

Demande DARI 2017 – 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 2016

Allocation préférée : A2 (16 mois).

Demande sur l'IDRIS si A2 : 1 418 000 heures CPU sur Ada, 311 Tera-octets sur Ergon.

Demande sur l'IDRIS si A1 : 1 029 000 heures CPU sur Ada, 237 Tera-octets sur Ergon.

Comme l'an dernier, nous ne demandons pas d'heures sur Curie.

Table des matières

1	Présentation générale	2
1.1	Les modèles utilisés	2
1.2	Lien avec les autres projets	2
1.3	Vue d'ensemble des quatre thèmes du projet	3
1.3.1	Etude des processus atmosphériques ; evaluation et amélioration du modèle LMDZ	5
1.3.2	Variabilité des températures en Atlantique tropical	5
1.3.3	Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	5
1.3.4	Isotopes de l'eau	6
2	Estimation des ressources consommées par les diverses configurations	6
2.1	LMDZ	6
2.1.1	Les différentes versions	6
2.1.2	Les différentes résolutions	7
2.1.3	Les différentes configurations	7
2.1.4	Estimation des ressources	8
2.2	ORCHIDEE et NEMO	8
2.3	Espace de stockage	8
3	Demande détaillée	8
3.1	Etude des processus atmosphériques ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ	8
3.1.1	Entretien d'une version distribuable de LMDZ	9

3.1.2	Etude de l'organisation de la convection dans LMDZ en configuration d'équilibre radiatif-convectif (RCE)	9
3.1.3	Impact de la stratosphère sur le climat	11
3.1.4	Impact du schéma de convection sur la mousson Ouest-Africaine	11
3.1.5	Microphysique des nuages froids	12
3.2	Variabilité des températures en Atlantique tropical	13
3.3	Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	14
3.3.1	Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE	14
3.3.2	Couplages surfaces continentales - atmosphère	14
3.3.3	Simulation des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE	15
3.4	Isotopes de l'eau	16
3.4.1	Mise à jour de LMDZ-iso	16
3.4.2	Evaluation des processus nuageux, applications paleo-climatiques et régionales	17
3.4.3	LMDZ-iso au Cénozoïque	17
4	Méthode	19
4.1	Le modèle LMDZ	19
4.2	Le modèle ORCHIDEE	19

1 Présentation générale

1.1 Les modèles utilisés

Comme tous les ans, ce projet est centré sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ, du modèle de surface continentale ORCHIDEE, et du modèle d'océan NEMO. Les différents modèles peuvent chacun être utilisés seuls (offline) ou couplés entre eux.

- **LMDZ** est le modèle de circulation général atmosphérique développé au LMD. Il constitue la composante atmosphérique du modèle couplé de l'IPSL. Ce dernier est utilisé pour les simulations de changement climatique des programmes internationaux CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), dont l'analyse alimente les rapports d'évaluation de l'IPCC (voir projet 239). Il est un outil d'étude de l'atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l'étranger.
- **ORCHIDEE** est le modèle de surface continentale développé à l'IPSL. Il constitue la composante continentale du modèle couplé de l'IPSL. Il est utilisé seul ou couplé à LMDZ pour la compréhension des processus hydrologiques continentaux et des couplages sol-atmosphère.
- **NEMO** est le modèle de circulation générale océanique développé au LOCEAN. Il constitue la composante océanique du modèle couplé de l'IPSL. Dans cette demande, il est utilisé seul pour la compréhension des processus océaniques.

Dans notre demande, la grande majorité des moyens de calcul demandés implique des simulations avec LMDZ.

1.2 Lien avec les autres projets

Ce projet est 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.

thème	calcul sur Ada (k heures CPU)	stockage sur Ergon (To)
Etude des processus atmosphériques; évaluation et amélioration du modèle LMDZ	942	250
dont entretien d'une version distribuable	50	1
dont organisation de la convection	518	134
dont stratosphère	267	100
dont convection et phénomènes tropicaux	24	5
dont microphysique des nuages froids	83	10
Variabilité des températures en Atlantique tropical	2	1
Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	222	19
dont suivi des versions	40	1
dont couplages surfaces continentales - atmosphère	106	8
dont cycles bio-géochimiques	76	10
Isotopes de l'eau	252	41
dont entretien	5	0
dont processus nuageux et applications régionales	57	31
dont LMDZ-iso au Cénozoïque	190	10
Total	1 418	311

TAB. 1 – Tableau résumant les demandes de temps de calcul et de stockage sur l'IDRIS dans le cas A2

- au projet **genCMIP6**, qui est consacré à la mise au point et le réglage de la prochaine version d'LMDZ, LMDZ6. En 2016, la frontière parfois floue entre notre projet et genCMIP6 a conduit à des sur-consommations ponctuelles. Pour éviter ce problème, nous avons décidé de ne pas faire tourner de simulations longues avec les configurations CMIP6 (très lourdes) sur notre projet.

1.3 Vue d'ensemble des quatre thèmes du projet

Le projet porte sur 4 grands thèmes, résumés ci-dessous. Les demandes en temps de calcul et en espace de stockage par thèmes sont détaillées dans le tableau 1 pour l'allocation A2 et dans le tableau 2 en cas d'allocation A1.

thème	calcul sur Ada (k heures CPU)	stockage sur Ergon (To)
Etude des processus atmosphériques ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ	652	191
dont entretien d'une version distribuable	31	0
dont organisation de la convection	411	106
dont stratosphère	134	75
dont convection et phénomènes tropicaux	15	3
dont microphysique des nuages froids	61	7
Variabilité des températures en Atlantique tropical	1	1
Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE	139	14
dont suivi des versions	25	1
dont couplages surfaces continentales - atmosphère	66	6
dont cycles bio-géochimiques	48	7
Isotopes de l'eau	237	31
dont entretien	5	0
dont processus nuageux et applications régionales	42	21
dont LMDZ-iso au Cénozoïque	190	10
Total	1 029	237

TAB. 2 – Tableau résumant les demandes de temps de calcul et de stockage sur l'IDRIS dans le cas A1

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

Le modèle LMDZ est utilisé pour mieux comprendre certains processus atmosphériques et mieux prévoir leur évolution en changement climatique. En retour, cette compréhension est mise au service de l'évaluation et de l'amélioration de ce modèle.

Entretien d'une version distribuable de LMDZ Il s'agit de vérifier que les versions successives du modèle fonctionnent bien (section 3.1.1).

Etude de l'organisation de la convection dans LMDZ en configuration d'équilibre radiatif-convectif (RCE) Nous essayons de mieux comprendre les mécanismes qui contrôlent la circulation générale de l'atmosphère, le rôle des nuages et de la vapeur d'eau, et sa réponse à un réchauffement global. Pour cela, nous nous plaçons dans le cadre très idéalisé d'une aqua-planète en équilibre radiatif-convectif (ensoleillement et température de surface océanique uniformes sur l'ensemble de la planète, pas de rotation) (section 3.1.2).

