

Demande DARI 2014 – projet 0292

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

Description du projet de recherche

Camille Risi

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

L.M.D. - Octobre 2013

Demande sur l'IDRIS : 658 000 heures CPU sur Ada, 147 Tera-octets sur gaya

De plus, pour nos travaux sur Adapp, l'accès à gaya depuis à la fois en lecture et en écriture serait très pratique

Demande sur Curie : 100 000 heures CPU sur noeuds fin, 30 000 heures CPU noeuds larges et 40 To de stockage

La demande sur Curie est assez modeste, car nous ne sommes pas encore très familiers avec cette machine. Si nous arrivons à nous familiariser rapidement, alors nous demanderons beaucoup plus d'heures en mai.

Table des matières

1	Résumé	2
2	Présentation générale	2
2.1	Evolution et validation du modèle LMDZ	3
2.2	Etude de processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat	3
2.3	Variabilité des températures en Atlantique tropical	4
2.4	Evolution, validation et utilisation du modèle de surface continentale ORCHIDEE	4
2.5	Isotopes de l'eau	4
3	Estimation des ressources consommées par les diverses configurations	4
4	Demande détaillée	5
4.1	Evolution et validation de la version de référence de LMDZ	5
4.1.1	Utilisation de LMDZ en configuration RCE pour l'étude du changement climatique	6
4.2	Etude des processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat	7
4.2.1	Convection, Montagnes, stratosphère, variabilité équatoriale	7
4.2.2	Microphysique des nuages de glace et des traînées de condensation des avions	8
4.3	Variabilité des températures en Atlantique tropical	9

4.4	Evolution, validation et utilisation du modèle ORCHIDEE	10
4.4.1	Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE	10
4.4.2	Influence des eaux souterraines sur le couplage surface/atmosphère	10
4.4.3	Couplage LMDZ-ORCHIDEE	11
4.4.4	Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique	12
4.5	Isotopes de l'eau	12
4.5.1	Evaluation des processus convectifs et nuageux	12
4.5.2	Applications paleo-climatiques et régionales	13
4.5.3	LMDZ-iso au Cénozoïque	13
5	Méthode	14
5.1	Le modèle LMDZ	14
5.2	Le modèle ORCHIDEE	14

1 Résumé

Le projet est centré sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ, du modèle de surface continentale ORCHIDEE, et de façon très minoritaire du modèle d'océan NEMO. Les différents modèles pouvant chacun être utilisé seuls (offline) ou couplés entre eux.

L'essentiel des moyens de calcul demandé implique des simulations utilisant LMDZ. Ce projet est ainsi très lié :

- au projet 1167, consacré au développement et à l'utilisation de la version transport de LMDZ pour des études de chimie atmosphérique et de transport de traceurs passifs,
- au projet 239, qui utilise LMDZ comme élément du modèle couplé Océan-Atmosphère-Végétation.

Ce projet comporte 5 thèmes :

1. Evolution et validation du modèle LMDZ
2. Etude de processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat
3. Etude de la variabilité des températures en l'Atlantique tropical
4. Evolution, validation et utilisation du modèle de surface continentale ORCHIDEE
5. Isotopes de l'eau

Les demandes en temps de calcul et en stockage par thèmes sont détaillées dans le tableau 1.

2 Présentation générale

L'essentiel des moyens demandés concernent le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale (MCG) atmosphérique LMDZ. Ce MCG est un outil d'étude de l'atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l'étranger ; il constitue la composante atmosphérique des modèles couplés IPSL-CM5A et IPSL-CM5B qui ont été utilisés pour les simulations de changement climatique du programme international CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), dont l'analyse a alimenté le cinquième rapport d'évaluation de l'IPCC (voir projet 239).

Le modèle de surface continentale ORCHIDEE est d'autre part utilisé seul (offline) ou couplé à LMDZ pour la compréhension des processus hydrologiques continentaux et des couplages sol-atmosphère. Enfin, les processus océaniques liés sont étudiés à l'aide du modèle de circulation générale océanique NEMO du LOCEAN.

Le projet porte sur 5 grands thèmes.

thème	calcul sur Ada (k heures CPU)	stockage sur Gaya (To)	calcul sur Curie noeuds fins	calcul sur Curie noeuds larges	stockage sur Curie (To)
Evolution et validation du modèle LMDZ	352	70	100	30	40
Etude de processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat	40	9	0	0	0
Etude des interactions océan-atmosphère lors des évènements ENSO	10	0.7	0	0	0
Evolution, validation et utilisation du modèle de surface continentale ORCHIDEE	156	33	0	0	0
Isotopes de l'eau	100	24	0	0	0
Total	658	147	100	30	40

TAB. 1 – Tableau résumant les demandes de temps de calcul et de stockage sur l’IDRIS et sur Curie.

2.1 Evolution et validation du modèle LMDZ

Les développements de paramétrisation dans le bloc convection-couche limite-courants de densité-nuages se poursuivent et doivent aboutir d’ici quelques années à la version 6 de LMDZ (LMDZ6), qui sera utilisé pour l’exercice CMIP6. Dans ce but,

- les développements se poursuivent, notamment pour mieux représenter l’effet de l’organisation de la convection et de la thermodynamique de la glace (section 4.1)
- les paramétrisations et le modèle seront réglés (section 4.1)
- des nouveaux outils d’évaluation et d’analyse du modèle sont en développement, comme de nouvelles configurations simplifiées (ex : terra-planètes, section 4.1) et l’utilisation de LMDZ en mode «équilibre radiatif-convectif » (section 4.1.1).

