

## Demande DARI 2022

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

### Description du projet de recherche

Camille Risi

Camille.Risi@lmd.ipsl.fr, 01 44 27 52 62

L.M.D. - février 2022

Demande sur Jean-Zay à l'IDRIS :

- 305 000heures CPU,
- 8 Tera-octets.

## Table des matières

<b>1 Informations générales</b>	<b>1</b>
1.1 La continuité du projet rlmd	1
1.2 Lien avec autres projets	2
1.3 Aspects techniques	2
<b>2 Résultats scientifiques pour la précédente allocation</b>	<b>4</b>
2.1 Stratosphère et «ondes gravité lentes»	4
2.2 Vers l'amélioration de la distribution et la variabilité des précipitations tropicales dans LMDZ	4
2.3 Climats polaires	4
2.4 Isotopes de l'eau	5
2.4.1 Maintenance des isotopes dans LMDZ6	5
2.4.2 Applications régionales	7
2.5 Couplage avec ORCHIDEE	7

## 1 Informations générales

### 1.1 La continuité du projet rlmd

Ce projet est la continuité de l'ancien projet en accès régulier « **rlmd** », n°**0292**, intitulé « Modélisation du climat : cycle de l'eau et variabilité climatique ». Pour cette demande, il ne concerne plus que la partie qui se faisait sur Jean-Zay à l'IDRIS. Il a été resserré autour de l'**amélioration du modèle atmosphérique LMDZ**, de son **utilisation pour l'étude des processus atmosphériques**, et du maintien de sa version couplée avec le modèle de surface continentale ORCHIDEE :

1. Stratosphère et ondes de gravité

thème	calcul CPU sur Jean-Zay (k heures CPU)	stockage sur Jean-Zay (To)
<b>Total</b>	305	8
stratosphère et ondes de gravité lentes	45	1
pluies tropicale	30	1
climats polaires	80	2
isotopes de l'eau	100	2
couplage avec ORCHIDEE	50	2

TABLE 1 – Tableau résumant les demandes de temps de calcul et de stockage à l’IDRIS.

2. Pluies tropicales
3. Climats polaires
4. Isotopes de l’eau
5. Couplage avec ORCHIDEE

La demande pour chacun de ces 4 thèmes est détaillée dans le tableau 1.

**Les logins qui seront rattaché à ce projet restent les mêmes que ceux anciennement rattachés à rlmd.**

## 1.2 Lien avec autres projets

L’ancien projet rlmd contenait 3 autres parties :

- l’utilisation du modèle résolvant les nuages SAM pour l’étude des processus convectifs et isotopiques : une demande d’accès dynamique a déjà formulée et obtenue au TGCC (projet gen13368) ;
- l’utilisation du modèle ORCHIDEE pour l’étude des processus hydrologiques continentaux : cela fera l’objet d’une demande d’accès dynamique séparée sur l’IDRIS ;
- l’utilisation du modèle océanique NEMO et du modèle couplé LMDZ-NEMO pour l’étude des processus d’interaction océan-atmosphère : cela fera l’objet d’une demande d’accès dynamique séparée sur le TGCC ;

Ce projet est très lié aux projets en accès réguliers suivants :

- 01 239 (rces), qui utilise LMDZ pour des études de climats régionaux.
- genCMIP6, consacré à la mise au point et le réglage de la prochaine version de LMDZ. Le projet rlmd se différencie de ce projet en explorant des pistes de développement très en amont, alors que geCMIP6 est plus opérationnel.

## 1.3 Aspects techniques

**LMDZ** est modèle de circulation général atmosphérique développé au LMD. Il constitue la composante atmosphérique du modèle couplé de l’IPSL et est un outil d’étude de l’atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l’étranger.

Modèle	Grille horizontale	Grille verticale	Configuration	Thème où cette configuration est utilisé	Temps de calcul CPU par an
LMDZ6	144x142 (LR)	79	couplé à ORCHIDEE	Stratosphère ; Pluies tropicales ; Climats polaires	750 h
LMDZ6	95x96 (VLR)	39	couplé à ORCHIDEE	Climats polaires	450 h
LMDZ6	95x96 (VLR)	79	non couplé, avec isotopes de l'eau	Isotopes de l'eau	1000 h
LMDZ6	144x142 (LR)	79	non couplé, avec isotopes de l'eau, zoomé sur le Tibet	Isotopes de l'eau	2000 h

TABLE 2 – 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 dans cette demande.