Impact de la stratosphère sur le climat 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. Parmi ces processus, nous étudions en particulier l'influence de la stratosphère sur le climat (section 3.1.3)

Convection et phénomènes tropicaux La représentation de la convection profonde dans LMDZ est un chantier permanent. Cette année, l'influence de la représentation de la convection profonde sur la mousson Ouest africaine sera plus particulièrement étudiée (section 3.1.4).

Microphysique des nuages froids L'analyse des résultats des simulations réalisées sur Ada en 2016 avec le modèle LMDz a permis d'identifier les points forts et les points faibles du modèle aussi bien pour les nuages hauts des tropiques que pour les nuages froids Antarctique. Ces nouveaux diagnostics permettent maintenant de mieux contraindre et améliorer les paramétrisations au plus proche des processus (section 3.1.5).

1.3.2 Variabilité des températures en Atlantique tropical

Nous analysons les mécanismes atmosphériques et océaniques impliqués dans le développement du mode de variabilité interannuelle équatorial de type « ENSO Atlantique » (section 3.2).

1.3.3 Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE

Les processus à la surface des continents constituent un élément clef du système climatique. Le modèle de surface continentale ORCHIDEE, couplé ou non à LMDZ, est utilisé pour mieux comprendre les processus hydrologiques à la surface des continents et leur couplage avec l'atmosphère, et pour mieux prévoir leur évolution en changement climatique. En retour, cette compréhension est mise au service de l'évaluation et de l'amélioration du modèle ORCHIDEE et de son couplage avec LMDZ.

Suivi des versions successives d'ORCHIDEE Il est nécessaire de vérifier que les versions successives du modèle ORCHIDEE fonctionnent bien (section 3.3.1).

Couplages surfaces continentales - atmosphère Ces travaux visent à mieux comprendre les processus de couplage entre surfaces continentales et atmosphère, ainsi qu'à évaluer et améliorer la représentation de ces processus dans LMDZ-ORCHIDEE (section 3.3.2).

Simulation des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE Le modèle ORCHIDEE, couplé ou non à LMDZ, est aussi un outil adapté pour mieux comprendre et prévoir l'évolution future des cycles hydrologiques, bio-géochimiques et des ressources en eau. Les travaux sur l'évolution du cycle hydrologique en Amazonie, qui ont bénéficié des heures de calcul sur Ada dans le cadre de ce projet depuis plusieurs années, ont été finalisés. À partir de cette années, nous nous concentrerons sur la simulation des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE (section 3.3.3).

1.3.4 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 en particulier, et pour des applications paléo-climatiques.

- Nous travaillerons à la pérennisation de cet outil (section 3.4.1)
- Nous poursuivrons nos travaux sur l'évaluation de la représentation des processus convectifs et nuageux et de leur rôle dans la variabilité intra-saisonnière, dans le cadre du projet ANR CONV-ISO, et nous étudieront le rôle de l'évapo-transpiration sur la mise en place de la mousson sud-américaine (section 3.4).
- Nous poursuivrons les travaux en cours sur l'interprétation d'enregistrements isotopiques paléo-climatiques au Cénozoïqu (section 3.4.3).

2 Estimation des ressources consommées par les diverses configurations

L'estimation des ressources consommées par les diverses configurations est presque inchangée par rapport à l'année 2015.

2.1 LMDZ

L'essentiel du temps calcul de ce projet est consommé par des simulations avec le modèle atmosphérique LMDZ

2.1.1 Les différentes versions

Il existe plusieurs versions d'LMDZ utilisées dans ce projet :

- **LMDZ5A** est l'une des versions utilisées pour le projet d'intercomparaison CMIP5. Elle est proche de LMDZ4 ([Hourdin et al., 2006]), utilisé pour CMIP3.
- **LMDZ5B** est l'autre version utilisée pour CMIP5. Elle inclue de nombreuses améliorations dans les paramétrisations de la convection profonde, peu profonde et de leur couplage ([Rio et al., 2009, Rio et al., 2013, Hourdin et al., 2012]).

- **LMDZ6** est la version qui sera utilisée pour CMIP6. Elle se base sur LMDZ5B, mais inclue des améliorations supplémentaires dans les paramétrisations de la convection et de nuages, ainsi qu'un nouveau réglage.

2.1.2 Les différentes résolutions

La résolution horizontale et verticale est définie par la grille. Par exemple, R96x71x39 signifie qu'il y a 96 points en longitude (3.75° de résolution), 71 points en latitude (2.5° de résolution) et 39 niveaux verticaux.

La résolution verticale est une caractéristique rarement modulable de la version de LMDZ. Ainsi, LMDZ5A et LMDZ5B sont utilisés avec 39 niveaux verticaux, tandis que LMDZ6 est utilisé avec 79 niveaux verticaux.

Pour l'étude de la stratosphère, LMDZ6 mais utilisé avec 72 niveaux verticaux seulement. Des niveaux près du sol ont été enlevés par rapport à LMDZ6. On appelle ci-après cette version LMDZ6-strato.

Concernant la résolution horizontale, les simulations de notre demande seront réalisées avec l'une des grilles suivantes :

- R96x71 est encore plus basse que la résolution dite « basse » de CMIP5. Elle permet d'économiser du temps de calcul et n'est plus utilisée que pour les simulations isotopiques.
- R96x95 est la résolution appelée « basse » dans CMIP5, maintenant appelée « très basse » ou « VLR » (very low resolution). Elle permet d'économiser du temps de calcul et est utilisée quand les résultats ne sont pas crucialement sensibles à la résolution horizontale.
- R144x142 est la résolution dite « moyenne » dans CMIP5, maintenant appelée « LR ».
- R96x95-zoomé correspond à une variante irrégulière de la grille R96x95. Elle permet d'atteindre des résolutions fines dans la région du zoom tout en économisant le temps de calcul.
- R144x142-zoomé correspond à une variante irrégulière de la grille R144x142. Elle permet d'atteindre des résolutions aussi fines que 50km dans la région du zoom.

2.1.3 Les différentes configurations

LMDZ peut-être utilisé dans de multiples configurations. Pour représenter les surfaces continentales, LMDZ peut être couplé ou non au modèle de sol et de végétation ORCHIDEE. Sur océan, LMDZ peut-être forcé par des température de surface de l'océan observées (simulations « AMIP ») ou calculées par des modèles couplés océan-atmosphère, dans le cas de simulations paléo-climatiques. La température de surface de l'océan peut aussi être imposée constante et uniforme partout, dans le cas de simulations aquaplanètes. Les vents peuvent être guidés ou non par des réanalyses. Enfin, une version isotopique, LMDZ-iso ([Risi et al., 2010]), est disponible pour LMDZ5A et LMDZ5B.