2.2 Etude de processus atmosphériques et de leur représentation dans les modèles de climat

Le modèle LMDZ est utilisé pour mieux comprendre certains processus atmosphériques et mieux prévoir leur évolution en changement climatique. En retour, les études de processus permettent aussi des améliorations du modèle LMDZ. Ce thème est ainsi très complémentaire du thème 1.

Montagnes, ondes de gravité et stratosphère, convection De nombreux efforts ont été réalisés ces dernières années pour améliorer la représentation de l’oscillation quasi-biennale par LMDZ. Ces efforts se poursuivront cette année et l’impact de ces améliorations sera évalué (section 4.2.1).

Parmi les grand biais des modèles de climat qui persistent depuis plusieurs décennies, on peut citer les difficultés persistantes des modèles (y compris LMDZ «nouvelle physique ») à simuler les

oscillations intrasaisonnières tropicales. Nous essaierons de mieux comprendre la sensibilité de ces oscillations à la représentation de la convection dans LMDZ (section 4.2.1).

Microphysique des nuages de glace et des traînées de condensation des avions Les traînées de condensation formées par les avions peuvent persister pendant des heures, voire se transformer en cirrus. Nous cherchons à modéliser cet effet et à en quantifier le forçage radiatif (section 4.2.2). Notre approche originale repose sur un ajustement des paramétrisations (en particulier la distribution sous-maille de la vapeur d'eau) de manière à optimiser la simulation des traînées de condensation au-dessus du site du SIRTA dans des simulations guidées zoomées.

2.3 Variabilité des températures en Atlantique tropical

Le but de ce projet est d'analyser le rôle des hautes pressions subtropicales et des ondes océaniques dans le développement du mode de variabilité interannuelle équatorial « ENSO Atlantique ». Des résultats antérieurs de notre équipe ont montré qu'un affaiblissement des hautes pressions subtropicales dans l'hémisphère Nord ou/et Sud pouvait contribuer aux développements des anomalies de SST du "Nino atlantique". Parallèlement, les composantes équatoriales et côtières de ces anomalies sont influencées par les ondes longues piégées sur ces "rails" océaniques (section 4.3).

2.4 Evolution, validation et utilisation du modèle de surface continentale ORCHIDEE

Le couplage des processus de surface continentale avec les processus atmosphériques constitue un élément clef pour aboutir à une bonne simulation climatique. Ainsi, nous proposons de valider et d'améliorer la représentation de l'hydrologie de surface dans le modèle ORCHIDEE (section 4.4.1), et de valider son couplage avec LMDZ (section 4.4.3). Le modèle de surface continental ORCHIDEE, couplé ou non à LMDZ, est aussi un outil adapté pour les études visant à :

- mieux comprendre les processus hydrologiques sur la surface continentale dans le présent, par exemple les interactions humidité du sol-climat (section 4.4.3),
- mieux comprendre et prévoir l'évolution future du cycle hydrologiques et des ressources en eau. C'est le but des travaux proposés par exemple sur l'évolution des débits amazoniens (section 4.4.4).

2.5 Isotopes de l'eau

La composition isotopique de l'eau (rapport des concentrations en molécules lourdes HDO ou $H_2^{18}O$ et légères $H_2^{16}O$) est affectée par les changements de phase lors du cycle de l'eau. Depuis 2006, nous essayons d'explorer la possibilité d'utiliser les mesures de compositions isotopiques de l'eau pour mieux évaluer les modèles de climat en général, et LMDZ et ORCHIDEE en particulier. Cette année, ces efforts seront continués avec comme cible particulière la représentation des processus convectifs et nuageux et de leur rôle dans la variabilité intra-saisonnière (section 4.5).

3 Estimation des ressources consommées par les diverses configurations

L'essentiel des temps calcul de ce projet est dû aux simulations réalisées avec le modèle atmosphérique LMDZ5 couplé ou non au modèle de sol et de végétation ORCHIDEE.

Le modèle complet (appelée aussi LMDZOR) sera en général utilisé dans une des quatre configurations correspondant aux deux "physiques" du modèle et à deux résolutions spatiales : une "basse résolution" (96x95x39, c'est-à-dire 96 points en longitude, 95 points en latitude et 39 niveaux sur la verticale), laquelle constituait jusqu'à présent la résolution la plus utilisée, et une "résolution moyenne" (144x142x39) qui tend à s'imposer dès lors que le modèle utilisé est au point.

Les ressources consommées par les simulations réalisées avec ces diverses configurations sont approximativement :

Basse résolution 96x95x39 : 100 h CPU/an sur Ada avec l'ancienne physique et 220 h CPU/an sur Ada avec la nouvelle physique.

Résolution moyenne 144x142x39 : 200 h CPU/an sur Ada avec l'ancienne physique et 670 h CPU/an sur Ada avec la nouvelle physique.

Isotopique très basse résolution La version isotopique de LMDZ prend environ 3 fois plus de temps que la version standard. Pour ne pas trop consommer d'heures, on utilise donc souvent la très basse résolution : 96x71x39 : 190h CPU/an avec l'ancienne physique. Stockage : 70 Go/an

Isotopique zoom 144x142x39 400h CPU/an avec l'ancienne physique. Stockage : 250 Go/an

Les post-traitements se font la plupart du temps sur des noeuds dédiés sur Adapp et ne sont pas comptabilisés. Seules certaines chaînes de lancement nécessitent des post-traitements (rebuild) sur Ada. Dans ce cas, on doit rajouter 20 % pour le post-traitement par rapport au temps de calcul.