Ce projet utilise la version **LMDZ6**, qui a été utilisée pour CMIP6. Elle inclue de nombreuses améliorations dans les paramétrisations de la convection et de nuages, ainsi qu'un nouveau réglage ([Hourdin et al., 2019]).

Les ressources consommées dépendent de la résolution horizontale et verticale de la simulation.

- La **résolution horizontale** est définie par la grille : par exemple, une grille 144x142 signifie qu'il y a 144 points en longitude (2.5° de résolution), 142 points en latitude (1.25° de résolution). Les résolutions standard sont VLR (very low resolution, 95x96 ), LR (low resolution, 144x142) ou MR (medium resolution, 280x280).
- La **résolution verticale** est définie par le nombre de points sur la verticale : 39 ou 79.

Les ressources consommées dépendent aussi de la configuration dans laquelle LMDZ est utilisé :

- LMDZ peut-être **couplé à ORCHIDEE** (LMDZ-OR) ou non.
- La grille peut être étirée afin de **zoomer** sur une région donnée. Les configurations zoomées sont généralement plus coûteuses.
- LMDZ peut être **guidé** par des réanalyses météorologiques afin de simuler la véritable évolution des conditions météorologiques sur une période donnée. Il faut alors ajouter 10% de consommation.
- Les isotopes de l'eau peuvent être activés : le temps de calcul est alors multiplié par 3 environ.

Le tableau 2 résume les ressources consommées pour différentes configurations de LMDZ utilisées dans ce projet.

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.

**Enfin, ORCHIDEE**, 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.

## 2 Résultats scientifiques pour la précédente allocation

### 2.1 Stratosphère et «ondes gravité lentes»

F. Lott, L. Guez, D. Cugnet, T. Dubos, G. Gastineau, J. Mignot, F. d'Andréa, G. Rivière,  
J. Riboldi (post-doc)

*Demande = 45 000 h. Consommation = 27 h CPU sur Jean-Zay*

TODO

### 2.2 Vers l'amélioration de la distribution et la variabilité des précipitations tropicales dans LMDZ

Catherine Rio, Frédéric Hourdin, Jean-Yves Grandpeix

*Demande = 49 000 h. Consommation = 6 000 h CPU sur Jean-Zay*

TODO

### 2.3 Climats polaires

Étienne Vignon, Valentin Wiener (thèse), Jean-Baptiste Madeleine, Gwendal Rivière,  
Cécile Agosta

*Demande = 48 000 h. Consommation = 45 000 h CPU sur Jean-Zay*

Les régions polaires connaissent un véritable bouleversement climatique, comme en témoignent le retrait accéléré de la banquise arctique et les taux de fonte préoccupants dans certains secteurs du Groenland et de l'Antarctique. L'avenir du niveau marin à l'échelle du globe est suspendu à l'évolution du bilan de masse des deux grandes calottes. En septembre 2021 a débuté le projet ERC Synergy "AWACA" (Atmospheric WATER Cycle in Antarctica), co-piloté par deux chercheurs du LMD (Christophe Genthon et Thomas Dubos) et auquel nous participons activement. Ce projet vise à mieux comprendre les processus atmosphériques qui gouvernent le bilan de masse de surface de la calotte Antarctique et à mieux contraindre l'évolution passée et future de ce dernier en utilisant le modèle LMDZ.

Lors de cette année, nous avons démarré les premiers travaux de modélisation du projet avec comme principal objectif l'amélioration de la physique de LMDZ pour les conditions antarctiques. Nous nous sommes plus particulièrement focalisés sur deux axes principaux :

- l'implémentation et le test d'une nouvelle paramétrisation du manteau neigeux (SISVAT) pour la calotte Antarctique dans LMDZ ;
- le développement d'un nouveau module du schéma de nuage de LMDZ pour améliorer la représentation de la phase mixte (mélange de gouttelettes nuageuses liquides et de cristaux de glace).

