des sols, le lessivage du DOC et du CO₂ des sols vers les cours d’eau, la décomposition du DOC et l’évasion du CO₂ dans l’atmosphère lors de son transport latéral dans les cours d’eau, ainsi que l’échange avec les stocks de carbone du sol et de litière dans les plaines inondables et les marécages. Nous avons paramétré et validé le modèle pour le bassin amazonien. Le modèle reproduit les flux terrestres et aquatiques observés de DOC et de CO₂ dans le bassin amazonien, aussi bien en valeurs moyennes qu’en saisonnalité. De plus, le modèle résout la variabilité spatio-temporelle des flux de carbone le long du continuum végétation-sol-eau à une résolution spatiale de 1 degré et quantifie les différentes contributions terrestres aux flux de carbone aquatiques.

Ce travail a donné lieu à une publication (Lauerwald et al., 2017)

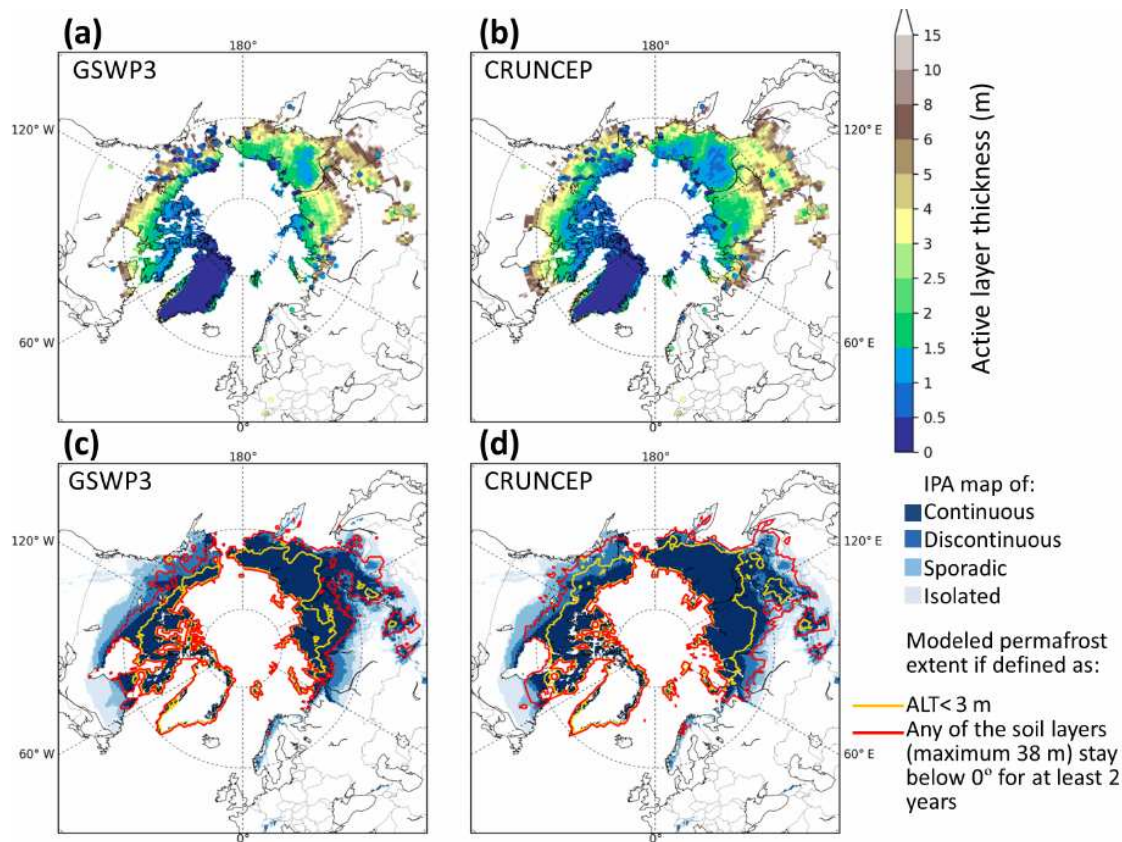


FIG. 11 – Épaisseur de la couche active du pergélisol (ALT en m) obtenue à partir des simulations forcées avec (a) GSWP3 et (b) CRUNCEP (cartes d'arrière-plan) comparée à la moyenne de l'ALT observée dans le réseau CALM (cercles colorés), pour la période 1990-2007. Étendue du pergélisol à partir des simulations forcées avec (c) GSWP3 et (d) CRUNCEP selon deux définitions différentes (lignes jaunes et rouges) sur la carte du pergélisol de l'IPA.

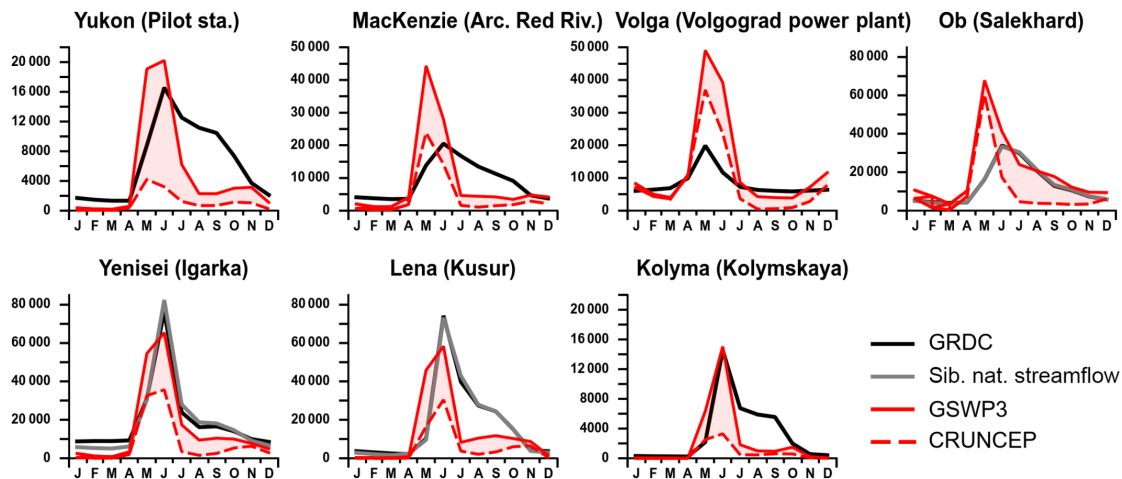


FIG. 12 – Débit moyen saisonnier ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) près de l'embouchure des 7 fleuves arctiques, simulé avec les deux forçages météorologiques et comparé aux données observées (GRDC) et naturalisées. Moyenne calculée sur la période 1981-2007.

