

Demande IDRIS 2012 – projet 0292
Modélisation du climat : cycle de l'eau et variabilité climatique

Description du projet de recherche

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

L.M.D. - Octobre 2010

Demande : 600 000 heures CPU sur IBM Power-6 ; 150 Tera-octets

1 Résumé

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

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

Ce projet comporte plusieurs volets : (1) l'évolution du modèle LMDZ (demande= 200 000h IBM SP6), (2) le développement du modèle de dynamique stratosphérique et mésosphérique (demande=80 000h IBM SP6), (3) les isotopes de l'eau (demande=100 000h IBM SP6), (5) paramétrisation de la convection et MJO (demande = 70 000 h IBM SP6), (6) Microphysique des nuages de glace (demande=40 000h IBM SP6), (7) l'évolution du modèle de surface continentale ORCHIDEE (demande=110 000 h CPU IBM SP6). La demande de stockage est de 150 To.

2 Présentation générale

Le présent projet porte principalement sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale (MCG) atmosphérique LMDZ couplé au modèle de surface et de végétation ORCHIDEE. Ce MCG est un outil d'étude de l'atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l'étranger ; il constitue la composante atmosphérique des modèles couplés IPSL-CM5 et IPSL-CM6 qui seront utilisés pour les simulations de changement climatique du programme international CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) dont l'analyse alimentera le prochain rapport de l'IPCC (voir projet 239) ; enfin sa version transport (baptisée LMDZ-T) est développée et utilisée dans le cadre du projet 1167, pour des études de chimie atmosphérique et de transport de traceurs passifs.

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

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

Nuages

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

Fractionnement isotopique

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

Processus de surface

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

Montagnes et stratosphère

Le développement d'un modèle de la dynamique stratosphérique a été commencé en 2005. Ces développements ont marqué une pause en 2007 ; ils ont repris en 2008. Ils sont motivés par l'intérêt de la chimie stratosphérique et mésosphérique, couplée à la dynamique de la moyenne atmosphère.

Régionalisation

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

AMMA-2

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

2.1 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 au modèle de sol et de végétation ORCHIDEE ; une autre partie des simulations, moins importante, portera sur des configurations de type "aqua-planètes", pour lesquels aucun modèle de sol n'est nécessaire.

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 avec l'ancienne physique et 200 h CPU/an avec la nouvelle physique.

Résolution moyenne 144x142x39 : 200 h CPU/an avec l'ancienne physique et 600 h CPU/an avec la nouvelle physique.

2.2 Evolution et validation de la version de référence de LMDZ

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

Demande : **200 000 heures CPU IBM SP6. 40 To**

La version de CMIP5

Une tâche importante de l'année 2012 va être la poursuite de l'accompagnement des simulations effectuées pour CMIP5. Il y aura en effet, après les simulations comprenant les derniers développements de la physique de LMDZ (l'ensemble de paramétrisations, que nous appelons "Nouvelle physique"), à poursuivre l'amélioration de ces paramétrisations dans le but, en particulier, d'aboutir à une version opérationnelle du modèle couplé de l'IPSL. Les évolutions prévues pour cette année comprennent :

- La poursuite de la mise en oeuvre de nouveaux développements des modèles de nuages, en particulier concernant la représentation des stratocumulus.
- La description de l'interaction "processus de couche limite" - "courants de densité" ; la prise en compte de cette interaction permettra d'aborder la modification des flux de surface par les courants de densité.

- Enfin, divers développements déjà testés en configuration unidimensionnelle vont être implantés dans le modèle de climat pour résoudre le problème des tempêtes en point de grille. Ces tempêtes consistent en des pluies très fortes se produisant sur des mailles isolées pendant des durées importantes (plusieurs heures ou journées). Ces tempêtes en point de grille apparaissent lorsque la résolution du modèle s'affine et que les diamètres des mailles deviennent inférieurs à 100 km environ. Leur présence est un obstacle majeur au raffinement de la résolution horizontale. Leur élimination passe par l'utilisation d'une fermeture convective dépendant de la résolution spatiale.