Pour estimer les temps sur Curie noeuds fin, nous prenons les mêmes temps que sur Ada et multiplions par un facteur 1.3. Nous ajoutons 20% de temps de calcul sur Curie noeuds fins pour le post-traitement.

4 Demande détaillée

4.1 Evolution et validation de la version de référence de LMDZ

Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne, Laurent Fairhead, Jean-Yves Grandpeix, Frédéric Hourdin, Abderrahmane Idelkadi, Jean-Baptiste Madeleine, Ionela Musat, Jan Polcher, Catherine Rio, Marie-Pierre Lefebvre, Olivier Boucher

Demande : *240 000 heures CPU Ada, 40 To. sur Gaya. 100 000 heures CPU Curie, 40 To*

L'évolution du modèle de circulation générale (MCG) atmosphérique LMDZ pendant l'année 2014 s'insère dans une perspective de deux ans qui doit aboutir fin 2015 à une nouvelle version du modèle climatique couplé de l'IPSL. Il s'agit à la fois d'incorporer les développements des paramétrisations physiques (en cours ou en devenir), d'évoluer vers une résolution plus fine, de comprendre et corriger les biais révélés lors de l'exercice d'intercomparaison CMIP5 et de mettre en oeuvre divers développements informatiques. Le MCG LMDZ passera ainsi de sa version 5 (LMDZ5) à sa version 6 (LMDZ6) qui sera utilisée pour le prochain exercice d'intercomparaison CMIP6.

Développement et réglage des paramétrisations L'année 2014 va être consacrée d'abord à la mise en oeuvre et au réglage de l'ensemble de paramétrisations physiques envisagé pour LMDZ6 : (1) modification du schéma de nuage, en particulier pour incorporer les résultats de la thèse d'Arnaud Jam concernant les stratocumulus ; (2) réglage du nouvel ensemble "convection - couche limite - courants de densité - nuages" prenant en compte la thermodynamique de la glace et mettant en oeuvre le nouveau déclenchement stochastique de la convection profonde ; (3) mise en oeuvre du traitement séparé des couches limites interne et externe aux courants de densité ; (4) mise en oeuvre

du schéma RRTM représentant les processus radiatifs, y compris son couplage avec les schémas de nuages et d'aérosols (qu'ils soient climatologiques ou issus d'INCA).

Ces développements feront usage comme d'habitude de simulations du climat terrestre avec températures de surface océaniques observées imposées (simulations de "type AMIP"), de simulations avec températures de surface océaniques climatiques et de simulations sur des aqua-planètes. Ils utiliseront aussi systématiquement des simulations où les champs de vent sont guidés vers les analyses et des simulations avec une grille zoomée sur l'Afrique (simulation de type "Cordex-Afrique").

Pour la mise au point de ces développements, nous utiliserons d'abord la version de basse résolution $96 \times 95 \times 39$. En estimant que la mise au point va demander l'équivalent de 10 simulations de 30 ans, *on obtient 60 000 heures CPU pour la mise au point.*

Sensibilité à la résolution horizontale Parallèlement des versions de diverses résolutions horizontales (basse résolution : $96 \times 95 \times 39$; moyenne résolution : $144 \times 142 \times 39$; haute résolution : $280 \times 280 \times 39$) vont être mises en place. Ce travail va s'accompagner de tests de sensibilité à la résolution horizontale (La mise en place de versions de haute résolution verticale (79 niveaux) se fera en 2015). En estimant que ces tests et réglages vont utiliser l'équivalent de 10 simulations de 30 ans avec la version à moyenne résolution $144 \times 142 \times 39$ on obtient une consommation estimée de 200 000 heures. Il faut ajouter à cela les tests de la résolution $280 \times 280 \times 39$ pour laquelle nous n'avons pas encore d'expérience. Nous estimons qu'elle doit consommer environ 6000 h/an. Nous nous proposons de faire ces tests sur la machine Curie pour laquelle nous demandons donc *100 000 heures.*

Correction des biais Pour la correction des biais, il s'agit de mettre en place un ensemble de diagnostics (de "métriques" dans le jargon de CMIP5) caractérisant ces biais et de les automatiser de façon à explorer systématiquement leur comportement lors des diverses évolutions du modèle. Ces outils devraient aussi permettre d'explorer les corrélations entre divers biais et erreurs pour tenter de comprendre leurs origines.

Inter-comparaisons en mode terra-planète Pour tester les nouvelles configurations de LMDZ (physique/dynamique) en cours de développement (couplage de la physique de LMDZ avec la dynamique des modèles régionaux MAR et WRF, et avec le nouveau coeur dynamique icosaédrique DYNAMICO), on effectuera des inter-comparaisons systématiques des diverses configurations (LMDZ, LMDZ), (LMDZ/MAR), (WRF, LMDZ), (Dynamico, LMDZ) en mode terra-planète. Ces tests seront effectués typiquement sur une dizaine d'années, avec les configurations de grilles correspondant à celle retenues pour le modèle couplé de l'IPSL ($96 \times 95 \times 39$, $144 \times 143 \times 39$, $280 \times 280 \times 79$). On accompagnera également les améliorations et réglages de la versions LMDZ6 du modèle LMDZ par des simulations aqua-planètes afin d'anticiper d'éventuelles surprises sur le comportement du modèle une fois introduit dans le système couplé complet IPSL-CM6.

Amélioration des entrées-sorties Enfin, la mise en oeuvre du nouveau gestionnaire d'entrées-sorties XIOS (développé à l'IPSL depuis quelques années) devrait simplifier fortement l'utilisation de LMDZ, en particulier en rendant inutile le post-traitement des résultats, une étape qui était très lourde et pénalisante jusqu'à présent.

