

Description du projet 2025-2026

Camille Risi
Camille.Risi@lmd.ipsl.fr

May 4, 2025

Contents

1	Information générale	1
2	Les modèles	1
2.1	LMDZ	1
2.2	ORCHIDEE	2
2.3	NEMO	2
2.4	ICOLMDZ	2
3	Estimation des ressources	2
3.1	Partition utilisée	2
3.2	Ressources par type de simulations	2
3.3	Stockage	3
4	Justification scientifique	3
4.1	Pluies tropicales	3
4.2	Climats polaires	4
4.3	Isotopes et traçage de l'eau	5
5	Lien avec autres projets	5

1 Information générale

- Titre du projet: Modélisation du climat: cycle de l'eau et variabilité climatique
- Demande: **149 000 heures CPU sur Jean-Zay, 12 To de stockage** supplémentaires.
- Ce projet est le renouvellement d'un projet qui était hébergé depuis plus de 15 ans à l'IDRIS. Depuis 3 ans, on était passés à une allocation dynamique (AD010107632R3).

2 Les modèles

2.1 LMDZ

Site web: <https://lmdz.lmd.jussieu.fr/>

LMDZ est modèle de circulation général atmosphérique développé au LMD. Il constitue la composante atmosphérique du modèle couplé de l'IPSL [Mignot et al., 2021] et est un outil d'étude de l'atmosphère et du climat pour plusieurs équipes en France et à l'étranger.

2.2 ORCHIDEE

Site web: <https://orchidee.ipsl.fr/>

ORCHIDEE est le modèle de surface continentale développé à l'IPSL [Krinner et al., 2005]. Il constitue la composante continentale du modèle couplé de l'IPSL et est utilisé ici couplé à LMDZ.

2.3 NEMO

Site web: <https://www.nemo-ocean.eu/>

NEMO est le modèle d'océan qui constitue la composante océanique du modèle couplé de l'IPSL. Il est utilisé ici couplé à LMDZ et à ORCHIDEE, formant le modèle couplé de l'IPSL [Boucher et al., 2020].

2.4 ICOLMDZ

Site web: <https://www.lmd.ipsl.fr/modelisations/dynamic/>

ICOLMDZ est la version régionale de LMDZ qui permet de réaliser des simulations à fine résolution (de l'ordre de la dizaine de km) sur des domaines limités. Elle utilise DYNAMICO, un nouveau coeur dynamique non-hydrostatique fonctionnant sur une grille icosaédrique.

Pour tous ces modèles, les codes sont rédigés en fortran.

3 Estimation des ressources

3.1 Partition utilisée

Toutes les simulations seront réalisées sur Jean-Zay. Les scripts d'installation de LMDZ ont été prévus pour cette partition. Les codes sont parallélisés en openMP ou MPI et tournent sur 64 ou 128 pro esseurs selon les résolutions. Tous les logiciels né essaies au lancement de simulation et à leur post-traitement sont déjà installés sur cette machine.

3.2 Ressources par type de simulations

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, Hourdin et al., 2020]. 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
- Les isotopes de l'eau ou le coloriage de l'eau peuvent être activés, sous forme de l'ajout de traceurs: le temps de calcul est alors multiplié par des facteurs qui dépendent du nombre de traceurs supplémentaires.

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	Pluies tropicales; Amélioration du code radiatif	750 h
LMDZ6	144x142 (LR)	79	avec isotopes de l'eau	Isotopes de l'eau	1500 h
ICOLMDZ-LAM sur l'Antarctique	10km	79	couplé à ORCHIDEE, globale	Climats polaires	2 500 h
ICOLMDZ-LAM sur l'Arctique	10km	79	couplé à ORCHIDEE, globale	Climats polaires	1 000 h

Table 1: 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.

- LMDZ6 peut utiliser le coeur dynamique classique de LMDZ, ou le nouveau coeur dynamique DYNAMICO, et tourner sur un domaine limité (**ICOLMDZ**).