Pour les versions comprenant la nouvelle physique (i.e. le modèle du thermique nuageux et le modèle de courants de densité, ainsi que le couplage de ces deux paramétrisations avec la paramétrisation de convection profonde via l'énergie de soulèvement ALE et la puissance de soulèvement ALP) nous utiliserons une grille 144x142x39. Cette version permet des pas de temps de la physique de 7,5 minutes, avec des temps de simulation d'environ 600 heures par an ; soit 18000 heures pour une simulation de 30 ans.

Pour la mise au point des paramétrisations de nuage et de courants de densité, on utilisera aussi la configuration 96x95x39, pour laquelle on atteint environ 200 heures par an. L'expérience des années précédentes confirme que le temps de mise au point, une fois l'essentiel des paramétrisations et paramètres figés, est de l'ordre de 10 simulations de 30 ans, ce qui donne (en supposant une répartition égale entre les deux résolutions) environ 120 000h CPU sur l'IBM SP6 pour la mise au point. Les 2 simulations de 30 ans avec la résolution finale devraient consommer environ l'équivalent de 36 000 heures.

Pour ce qui concerne l'élimination des tempêtes en point de grille, il sera nécessaire d'utiliser plusieurs résolutions horizontales. On peut estimer à environ 40 000 h CPU la consommation liée à cette tâche (équivalent à environ 60 ans de simulations à résolution moyenne).

2.3 Organisation de la convection profonde et implications pour l'état moyen de l'atmosphère : évaluation de LMDZ

I.Tobin, S.Bony, R.Roca

Demande : 20 000h heures CPU IBM SP6.

Une étude observationnelle de l'agrégation de la convection profonde sur les océans tropicaux (Tobin et al, submitted) à l'échelle synoptique a mis en évidence une dépendance systématique de plusieurs variables climatiques au degré d'agrégation de la convection. En particulier, lorsque la convection est agrégée, l'atmosphère grande échelle est plus sèche, les flux de surface turbulents sont plus intenses, l'OLR (Outgoing Longwave Radiation) est plus important que lorsque la convection est répartie sur plusieurs systèmes. L'objectif du projet est d'appliquer les diagnostics développés dans cette étude au modèle LMDZ pour évaluer 1) sa représentation statistique de l'organisation de la convection en terme de degré d'agrégation à ces échelles et 2) sa capacité à reproduire cette "sensibilité" des variables atmosphériques au degré d'agrégation de la convection. L'influence de la résolution sera étudiée ainsi que l'impact de l'introduction du schéma des poches froides (Grandpeix et Lafore, 2010) et des thermiques (Rio et al, 2009). 4 simulations sont donc prévues avec les résolutions suivantes : 96x95x39 et 144x142x39 en utilisant la physique AR4 et la nouvelle physique. Pour pouvoir établir des relations statistiquement significatives, des simulations de plusieurs années sont nécessaires (10 ans). L'analyse sera appliquée à des sorties instantanées, à l'instar de l'étude observationnelle. C'est la raison majeure qui justifie de faire ces simulations plutôt que d'analyser des simulations existantes, dont les sorties standards sont moyennées.

2.4 Processus fondamentaux : Montagnes, ondes de gravité et stratosphère

François Lott, Sylvain Mailler, Lionel Guez

Demande : **80 000 heures CPU IBM SP6 ; 3 To**

Toutes les simulations envisagées avec le modèle LMDz, le seront avec sa version parallèle la plus récente.