4.1.1 Utilisation de LMDZ en configuration RCE pour l'étude du changement climatique

Sandrine Bony, Aiko Voigt (thèse), David Coppin (thèse) et Dagmar Popke (thèse)

Nous proposons de poursuivre l'utilisation de LMDZ en configuration RCE (équilibre radiatif-convectif) pour améliorer notre compréhension du changement climatique. L'équilibre radiatif-convectif constitue depuis longtemps un cadre privilégié pour l'étude du changement climatique. Toutefois il est généralement considéré dans le cadre de modèles uni-dimensionnels, et encore assez peu avec des modèles climatiques globaux. Récemment, Popke et al. (2013) ont utilisé un modèle de circulation générale en configuration RCE en supposant l'absence de rotation de la Terre et en imposant une insolation uniforme sur l'ensemble de la planète. De façon surprenante, les inhomogénéités régionales transitoires qui se développent dans cette configuration induisent une circulation atmosphérique dont la distribution spatiale diffère considérablement de celle des configurations plus réalistes, mais dont la distribution statistique (par exemple l'histogramme des vitesses verticales de grande échelle) est très comparable. De plus, de nombreux aspects du changement climatique, particulièrement ceux connectés aux régions tropicales, s'avèrent bien reproduits dans la configuration RCE. Par exemple, cette configuration rend bien compte de l'impact de la représentation de la convection atmosphérique sur les simulations de changement climatique.

Fortes de ces résultats, nous prévoyons d'utiliser LMDZ en configuration RCE pour étudier les mécanismes de rétroaction radiative et la réponse des nuages, de la convection et de la circulation atmosphérique à des variations de la concentration atmosphérique en CO₂. L'objectif principal de ces études sera d'utiliser le cadre RCE pour développer et tester des idées qui nous aideront à comprendre le comportement de simulations LMDZ plus réalistes, et d'identifier les aspects de la représentation des processus nuageux dans LMDZ qui sont les plus critiques.

Nous prévoyons de réaliser différents types de simulations. Au-delà des simulations avec différentes concentrations de CO₂, nous envisageons des simulations forcées par des températures de l'océan prescrites, et des simulations réalisées avec des nuages rendus transparents au rayonnement, ou avec des rétroactions liées aux nuages ou à la vapeur d'eau modifiées ou désactivées. Cela nous permettra de mieux comprendre le rôle de ces processus dans l'organisation de la convection, l'intensité de la circulation atmosphérique, et le changement climatique. Ces simulations contribueront aux activités organisées et coordonnées au niveau international par des projets tels que CFMIP (Cloud Feedback Model Intercomparison Project) ou le Grand Challenge "Nuages, circulation et sensibilité climatique" du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (<http://www.wcrp-climate.org/index.php/grand-challenges>), et renforceront les liens entre le LMD et d'autres groupes de modélisation à l'étranger.

La configuration RCE a le même coût de calcul que la configuration réaliste. Nous prévoyons un total de 1000 années simulées avec les versions LMDZ5A et LMDZ5B (500 ans pour chaque version). Sur la base des expériences passées sur ada, cela conduit aux estimations suivantes du coût de calcul :

1 an de LMDz5A sur 32 CPUs = 2 h -> 64 CPUh 1 an de LMDz5B sur 32 CPUs = 5 h -> 160 CPUh

*Total : 64*500 + 160*500 = 500*(224) = 112 000 CPUh*

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

4.2.1 Convection, Montagnes, stratosphère, variabilité équatoriale

F Lott, JP Duvel, L. Guez, A. Camara Illescas, S. Mailler, M. Remaud, C. Rio et JY Grandpeix

Demande : 30 000 h CPU sur Ada, 8 To sur Gaya

En 2012-2013, nous avons réussi à simuler une QBO dans le modèle LMDz étendu à la stratosphère, et en introduisant une paramétrisation stochastique des ondes de gravité dues à la convection. Cet effort doit être consolidé en veillant en particulier à ce que la paramétrisation soit conforme aux mesures d'ondes de gravité faites durant les campagnes Vorcore et pré-Concordiasi. Nous chercherons entre autre à remplacer une paramétrisation obsolète des ondes de gravité basé sur une connaissance empirique de leurs spectres verticaux, par la formulation stochastique que nous développons à l'heure actuelle. Nous essaierons aussi de lier l'activité des ondes dans le modèle à la frontogenèse dans la troposphère des moyennes latitudes.

Un aspect important de nos travaux, concernera aussi les liens entre la variabilité de la stratosphère dans les régions tropicales et la variabilité dans la troposphère. Beaucoup de modèles à l'heure actuelle simulent assez bien les ondes équatoriales dans la stratosphère mais assez mal leurs cousines, couplées à la convection dans la troposphère. C'est encore une énigme scientifique, car souvent, dans les observations, elles se développent de concert. Nous comptons donc analyser cette relation, en poursuivant les modifications de la représentation de la convection dans le modèle, et en changeant la résolution horizontale. Conjointement, nous poursuivrons donc également les études sur la sensibilité de la variabilité intrasaisonnière à la représentation de la convection.

Evidemment, ces convergences vers toujours plus de réalisme vont nous demander de nombreuses simulations. Si nous tablons sur 10 simulations de 20 ans, à la résolution 95x96x80, l'expérience en 2013 nous montre que nous aurons besoin d'environ 30 000 heures de calcul. Cette estimation n'est pas excessive, car nous serons sûrement amener à tester le modèle à d'autres résolutions, et en particulier à la résolution 144x145x80 qui est en train de devenir la norme au sein de l'IPSL.