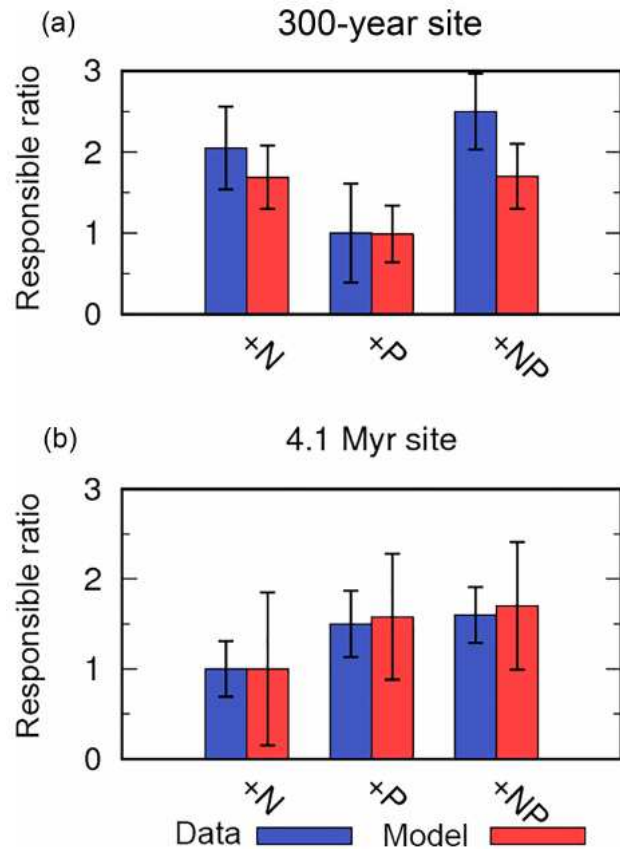


FIG. 13 – Comparaison des réponses simulées et observées de la production primaire nette à la fertilisation du site de 300 ans (a) et de l'ancien site de 4,1 millions d'années (b) le long de la chronoséquence d'Hawaï. Le ratio de réponse est la production végétale mesurée ou modélisée lors d'un traitement d'engrais divisée par sa valeur dans des conditions non fertilisées. Les barres représentent l'incertitude de mesure et la variabilité annuelle.

4.4 Développement de RegIPSL

Jan Polcher

Consommation : 6 000 heures CPU sur Ada

En attendant d’avoir un compte sur le projet iron, des heures ont été utilisées pour le développement du modèle régional RegIPSL, qui couple le modèle atmosphérique méso-échelle WRF, ORCHIDEE et NEMO, ainsi que tout l’environnement de calcul IPSL (XIOS et libIGCM). Ce modèle permettra d’étudier les interactions surface continentales-atmosphère à l’échelle régionale.

4.5 Influence du temps de résidence des eaux souterraines sur les débits simulés

Ana Schneider, Agnès Ducharne, Anne Jost (METIS/IPSL)

Consommation : 16 000 h CPU sur Ada

Le but est ici de mieux décrire le déphasage entre le drainage produit à la base des sols et le retour des eaux souterraines aux cours d’eau (aussi appelé débit de base). Ce retard est induit par le passage dans un réservoir linéaire qui fait partie du module de routage d’ORCHIDEE, dont l’effet est modulé par une constante de temps τ_G (ou temps de résidence). Pendant sa thèse, Ana Schneider a utilisé l’équation de Boussinesq (approximation classique de l’expression des écoulements souterrains en milieu poreux) pour calculer spatialement τ_G dans toutes les mailles ORCHIDEE à partir des paramètres d’entrée disponibles à l’échelle globale (densité de drainage de [Schneider et al., 2017], porosité, conductivité hydraulique). Les hypothèses les plus courantes sur l’épaisseur des aquifères et leurs propriétés donnent des constantes beaucoup plus importantes que les estimations faites à partir d’analyses de récession dans de petits bassins versants. Ceci nous a conduit à considérer des hypothèses alternatives sur la géométrie des aquifères et leur anisotropie, donnant des constantes de temps plus faibles et a priori plus réalistes.

Pour tester l’influence de ces différents jeux de τ_G sur les débits simulés, nous avons réalisé des simulations avec le modèle ORCHIDEE en mode forcé. Chaque simulation couvre une période de 32 ans (1979-2010) avec un forçage météorologique à 0.5° . La Figure 1 montre que ces tests restent décevants puisque les trois jeux de τ_G déduits de l’équation de Boussinesq (τ_1) donnent des débits trop lissés par rapport à la valeur initiale utilisée dans le modèle ORCHIDEE (τ_{ORC} et même trois fois cette valeur $\tau_{ORC \times 3}$).

Ce travail est rapporté dans la thèse d’Ana Schneider (Schneider 2017) et un article est en préparation (Schneider et al).

5 Isotopes de l’eau

Les isotopes stables de l’eau (HDO , $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$) peuvent être utilisés pour mieux comprendre les processus hydrologiques et atmosphériques et mieux évaluer leur représentation dans les modèles de climat. Ils sont implémentés dans le modèle LMDZ depuis 2008.