Influence des montagnes sur le climat

Nous rappelons ici les projets sur ce thème, et qui n'ont pas été menés en 2011, de ce fait la demande est réduite en conséquence, il s'agira en 2012 de relancer ces thématiques. Nous avons besoin par exemple de mener une simulation troposphérique longue (30ans) à résolution horizontale moyenne (144x143x19). Il s'agira entre autre de mettre à jour la représentation des montagnes dans le modèle, que ce soit via l'utilisation de base de données de l'orographie terrestre plus récentes (il s'agira de remplacer les données de l'USN à résolution de 10'x10' par la base de donnée ETOPO à très haute résolution), que de diagnostics nouveaux, en ce qui concerne l'influence des montagnes sur le climat des régions équatoriales. Ce passage à des résolutions plus élevées, aussi bien en ce qui concerne le modèle LMDz que la base de données orographique, nécessitera des ajustements de la paramétrisation des montagnes d'échelles sous-maille (la dernière mise à jour systématique du module de représentation des montagnes d'échelles sous-maille développé dans Lott et Miller (1997) pour le CEPPMT remonte à Lott (1999)).

En ce qui concerne les diagnostics sur les régions équatoriales, il s'agira d'étendre aux Andes et aux Rocheuses les études de sensibilité de la simulation des gouttes froides à la paramétrisation des montagnes d'échelle sous-maille.

Pour pouvoir relancer ces 2 thèmes il nous semble qu'une simulation de 50 ans correspondant à 10 000 h-CPU est raisonnable. Une demande plus subséquente pourra être faite en 2013, si par exemple une thèse est lancée sur ces thématiques.

Influence de la stratosphère sur le climat

Après avoir étudié en détail les performances du modèle dans les régions équatoriales (Maury et al. 2011) nous avons mis au point une version à 80 niveaux qui semble capable de produire une oscillation quasi-biennale. Nous sommes arrivés à la simuler, ce qui est une première en France. Il faut à présent consolider ce résultat avec des simulations longues et avec des tests à la résolution verticale. Comme la QBO que nous simulons l'est grâce au développement d'une nouvelle paramétrisation des ondes de gravité non-orographique, le formalisme de cette paramétrisation et son implémentation dans le code lui-même doivent être harmonisés. Il y a donc des ajustements à faire, ainsi que de nombreux tests de sensibilités. Nous allons aussi chercher à lier ces paramétrisations des ondes de gravité à leurs sources convectives, ce qui va aussi demander un gros investissement en terme numérique.

Le coût estimé pour 5 simulations de sensibilités de 20 ans à 80 niveaux verticaux est de 70 000hrs CPU.

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

Sandrine Bony, Solange Fermepin (Thèse)

Demande : **4 000 heures CPU IBM SP6**

Les erreurs systématiques des modèles climatiques sont fréquemment liées aux représentation des processus rapides. Certaines de ces erreurs systematiques observées à l'échelle climatique deviennent évidentes après quelques jours de simulation. L'approche Transpose AMIP propose d'évaluer ces erreurs dès les premiers jours de simulation, à condition d'initialiser le modèle d'une manière "realiste". Alors, cette approche nous permet d'évaluer la réponse rapide du modèle à une perturbation imposée.

Le but de ce travail est de mieux comprendre les erreurs systématiques du modèle climatique LMDZ, avec un intérêt sur les paramétrisations de la convection et des nuages, ainsi que l'étude de la réponse rapide du climat simulé quand la concentration de CO2 est brusquement multipliée par quatre.

- Transpose AMIP II Experiment : pour ce projet, nous allons faire un total de soixante quatre forecasts (avec ces états initiaux correspondant) avec LMDZ couplé à ORCHIDEE. Nous estimons un temps de 210 minutes pour chaque forecast (simulation plus état initial), ce qui donne une estimation de 300 h CPU.
- Cycle saisonnier : nous voudrions faire une année de simulations pour analyser l'aspect saisonnier de nos résultats. Nous voudrions faire des simulations control plus des simulations avec un quadruplement de CO2, qui donnent un total de 2600 heures de calcul.
- Simulations à haute resolution : nous voudrions faire des simulations à haute résolution pour tester la dépendance à la resolution des paramétrisations de LMDZ. Nous avons noté qu'un mois de simulation sur Brodie à une resolution de 2.25x1.125 degrees équivaut à 20 heures de calcul, nous estimons le temps total de calcul pour un mois en plusieurs resolutions (plus fines) à 1000 heures de calcul.