Le tableau 1 résume les ressources consommées pour différentes configurations de LMDZ utilisées dans ce projet. Elles sont cohérentes avec celles répertoriées par l'IPSL:

<https://forge.ipsl.jussieu.fr/igcmg/wiki/PerformancesIPSLCM6>

3.3 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. On estime que le stockage nécessaire aux simulations prévues en 2024 sera d'environ **12 To** (détails en section 4).

Nous disposons déjà de 491 To sur Jean-Zay, que nous occupons à 97%. Nous demandons donc **503 To** sur Jean-Zay.

4 Justification scientifique

Ce projet concerne l'amélioration du modèle atmosphérique **LMDZ** et de son utilisation pour l'étude des processus atmosphériques:

1. Pluies tropicales
2. Climats polaires
3. Isotopes de l'eau

La demande pour chacun de ces 3 thèmes est détaillée dans le tableau 2.

4.1 Pluies tropicales

Catherine Rio, Frédéric Hourdin, Jean-Yves Grandpeix

thème	calcul CPU sur Jean-Zay (k heures CPU)	stockage sur Jean-Zay (To)
Total	149	12
pluies tropicale	34	5
climats polaires	65	4
isotopes de l'eau	50	3

Table 2: Tableau résumant les demandes de temps de calcul et de stockage à l'IDRIS.

Pour l'année 2025-2026, nous effectuerons de nouveaux jeux de simulations de 3 ans pour mieux comprendre l'effet des processus convectifs sur la circulation de grande-échelle, la distribution et la variabilité des précipitations, dans différentes configurations (AMIP et aqua-planète), en résolution 144x142x79, en vue en particulier de tester une nouvelle formulation de la fermeture du schéma de convection profonde prenant en compte un effet de la circulation grande-échelle sur l'intensité convective dans le cadre de la préparation du modèle LMDZ pour le prochain exercice CMIP.

\implies *Demande = 15 simulations \times 3 ans \times 750h \simeq 34 000h heures CPU, 5 To stockage*

4.2 Climats polaires

Étienne Vignon, Valentin Wiener (thèse), Jean-Baptiste Madeleine, Lea Raillard (thèse), Nicolas Chiabrando (thèse)

L'année prochaine, nous envisageons de poursuivre le travail de développement de la physique du modèle LMDZ sur les aspects polaires en nous concentrant sur 4 aspects :

- Tout d'abord, il nous faut anticiper un éventuel travail de révision de l'article sur la paramétrisation de neige soufflée (voir rapport d'activité). Par prudence, nous prévoyons *10 000 h CPU* pour relancer des simulations globales et régionales ICOLMDZ.
- Un travail de développement d'une nouvelle paramétrisation des précipitations est en cours depuis 2 ans et entre désormais dans sa phase de finalisation. Pour cela, il sera nécessaire d'évaluer la sensibilité paramétrique de la paramétrisation en lançant des ensembles de simulations régionales (LAM) et de les comparer à des observations radar à Dumont d'Urville sur la côte Antarctique et à des observations radar au dessus du Svalbard en Arctique.
4 \times 2 ans \times 2 500 h \simeq 20 000 h CPU, 1 To stockage
- Dans le cadre du projet AWACA dédié à l'étude du cycle de l'eau Antarctique, un post-doctorat travaillant à cheval entre l'école Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse et le LMD va être recruté à l'automne prochain. L'objectif du post-doctorat est l'évaluation des précipitations simulées par LMDZ sur l'Antarctique, en exploitant des observations in situ et de télédétection collectées pendant la campagne 2024-2025. Des simulations LAM ICOLMDZ sur la région du transect de la Terre Adélie (entre les stations Dumont d'Urville et Dôme C) devront être mises en place. Le post-doctorat se focalisera dans un premier temps sur quelques cas d'étude bien choisis.
2 \times 2 ans \times 2 500 h \simeq 10 000 h CPU, 1 To stockage
- Avec le début de la thèse de Nicolas Chiabrando en novembre 2024, nous avons ouvert un nouvel axe de travail sur la physique du modèle LMDZ qui consiste à étudier la capacité du modèle à simuler