5.1 Développements techniques

Camille Risi

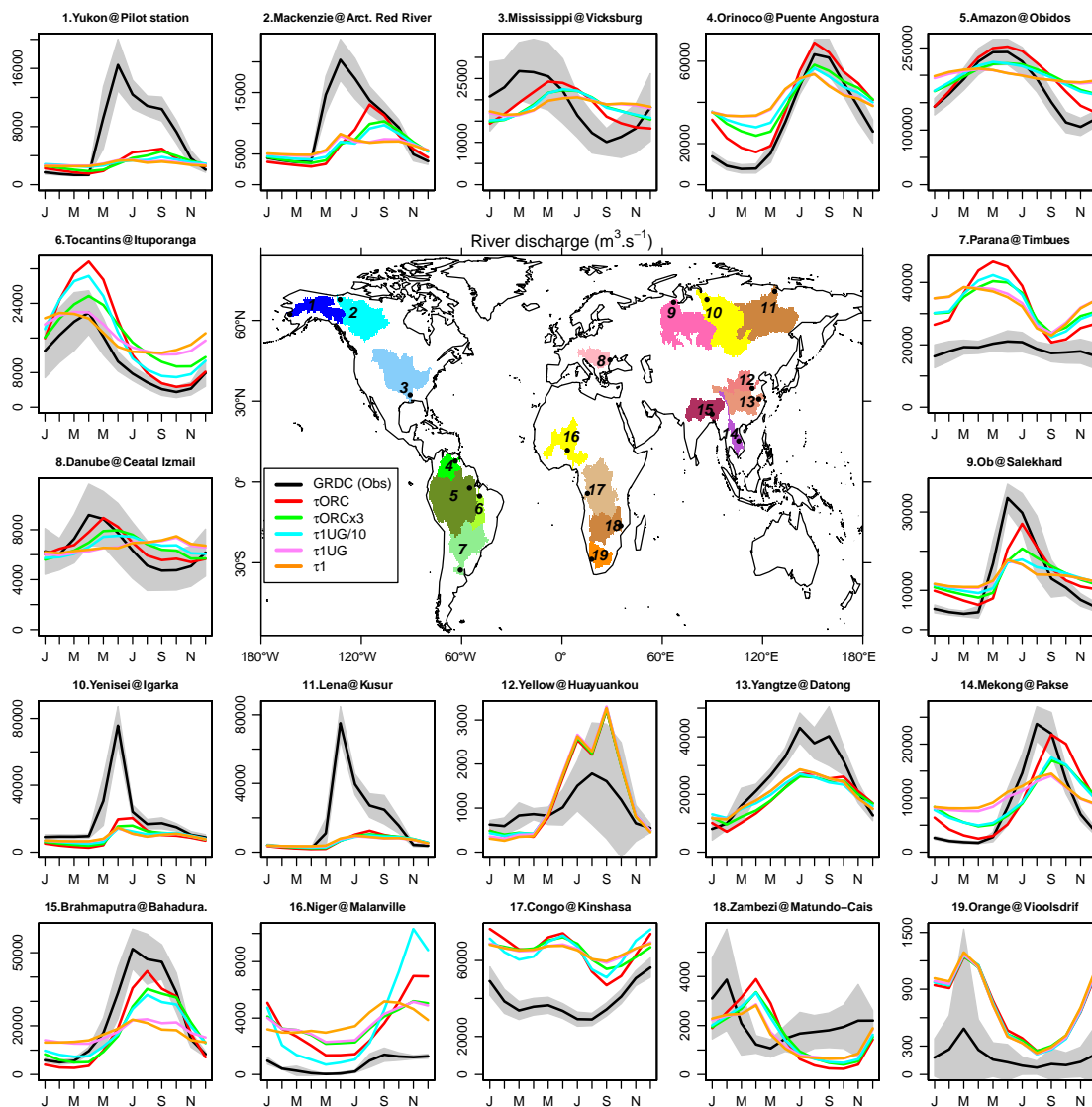


FIG. 14 – Comparaison des débits observés (données GRDC) en 18 grands bassins versants du globe et des débits simulés par ORCHIDEE avec 5 jeux de valeurs différentes pour la constante de temps τ_G du débit de base (en couleur). Les moyennes sont calculées sur la période 1985-2010 et les enveloppes grises autour des débits observés moyens correspondent à +/- un écart-type.

Consommation : 5 000 heures CPU sur Ada

Dans le cadre de la thèse d’Hayoung Bong au LSCE, il est prévu d’implémenter les isotopes de l’eau dans le modèle couplé de l’IPSL. Pour la composante atmosphérique, c’est la version LMDZ5A2 de LMDZ qui a été choisie. Une partie importante de mon travail de l’année a donc été consacré à l’implémentation des isotopes dans LMDZ5A2. A cette occasion, toutes les routines isotopiques ont toutes été traduites en fortran 90 et la structure modulaire a été adoptée. Les isotopes dans la physique ont été connectés avec les isotopes de la dynamique parallèle à mémoire réduite (dyn3dmem). LMDZ5A2 avec isotopes tournent maintenant dans la plupart des cas mais quelques plantages persistent encore.

5.2 Cycle du Tritium et effet des essais nucléaires

Alexandre Cauquoin (post-doc), Camille Risi

Consommation : 41 00 heures CPU sur Ada

Le tritium, sous sa forme HTO, est produit naturellement par l’interaction des radiations cosmiques avec la haute atmosphère. En plus de cela, de grandes quantités de tritium provenant des séries de tests nucléaires durant les années 1950-60 ont également été injectées dans l’atmosphère. Le cycle du tritium avait été implémenté par Alexandre Cauquoin dans LMDZ-iso ([Cauquoin et al., 2015]). Son article sur la simulation de l’évolution du tritium suite aux essais nucléaires a maintenant été publié (Cauquoin et al 2016).

Au cours de cette étude, nous nous sommes rendus compte du fort impact du schéma d’advection sur la simulation des différentes espèces isotopiques. C’est pourquoi cette année, nous nous sommes intéressés plus en détail à cet impact, en réalisant des simulations avec différents schémas d’advection et différentes résolutions (figure 15). Les résultats ont été soumis (Cauquoin et al, soumis). Refusé pour des raisons de ligne éditoriale, nous révisons le papier en incluant des implications paléoclimatiques en vue d’une soumission à Earth Planet. Sci. Lett., en réalisant de nouvelles simulations de sensibilité au schéma d’advection pour des conditions paléo-climatiques.

5.3 Processus nuageux, applications paléo-climatiques et régionales

Camille Risi

Consommation : 31 000 heures CPU sur Ada

5.3.1 Facteurs contrôlant la qualité de la simulation de la MJO

Dans le cadre du projet ANR CONV-ISO, nous essayons d’identifier des facteurs déterminant la capacité d’un modèle à bien simuler la MJO (Madden-Julian Oscillation, premier mode de variabilité intra-saisonnière de l’atmosphère tropicale), et de faire le lien avec d’une part la représentation des processus physiques et nuageux par le biais des paramétrisations physique, et d’autre part avec la simulation de la composition isotopique de la vapeur d’eau. Pour cela, nous avons réalisé des simulations de sensibilité avec LMDZ5B dans une hiérarchie de configuration : libres, guidées et hindcasts (LMDZ est guidé jusqu’à une certaine date, puis laissé libre).

L’analyse de ces simulations ont fait l’objet de 4 stages de L3 et M1 (E. Tribes, R. Uhtakamar, A. Vaunat et J. Bres). Une publication est en préparation. Les principaux résultats sont :