En terme de temps de calcul, on peut classer les différentes configurations utilisées dans ce projet en 4 groupes :

- Les simulations couplées LMDZ-ORCHIDEE, appelées LMDZOR.
- Les simulations avec LMDZ seul.
- Les simulations avec LMDZ seul, en aquaplanètes en équilibre radiatif-convectif. Le temps d'exécution est allégé.
- Les simulations isotopiques : LMDZ-iso est utilisé seul et le temps d'exécution est augmenté par les calculs isotopiques.

configuration de LMDZ → grille horizontale ↓	LMDZOR	LMDZ aquaplanète SST uniforme	LMDZ aquaplanète slab	LMDZ-iso
R96x71 (VVLR)	-	-		LMDZ5B : 300h
R96x95 (VLR)	LMDZ5A : 150h LMDZ5B : 200h LMDZ6 : 600h	LMDZ5A : 72.5h	LMDZ5A : 192h	-
R144x142 (LR)	LMDZ6 : 1 780h	LMDZ6 : 1 335h	LMDZ6 : 3 456h	-
R96x95 -zoomé	LMDZ5B : 300h	-		-
R144x142 -zoomé	LMDZ5B : 450h	-		LMDZ5A : 1 900h

TAB. 3 – Temps de calcul, en heures CPU par an, que prennent les différentes versions de LMDZ pour différentes résolutions horizontales et verticales et différentes configurations prévues en 2016 dans cette demande. LMDZ5A et LMDZ5B sont utilisés avec 39 niveaux verticaux, tandis que LMDZ6 est utilisé avec 79 niveaux verticaux et LMDZ6-strato avec 72 niveaux verticaux. Les cases non renseignées sont celles pour lesquelles aucune simulation n'est prévue dans cette demande.

2.1.4 Estimation des ressources

Les ressources consommées par les simulations réalisées avec ces diverses versions, grilles et configurations sont indiquées dans le tableau 3.

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.

2.2 ORCHIDEE et NEMO

- Quand ORCHIDEE est utilisé seul, le temps de calcul est de 8h/an pour une grille de $2^\circ \times 2^\circ$ sur 32 coeurs et de 20h/an pour une grille de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ sur 64 coeurs.
- Quand NEMO est utilisé seul, il utilise 80h/an.

2.3 Espace de stockage

L'espace de stockage nécessaire dépend de la fréquence et de la quantité des sorties que chacun souhaite. C'est donc très variable d'une étude à l'autre.

3 Demande détaillée

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

Demande totale pour le thème :

Demande A2 : 942 000 heures CPU sur Ada, Stockage : 261 To sur Ergon
Demande A1 : 652 000 heures CPU sur Ada, Stockage : 201 To sur Ergon

3.1.1 Entretien d'une version distribuable de LMDZ

Laurent Fairhead

Des simulations routinières de 1 mois sont lancées sur Ada 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.

Demande A2 : 50 000 heures CPU sur Ada

Stockage : 1 To sur Ergon

En cas de demande A1 : 31 000 heures CPU sur Ada et 0 To sur Ergon (application d'une règle de 3)

3.1.2 Etude de l'organisation de la convection dans LMDZ en configuration d'équilibre radiatif-convectif (RCE)

Sandrine Bony, David Coppin (thèse), Addisu Gezahegn (post-doc)

Demande A2 : 518 000h CPU sur Ada, 134 To sur Ergon

Demande A1 : 411 000h CPU sur Ada, 106 To sur Ergon

En 2017/2018, nous comptons poursuivre l'étude du rôle de l'agrégation de la convection dans le climat à l'aide du modèle LMDZ. Ce projet s'inscrit dans le cadre du Grand Challenge Clouds, Circulation and Climate Sensitivity du WCRP (Bony et al. 2015) et dans le cadre du projet ERC Advanced Grant EUREC4A (Elucidating the role of cloud-circulation coupling in climate) de Sandrine Bony qui vient d'être accepté (2016-2021). L'objectif est de poursuivre l'étude du rôle de l'agrégation de la convection dans la sensibilité climatique et dans la circulation générale de l'atmosphère. Plus spécifiquement, nous souhaitons répondre aux questions suivantes : Quelle correspondance y-a-t-il entre la tendance de la convection profonde à s'agréger en configuration RCE et le comportement de la convection en configuration réaliste ? Y-a-t-il un lien entre le phénomène d'auto-agrégation de la convection, l'organisation de la convection à grande échelle (structure de l'ITCZ, représentation de la MJO, etc) et sensibilité climatique (rétroactions nuages et vapeur d'eau) ? Pour répondre à ces questions, nous analyserons des simulations numériques réalisées avec la même physique mais dans une hiérarchie de configurations (RCE, AMIP, RCE-slab, CMIP, etc). Dans cette demande, nous proposons la réalisation d'un ensemble de simulations en configuration RCE (couplées et forcées) avec deux versions de LMDZ : LMDZ5A (utilisée jusqu'à présent et correspondant aux simulations climatiques CMIP5) et LMDZ6, la nouvelle version de LMDZ (nouvelles paramétrisations, plus haute résolution horizontale et verticale) qui sera utilisée dans CMIP6. L'utilisation de deux versions différentes de LMDZ nous permettra de dégager les correspondances robustes de celles qui ne le sont pas.

Nous insistons sur le fait que la demande d'heures présentée ci-dessous n'inclut aucune simulation CMIP6 (qui fait l'objet d'une demande séparée). Elle ne concerne que la réalisation de simulations extrêmement idéalisées qui ne font pas partie du projet CMIP6, utilisant la même physique que dans les simulations CMIP mais dans une configuration très différente, et ne pouvant pas utiliser la logistique mise en place sur Curie pour la réalisation des simulations CMIP6.

En 2016, toutes nos simulations ont été réalisées avec LMDZ5A à la résolution 96*95*39. Elles tournaient sur 32 processeurs. Nous avons prévu de réaliser des simulations LMDZ5A avec rotation et des simulations LMDZ6 sans rotation, mais la dynamique du projet de recherche, combinée au retard dans la finalisation de la physique LMDZ6, nous ont conduit à réaliser de nombreuses simulations de sensibilité de 2 ans avec LMDZ5A en mode forcé (pour l'étude de l'effet d'Iris) et en mode couplé (pour l'étude de la sensibilité climatique). La durée des simulations avec slab était de cinquante ans pour atteindre l'équilibre. La totalité des heures de calcul accordées a été utilisée. La demande d'heures 2017 sera plus élevée qu'en 2016 à cause du plus grand temps de calcul de LMDZ6 (plus hautes résolutions horizontale et verticale que LMDZ5A et nouvelles paramétrisations).

La base de calcul des heures demandées est détaillée dans le tableau 3.