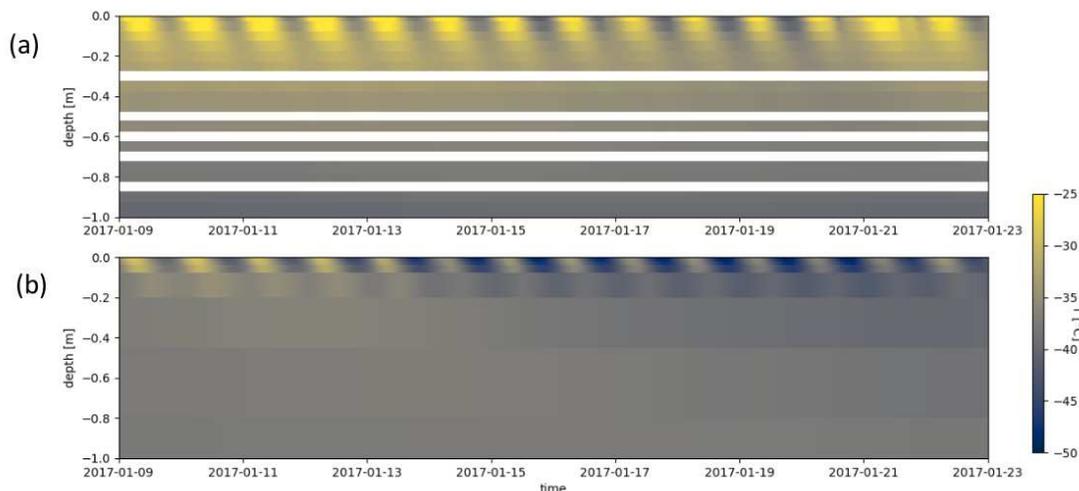


Figure 1: Figure : évolution temporelle du profil vertical de température dans la manteau neigeux à Dôme C, Plateau Antarctique. a : observations in situ, b : simulation LMDZ avec le nouveau schéma de neige avant calibration et raffinement de la grille verticale.

Les travaux sur le premier axe ont principalement ont été réalisés dans le cadre du stage de master d’Hajar El Habchi El Fenniri. Nous avons interfacé le schéma de neige multi-couche du Modèle Atmosphérique Régional (spécifiquement développé pour le Groenland et l’Antarctique) à la physique de LMDZ et procédé à une évaluation avec des observations in-situ au Dôme C sur le Plateau Antarctique (Figure 1). Une nouvelle paramétrisation de l’albédo de la neige a également été développée dans le cadre de ce stage pour mieux prendre en compte les dépendances spectrales et les différences de comportement de la neige vis à vis des composantes directes et diffuses du rayonnement solaire. Les évaluations et développements du modèle ont été effectués sur des simulations annuelles à partir d’une grille légère mais fortement raffinée sur le Plateau Antarctique afin d’atteindre une résolution de 30km environ au Dôme C. Une telle configuration permet en effet d’évaluer de nombreux aspects de la représentation couplage neige-atmosphère pour un coût numérique relativement faible.

Concernant le deuxième axe, la majeure partie des nouveaux développements sur les nuages ont été réalisés sur des simulations uni-colonnes (1D) extrêmement légères mais quelques simulations 3D globales ont été lancées pour apprécier les impacts à grande échelle de la nouvelle paramétrisation. Le développement de cette dernière permet une meilleure représentation des profils verticaux d’humidité relative et des contenus en eau et glace nuageuse au sein des nuages bas de phase mixte (Figure 2).

Pour l’allocation A12, ces travaux sur les nuages et la dynamique de couche limite en Antarctique se poursuivront. Nous nous intéresseront au couplage entre les nuages et la dynamique au sein des cyclones en Arctique.