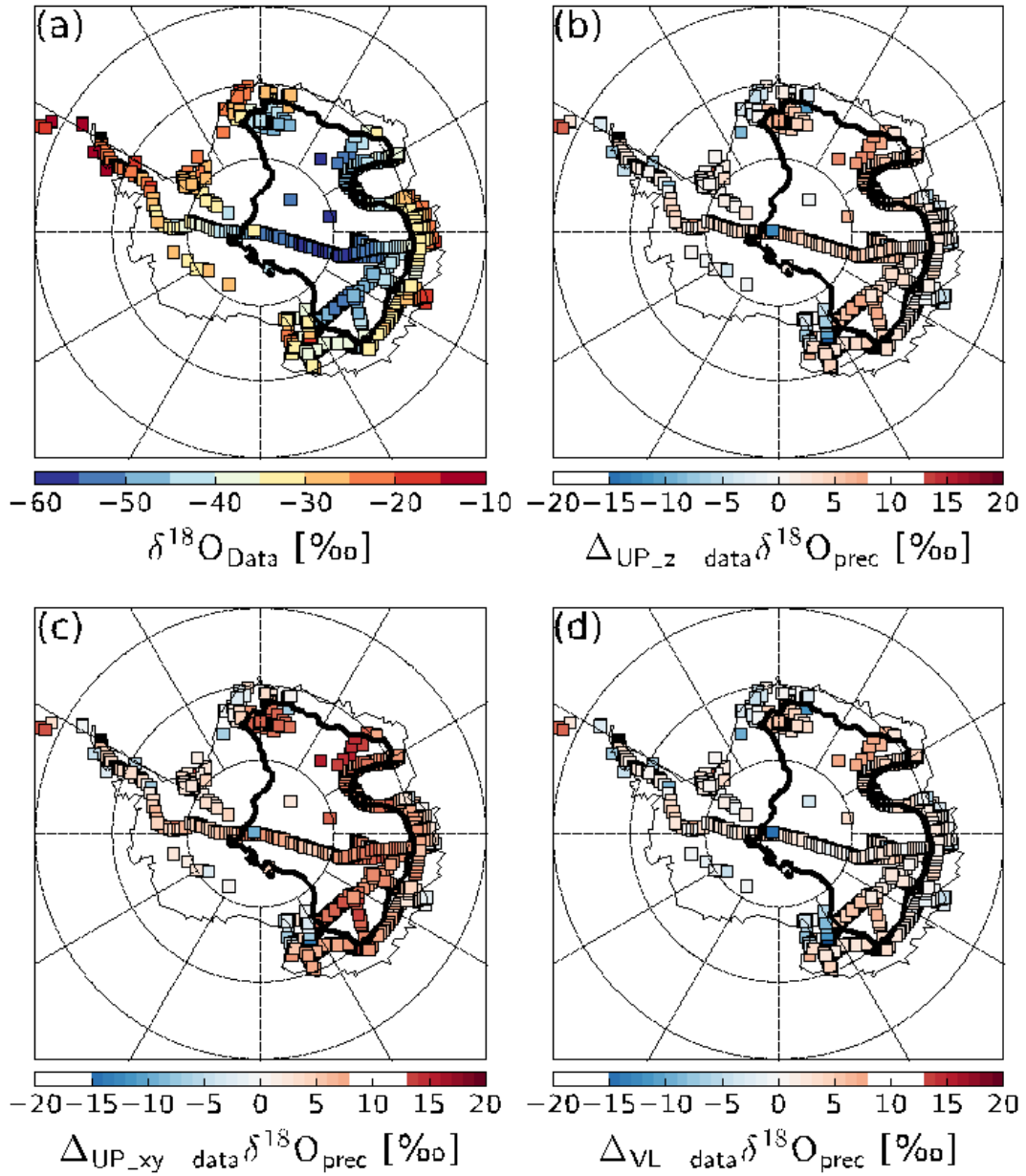
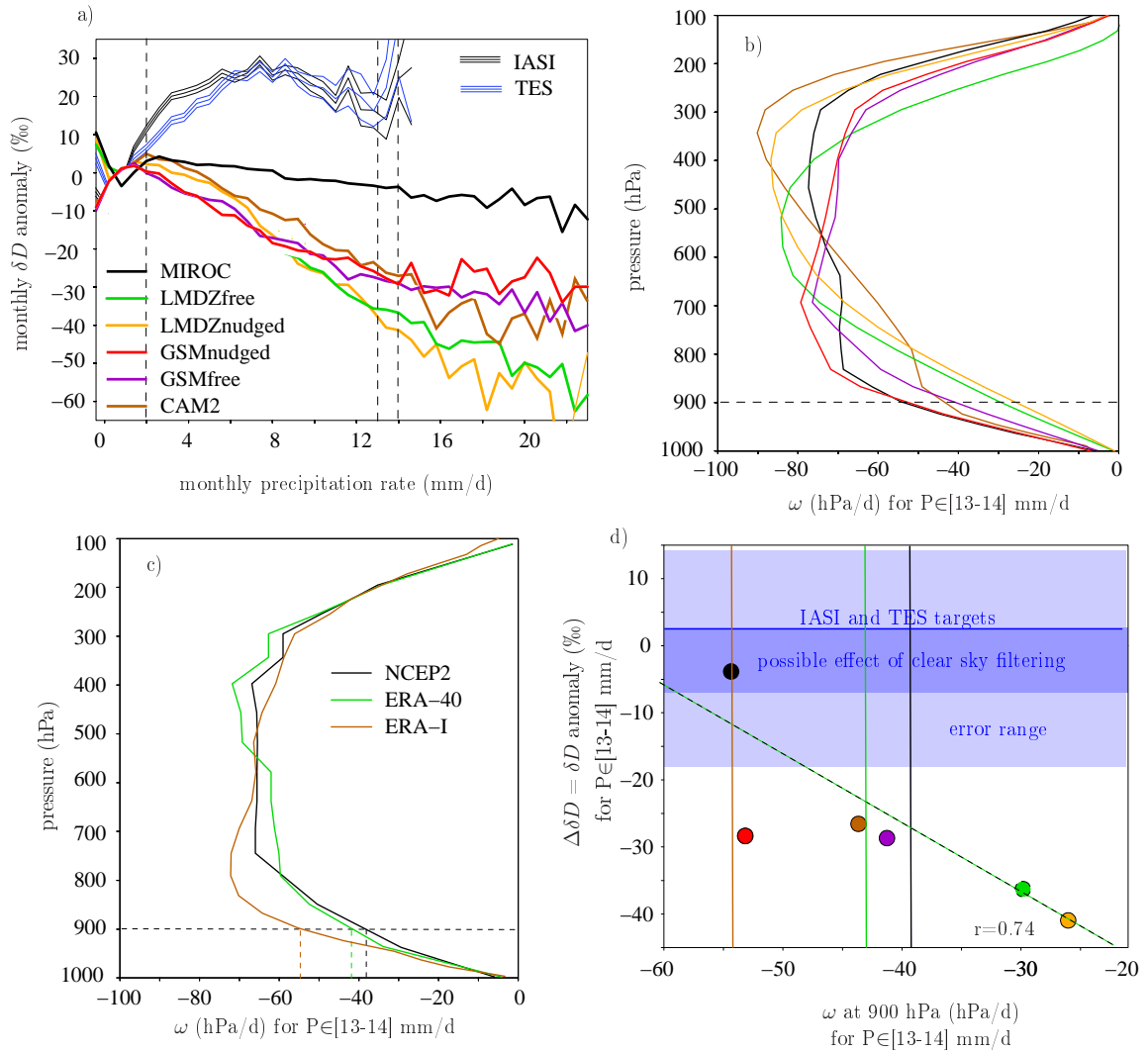


Figure 15: Influence du schéma d'advection sur la distribution en $H_2^{18}O$ (mesurée par le $\delta^{18}O$). (a) Distribution observée du $\delta^{18}O$ en Antarctique. (b) Distribution simulée par LMDZ avec un schéma d'advection plus diffusif sur la verticale. (c) Distribution simulée par LMDZ avec un schéma d'advection plus diffusif sur l'horizontale. (d) Distribution simulée par LMDZ avec le schéma d'advection standard. Les résultats montrent qu'un schéma d'advection trop diffusif sur l'horizontal conduit à des valeurs de $\delta^{18}O$ trop riches sur l'Antarctique.