Pour terminer l'étude engagée sur le rôle de l'agrégation dans la sensibilité climatique, il est nécessaire de réaliser quelques simulations de 50 ans avec le modèle LMDZ5A. Cela nous permettra notamment d'analyser rigoureusement le caractère non stationnaire de l'intensité des rétroactions qui semble à l'origine de la forte sensibilité climatique du modèle. Pour cette partie, nous estimons les heures de calcul nécessaires à :

- 4 simulations slab de 50 ans avec LMDZ-5A pour calculer les différentes rétroactions :

$$\Rightarrow 4 \times 50 \text{ ans} \times 192 = 38\,400 \text{ heures}$$

En parallèle, nous réaliserons les premières simulations LMDZ6-LR en mode RCE. Nous réaliserons d'abord des simulations forcées par différentes températures de surface (290K à 310K par pas de 2K) prescrites et uniformes (simulations courtes) puis des simulations couplées à un slab (simulations de 50 ans). Pour chaque SST, il faudra faire une simulation de deux ans pour atteindre un équilibre qui servira ensuite à lancer les différentes expériences à la même SST. Idéalement, comme l'agrégation de la convection peut dépendre des conditions initiales, on compte deux simulations à chaque SST pour avoir une simulation référence où la convection passe d'un état désagrégé à un état agrégé. Enfin, pour tester les mécanismes, il faudra faire 4 tests par SST mais ces tests peuvent durer seulement un an. Ces tests secondaires sont inclus pour la demande A2 mais ne sont pas comptés dans la demande A1. Pour cette partie, nos besoins s'élèvent à :

- 10 simulations LMDZ6-LR de 2 ans pour atteindre un équilibre qui servira à initialiser les simulations à chaque SST :

$$\Rightarrow 10 \times 2 \text{ ans} \times 1\,335\text{h} = 26\,700 \text{ heures}$$

- 20 simulations LMDZ6-LR de 2 ans pour avoir des simulations contrôle où la convection passe de l'état désagrégé à l'état agrégé :

$$\Rightarrow 20 \times 2 \text{ ans} \times 1\,335 = 53\,400 \text{ heures (uniquement si A2)}$$

- 4 groupes de 10 simulations LMDZ6-LR de 1 an pour tester les mécanismes d'initiation :

$$\Rightarrow 4 \times 10 \text{ simulations} \times 1\,335\text{h} = 53\,400 \text{ heures (uniquement si A2)}$$

Pour étudier la sensibilité climatique, nous réaliserons également des simulations RCE LMDZ6-LR couplées à une couche mélangée océanique. Pour cela, le minimum consiste à réaliser une simulation de 50 ans en 1xCO2 pour atteindre l'équilibre et une autre de la même durée en 2xCO2, soit :

- 2 simulations slab de 50 ans avec LMDZ6-LR :

$$\Rightarrow 2 \times 50 \text{ ans} \times 3\,456 = 345\,600 \text{ heures}$$

Pour le stockage, 30 To ont été occupés en plus par rapport à l'année dernière pour 116 000 heures de calcul. On suppose qu'on conservera la même proportion en 2017-2018.

*Demande A2 : total : 38 400+26 700+53 400+53 400+ 345 600 ≈ 518 000 heures CPU sur Ada
Stockage : 134 To sur Ergon*

En cas de demande A1 : 411 000 heures CPU sur Ada et 106 To sur Ergon

(60 simulations en moins et règle de trois pour le stockage)

3.1.3 Impact de la stratosphère sur le climat

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

Demande A2 : 267 000h CPU sur Ada, 100 To sur Ergon

Demande A1 : 134 000 h CPU sur Ada, 75 To sur Ergon

En 2017, nous allons commencer à analyser plus en détail comment la stratosphère contribue à la régionalisation du changement climatique. Nous allons pour cela analyser les teleconnexions entre les différents régions du globe et voir comment la stratosphère les affectent. En particulier, nous analyserons les réponses aux ENSO extrêmes, c'est à dire les ENSO qui risquent de se développer à l'avenir. Dans cette réponse nous modulerons la dynamique de la stratosphère en modifiant soit l'effet des montagnes soit l'effet des ondes de gravité. En ce qui concerne l'effet des montagnes, nous pensons qu'elles peuvent moduler le forçage des ondes planétaires se propageant vers la stratosphère. Les ondes de gravité, elles, modulerons les conditions de propagation de ces ondes planétaires. De ces différentes ondes résultera une dynamique des réchauffements stratosphériques soudains que nous modulerons. L'idée est de tester l'hypothèse que ces réchauffements sont nécessaires pour établir le lien entre les tropiques et les moyennes latitudes. C'est un programme ambitieux et que nous débuterons seulement dans les 16 mois à venir. Il est en support de 2 programmes Européen, ARISE-2 et GOTHAM, le second nous occupant les 5 prochaines années.

- Pour ces taches, nous allons tester la réponse de la stratosphère au phénomène ENSO, ce qui va nous demander de contraster des expériences en forçage perpétuels, un ensemble correspondant à l'année « neutre » 2002, et un autre à l'ENSO extrême de 1995. Comme nous cherchons des impacts sur la variabilité basse fréquence aux moyennes latitudes, des expériences d'une cinquantaine d'années sont nécessaires, à la résolution nominale (e.g. CMIP6) 144x142x79 :

⇒ 2 simulations × 50 ans × 1 335 h = 133 500 heures

- Nous envisageons aussi des expériences de sensibilité aux ondes de gravité, et aux montagnes, mais ne pensons pas avoir le temps de les soumettre intégralement au cours des 16 prochains mois. Les tests préliminaire seront fait cependant :

⇒ 10 simulations × 10 ans × 1 335 h = 133 500 heures

Demande A2 : total : 133 500 heures + 133 500 heures = 267 000 heures

Stockage : Si nous optimisons l'archivage, environ 100 To devraient être suffisant.

Cas d'une demande A1 : 134 000heures, stockage 75 To (sans les expériences de sensibilités aux montagnes et aux ondes de Gravité).

3.1.4 Impact du schéma de convection sur la mousson Ouest-Africaine

Jean-Yves Grandpeix, Catherine Rio

En 2017 le développement du schéma de convection mis en œuvre dans LMDZ va se poursuivre. Il s'agira en particulier de coupler explicitement les schémas de convection profonde et de condensation grande-échelle pour la représentation des nuages hauts issus de la convection. Un enjeu important pour la représentation de la mousson Ouest-africaine est également d'inclure la propagation de maille en maille des systèmes convectifs qui se propagent vers l'ouest. Les développements continueront d'être testés dans des simulations zoomées guidées sur l'Afrique. Il est également prévu de les tester sur d'autres régions, afin de contraster la convection continentale et océanique (zone sur l'Océan Indien) et d'étudier plus en avant la convection sur le continent maritime.