la dynamique des cyclones en Arctique et plus particulièrement d'évaluer comment les nuages et la diffusion turbulente module l'intensité de la vorticité et des vents dans les cyclones. Dans le cadre de ce travail, nous avons besoin de lancer de nouvelles simulations LAM ICOLMDZ sur un domaine couvrant une grande partie de la région arctique, avec une résolution horizontale autour de 20km. Des ensembles de simulation devront être réalisées pour caractériser la sensibilité aux valeurs de certains paramètres de calibration clefs.

3×5 ans×1 000 h ≈ 15 000 h CPU, 1 To stockage

- Dans le cadre d'un travail en collaboration avec le LPC2E   Orléans, nous souhaitons anticiper l'évolution future de la couche limite et des échanges surface-atmosphère au dessus des tourbières arctiques. Pour cela, nous comptons mettre en place des simulations régionales ICOLMDZ-ORCHIDEE pour les comparer à des sites instrument s sur des tourbières en région tempérée (Service Nationale d'Observation Tourbières).

10 ans×1 000 h ≈ 10 000 h CPU, 1 To stockage

⇒ *Demande = 65 000h heures CPU, 4 To stockage*

4.3 Isotopes et traçage de l'eau

Camille Risi, Sébastien Nguyen, Xiaohe Huan (doctorante)

La région arctique subit des changements rapides en raison de l'augmentation des températures mondiales, avec une diminution de la concentration de glace de mer et une augmentation des précipitations locales. Les isotopes de l'eau constituent un outil précieux pour retracer la circulation de l'eau, et la vapeur d'eau de l'Arctique peut être class e en sources locales et lointaines. Dans ce projet, nous prévoyons d'utiliser le modèle LMDZ-iso pour tracer des régions d'évaporation et étudier les sources de vapeur d'eau dans l'Arctique.

Dans le climat actuel, environ deux tiers des précipitations proviennent du transport de l'humidité [Woods et al., 2013]. Comme la glace de mer continue de reculer dans les conditions climatiques futures, la contribution locale aux précipitations devrait passer à environ 60 % [Bintanja and Selten, 2014]. Des études antérieures ont identifié les principales sources de vapeur, notamment l'océan Atlantique Nord, l'océan Pacifique Nord et les zones continentales, principalement l'Amérique du Nord et la Sibérie [Vázquez et al., 2016, Gimeno et al., 2019], comme le montre la figure 1. L'année dernière, nous avons travaillé sur le débogage afin de nous assurer que LMDZ-iso avec plusieurs régions tracées pouvait fonctionner sans problème sur Jean-Zay (voir rapport d'activité). Cette année, nous prévoyons de poursuivre le processus de débogage et de marquer les principales régions sources identifiées dans les études précédentes, afin d'étudier les changements dans les sources de vapeur d'eau dans le cadre d'un réchauffement climatique.

⇒ *3 simulations × 10 ans × 1500 h + 5 000 h pour le débugage = 50 000h ; 3 To stockage*

5 Lien avec autres projets

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

- AD010115038 au TGCC qui est le complément sur Irène de ce projet.
- 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 genCMIP6 est plus opérationnel.