- Le comportement d'une version de modèle se reconnaît dans toutes les configurations
Parmi les tests de sensibilité, une des versions simule la MJO mieux que les autres. En comparant les différentes versions de modèle en configuration libre, guidée ou hindcast, on montre que le comportement d'une version se reconnaît bien dans toutes les configurations. La hiérarchie de configurations mise en place est donc un outil d'analyse très utile.
- La variabilité intra-saisonnière est d'autant plus forte que la convection profonde est défavorisée :
En comparant les différentes versions dans différentes configurations et en analysant les bilans d'énergie statique humide, on montre que la variabilité intra-saisonnière des précipitations est d'autant plus forte que la convection profonde est défavorisée au profit de la condensation de grande échelle. Cela permet des humidités plus fortes dans les basses couches et donc plus de précipitation lorsque le contexte dynamique devient ascendant. Ensuite, des rétroactions physique/dynamique et radiatives amplifient cet effet. L'importance de la relation précipitation-humidité et des rétroactions radiatives est cohérente avec des études récentes ([Kim et al., 2014b, Kim et al., 2015]).
- La propagation de la MJO est un problème indépendant de l'amplitude de la variabilité intra-saisonnière :
De nombreuses études dans la littérature suggèrent que pour améliorer la MJO, il faut amplifier la variabilité intra-saisonnière, par exemple en favorisant le pré-conditionnement de l'atmosphère par convection peu profonde ou en amplifiant les rétroactions radiatives. C'est une condition nécessaire mais pas suffisante. Dans nos tests de sensibilité, ce sont même 2 choses indépendantes. En analysant les bilans d'énergie statique humide, nous montrons que l'advection horizontale a un rôle crucial dans la propagation, ce qui est cohérent avec [Kim et al., 2014a].

5.3.2 Impact de la profondeur de la convection sur la composition isotopique de la vapeur d'eau

Dans la moyenne et basse troposphère, la vapeur est généralement d'autant plus appauvrie que la convection est intense. Cet effet est connu depuis longtemps. Nous avons montré que l'intensité de la convection n'est pas le seul facteur. En particulier, la profondeur de la convection, qu'on peut quantifier par le profil de dégagement de chaleur latente ([Lacour et al., 2017]) ou par le profil de vitesse verticale de grande échelle, a aussi un impact. Plus la convection est profonde, plus elle appauvrit efficacement la vapeur. Au contraire, quand la convection est peu profonde, elle appauvrit moins efficacement la vapeur, voire l'enrichit dans la moyenne troposphère. Nous avons constaté cet effet à la fois dans les observations satellitaires (TES, IASI) et dans tous les GCMs isotopiques du projet d'intercomparaison SWING2. Une 1ère implication de cette propriété est que les observations satellitaires peuvent permettre de contraindre la capacité des GCMs à simuler la bonne proportion du mélange qui se fait par la convection peu profonde et profonde (figure 16). Or cette proportion a été suggérée comme un facteur déterminant la sensibilité climatique simulée par les modèles de climat ([Sherwood et al., 2014]). Une 2e implication, qui reste encore à explorer concrètement, concerne les conséquences sur la MJO. Il a été suggéré que la forme du profil de dégagement de chaleur latente était un facteur clé contrôlant pour la propagation de la MJO ([Lin et al., 2004]). Cette étude fait l'objet d'un article soumis à *Geophys. Res. Lett.*



a) Anomalies mensuelles du δD de la vapeur d'eau à 600hPa simulatées par les différents modèles SWING2, en fonction du taux de précipitation mensuel, sur océans tropicaux. On voit que la vapeur est d'autant plus appauvrie que la convection est intense, un effet appelé « amount effect ». L'amplitude de cet effet dépend fortement du modèle. Les observations TES et IASI montrent un amount effect plus faible que dans les modèles.

b) Profils verticaux de la vitesse verticale de grande échelle, $\omega(z)$, en moyenne sur les régimes de forte précipitation (précip mensuelle entre 13 et 14 mm/j), pour les différents modèles SWING2 models.

c) Amplitude de l'amount effect, quantifiée par la différence de δD entre les régimes de forte ([13-14mm/d) et de faible ([0-2]mm/d) précipitations, en mélange de l'intensité du mélange peu profond, quantifié par la vitesse verticale de grande échelle à 900 hPa. On voit que les modèles qui ont l'amount effect le plus négatif sont ceux qui ont le mélange peu profond le moins intense. La barre noire verticale montre la valeur des réanalyses. La ligne horizontale bleue montre les valeurs observées par IASI et TES. Les zones bleutées montrent les valeurs que la réalité peut prendre compte tenu des incertitudes et de possibles erreurs. On voit que les modèles sous-estiment l'amount effect, ce qui suggère qu'ils sous-estiment le mélange peu profond.

5.3.3 Applications paléo-climatiques et régionales

Plusieurs simulations ont été réalisées dans le cadre de collaborations. Par exemple, dans le cadre d'une collaboration avec Zhongfang Liu de l'Université de Shanghai, des simulations guidées couplées à un modèle de slab océanique ont été réalisées afin d'étudier la réponse de la glace de mer au forçage atmosphérique. L'exploitation de ces simulations est en cours.

L'exploitation scientifique des simulations prend souvent plusieurs années et des simulations réalisées lors des allocations précédentes ont ainsi été valorisées dans plusieurs articles.

- Lavergne et al 2017 utilise les sorties de LMDZ-iso pour étudier les processus contrôlant les variations de la composition isotopique de la cellulose des arbres.
- Lora et al 2017 utilise des simulations isotopiques paléo-climatiques pour étudier les rivières atmosphériques au dernier maximum glaciaire.
- Steen-Larsen compare LMDZ-iso à plusieurs autres modèles isotopiques sur l'Atlantique Nord.
- Yu et al compare des simulations guidées à ses données de composition isotopique de vapeur d'eau sur le Plateau Tibétain.
- Zhang et al utilise des tests de sensibilité avec la version stratosphérique de LMDZ pour étudier les processus contrôlant la composition isotopique dans la stratosphère.
- Risi et al 2017 utilise LMDZ-iso pour étudier l'impact des processus à la surface continentale sur la composition isotopique de l'eau dans différents réservoirs.