## 2.4 Isotopes de l’eau

### 2.4.1 Maintenance des isotopes dans LMDZ6

Camille Risi, S. Nguyen

La maintenance des isotopes dans les versions successives de LMDZ est un enjeu important depuis 15 ans. Lors de l’allocation A10, nous avons bien progressé en vue d’une pérennisation des

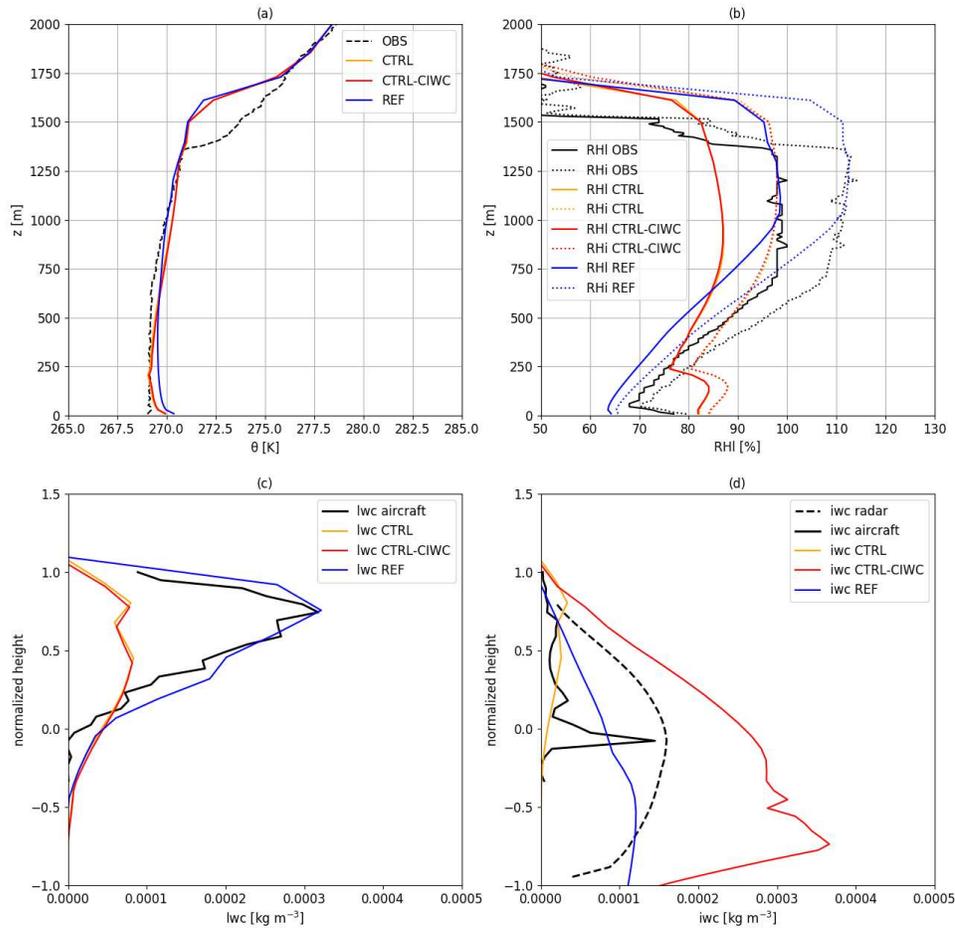


Figure 2: Profils verticaux de température potentielle (a), d’humidité relative par rapport au liquide (b, traits pleins) et par rapport à la glace (b, pointillés), de contenu en eau liquide nuageuse (c) et en glace nuageuse (d) simulés par LMDZ sur un cas typique de nuage bas de phase mixte en Arctique. La simulation orange est la simulation de contrôle, la simulation bleue est celle avec la nouvelle paramétrisation. Les références observationnelles sont en noir..

isotopes de l'eau dans LMDZ : les isotopes de l'eau ont été introduits dans le trunk de LMDZ. Cela signifie que n'importe qui qui télécharge une version récente de LMDZ peut maintenant lancer une simulation isotopique. Ces travaux vont se poursuivre :

- Un problème a été constaté lors de l'initialisation des isotopes quand on active la parallélisation OMP.
- L'introduction dans le trunk s'est faite sous la forme d'un sous-répertoire « lmdiso » à côté du répertoire « lmd ». La plupart des fichiers dans « lmdiso » sont des liens vers des fichiers « lmd ». Le travail doit donc se concentrer maintenant pour faire converger les quelques routines qui sont différentes entre « lmd » et « lmdiso ».