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

Olivier Boucher, Marie Nguyen (post-doc)

Demande : 10 000 heures CPU sur Ada ; 1 To sur Gaya.

Nous souhaitons continuer l'étude sur la microphysique des nuages de glace et des traînées de condensation des avions. Dans un premier temps, nous allons exploiter les simulations existantes pour évaluer la capacité du modèle à former des traînées de condensation. Les simulations seront combinées avec un jeu de données de trajectoires d'avion autour du SIRTA pour la période 2010-2012 que nous venons d'obtenir auprès de la Direction Générale de l'Aviation Civile. Un nouveau score, le score de Brier, adapté aux simulations probabilistes sera introduit. Cette première phase peut être menée à partir des simulations existantes mais de nouvelles expériences de sensibilité seront nécessaires pour échantillonner plus de versions possibles du modèle. On vise là 10 simulations supplémentaires de 3 années (2010-2012) avec LMDZ nouvelle physique en mode guidé zoomé au-dessus du SIRTA à la résolution 48x32x39. La période 2010-2012 correspond aux observations réalisées au SIRTA et au jeu de données de la DGAC.

Dans un deuxième temps, nous allons effectuer des simulations climatiques non guidées et non zoomées à la résolution 96x95x39 afin de quantifier le forçage radiatif dû aux traînées linéaires à l'échelle globale. Ces simulations utiliseront les paramètres optimisés dans la première partie du travail. Cependant, des études de sensibilité aux paramètres optiques des traînées de condensation seront nécessaires ; un ensemble de 5 membres est envisagé. On testera aussi plusieurs inventaires des vols avion à l'échelle globale et cycle diurne des vols dans les différentes régions du monde (cette information étant généralement peu contrainte dans les inventaires) ; un ensemble de 6 membres

est donc envisagé. Chaque simulation sera d'une durée de 3 ans de manière à éliminer la variabilité naturelle dans le calcul du forçage radiatif.

Détail du calcul du nombre d'heures et stockage :

10 simulations LMDZ-NP de 3 ans chacune à la résolution $48 \times 32 \times 39 = 3 \times 10 \times 60 = 1800$ heures CPU

5 simulations LMDZ-NP de 3 ans à la résolution $96 \times 95 \times 39 = 5 \times 3 \times 224 = 3360$ heures CPU

6 simulations LMDZ-NP de 3 ans à la résolution $96 \times 95 \times 39 = 6 \times 3 \times 224 = 4032$ heures CPU

Total = 10 000 heures avec le post-processing sur Ada

4.3 Variabilité des températures en Atlantique tropical

Malick Wade, Amadou Thierno Gaye, Marta Martin del Rey, Belen R. de Fonseca, Alban Lazar

Demande : 10 000 h CPU sur Ada + et 0.7 To sur Gaya

Le but de ce projet est d'analyser le rôle des hautes pressions subtropicales et des ondes océaniques dans le développement du mode de variabilité interannuelle équatorial.

Des résultats antérieurs ont montré qu'un affaiblissement des hautes pressions subtropicales dans l'hémisphère Nord ou/et Sud pouvait contribuer au développement de des anomalies de SST du "Nino atlantique". Parallèlement, les composantes équatoriales et côtières de ces anomalies sont considérées comme dépendantes des ondes longues piégées sur ces "rails" océaniques. Pour cela, des simulations avec le modèle NEMO vont être réalisées.

Influence relative du forçage de NINO atlantique par la tension de vent Afin de quantifier l'influence relative, par zone du bassin, du forçage par les tensions de vent des NINO atlantique, un jeu de simulation de la période 1991-1999 est prévu avec NEMO au $\frac{1}{4}$ de degrés :

1. Simulation 1 : expérience de référence 1991-1999. Les anomalies de tension de vent observées pour la période 1991-1999 seront ajoutés aux vents climatologiques sur l'Atlantique tropical.
2. Simulation 2 : Année «Atlantic Niño ». Les anomalies de tension de vent observées pour l'année 1998 seront ajoutés aux vents climatologiques sur l'Atlantique tropical.
3. Simulation 3 : Comme simulation 2, mais les anomalies seront ajoutées seulement dans l'Atlantique Nord
4. Simulation 4 : Comme simulation 2, mais les anomalies seront ajoutées seulement dans l'Atlantique Sud.
5. Simulation 5 : Comme simulation 2, mais les anomalies seront ajoutées seulement dans l'Atlantique Nord et Sud, à l'exception de la bande tropicale.
6. Simulation 6 : Comme simulation 2, mais les anomalies seront ajoutées seulement dans la bande tropicale.
7. Simulation 7 : Différents forçages en vents seront ajoutés aux vents climatologiques dans l'Atlantique tropical pour évaluer le rôle des ondes océaniques sur la création des «Atlantic Niños ».

Simulation de référence 1991-1999 = 80hCPU /année x (40 ans de run) = 3200h -Simulations pour les différentes expériences :

1 an x 10 expériences tests x 80h CPU/année = 800h pour chaque expérience Comme il y aura 6 expériences = 800h x 6 = 4800h.

Total = 8000 hCPU.

Sensibilité des SST équatoriales et ouest-africaines aux ondes équatoriales et côtières.

A partir d'une simulation de référence de 10 ans, les anomalies de vents équatoriaux seront remplacées par la climatologie, et nous analyserons l'effet sur les ondes et les SST le long du rail de propagation.