5.4 LMDZ-iso au Cénozoïque

Pierre Sepulchre, Yannick Donnadieu, Svetlana Botsyun (doctorante)

Consommation : 7 000 heures CPU sur Ada

Dans le cadre de sa thèse, Svetlana Botsyun étudie le rôle de la surrection du Plateau Tibétain et de l'Himalaya, l'influence du changement de concentration en CO_2 atmosphérique, ainsi que l'influence des modifications de paléogéographie au cours du Cénozoïque sur le cycle de l'eau et la composition isotopique des précipitations.

Lors des années précédentes, des simulations avec LMDZ-iso avaient été réalisées avec quatre paléogéographies reconstruites pour le Cénozoïque (55, 42, 30, 15 millions d'années avant notre ère) et des conditions aux limites variées (figure 17). Nous nous concentrons maintenant sur l'Eocène (42 Ma millions d'années avant notre ère) où le plateau tibétain est situé à 10° de latitude plus au Sud qu'aujourd'hui. L'analyse des différences climatiques entre l'Eocène et l'époque actuelle a été réalisée afin de comprendre les mécanismes climatiques qui font varier le $\delta^{18}\text{O}$ dans la région asiatique. Nous avons testé la sensibilité du climat au retrait de la Paratethys, aux changements de la température de surface de l'océan (SST), à la concentration atmosphérique en CO_2 , à l'albédo de la surface, aux paramètres orbitaux ainsi qu'aux changements de topographie. Ces tests de sensibilité montrent que la paléogéographie joue le rôle le plus important dans la distribution du $\delta^{18}\text{O}$.

Ce travail fait l'objet d'un article soumis à pour Science (Botsyun et al soumis), et les simulations en cours sont nécessaire pour réviser cet article.

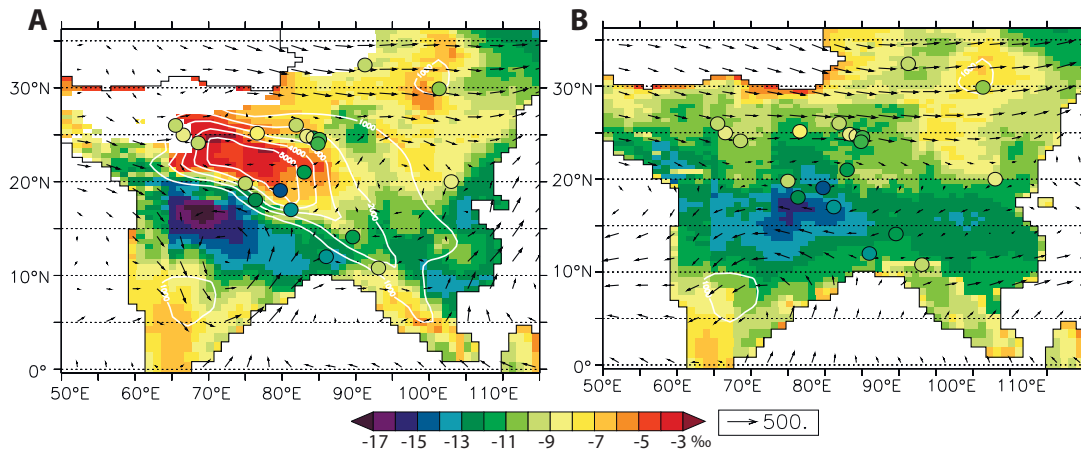


FIG. 17 – Comparaison du $\delta^{18}O$ simulé pour l'Eocène avec les données du $\delta^{18}O$ mesuré dans les carbonates ($\delta^{18}O_c$). Les cartes montrent le $\delta^{18}O_c$ calculé à partir des simulations LMDZ, en tenant compte du $\delta^{18}O$ de la précipitation et de la température simulées de mai à septembre. (A) Pour la simulations EOC-XL, où on suppose qu'à l'Eocene le plateau tibétain était haut (5000 m) et (B) pour la simulation EOC-S, Eocene, où on suppose qu'à l'Eocene le plateau tibétain était plus bas (200 m).

Les points colorés montrent les valeurs de $\delta^{18}O_c$ mesurées dans des carbonates lacustres ou dans des paléosols, d'après des publications précédentes. On considère les valeurs les plus négatives pour les carbonates lacustres et les valeurs moyennes pour les paléosols.

Publications récentes liées au projet

Nous ne listons ici que les articles les plus récents, qui n'étaient pas encore dans le rapport précédent ou dont le statut a changé depuis. 37 publications récentes sont ainsi liées au projet.

1. Berner, J. , U. Achatz, L. Batte, A. de la Cámara, D. Crommelin, H. Christensen, M. Colangeli, S. Dolaptchiev, C. L.E. Franzke, P. Friederichs, P. Imkeller, H. Järvinen, S. Juricke, V. Kitsios, F. Lott, V. Lucarini, S. Mahajan, T. N. Palmer, C. Penland, J.S. von Storch, M. Sakradžija, M. Weniger, A. Weisheimer, P. D. Williams, J.-I. Yano (2017) : Stochastic Parameterization : Towards a new view of Weather and Climate Models, *Bull. Amer. Soc.*, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00268.1>
2. Botsyun S., Sepulchre P., Donnadiou Y., Risi C., Licht, A and Caves, J. Revisited Paleoclimatology Data Show Low Tibetan Plateau Elevation during the Eocene. **En révision** pour Science.
3. Alexandre Cauquoin and Camille Risi. Importance of the advection scheme for the simulation of water isotopes over Antarctica by general circulation models : a case study with LMDZ-iso (LMDZ5a revision 1750). **Soumis** à *Geosci. Model Dev.*. <https://doi.org/10.5194/gmd-2017-178>
4. Cauquoin, A., Jean-Baptiste, P., Risi, C., Fourné, E., Stenni, B., and Landais, A (2016). Modeling the global bomb-tritium transient signal with an Atmospheric General Circulation Model : a promising method to evaluate the dynamics of the hydrological cycle in the models and its link with stratospheric air intrusions. *J. Geophys. Res.*, 121 : 12,612-12,629 DOI : 10.1002/2016JD025484
5. Cheruy, F., Dufresne, J. L., Aït Mesbah, S., Grandpeix, J. Y., & Wang, F. (2017). Role of soil thermal inertia in surface temperature and soil moisture-temperature feedback. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9, 2906–2919. <https://doi.org/10.1002/2017MS001036>
6. Coppin, D., and S. Bony (2017), Internal variability in a coupled general circulation model in radiative-convective equilibrium, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5142–5149, doi :10.1002/2017GL073658
7. Coppin, D., and S. Bony : On the impact of convective aggregation on Equilibrium Climate Sensitivity : Insights from Radiative Convective Equilibrium experiments, **en préparation** pour *Geophys. Res. Lett.*
8. Cugnet, D., A de la Camara, F. Lott, C. Millet, and B. Ribstein (2018) : Non-orographic gravity waves : representation in climate models and effects on infrasound propagation, Springer book : *Infrasound and middle-atmospheric monitoring : Challenges and New Perspective*, Eds. A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne. **Accepté**
9. de la Camara, A., and F. Lott, and M. Abalos (2016a). Climatology of the middle atmosphere in LMDz : Impact of source-related parameterizations of gravity wave drag, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, DOI : 10.1002/2016MS000753.
10. de la Camara, A., F. Lott, V. Jewtoukoff, R. Plougonven and A. Hertzog (2016b). On the gravity wave forcing during the southern stratospheric final warming in LMDz, *J. Atmos. Sci.*, DOI : <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-15-0377.1>.
11. Duvel, J. P., Camargo, S. J., & Sobel, A. H. (2017). Role of the convection scheme in modeling initiation and intensification of tropical depressions over the North Atlantic. *Monthly Weather Review*, 145(4), 1495-1509.
12. Goll D. S., Vuichard N., Maignan F., Jornet-Puig A., Sardans J., Violette A., Peng S., Sun Y., Kvakic M., Guimberteau M., Guenet B., Zaehle S., Peñuelas J., Janssens I., and Ciais P.