Pour ces travaux, nous réaliserons des simulations de débogage et de tests de quelques jours à mois, pour l'équivalent d'environ 10 ans de simulation.

## 2.4.2 Applications régionales

Camille Risi, Di Wang (thèse)

Di Wang, doctorante en co-tutelle avec l'Université de Yunnan en Chine, est arrivée au LMD en septembre 2021. Lors de la première partie de sa thèse en Chine, elle a réalisé des mesures très innovantes de la composition isotopique de la vapeur d'eau :

1. **mesures en voiture** permettant de décrire la variabilité spatiale à l'échelle de la Chine en 2018-2019.

Pour comparer à ces mesures, une simulation de type AMIP avec guidage des vents par les réanalyses a été réalisée sur la période 2016-2021. Un article est en cours de rédaction par Di Wang sur cette comparaison (fig 3) : Wang, D, Tian, L, Risi, C et al (en préparation). Spatial and seasonal distribution and climatic control of in-situ measured vapor isotopes in most part of China.

Pour améliorer la résolution spatiale, une simulation sur la période 2016-2021 sera réalisée lors de la prochaine allocation dans des conditions zoomées sur la Plateau Tibétain.

2. **mesures par drone** permettant décrire la variabilité verticale sur le plateau Tibétain en 2019-2021. Ces mesures très innovantes et sans précédent permettent pour la première fois de décrire la variabilité verticale de la composition isotopique de la vapeur d'eau jusqu'à 10km d'altitude (fig 4). Les mêmes simulations que décrites précédemment seront utilisées pour interpréter ces mesures.

## 2.5 Couplage avec ORCHIDEE

Josefine Ghattas, Vladislav Bastrikov

Seule le travail de suivi des versions d'ORCHIDEE reste dans le cadre de ce projet. Des simulations routinières sont lancées pour vérifier le fonctionnement du modèle et évaluer au jour-le-jour les configurations forcées et couplées à LMDZ. On effectue des simulations courtes mais aussi des simulations plus longues pour permettre une évaluation scientifique des modèles.