2.6 Isotopes de l'eau

Sandrine Bony, Camille Risi

Demande : **100 000 heures CPU IBM SP6 ; 2 000Go**

Malgré les constantes améliorations des modèles de climat, des désaccords persistent entre les modèles sur l'amplitude du réchauffement climatique futur et les changements hydrologiques associés. Dans ce cadre, de nouveaux diagnostics observables permettant de mieux évaluer la crédibilité des modèles et de leurs projections sont bienvenus. Notre but est d'explorer la valeur ajoutée de mesures isotopiques (HDO , $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$) dans la vapeur d'eau, la précipitation, les réservoirs d'eau continentaux et les archives paléoclimatiques pour mieux évaluer les processus hydrologiques à la fois atmosphérique et continentaux.

Avec cet objectif, nous travaillons depuis 5 ans au développement et à l'analyse des isotopes de l'eau dans le modèle de circulation générale atmosphérique LMDZ et dans le modèle de surface continentale ORCHIDEE. Dans la continuité de cet effort, nous comptons tout d'abord poursuivre nos travaux en cours en utilisant l'ancienne physique d'LMDZ : rôle des rétroactions continent-atmosphère sur la distribution des précipitations, facteurs contrôlant les changements de précipitation passés et futurs, processus contrôlant l'humidité troposphérique. Ensuite, nous comptons exploiter les possibilités accrues de tests de sensibilité offertes par la nouvelle physique d'LMDZ pour mieux analyser les processus convectifs, nuageux et de transport et identifier leur signature isotopique. La sensibilité à la représentation des processus de couche limite, de la microphysique et des poches froides sera tout particulièrement explorée. Les simulations seront comparées à de nouvelles observations spatiales et au sol qui documentent pour la première fois la structure verticale de la composition isotopique. La comparaison aux observations nuageuses sera facilitée par le "simulateur d'observations spatiales" COSP.

Un an de simulation LMDZ (résolution $96 \times 95 \times 39$) nécessite 96h avec l'ancienne physique et 224h avec la nouvelle physique. Nous estimons que l'inclusion de 2 isotopes (HDO et $H_2^{18}O$) nécessite le double du temps. Le simulateur COSP et le couplage avec ORCHIDEE nécessitent chacun 10% de temps et stockage supplémentaire. L'inclusion du traçage de l'eau multiplie par n le temps de calcul, pour n traceurs. La réduction du nombre de niveaux à 19 divise par 2 le temps de calcul.

Un an de simulation LMDZ avec 2 isotopes nécessite environ 5Go de stockage.

Dans l'année à venir, nous souhaitons :