- (2017) : A representation of the phosphorus cycle for ORCHIDEE (revision 4520), *Geosci. Model Dev.*, 10.5194/gmd-10-3745-2017
13. Guimberteau M., Ciais P., Ducharne A., Boisier J. P., Aguiar A. P., Biemans H., De Deurwaerder H., Galbraith D., Kruijt B., Langerwisch F., Poveda G., Rammig A., Rodriguez D. A., Tejada G., Thonicke K., Von Randow C., Von Randow R. C. S., Zhang K. and Verbeeck H. (2017) : Impacts of future deforestation and climate change on the hydrology of the Amazon basin : a multi-model analysis with a new set of land-cover change scenarios, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 1455-1475, doi :10.5194/hess-21-1455-2017
 14. Guimberteau M., Zhu D., Maignan F., Huang Y., Yue C., Dantec-Nédélec S., Ottlé C., Jornet-Puig A., Bastos A., Laurent P., Goll D., Bowring S., Chang J., Guenet B., Tifafi M., Peng S., Krinner G., Ducharne D., Wang F., Wang T., Wang X., Wang Y., Yin Z., Lauerwald R., Joetzjer E., Qiu C., Kim H., and Ciais P. (2018) : ORCHIDEE-MICT (v8.4.1), A land surface model for the high latitudes : model description and validation, *Geosci. Model Dev.*, doi : 10.5194/gmd-11-121-2018
 15. Kleinschmitt, C., O. Boucher, S. Bekki, F. Lott, and U. Platt (2017) : The Sectional Stratospheric Sulfate Aerosol module S3A-v1 within the LMDZ general circulation model : Description and evaluation against stratospheric aerosol observations, *Geoscientific Model Development*, 10, 3359-3378. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-3359-2017>.
 16. Lauerwald R., Regnier P., Camino-Serrano M., Guenet B., Guimberteau M., Ducharne A., Polcher J., and Ciais P. (2017) : ORCHILEAK (revision 3875) : a new model branch to simulate carbon transfers along the terrestrial-aquatic continuum of the Amazon basin, *Geosci. Model Dev.*, 10.5194/gmd-10-3821-2017
 17. Lavergne, Aliénor, Fabio Gennaretti, Camille Risi, Valérie Daux, Etienne Boucher, Martine M. Savard, Maud Naulier, Ricardo Villalba, Christian Bégin, and Joël Guiot (2017). Modelling tree-ring cellulose d18O variations of two temperature-sensitive tree species from North and South America. *Clim. Past.* 13, 1515-1526 doi.org/10.5194/cp-13-1515-2017
 18. Lora, J M, Mitchell, J L, Risi, C, Tripathi, A E. (2017) North Pacific atmospheric rivers and their influence on Western North America at the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.* 44 :1051-1059 DOI : 10.1002/2016GL071541
 19. Ma, H.Y., S. A. Klein, S. Xie, C. Zhang, S. Tang, Q. Tang, C. Morcrette, K. Van Weverberg, J. Petch, M. Ahlgrimm, L. Berg, F. Cheruy, J. Cole, R. Forbes, M. Huang, H.-H. Hsu, W. Gustafson Jr., Y. Liu, W. Merryfield, Y. Qian and Y.-C.Wang (2018). On the role of surface energy budget errors to the warm surface air temperature error over the Central U.S. *Accépté dans J. Geophys. Res.*
 20. Martín-Rey M, Polo I, Rodríguez-Fonseca B, Losada T, Lazar A. (2018). Is There Evidence of Changes in Tropical Atlantic Variability Modes under AMO Phases in the Observational Record? *Journal of Climate.* 31(2) :515-36.
 21. May, W., Rummukainen, M., Chérury, F., Hagemann, S., & Meier, A. (2017). Contributions of soil moisture interactions to future precipitation changes in the GLACE-CMIP5 experiment. *Climate Dynamics*, 49(5-6), 1681-1704.
 22. C. J. Morcrette and K. Van Weverberg and H.-Y. Ma and M. Ahlgrimm and E. Bazile and L. K. Berg and A. Cheng and F. Cheruy and J. Cole and R. Forbes and W. I. Gustafson Jr and M. Huang and W.-S. Lee and Y. Liu and L. Mellul and W. Merryfield and Y. Qian and R. Roehrig and Y.-C. Wang and S. Xie and C. Zhang and S. Klein and J. Petch (en revision). Introduction to CAUSES : Description of weather and climate models and their near-surface temperature errors in 5-day hindcasts near the Southern Great Plains. *J. Geophys. Res.*