Des simulations globales de 15 ans en 96x95x39 seront réalisées avec les versions officielles LMDZ5A et LMDZ5B afin de sortir un certain nombre de variables (taux de chauffage, flux radiatifs et de surface, pluies, température, humidité, vents) à la fréquence d’une heure sur l’Afrique de l’Ouest. L’objectif est d’étudier l’impact du décalage du maximum de pluie continentale de midi à la fin d’après-midi entre LMDZ5A et LMDZ5B sur la distribution latitudinale des pluies de mousson.

$$\Rightarrow 15 \text{ ans} \times 150h + 15 \text{ ans} \times 200h = 5\,250h$$

Nous réaliserons une quinzaine de tests de sensibilité avec LMDZ5B aux processus physiques sur des périodes courtes de quelques mois et sur plusieurs régions du globe :

$$\Rightarrow 15 \text{ simulations} \times 1 \text{ an} \times 4 \text{ régions} \times 300h = 18\,000h$$

$$\text{Demande A2 : total : } 5\,250 + 18\,000 \simeq 24\,000 \text{ h}$$

Stockage : 5 To.

Cas d’une demande A1 : 15 000 h et 3 To (règle de trois)

3.1.5 Microphysique des nuages froids

Demande A2 : 83 000 h CPU sur Ada, 10 To sur Ergon

Demande A1 : 61 000 h CPU sur Ada, 7 To sur Ergon

Brumes et précipitations en Antarctique

J.-B. Madeleine, F. Lemonnier (thèse)

Les simulations du climat Antarctique par le modèle LMDz se poursuivent, notamment dans le cadre du projet ANR APRES3 (Antarctic Precipitation, Remote sensing from Surface and Space) et de la thèse de Florentin Lemonnier qui lui est associée. Après avoir identifié les biais aussi bien en terme de précipitation que d’humidité (voir le rapport d’activité), le modèle peut-être maintenant amélioré sur ces deux aspects. Le développement de la paramétrisation de la sursaturation est à présent possible, les observations à Dôme C étant suffisantes (voir la figure 1 ci-dessous). Pour cela, nous voudrions réaliser plusieurs simulations guidées et zoomées sur la région de la base Concordia où ces mesures ont été réalisées. Nous utiliserons pour les travaux de développement le modèle 1D afin de cibler un jeu de paramètres à tester en 3D sur Ada. Nous prévoyons qu’il nous faudra en tout $3 \times 2 = 6$ simulations de deux ans (sur la période 2015–2016), correspondant à 3 paramétrisations différentes (l’ancienne et deux versions de la nouvelle) guidées à chaque fois soit en vent-température, soit en vent seulement, avec LMDZ6 en $144 \times 142 \times 79$:

$$\Rightarrow 6 \times 2 \text{ ans} \times 1\,780h = 21\,400 \text{ heures.}$$

Dans le cadre du projet APRES3 et de la thèse associée (démarrée par Florentin Lemonnier en Septembre de cette année), nous allons également nous concentrer sur la précipitation dans le modèle à l’échelle du continent Antarctique mais aussi plus spécifiquement à la base Dumont D’Urville, où de nombreuses mesures de précipitation ont été réalisées par radar polarimétrique et peuvent être comparées aux profils de précipitation, en mm hr^{-1} , du modèle. Pour se comparer aux observations, nous voudrions donc réaliser de la même façon 4 simulations guidées zoomées de deux ans sur 2015–2016, avec LMDZ6 en $144 \times 142 \times 79$:

$$\Rightarrow 4 \times 2 \text{ ans} \times 1\,780h = 14\,200 \text{ heures.}$$

Demande A2 total : 21 400 + 14 200 \simeq 35 000 heures

Stockage : 6 To sur Ergon.

Cas d’une demande A1 : 29 000 h et 4 To (sans les 2 dernières simulations)

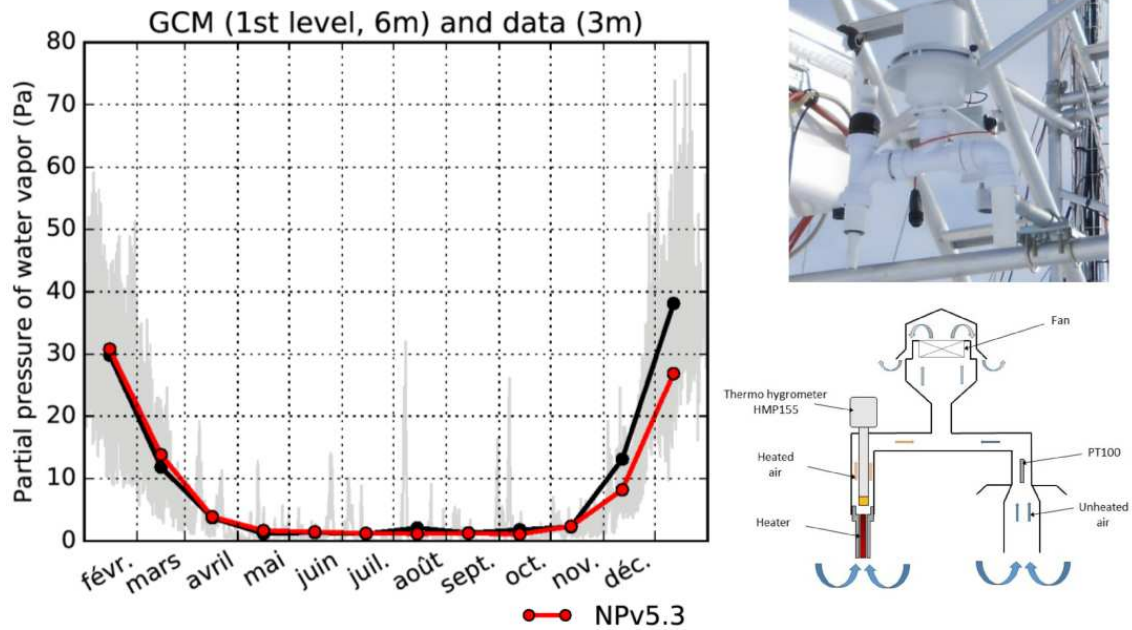


FIG. 1 – *Gauche* : Pressions de vapeur en Pa dans les simulations LMDz (en rouge) et observées par l’hygromètre du LGGE (en noir en moyenne mensuelle, valeurs instantanées en grisé). *Droite* : L’hygromètre en question, développé au LGGE à Grenoble par L. Piard et C. Genthon. Ces nouvelles mesures permettent une évaluation précise et “à portée de main” du modèle dans des conditions proches de celles où se forment les nuages hauts, quant à eux plus difficiles à documenter.