Simulation 1 de référence : spin up de 10 ans et période 2000-2009 = 80hCPU /année x (20 ans de run) = 1600h Simulation 2 de sensibilité : période 2000-2009 = 80hCPU /année x (10 ans de run) = 800h

Stockage : 1 année = 6Go

4.4 Evolution, validation et utilisation du modèle ORCHIDEE

4.4.1 Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE

Joséfine Ghattas

10000 heures CPU sur Ada, 2 To sur Gaya

L'utilisation d'ORCHIDEE est très diversifiée avec une grande communauté d'utilisateurs. Il existe de nombreuses configurations possibles du modèle, qui nécessitent une validation régulière. Il s'agit de faire des simulations courtes mais récurrentes pour valider la compilation, le parallélisme (mode MPI seul et bientôt hybride MPI-OpenMP), la reproductibilité, restartabilité et les performances dans différentes configurations. Il y a différents niveaux de validation selon la fréquence hebdomadaire, mensuelle ou annuelle.

4.4.2 Influence des eaux souterraines sur le couplage surface/atmosphère

Ana Schneider (doctorante), Agnès Ducharne, Anne Jost, Frédérique Cheruy, Jan Polcher

Demande : 21 000 heures sur Ada, 25 To sur Gaya

Les eaux souterraines (ES) constituent 30% des ressources en eau douce exploitables actuellement, avec des temps de résidence importants, permettant de tamponner les contrastes saisonniers des débits mais pouvant aussi de renforcer la variabilité interannuelle. Là où elles sont suffisamment proches de la surface continentale, les ES peuvent aussi augmenter l'humidité des sols et l'évapotranspiration (ET), avec un impact possible sur les températures et les précipitations, en terme de valeurs moyennes mais aussi de variabilité (cycle diurne et déclenchement de la convection, persistance des événements extrêmes, variabilité interannuelle). Elles pourraient même influencer l'évolution du climat sous l'effet de l'augmentation des gaz à effet de serre, notamment l'amplitude du réchauffement régional (sensibilité climatique).

Nous chercherons à développer une paramétrisation des ES suffisamment simple et flexible pour décrire des nappes là où elles existent et avec des propriétés relativement réalistes, en profitant des nombreuses données disponibles avec une couverture globale (caractéristiques hydrogéologiques, topographie, zones humides, etc.). On vise notamment une description cohérente des temps de résidence et de la profondeur de la nappe, identifiée comme une variable clé des interactions nappes / surface / climat. Ces développements seront guidés par une évaluation approfondie du fonctionnement des surfaces continentales (hydrologie, flux turbulents) en mode forcé par des données atmosphériques. Pour examiner l'influence des ES sur le climat simulé, nous commencerons en 2014 par des expériences idéalisées de sensibilité à plusieurs profondeur de nappe fixes sur l'ensemble des continents, en configuration « ALMIP » (non zoomé, non guidé, avec SST forcées).

ORCHIDEE forcée avec nouvelle hydrologie (1x1degré) : 10 simulations x 30 ans x 4.6 = 1400h.

ORCHIDEE couplé avec LMDZ basse résolution, ancienne physique : 4 simulations \times 30 ans \times 100 h/an \times 1.20 pour post-traitement = 14 400 heures de calcul sur Ada, stockage 20 To

ORCHIDEE couplé avec LMDZ basse résolution nouvelle physique : 1 simulations \times 30 ans \times 220 h/an \times 1.20 pour post-traitement = 5 300 heures de calcul sur Ada, stockage 5 To

4.4.3 Couplage LMDZ-ORCHIDEE

Frédérique Cheruy, Agnès Ducharne, Sonia Ait-Mesbah (thèse), Fuxing Wang

Demande : 134 000 heures sur Ada, 6 To sur Gaya

Evaluation de LMDZOR en mode global F. Wang, F. Cheruy, A. Ducharne, J. Ghattas

Les tests d'évaluation en mode global de LMDZOR se poursuivront de façon à disposer d'une version de référence qui d'une part pourra être intégrée au modèle de climat de l'IPSL et dont on pourra partir suivre les différentes versions du modèles couplé LMDZOR.

Nouvelle hydrologie + Nouvelle physique : (50 ans + 10 ans \times 5 simulations) \times 220 h/an \times 1.20 pour post-traitement = 26 400, stockage 1To

Analyse du couplage sol/atmosphère en Afrique de l'Ouest (thèse de Sonia Ait Mesbah)

Analyse des simulations actuellement disponibles indique qu'il est difficile d'analyser l'apport des nouvelles paramétrisations de la physique atmosphérique et de l'hydrologie dans cette région sans guider les vents de façon à s'affranchir des biais dans les précipitations de moussons liés à la circulation de grande échelle. Nous réaliserons des simulations forcées en SST, guidées et zoomée sur l'Afrique de l'Ouest (80km), que l'on confrontera aux observations (précipitation, termes du bilan d'énergie en surface, structure de la couche limite) des sites Amma-Catch. On s'attachera en particulier à mieux tenir compte du rôle de la transpiration des plantes, avec un focus sur la réponse du sol aux événements précipitants pour lesquels des diagnostics comme ceux de Lohou et al.(2013) fournissent des guides utiles.

simulations LMDZ-OR nouvelles physique+nouvelles hydrologie), grille 128x118x 39

50 ans \times 2 simulations \times 600 h/an \times 1.20 pour post-traitement = 72 000 h, stockage 3To

Préparation d'une configuration zoomée-guidée de LMDZOR à haute résolution sur l'Europe.