1. Poursuivre nos travaux sur les changements de précipitation passés et futurs. Le but est de comprendre comment la physique du modèle affecte la réponse des précipitations aux changements de température de surface, de discriminer quelles réponses simulées sont les plus réalistes d'après les archives isotopiques, et d'en déduire des implications pour les changements futurs. (30300h, 800Go)
 - Différents tests de sensibilités (environ 3) avec ancienne physique à 19 niveaux seront appliqués à 5 climats (présent, futur, 6ka, 21ka, 126ka) sur 5 ans ;
 $5ans * 5 climats * 3 * (96h / 2 * 2 isos) = 7200h$, $5ans * 3 * 5 * 5Go = 375Go$
 - idem : 2 tests avec la nouvelle physique :
 $5ans * 5 climats * 2 * (224h * 2 isos) = 22400h$, $5ans * 2 * 5 * 5Go = 250Go$
 - Quelques tests seront réalisés avec des températures de surface idéalisées avec ancienne physique :
 $3 * 5ans * (96h / 2 * 2 isos) = 720h$, $3 * 5ans * 5Go = 75Go$.
2. Poursuivre nos travaux sur les rétroactions continent-atmosphère avec LMDZ-ORCHIDEE : quels sont les processus les plus importants pour déterminer l'intensité de ces rétroactions ? Comment ces rétroactions peuvent-elles être évaluées grâce aux observations isotopiques ? Des tests de sensibilité aux paramètres d'ORCHIDEE seront réalisés pour étudier le rôle des rétroactions aux échelles intra-saisonnière, en changement climatique et en déforestation. Ces tests seront courts (5ans) et avec l'ancienne physique à 19 niveaux. (1400h, 200Go)
 - 6 tests de sensibilité pour les échelles intra-saisonnières :
 $6 * 5ans * (96h / 2 * 2 isos) = 2880h$, $6 * 5ans * (5Go / 2) = 75Go$
 - 3 tests de sensibilité en changement climatique :
 $3 * 5ans * (96h / 2 * 2 isos) = 1440h$, $3 * 5ans * (5Go / 2) = 38Go$
 - idem en déforestation :
 $3 * 5ans * (96h / 2 * 2 isos) = 1440h$, $3 * 5ans * (5Go / 2) = 38Go$
 - quelques simulations de traçage de l'eau pour interpréter les résultats :
 $6 * 3 ans * (96h / 2 * 3 isos) * 3 traceurs = 7776h$, $6 * 3ans * (5Go / 2) = 45Go$
3. Etudier les processus nuageux, convectifs et de transport, et leur signature isotopique. Des tests de sensibilité seront réalisés avec la nouvelle physique, en particulier à la représentation des processus de couche limite, de la microphysique et des poches froides. Des simulations guidées par les vents des réanalyses et équipées du simulateur COSP entre 1996 et 2011 permettront de comparer aux données isotopiques disponibles, et d'analyser la variabilité aux échelles intra-saisonnières, saisonnière et inter-annuelle. (68500Go, 1000Go)
 - 4 simulations avec l'ancienne physique pour comparer aux études précédentes :
 $15ans * 4 * (96h * 2.1) = 12096h$, $15ans * 4 * (5Go * 1.1) = 330Go$
 - environ 8 simulations avec nouvelle physique :
 $15ans * 8 * (224h * 2.1) = 56448h$, $15ans * 8 * (5Go * 1.1) = 660Go$

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

Olivier Boucher, Marine Bonazzola, post-doc du projet IMPACT
Demande : **40 000 heures CPU IBM SP6. Stockage 3 To**

Les mesures in-situ et par satellite montrent que la concentration en vapeur d'eau varie considérablement dans la haute troposphère, y compris à des échelles spatiales très courtes. On sait également que l'atmosphère peut être sursaturée par rapport à la glace sans qu'il y ait présence d'un nuage, en raison du manque de noyaux glaçogènes dans la haute troposphère. La version actuelle du modèle LMDz inclut une représentation très simplifiée des variations de la concentration en vapeur d'eau et de la formation de cirrus à l'échelle sous-maille. Cette paramétrisation a récemment été modifiée par Marine Bonazzola pour autoriser la sursaturation par rapport à la glace dans la partie de ciel clair, qui jusque là n'était pas considéré. Nous nous appuyerons sur ce travail pour mieux prendre en compte la variabilité sous-maille (horizontale et verticale) de la vapeur d'eau et de simuler les zones sursaturées en vapeur d'eau de manière satisfaisante dans le modèle LMDz avec la nouvelle physique. La variabilité sous-maille de la vapeur d'eau sera évaluée à partir des mesures de vapeur d'eau et de nuages qui sont disponibles que celles-ci proviennent d'instruments in-situ (IAGOS) ou satellitaires (par exemple TOVS). Les paramètres variables de la paramétrisation seront ajustés de manière à reproduire les observations de vapeur d'eau (valeur moyenne et variabilité spatiale et temporelle). Enfin, on étudiera la sensibilité de la nouvelle paramétrisation à la résolution verticale du modèle. La nouvelle paramétrisation sera acceptée quand elle produira i) des concentrations en vapeur d'eau qui sont cohérentes avec les observations in-situ et satellitaires, ii) des champs de nuages qui sont de qualité équivalente ou supérieure aux champs de nuage de la version actuelle de LMDz et iii) un bilan radiatif en relatif accord avec les mesures satellitaires.