23. Morrison et al. (**en préparation**). Cloud response to Arctic sea ice loss and implications for feedbacks in the CESM-LE and IPSL climate models.
24. Plougonven, R. , A. de la Camara , V. Jewtoukoff, A. Hertzog and F. Lott (**2017**) : On the relation between gravity waves and wind speed in the lower stratosphere, *J. Atmos. Sci.*, 74, 1075-1093, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-16-0096.1>.
25. Risi, C, Lacour, J-L, Worden, J, Bony, S (**soumis**). Constraining the shape of large-scale vertical velocity profiles in climate models using water vapor isotopic measurements. *Geophys. Res. Lett.*
26. Risi, C, S. Bony, J. Ogée, T. Bariac, Naama Raz-Yaseef and Lisa Wingate, Welker, J, Knohl, A, Kurz-Besson, C, Leclerc, M, Zhang, G, Buchmann, N, Santrucek, J, Hronkova, M, David, T, Peylin, P, Guglielmo, F. (**2016**) The water isotopic version of the land-surface model ORCHIDEE : implementation, evaluation, sensitivity to hydrological parameters. *Hydrology : Current Research*. 7 :3 DOI : 10.4172/2157-7587.1000258
27. Schneider A (2017). Estimation de la constante de temps du débit de base pour applications à l'échelle globale. Thèse de doctorat de l'UPMC encadrée par A. Ducharne et A. Jost, soutenue le 22 juin 2017, 170 pp.
28. Schneider A, Jost A, Gleeson T, Ducharne A. Estimation of base flow characteristic time scales based on the linearized Boussinesq equation for global scale applications. for Hydrology and Earth System Science. **En préparation**.
29. Steen-Larsen, H C, Risi, C, Werner, M, Yoshimura, K (**2017**). Evaluating the skills of isotope-enabled General Circulation Models against in-situ atmospheric water vapor isotope observations. *J. Geophys. Res.* 122 :246-263 DOI : 10.1002/2016JD025443
30. Stubenrauch et al. New diagnostics to assess upper tropospheric cloud systems in climate models, **en préparation**.
31. Sun Y., Peng S., Goll D., Ciais P., Guenet B., Guimberteau M., Hinsinger P., Janssens I., Peñuelas J., Piao S., Poulter B., Violette A., Yang X., Yin Y. and Zeng H. (**2017**) : Diagnosing phosphorus limitations in natural terrestrial ecosystems in carbon cycle models, *Earth's Future*, doi :10.1002/2016EF000472
32. K. Van Weverberg, C. J. Morcrette, J. Petch, S. A. Klein, H.-Y. Ma, C. Zhang, S. Xie, Q. Tang, W. Gustafson, Y. Qian, L. Berg, M. Wang, Y. Liu, M. Ahlgrimm, R. Forbes, E. Bazile, R. Roehrig, J. Cole, W. Merryfield, W.-S. Lee, F. Cheruy, L. Mellul, Y.-C. Wang and K. Johnson (**2018**). Attribution of Surface Radiation Errors near the Southern Great Plains in Numerical Weather Prediction and Climate Models, accepté dans *J. Geophys. Res.*
33. Vogel, M.M., R. Orth, F. Cheruy, S. Hagemann, R. Lorenz, B.J.J.M. van den Hurk and S.I. Seneviratne (**2017**). Regional amplification of extreme temperatures strongly controlled by soil moisture-temperature feedbacks, *Geophysical Research Letter*. 44 (3):1511-1519, 10.1002/2016GL071235
34. Wang, T, Zhang, Q, Lossow, S, Chafk, L, Risi, C, Murtagh, D, Hannachi, A (**2018**). Stable water isotopologues in the stratosphere retrieved from Odin/SMR measurements. *Atmosphere Remote Sensing*. Accepté.
35. Yu, W, Tian, L, Risi, C, Yao, T, Ma, Y, Zhao, H, Zhu, H, He, Y, Xu, B, Zhang, H, Qu, D (**2016**). $\delta^{18}\text{O}$ records in water vapor and an ice core from the eastern Pamir Plateau : Implications for paleoclimate reconstructions. *Earth Planet. Sci. Lett.* 456 :146-156. doi.org/10.1016/j.epsl.2016.10.001

36. Yin Z., Ottlé C., Ciais P., Guimberteau M., Wang X., Zhu D., Maignan F., Peng S., Piao S., Polcher J., Zhou F., Kim H. and other China-Trend-Stream project members. Evaluation of ORCHIDEE-MICT simulated soil moisture over China and impacts of different atmospheric forcing data, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, doi : 10.5194/hess-2017-699, **in review**.
37. Zhao F., Veldkamp T., Frieler K., Schewe, J., Ostberg S., Willner S., Schauburger B., Gosling S., Müller Schmied H., Portmann F., Leng G., Huang M., Liu X., Tang Q., Hanasaki N., Biemans H., Gerten D., Satoh Y., Pokhrel Y., Stacke T., Ciais P., Ducharne A., Guimberteau M., Wada Y., Kim H. and Yamazaki D. (2017) : The critical role of the routing scheme in simulating peak river discharge in global hydrological models, *Environ. Res. Lett.*, 12 (2017) 075003, doi : 10.1088/1748-9326/aa7250

Autres références

Références

- [Cauquoin et al., 2015] Cauquoin, A., Jean-Baptiste, P., Risi, C., Fourré, É., Stenni, B., and Landais, A. (2015). The global distribution of natural tritium in precipitation simulated with an atmospheric general circulation model and comparison with observations. *Earth and Planetary Science Letters*, 427 :160–170.
- [Kim et al., 2015] Kim, D., Ahn, M.-S., Kang, I.-S., and Del Genio, A. D. (2015). Role of longwave cloud–radiation feedback in the simulation of the madden–julian oscillation. *Journal of Climate*, 28(17) :6979–6994.
- [Kim et al., 2014a] Kim, D., Kug, J.-S., and Sobel, A. H. (2014a). Propagating versus nonpropagating madden–julian oscillation events. *Journal of Climate*, 27(1) :111–125.
- [Kim et al., 2014b] Kim, D., Xavier, P., Maloney, E., Wheeler, M., Waliser, D., Sperber, K., Hendon, H., Zhang, C., Neale, R., Hwang, Y.-T., et al. (2014b). Process-oriented mjo simulation diagnostic : Moisture sensitivity of simulated convection. *Journal of Climate*, 27(14) :5379–5395.
- [Lacour et al., 2017] Lacour, J.-L., Risi, C., Worden, J., Clerbaux, C., and Coheur, P.-F. (2017). Isotopic signature of convection’s depth in water vapor as seen from iasi and tes d observations. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7 :9645–9663, doi.org/10.5194/acp-17-9645-2017.
- [Lin et al., 2004] Lin, J., Mapes, B., Zhang, M., and Newman, M. (2004). Stratiform precipitation, vertical heating profiles, and the madden–julian oscillation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(3) :296–309.
- [Masson and Seity, 2009] Masson, V. and Seity, Y. (2009). Including atmospheric layers in vegetation and urban offline surface schemes. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(7) :1377–1397, doi :10.1175/2009JAMC1866.1.
- [Schneider et al., 2017] Schneider, A., Jost, A., Coulon, C., Silvestre, M., Théry, S., and Ducharne, A. (2017). Global-scale river network extraction based on high-resolution topography and constrained by lithology, climate, slope, and observed drainage density. *Geophysical Research Letters*, 44(6) :2773–2781.
- [Sherwood et al., 2014] Sherwood, S., Bony, S., and Dufresne, J.-L. (2014). Spread in model climate sensitivity traced to atmospheric convective mixing. *Nature*, 505 :37–42, doi :10.1038/nature12829.