Ce projet s'inscrit dans la dynamique actuelle de mutualisation accrue des outils et des codes de calculs, avec une volonté de renforcer les synergies entre la communauté des impacts et celles du climat. Il exploite la possibilité qu'offre LMDZOR de resserrer la grille de calcul pour atteindre des résolutions comparables à celles des modèles climatiques régionaux sur une partie du globe tout en maintenant la cohérence de simulations globales et à un coût moindre par rapport à des simulations à haute résolution sur l'ensemble du globe. Il répond aussi à une demande d'autres communautés de pouvoir tester de nouveaux modules pensés pour des résolutions plus élevées que celles classiquement utilisées par les GCM; on pense par exemple aux développements pour la prise en compte des hétérogénéités liées à la canopée en général et aux forêts en particulier. Enfin, on constate que les modèles de climat, régionaux comme globaux, ont des défauts communs qui rendent difficile l'utilisation des projections climatiques pour de nombreuses études d'impact. C'est par exemple le cas du biais chaud estival aux moyennes latitudes que partagent beaucoup de modèles de climat en Europe. Cheruy et al. (2013) ont montré qu'il était fortement dépendant des interactions sol/amosphère d'une part et que le couplage de la nouvelle hydrologie à LMDZ permettait de le

corriger d'autre part. Pour toutes ces raisons, nous souhaitons effectuer et analyser des simulations zoomées guidées sur l'Europe avec une résolution de l'ordre de 50km en intégrant les développements les plus récents de la physique atmosphérique comme du modèle de surfaces continentales.

Simulation 128x118x39 avec nouvelle physique et Orchidee11-trunk : 50 ans \times 600 h/an \times 1.20 pour post-traitement = 36 000 h, stockage 2T

4.4.4 Evolution des débits sur le bassin amazonien en changement climatique

Matthieu Guimberteau, Agnès Ducharne, Philippe Ciais

Demande : 1000 heures CPU sur Ada, 2To sur Gaya

Les ressources allouées par les machines de l'Idris seront utilisées pour terminer de remplir les objectifs du projet européen AMAZALERT (Raising the alert about critical feedbacks between climate and long-term land use change in the Amazon, <http://www.eu-amazalert.org/home>) qui s'achèvera en septembre 2014. Nous mettrons en oeuvre les simulations en temps futur sur le bassin amazonien (2009-2099), en prenant en compte 3 jeux de données différents de changement d'utilisation des terres (LUCs). ORCHIDEE sera forcé par des forçages futurs différents issus de 4 GCMs. En parallèle, 3 autres LSMs produiront les mêmes types de simulations. Une comparaison des résultats de modèles avec ORCHIDEE sera effectuée.

*Temps de calcul estimé : (4GCMs*1RCP)*3LUCs*90ans=1080 ans soit environ 600h.*

Toujours dans le cadre d'AMAZALERT, nous voudrions effectuer une série de simulations avec ORCHIDEE sur le bassin amazonien en changeant uniquement les précipitations en temps présent (1980-2008). Pour chaque simulation, on remplacera, sur un seul sous-bassin parmi les 15, l'inter-annualité des pluies par leur saisonnalité à long-terme. Cela permettra d'étudier les différentes contributions de pluies qui tombent sur un sous-bassin particulier au changement de débit total de l'Amazonie à Obidos.

*Temps de calcul estimé : Simul. de ref. (30ans) + (~15 sous bassins * 30ans) = 480 ans soit environ 200h.*

Enfin, nous aimerions tester la sensibilité de l'infiltration d'eau simulée par le modèle diffusif de sol à l'intensité des précipitations du forçage.

*Temps de calcul estimé : Simulation journalière (30ans) * 5 différentes manières de répartir les pluies de 6h sur le pas de temps de 30min = 150ans soit environ 200h.*

4.5 Isotopes de l'eau

Camille Risi, Obbe Tuinenbourg (post-doc), You He (thèse), Yannick Donnadiou, Pierre Sepulchre, Svetlana Botsyun (thèse)

Demande : 100 000 heures CPU sur Ada, 24 To sur Gaya;

Les isotopes stables de l'eau (HDO , $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$) peuvent être utilisés pour mieux comprendre les processus hydrologiques atmosphériques et continentaux et mieux évaluer leur représentation dans les modèles de climat. Ils ont été implémentés dans les modèles LMDZ et ORCHIDEE depuis plusieurs années, conduisant aux modèles appelés LMDZ-iso et ORCHIDEE-iso.

4.5.1 Evaluation des processus convectifs et nuageux

Le projet ANR CONV-ISO vise à étudier les processus convectifs et nuageux associés à la variabilité intra-saisonnière tropicale, et à évaluer leur représentation dans les modèles de climat, en

combinant des mesures d'humidité, de nuages et d'isotopes de l'eau. Dans une première phase du projet, nous évaluons la capacité du modèle à représenter l'effet des processus convectifs et nuageux sur l'humidité troposphérique pour une dynamique donnée. Pour cela, nous réalisons des tests de sensibilité dans un mode guidé par les vents, pour (1) comprendre comment les processus humidifiants et asséchants affectent les profils isotopiques dans la nature, et (2) comprendre comment la représentation de ces processus modifient les profils isotopiques simulés par rapport à ceux observés.

Ces simulations seront courtes et concentrées sur la période 2010-2012 incluant la campagne d'observation Cindy-Dynamo. Pour économiser du temps de calcul, la grille utilisée sera basse résolution : 96×72 .