Représentation des nuages hauts

M. Bonazzola

L’implémentation du simulateur AIRS dans le modèle permet une analyse fine des nuages hauts dans les tropiques. Notamment, les analyses ont permis de mettre en évidence un biais dans le cycle diurne le matin, que nous voudrions explorer davantage. Nous aimerions pour cela réaliser une simulation guidée sur la période exacte de IASI (2007-2015) pour une comparaison plus fine aux données. D’autre part le cycle diurne et la durée de vie des nuages hauts sont très sensibles aux paramètres d’ajustement du modèle liés à la convection, et constituent donc une contrainte supplémentaire pour ces paramètres. Nous envisageons donc de réaliser 3 séries de simulations avec LMDZ6 en résolution $144 \times 142 \times 79$ avec différents jeux de ces paramètres, pour déterminer ceux qui permettent un bon accord avec le cycle diurne observé :

$\Rightarrow 3 \times 9 \text{ ans} \times 1\,780\text{h} = 48\,000 \text{ heures.}$

Stockage : 4 To sur Ergon

Cas d’une demande A1 : 32 000h et 3 To (seulement 2 tests de sensibilité)

3.2 Variabilité des températures en Atlantique tropical

Demande totale pour le thème :

Demande A2 : 2 000 h CPU sur Ada ; 1 To sur Ergon

Demande A1 : 1 000 h CPU sur Ada ; 1 To sur Ergon

Marta Martin del Rey et Alban Lazar

Nous souhaitons mieux étudier l'impact des ondes océaniques de Rossby et de Kelvin dans le développement des anomalies de température de la Mer (SST) dans l'Atlantique tropical. Pour cela, nous prévoyons de mettre en place des expériences de sensibilité au forçage de celles-ci par le vent, dans différentes zones clés du bassin atlantique. On réalisera ainsi des simulations d'une année et demi chacune avec le modèle NEMO ATLTROP025, forcé par des anomalies du vent du MM composite, dans les régions suivantes :

- 5 expériences de sensibilité « NTA-MM » : On forcera par des anomalies du vent dérivé du composite vent du MM sur la région [30°N-5°N].
- 5 expériences de sensibilité « NTAEQ-MM » : On forcera par des anomalies du vent dérivé du composite vent du MM sur la région [30°N-5°S].
- 5 expériences de sensibilité « ENTA-MM » : On forcera par des anomalies du vent dérivé du composite vent du MM sur la région [30°W-10°W, 30°N-0].
- 5 expériences de sensibilité « WNTA-MM » : On forcera par des anomalies du vent dérivé du composite vent du MM sur la région [60°W-30°W, 30°N-0].

Un an de simulation avec NEMO nous coûte 80h CPU sur Ada et occupe 6 Go sur Ergon.

⇒ 4 types d'expériences × 5 expériences × 80h CPU ≈ 1 600 h

Stockage = 20 années × 6 Go = 120 Go

En arrondissant :

Temps de calcul A2 : 2 000 heures.

Espace de stockage : 1 To.

Demande A1 : règle de trois.

3.3 Etude des processus hydrologiques continentaux et de leur couplage avec l'atmosphère ; évaluation et amélioration du modèle LMDZ-ORCHIDEE

Demande totale pour le thème :

Demande A2 : 222 000 heures CPU sur Ada, 19 To sur Ergon

Demande A1 : 139 000 heures CPU sur Ada, 14 To sur Ergon

3.3.1 Suivi des versions et performances d'ORCHIDEE

Joséfine Ghattas

Des tests récurrents seront effectués comme décrits dans le rapport de cette année, avec une consommation légèrement supérieure à cause de l'augmentation des résolutions spatiales.

Demande A2 : 40 000 heures CPU sur Ada, 1 To sur Ergon

Demande A1 : 25 000 heures CPU sur Ada, 1 To sur Ergon (règle de trois)

3.3.2 Couplages surfaces continentales - atmosphère

Frédérique Cheruy, Agnès Ducharne, Fuxing Wang (post-doc), Claire Magand (post doc)

Demande A2 : 106 000 heures sur Ada, 8 To sur Ergon

Demande A1 : 66 000 heures sur Ada, 6 To sur Ergon (estimée par règle de trois)

Les détails de calcul des heures sont donnés pour A2.

Mieux comprendre les rétroactions humidité du sol/climat.

Nous souhaitons analyser les conséquences des possibles incohérence entre l'hydrologie et et la météorologie (pluie sur un sol sec imposé par le guidage) sur la sensibilité du climat à l'humidité du sol en climat présent et en climat futur.

Pour cela, nous souhaitons réaliser des simulation de sensibilité avec LMDZ5B 96x95x39 couplé à ORCHIDEE 11 couches. Nous allons créer une climatologie du climat présent pour le sol : 30 ans + 10 ans de mise à l'équilibre (nécessaire pour les régions arides) :

$$\Rightarrow 40 \text{ ans} \times 200h = 8\ 000\ h$$

Nous testerons aussi différentes conditions de relaxation pour les conditions du sol : Humidité du sol prescrite, humidité du sol guidée avec des constantes de rappels faible à la surface (3 séries de tests). Pour diminuer le bruit dû à la variabilité climatique, les tests seront fait en rappelant les vents zonaux et méridiens vers les analyses météorologiques. De cette façon, la sensibilité aux conditions de sol pourra être évaluée à partir de simulations relativement courtes (5 ans).

$$\Rightarrow 3 \text{ tests} \times 6 \text{ ans} \times 200h + 2000h \text{ pour le débogage} = 6\ 000h$$

Stockage : 3 T

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 Pour limiter le rôle des hétérogénéités spatiales et être dans un environnement le plus proche possible du site du SIRTA, nous souhaitons accroître la résolution spatiale des simulations pour atteindre environ 50 km.

Pour chaque jeu de paramétrisation à évaluer, nous avons besoin de 2 ans de mise à l'équilibre puis 13 ans de simulations avec LMDZ6 en résolution 96x95x79.

$$\Rightarrow 6 \text{ test} \times 15 \text{ ans} \times 600h + 2000\ h \text{ debug} = 56\ 000h$$

Stockage : 1 To

Nouveaux développements pour le couplage avec les surface

Les progrès dans la paramétrisation du bilan d'énergie dans le couvert végétal, l'accroissement de résolution verticale de nos modèles atmosphériques rend nécessaire la révision de l'approche en « longueur de rugosité » couramment par les modèle de climat. Les obstacles freine le vent dans la couche limite et créent de la turbulence au voisinage de la surface . Les premiers tests se feront sur des machines locales, mais des simulations guidées seront nécessaires pour ces nouveaux développement dans la configuration 144x146x79 de LMDZOR utilisées pour les simulations climatiques.

Nous effectuerons 20 ans de simulations en résolution 144x142x79, avec LMDZ6 couplé avec ORCH11-trunk

$$\Rightarrow 20 \text{ ans} \times 1780h + 2000h \text{ debug} \simeq 36\ 000 \text{ heures}$$

Stockage : 4 T.