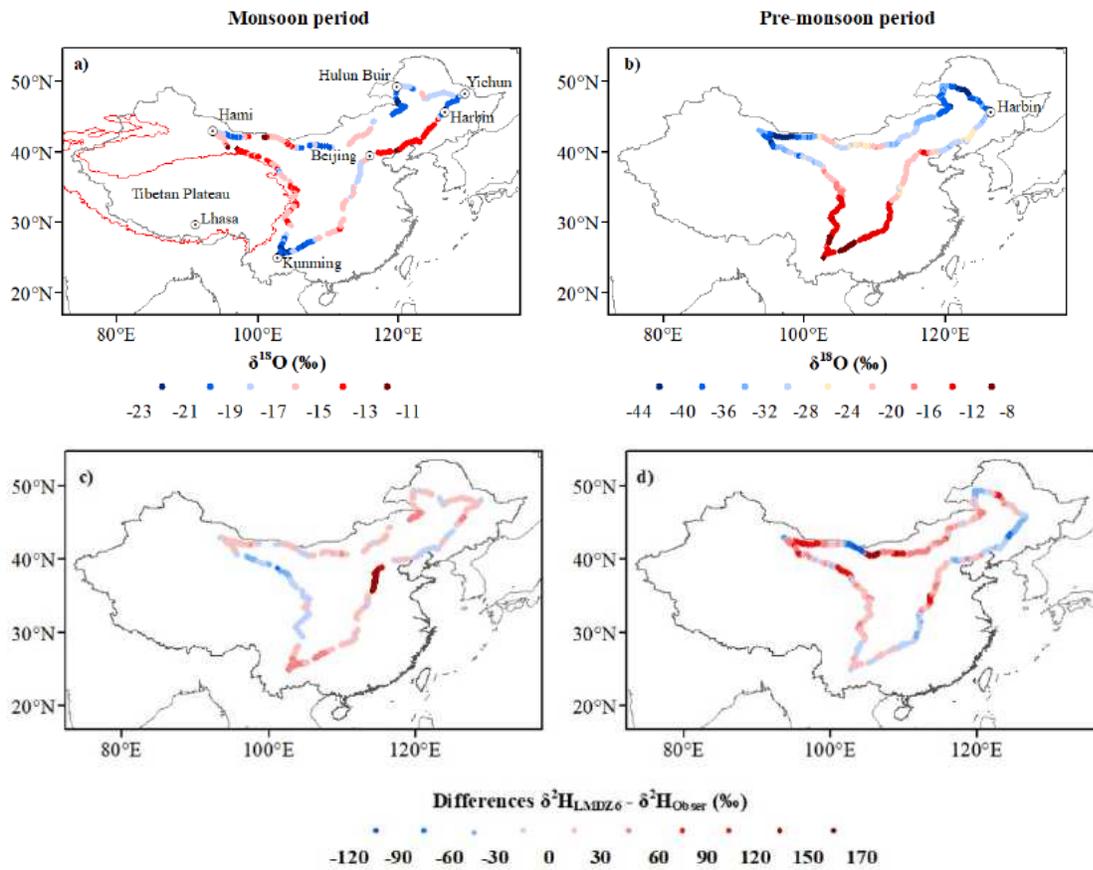


Figure 3: Haut : cartes de la  $\delta^{18}O$  de la vapeur d'eau mesurée par voiture pendant la saison de mousson et avant la mousson. Bas : cartes de la différence de la  $\delta^{18}O$  de la vapeur d'eau entre la simulation LMDZ et les observations (Wang et al en préparation).

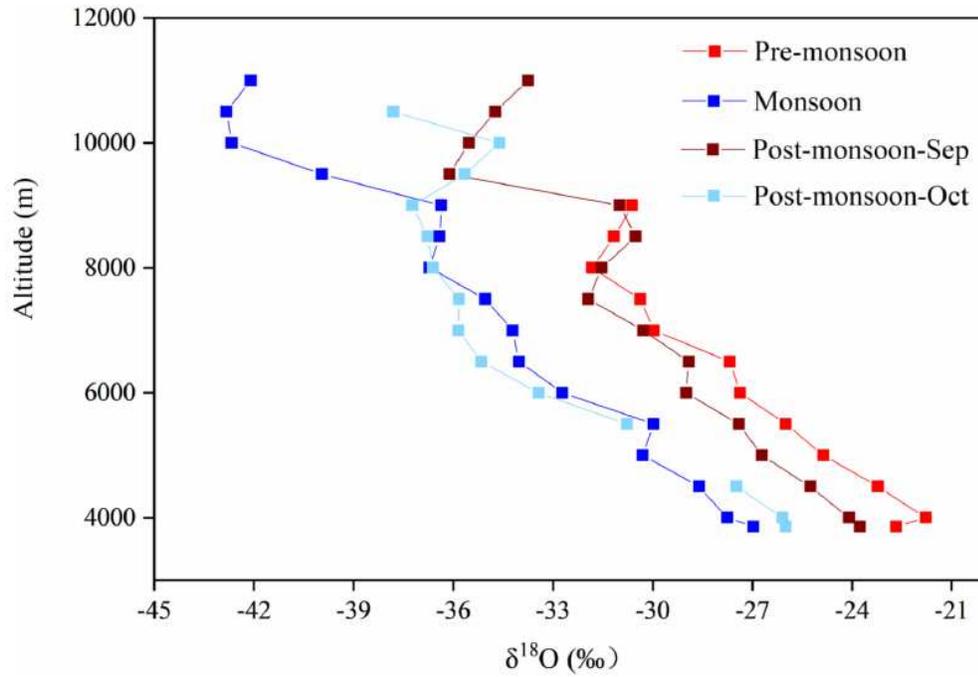


Figure 4: Profil de  $\delta^{18}O$  de la vapeur d'eau mesuré par drone sur le Plateau Tibétan avant, pendant et après la mousson.

## Références

[Hourdin et al., 2019] Hourdin, F., Jam, A., Rio, C., Couvreur, F., Sandu, I., Lefebvre, M.-P., Brient, F., and Idelkadi, A. (2019). Unified parameterization of convective boundary layer transport and clouds with the thermal plume model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(9) :2910–2933.