Nous introduirons ensuite un diagnostic de formation des traînées de condensation dans le modèle LMDz. Ce diagnostic prendra en compte la variabilité sous maille de la vapeur d'eau, la variation verticale de la température dans la maille et l'efficacité des moteurs d'avion et sera couplé avec les inventaires d'émissions qui auront été introduits dans LMDz afin de simuler une distribution tridimensionnel des traînées de condensation. On utilisera pour cela une hypothèse de recouvrement vertical pour estimer la couverture bidimensionnelle par les traînées de condensation. Les paramètres de la paramétrisation seront ajustés de manière à reproduire les quantités moyennes de traînées sur certaines régions clés. On testera la cohérence de la simulation vis-à-vis des observations pour un jeu optimal de paramètres ajustables.

Ce travail s'insère dans le projet IMPACT (étude de l'impact de l'aviation sur le climat) qui devrait être financé pour 3 ans par la Direction Générale de l'Aviation Civile à partir de janvier 2012. Seul du développement (et de l'évaluation) de modèle est prévu pour la première année. Nous aurons besoin de simulations courtes (1 mois à 1 an) en nombre suffisant pour pouvoir affiner les paramétrisations, vérifier leur sensibilité aux paramètres incertains et à la résolution (verticale et horizontale) du modèle atmosphérique. Nous estimons le besoin à l'équivalent de 100 ans de simulation avec LMDZ en 39 niveaux.

2.8 Sensibilité de la simulation des oscillations intrasaisonnières tropicales à la fermeture du schéma de convection profonde

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

Demande : 70 000 heures CPU IBM SP6. Stockage 5.5 To

Les oscillations intrasaisonniers (20-100 jours) sont des perturbations de la convection tropicale organisées à grande échelle sur les océans Indien et Pacifique. Ces perturbations sont très importantes dans la variabilité de la mousson asiatique et de la mousson Australienne et sont une source de prévisibilité à l'échelle étendue (15-30 jours). Une simulation correcte des ces oscillations dans les modèles de climat est nécessaire pour obtenir une bonne représentation des moussons, mais aussi du phénomène El Niño.

Malgré une légère amélioration de la variabilité intrasaisonnaire en JFM avec la « nouvelle physique » de LMDZ, celle-ci est encore assez peu satisfaisante (propagation deux fois trop lente, forte variabilité au nord de l'équateur). Les événements intrasaisonniers sont toujours trop peu organisés, non réalistes et non reproductibles. Pour les mois d'été, l'ITCZ moyen est dégradé avec la nouvelle physique, avec en particulier une baisse de la convection dans la baie du Bengale).

Des études précédentes ont montré que la variabilité de la convection tropicale pouvait être amélioré en modifiant certains paramètres des schémas de convection profonde (fermeture et déclenchement). L'objectif de ce projet est d'inspecter, de quantifier et de comprendre l'effet de la fermeture du schéma de convection profonde sur la représentation des oscillations intrasaisonniers dans les tropiques et, plus généralement, sur la variabilité des précipitations et l'intensité des transitoires.

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

En 2012, les tests consisteront à modifier progressivement la fermeture dans des simulations globales forcées, puis couplées. A chaque étape, les sorties quotidiennes de ces simulations seront analysées avec la méthode décrite dans Xavier et al. (2010) afin de déterminer l'activité intrasaisonnaire et son lien avec l'organisation de la convection à grande échelle.

150 ans de simulation forcée (avec des durées pour chaque configuration comprises entre 2 et 10 ans) seront typiquement nécessaires. Différentes résolutions spatiales seront également considérées. En faisant l'hypothèse de 50 ans de simulation avec la basse résolution et 100 ans avec la résolution moyenne, on peut estimer la consommation à 70 000 h CPU. On stockera les moyennes diurnes pour les champs 2D et les champs 3D sur 8 niveaux.

2.9 Impact des ondes côtières sur les upwellings des côtes africaines

Anne Charlotte Peter et Alban Lazar

Demande : 000 heures CPU IBM SP6 ; 1 To

Cette demande est citée pour mémoire, le fichier du texte de la demande ayant été perdu. Une demande sera effectuée lors de la deuxième phase.