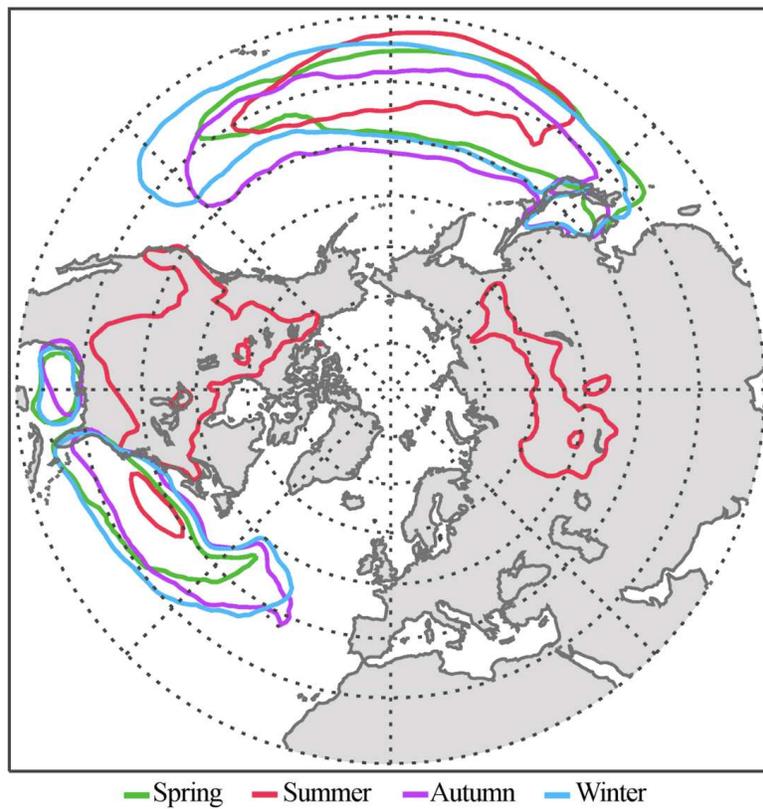


Figure 1: Variation saisonnière des principales sources d'humidité pour le domaine arctique. La ligne rouge représente les sources estivales (JJA), la ligne bleue représente l'hiver (DJF), et les lignes verte et violette représentent respectivement le printemps (MAM) et l'automne (SON). D'après [Vázquez et al., 2016].

References

- [Bintanja and Selten, 2014] Bintanja, R. and Selten, F. (2014). Future increases in arctic precipitation linked to local evaporation and sea-ice retreat. *Nature*, 509(7501):479–482.
- [Boucher et al., 2020] Boucher, O., Servonnat, J., Albright, A. L., Aumont, O., Balkanski, Y., Bastrikov, V., Bekki, S., Bonnet, R., Bony, S., Bopp, L., et al. (2020). Presentation and evaluation of the ipsl-cm6a-lr climate model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(7):e2019MS002010.
- [Gimeno et al., 2019] Gimeno, L., Vázquez, M., Eiras-Barca, J., Sorí, R., Algarra, I., and Nieto, R. (2019). Atmospheric moisture transport and the decline in arctic sea ice. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(4):e588.
- [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.
- [Hourdin et al., 2020] Hourdin, F., Rio, C., Grandpeix, J.-Y., Madeleine, J.-B., Cheruy, F., Rochetin, N., Jam, A., Musat, I., Idelkadi, A., Fairhead, L., et al. (2020). Lmdz6a: The atmospheric component of the ipsl climate model with improved and better tuned physics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(7):e2019MS001892.
- [Krinner et al., 2005] Krinner, G., Viovy, N., de Noblet-Ducoudre, N., Ogee, J., Polcher, J., Friedlingstein, P., Ciais, P., Sitch, S., and Prentice, I. C. (2005). A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 19.
- [Mignot et al., 2021] Mignot, J., Hourdin, F., Deshayes, J., Boucher, O., Gastineau, G., Musat, I., Vancoppenolle, M., Servonnat, J., Caubel, A., Chéruy, F., et al. (2021). The tuning strategy of ipsl-cm6a-lr. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13(5):e2020MS002340.
- [Vázquez et al., 2016] Vázquez, M., Nieto, R., Drumond, A., and Gimeno, L. (2016). Moisture transport into the arctic: Source-receptor relationships and the roles of atmospheric circulation and evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(22):13–493.
- [Woods et al., 2013] Woods, C., Caballero, R., and Svensson, G. (2013). Large-scale circulation associated with moisture intrusions into the arctic during winter. *Geophysical Research Letters*, 40(17):4717–4721.