3.3.3 Simulation des cycles bio-géochimiques dans ORCHIDEE

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

Demande A2 : 76 000 heures CPU sur Ada, 10 To sur Ergon

Demande A1 : 48 000 heures CPU sur Ada, 7 To sur Ergon

La conjonction d'un modèle amélioré pour les hautes latitudes (ORCHIDEE-MICT) avec un modèle du phosphore (ORCHIDEE-CNP) est à présent imminente pour mener à bien les objectifs

du projet IMBALANCE-P (Effects of phosphorus limitations on Life, Earth system and Society). Ces objectifs sont de représenter le cycle du phosphore dans ORCHIDEE, d'étudier son évolution en interaction avec les changements de bilans en carbone, azote et eau dans les différents écosystèmes et d'évaluer l'impact d'un déséquilibre existant entre ces trois éléments sur la biosphère. La version MICT inclut l'hydrologie multicouche, le changement d'utilisation des terres, le module de feux SPITFIRE, le module de carbone permafrost et le gel du sol, la neige multicouche, le routage avec plaines d'inondations, le module de méthane des zones inondées et à présent un module de pâturage et un module spécifique des cultures. Pour la première fois, une évaluation de l'hydrologie haute latitude a été menée et différentes limites du modèle ont été mises en évidence, notamment l'évolution de la couverture du permafrost.

C'est pourquoi, nous demandons des calculs d'heure afin de tester plusieurs paramétrisations et notamment la variation des conductivités thermiques influant sur le gel du sol. Quand nous serons satisfaits des performances du modèle, nous effectuerons une simulation globale avec un long spinup pour mettre à l'équilibre le carbone. Au total, nous estimons nécessaires une dizaine de simulations globales à deux résolutions spatiales différentes. Le temps réel de base estimé est de l'ordre de 45min/an (64 cœurs sollicités) pour une résolution de 0.5° et 25min/an (32 cœurs sollicités) pour une résolution de 2°. Nous imposerons un spinup analytique de 350 ans pour équilibrer les stocks de carbone. La résolution spatiale sera de 2°x2° pour des premiers tests puis de 0.5°x0.5° pour affiner nos analyses. Notre demande est donc :

– résolution 2°x2° :

⇒ (3 simulations × 100 ans + 1 spinups × 350 ans) × 32 coeurs × 25 min ≈ 8 500 heures

– résolution 0.5°x0.5° :

⇒ (7 simulations × 100 ans + 2 spinups × 350 ans) × 64 coeurs × 45 min ≈ 67 000 heures

Demande A2 : total : 8 500 + 67 000 ≈ 76 000 heures

Espace de stockage : 10 To

Demande A1 : 48 000 heures et 7 To (règle de trois)

3.4 Isotopes de l'eau

Demande totale pour le thème :

Demande A2 : 252 000 heures CPU sur Ada, 41 To sur Ergon

Demande A1 : 237 000 heures CPU sur Ada, 31 To sur Ergon

3.4.1 Mise à jour de LMDZ-iso

Camille Risi

Dans le cadre d'une collaboration avec le LSCE (Didier Roche, Jean-Claude Dutay), nous souhaitons disposer d'une version isotopique du modèle couplé de l'IPSL. Comme le modèle IPSL-CM5A2, destiné à être très utilisé pour les applications paléo-climatiques, a été choisi pour cet objectif, je compte implémenter les isotopes dans la version LMDZ5A2.

D'autre part, j'avais implémenté en 2015 les isotopes de l'eau dans la version « trunk » de la dynamique. Un bug a été détecté depuis en mode OMP/MPI, que je dois corriger.

Pour ces tâches, j'ai besoin de réaliser quelques simulations courtes prévues début 2017 (donc convient pour A1 et A2).

Demande A1 et A2 : 5000 h sur Ada, 0 To sur Ergon

3.4.2 Evaluation des processus nuageux, applications paleo-climatiques et régionales

Camille Risi, Jean-Philippe Duvel

Demande A2 : 57 000 heures CPU sur Ada, 31 To sur Ergon

Demande A1 : 42 000 heures CPU sur Ada, 21 To sur Ergon

Evaluation des processus convectifs et nuageux pendant la MJO Dans le cadre du projet ANR CONVISO, on essaye de comprendre ce qui détermine la capacité d'un modèle à bien simuler la MJO (oscillation de Madden-Julian, 1er mode de variabilité dans l'atmosphère tropicale). Les isotopes de l'eau sont utilisés pour évaluer la représentation des processus convectifs et nuageux. En 2016, des tests de sensibilité avec sur la période 2006-2011 ont été réalisés, en configuration libres et guidées, et les analyses en cours sont encourageantes (voir rapport d'activité).

Nous continuerons ces analyses avec d'autres tests de sensibilités sur la même période et avec le même modèle (LMDZ5B-iso en résolution VVLR) afin de tester les hypothèses formulées. En particulier, la sensibilité à la fermeture de la convection, à l'entraînement et à la convection peu profonde sera étudiée.

$\Rightarrow 2 \text{ (libre/guidé)} \times 10 \text{ tests} \times 6 \text{ ans} \times 300h = 36\,000 \text{ heures.}$

De plus, pour mieux comprendre les rétroactions entre dynamique de grande échelle et convection, nous effectuerons des simulations en mode « prévisions météorologique » sur une dizaine d'évènements MJO de la période d'étude. Ces simulations sont courtes (1 mois) et seront répétées pour différents tests de sensibilité à la physique du modèle :

$\Rightarrow 10 \text{ évènements} \times 1 \text{ mois} \times 12 \text{ tests} \times 300h/12 = 3\,000 \text{ heures}$

Demande A2 : total : 36 000 + 3 000 = 39 000h

Stockage A2 :

Comme nous voulons stocker les tendances tri-dimensionnelles à l'échelle journalière voire horaires sur quelques périodes spécifiques, il faut compter 200 Go/an. Au total, nous demandons donc 26 To.

Cas d'une demande A1 : 24 000h et 16 To (règle de trois)

Impact de l'évapo-transpiration sur la mise en place de la mousson sud-américaine

Dans le cadre d'une collaboration avec John Worden (NASA-JPL), Rong fu (University of Texas) et Jonathon Wright (Tsinghua University, Pékin), nous essayons d'utiliser les observations satellitaires TES pour comprendre le rôle de l'évapo-transpiration dans la mise en place de la mousson sud-américaine. En effet, l'évapo-transpiration de la forêt amazonienne et l'advection d'humidité par la dynamique de grande échelle contribuent toutes deux à l'humidification de l'atmosphère et donc au déclenchement de la mousson, mais dans des proportions qui restent à estimer (figure 2). Des simulations avec LMDZ-iso en résolution VVLR seront réalisées dans lesquelles l'évapo-transpiration est réduite en Amazonie, à différentes dates et pendant différentes durées juste avant la mise en place de la mousson. La période TES (2005-2014) sera simulée.