3 ans \times 20 tests de sensibilité \times 190 h /an \times 1.2 pour le post-traitement = 11 400 heures, 4 To

Puis nous étudierons la conséquence de la représentation des processus nuageux sur la simulation de la MJO (Madden-Julian Oscillation), principal mode de variabilité tropical. Pour cela, certains tests de sensibilité seront répétés en mode non guidé, sur une période un peu plus longue pour être plus représentative :

6 ans \times 10 tests de sensibilité \times 190 h /an \times 1.2 pour le post-traitement = 11 400 heures, 4 To

4.5.2 Applications paleo-climatiques et régionales

Dans le cadre de plusieurs collaborations, LMDZ-iso sera comparé à des archives paléo-climatiques isotopiques sur trois régions : le Groenland, les Etats-Unis et le Tibet. Le but est de mieux comprendre comment interpréter les variations isotopiques observées. Pour cela, des simulations zoomées seront réalisées sur ces trois régions, pour le présent et pour plusieurs périodes clés du passé, en particulier le dernier maximum glaciaire et le moyen holocene. Le zoom permet une meilleure représentation de l'effet de la topographie dans ces régions montagneuses. La grille choisie sera 144×142 .

6 ans \times 3 régions \times 3 périodes \times 300 h /an \times 1.2 pour le post-traitement = 20 000 heures, 8 To

4.5.3 LMDZ-iso au Cénozoïque

Dans le cadre d'un programme européen ITN iTECC (focalisé sur la région himalayenne), Yannick Donnadieu et Pierre Sepulchre ont obtenu le financement d'une thèse qui commence début novembre 2013 (Svetlana Botsyun). Dans le cadre de cette thèse, il est prévu d'utiliser le modèle LMDZ-iso à différentes périodes de temps du Cénozoïque (52 - 42 - 30 et 15 Ma). Pour chacun de ces périodes de temps, nous disposons de reconstruction de température de surface océanique obtenue à l'aide du modèle couplé FOAM. Grâce au traçage de l'eau implémenté dans LMDZ-iso, les sources des précipitations chutant sur toute la région himalayenne seront établies. Nous nous intéresserons également à la composition en $H_2^{18}O$ des précipitations en fonction du temps géologique mais également en fonction de la tectonique verticale.

Les isotopes de l'oxygène mesurés dans les carbonates des paléosols sont utilisés afin de contraindre et de fournir des scénarios de surrection des chaînes de montagnes, l'hypothèse étant que le fractionnement isotopique va dépendre de la température de l'air, qui elle-même dépend de l'altitude du sol. Le pré-requis pour appliquer cette méthode est que l'origine de la masse d'air n'a pas changé au cours de l'orogénèse et que la distillation de Rayleigh survenant dans les masses d'air fournissant les précipitations reste constante. Afin de tester cette hypothèse, nous utiliserons donc LMDZ-iso pour différentes positions géographiques de l'Himalaya.

Pour l'année à venir, nous prévoyons une quinzaine de simulations (5 géographies \times 3 CO_2) de 20 ans avec LMDZ-iso version $96 \times 95 \times 39$. Avec water tagging, on estime le temps de calcul à 300h/an.

10 ans \times 15 simulations \times 300 h/an \times 1.2 pour le post-traitement = 54 000 heures, 8 To.

5 Méthode

Ce projet porte principalement sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ et du modèle de surface continentale ORCHIDEE. Certains travaux portent sur l'utilisation du modèle d'océan NEMO, mais quantitativement, cela représente une très faible part de notre demande. Nous ne décrivons donc ici que les modèles LMDZ et ORCHIDEE.

5.1 Le modèle LMDZ

Site web LMDZ : <http://lmdz.lmd.jussieu.fr>

Le modèle de circulation générale LMDZ est divisé en deux parties :

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

Configurations Dans le présent projet, le modèle est utilisé dans différentes configurations :

1. configuration climatique, où les seules forçages sont les températures de surface des océans (SST = Sea Surface Temperature) et le forçage solaire, la grille étant régulière ou zoomée sur une région particulière, l'Afrique de l'Ouest ou la Méditerranée dans notre cas ;
2. configuration guidée, dans laquelle certains champs dynamiques ou thermodynamiques sont rappelés vers les valeurs données par des analyses ou réanalyses. On pourra ainsi guider le modèle vers les analyses du Centre Européen ou du NCEP.

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

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

Le code existe maintenant en version parallèle MPI/OpenMP : (1) le découpage du domaine en bandes de latitude est géré par MPI ; (2) le découpage vertical est géré par OpenMP. Des tests ont été effectués avec succès sur IBM SP6 utilisant 96 processeurs. Par ailleurs LMDZ est actuellement testé sur 2000 processeurs sur la machine Curie du TGCC dans le cadre du programme PRACE.

5.2 Le modèle ORCHIDEE

Site web ORCHIDEE (en cours de finalisation) : <http://labex.ipsl.fr/orchidee>

Documentation technique : <https://forge.ipsl.jussieu.fr/orchidee>

Le modèle de surface continentale ORCHIDEE est le couplage de 3 modèles :

1. Le modèle SECHIBA simule le bilan hydrique et énergétique de la surface

2. Le modèle STOMATE simule la phénoménologie de la végétation et les transferts bio-géochimiques
3. Le modèle LPJ simule l'évolution dynamique de la végétation

Le modèle ORCHIDEE peut être utilisé soit seul (offline) ou couplé à LMDZ.

Le code d'ORCHIDEE et son optimisation Le code est conçu de manière modulaire en fortran 90. Il a été optimisé pour la vectorisation de la même manière que toutes les paramétrisations de LMDZ. La version officielle d'ORCHIDEE est parallélisée en MPI. Une version hybride MPI-OpenMP est en cours de validation.

Références

Popke, D., B. Stevens, and A. Voigt (2013), Climate and climate change in a radiative-convective equilibrium version of ECHAM6, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 1–14, doi :10.1029/2012MS000191.