2.10 Evolution et validation du modèle ORCHIDEE

Le cycle hydrologique continental

Jan Polcher, Nathalie Bertrand

Demande : 45 000 heures CPU IBM SP6 ; 1 To

La construction de barrages afin de créer des réservoirs, source d'eau pour l'irrigation, est très courante en Afrique. Cependant, en cas de hausse de température qui conduirait à la hausse de l'évaporation, notamment sous changement climatique, les pertes évaporatives pourront encore plus compromettre l'utilité des réservoirs. Des barrages vont être installés dans le modèle ORCHIDEE sur le bassin du Nil, dans le but d'identifier l'impact sur les ressources en eau. Les forçages WATCH pour le XXème et XXIème siècles seront utilisés pour initialiser le modèle ORCHIDEE. Soit 400 années de simulations, qui seront utilisées afin d'étudier l'impact des barrages sur les ressources en eau.

Simulations d'impacts Matthieu Guimberteau, Agnès Ducharne et Philippe Ciais

Demande : 10 000 heures CPU IBM SP6 ; 2To

Les ressources allouées par les machines de l'Idris seront utilisées pour mener à bien une partie du projet européen de 3ans AMAZALERT (Raising the alert about critical feedbacks between climate and long-term land use change in the Amazon, <http://www.eu-amazalert.org/home>) qui a débuté ce 1er Octobre 2011. L'objectif d'AMAZALERT est d'évaluer les rétroactions existantes entre le climat, la société, le changement d'utilisation des terres, le changement de la végétation, la disponibilité en eau et les politiques en Amazonie. Le but ultime est de donner une alerte aux politiques sur la perte imminente et irréversible des services de l'écosystème amazonien et de proposer des stratégies d'intervention aux décideurs pour empêcher une telle perte. Le CNRS/IPSL est impliqué dans ce projet dont les principaux objectifs sont les suivants :

- (1) produire des scénarios d'utilisation des terres améliorés pour le bassin de l'Amazonie
- (2) améliorer la performance du modèle de surface dans sa capacité à simuler la réponse de la biogéographie, la biogéochimie et l'hydrologie aux changements d'utilisation des terres et au changement climatique en Amazonie.
- (3) caractériser l'incertitude dans les modèles sur les impacts.

Ainsi, le modèle de surface ORCHIDEE (ORGanising Carbon and Hydrology In Dynamic Ecosystems) sera utilisé. Il sera couplé avec plusieurs modules (routage et plaines d'inondation, carbone STOMATE (Saclay Toulouse Orsay Model for Analysis of Terrestrial Ecosystems), hydrologie 11 couches) et forcé par des données météorologiques. De nombreux tests avec ORCHIDEE seront mis en place pour explorer diverses problématiques liées à la modélisation de l'hydrologie (hydrologie du sol, calcul de l'évapotranspiration, schéma de routage, extensions des plaines d'inondations...). Des comparaisons avec les observations hydrologiques (débits, altimétrie, tour de flux...) seront effectuées.

Mise au point de LMDZ-ORCHIDEE-11 Aurelien Campoye, Agnès Ducharne **Demande : 60 000 heures CPU IBM SP6**

Une fois ce travail fini, nous réutiliserons ORCHIDEE couplé à LMDZ pour des runs long (plusieurs dizaines d'années) sur un maillage régulier, afin d'évaluer l'importance de la caractérisation des processus de surface (notamment sur le choix des conditions limites inférieures du modèle de surface) sur le climat. Des expériences de changement climatique seront aussi mises en place au cours de cet exercice.

3 Méthode

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

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

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

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

Le code LMDZ

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

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

Le code existe maintenant en version parallèle MPI/OpenMP : (1) le découpage du domaine en bandes de latitude est géré par MPI ; (2) le découpage vertical est géré par OpenMP. 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 CCRT dans le cadre du programme PRACE.