$\Rightarrow 10 \text{ ans} \times 6 \text{ simulations} \times 300h = 18\,000 \text{ heures}$

Stockage : 5 To

Cas d'une demande A1 : la même chose car ces simulations sont prévues début 2017.

3.4.3 LMDZ-iso au Cénozoïque

Pierre Sepulchre, Yannick Donnadieu, Svetlana Botsyun

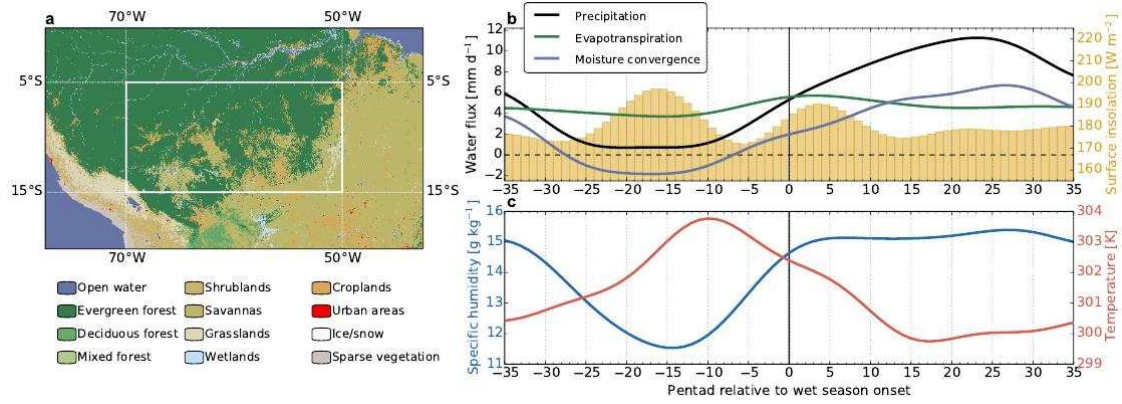


FIG. 2 – a) Distribution des types de couverts végétaux sur l’Amazonie en 2009. Le domaine d’étude (5°S–15°S, 50°W–70°W) est indiqué par la boîte blanche (b) Composite de la précipitation (observée par TRMM), de l’évapo-transpiration et de la convergence d’humidité (d’après les réanalyses ERA-Interim) en fonction du temps par rapport à la date de mise en place de la mousson. L’histogramme jaune montre le rayonnement solaire net descendant à la surface observé par CERES. (c) Comme b, mais pour la température de surface de l’air et l’humidité spécifique, observées par AIRS vers 13h30 heure locale. Toutes les variables sont moyennées sur le domaine d’étude et filtrées pour éliminer les hautes fréquences.

Quatre paléogéographies reconstruites pour le Cénozoïque (55, 42, 30, 15 millions d’années avant notre ère) ont été utilisées afin de préparer des conditions aux limites et réaliser en 2015 et 2016 des simulations « réalistes » des paléoclimats dans un contexte où topographie, températures océaniques, insolation et concentration en CO₂ atmosphérique étaient radicalement différentes de l’actuel. Pour chacune des ces simulations l’analyse a été effectuée pour établir les conditions aux limites qui influencent le plus le $\delta^{18}O$ de la précipitation. Cependant, l’incertitude majeure est associée avec les conditions aux limites, les températures de surface de l’océan (Sea Surface Temperatures (SSTs)), en particulier. Ce facteur est déterminant pour l’intensité et la saisonnalité des précipitations et des valeurs de $\delta^{18}O$ associées. Etant donné que LMDZ-iso est un modèle atmosphérique, nous utilisons les températures océaniques d’un modèle couplé (FOAM) comme un forçage. Afin d’augmenter le niveau de confiance des simulations isotopiques du Cénozoïque, plusieurs scénarios de températures de surface de l’océan seront appliqués.

Pour chacune des 5 périodes du Cénozoïque (y compris l’actuel), nous réaliserons 2 simulations additionnelles de 10 ans avec différentes SSTs. Chaque simulation zoomée prend environ 1900 heures/an

$\Rightarrow 5 \text{ paléogéographies} \times 10 \text{ ans} \times 1900h \times 2 \text{ SSTs different} = 190\,000 \text{ heures}$

Stockage A2 : 10 To

Demande A1 : la même chose car ces simulations seront réalisées début 2017.

4 Méthode

La majeure partie de notre demande en ressources de calcul porte sur le développement et l'utilisation du modèle de circulation générale LMDZ et du modèle de surface continentale ORCHIDEE.

4.1 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-inciçage 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.

4.2 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

Références

- [Hourdin et al., 2012] Hourdin, F., Grandpeix, J.-Y., Rio, C., Bony, S., Jam, A., Cheruy, F., Rochetin, N., Fairhead, L., Idelkadi, A., Musat, I., Dufresne, J.-L., Lahellec, A., Lefebvre, M.-P., and Roehrig, R. (2012). LMDZ5B : the atmospheric component of the IPSL climate model with revisited parameterizations for clouds and convection. *Clim. Dyn.*, pages DOI 10.1007/s00382-012-1343-y.
- [Hourdin et al., 2006] Hourdin, F., Musat, I., Bony, S., Braconnot, P., Codron, F., Dufresne, J.-L., Fairhead, L., Filiberti, M.-A., Friedlingstein, P., Grandpeix, J.-Y., Krinner, G., Levan, P., Li, Z.-X., and Lott, F. (2006). The LMDZ4 general circulation model : climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. *Clim. Dyn.*, 27 :787-813.
- [Rio et al., 2013] Rio, C., Grandpeix, J.-Y., Hourdin, F., Guichard, F., Couvreux, F., Lafore, J.-P., Fridlind, A., Mrowiec, A., Bony, S., Rochetin, N., Roehrig, R., Idelkadi, A., Lefebvre, M.-P., and Musat, I. (2013). Control of deep convection by sub-cloud lifting processes : The alp closure in the lmdz5b general circulation model. *Clim. Dyn.*, 0 (9-10) :2271-2292. doi : 10.1007/s00382-012-1506-x.
- [Rio et al., 2009] Rio, C., Hourdin, F., Grandpeix, J.-Y., and Lafore, J.-P. (2009). Shifting the diurnal cycle of parameterized deep convection over land. *Geophys. Res. Lett.*, 36 :L07809, doi :10.1029/2008GL036779.
- [Risi et al., 2010] Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., and Jouzel, J. (2010). Water stable isotopes in the LMDZ4 General Circulation Model : model evaluation for present day and past climates and applications to climatic interpretation of tropical isotopic records. *J. Geophys. Res.*, 115, D12118 :doi :10.1029/2009JD013255.