

Description du projet 2024

Camille Risi
Camille.Risi@lmd.ipsl.fr

January 29, 2024

Contents

1	Information générale	1
2	Les modèles	2
2.1	LMDZ	2
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	4
4.1	Pluies tropicales	4
4.2	Climats polaires	4
4.3	Interactions atmosphère-banquise	5
4.4	Isotopes de l'eau	6
4.5	Amélioration du code radiatif de LMDZ	6
5	Lien avec autres projets	7

1 Information générale

- Titre du projet: Modélisation du climat: cycle de l'eau et variabilité climatique
- Demande: **498 000 heures CPU sur Irène SKL, 400 To de stockage**
- Ce projet est une nouvelle demande pour le TGCC, mais il s'agit de la **continuité d'un projet qui était hébergé depuis plus de 15 ans à l'IDRIS**. Depuis 2 ans, on était passés à une allocation dynamique (AD010107632R1). Les perturbations annoncées sur Jean-Zay nous ont conduit à migrer vers le TGCC. Nous joignons pour information le rapport d'activité de la précédente allocation à l'IDRIS.

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 **Irène SKL**, une partition pour laquelle les scripts d'installation de LMDZ et de IPSL-CM ont été prévus.

Les codes sont parallélisés en openMP ou MPI et tournent sur 64 ou 128 processeurs selon les résolutions.

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.

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	95x96 (VLR)	79	non couplé, avec isotopes de l'eau	Isotopes de l'eau	1000 h
LMDZ6	256x256 (MR)	79	non couplé, avec isotopes de l'eau	Isotopes de l'eau	2000 h
LMDZ6	144x142 (LR)	79	couplé à NEMO	Interactions atmosphère-banquise	1 500h
ICOLMDZ	20km	79	couplé à ORCHIDEE, aire limitée sur l'Antarctique	Climats polaires	1 900 h
ICOLMDZ	20km	79	couplé à ORCHIDEE, globale	Climats polaires	2 900 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.

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

- LMDZ peut-être **couplé à ORCHIDEE** (LMDZ-OR) ou non, **couplé à NEMO** 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.
- 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 **18 To** (détails en section 4).

En plus de cela, comme il s'agit d'un projet qu'on migre de Jean-Zay à l'IDRIS à Irène au TGCC, on prévoit de l'espace pour migrer les données issues de précédentes simulations sur Jean-Zay. Nous avons actuellement 483 To sur le STORE de Jean-Zay. Parmi les membres du projet, environ la moitié auront la possibilité de migrer leurs données vers un autre projet toujours à l'IDRIS, tandis que l'autre moitié perdront leur compte à l'IDRIS à échéance du projet à l'IDRIS. On estime à environ 400 To la quantité de données à transférer.

Au total, nous demandons donc **400 To** pour ce projet.

thème	calcul CPU sur Jean-Zay (k heures CPU)	stockage sur Jean-Zay (To)
Total	498	18
pluies tropicale	23	5
climats polaires	77	2
interactions atmosphère-banquise	155	1
isotopes de l'eau	130	3
amélioration du code radiatif dans LMDZ	113	7

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

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. Interactions atmosphère-banquise
4. Isotopes de l'eau
5. Amélioration du code radiatif de LMDZ

La demande pour chacun de ces 5 thèmes est détaillée dans le tableau 2.

4.1 Pluies tropicales

Catherine Rio, Frédéric Hourdin, Jean-Yves Grandpeix

L'amélioration de la représentation de la distribution et la variabilité des précipitations tropicales est un enjeu majeur des futures versions du modèle LMDZ. Des séries de simulations d'une durée de 3 ans sont réalisées afin d'analyser la sensibilité de la distribution et de la variabilité des précipitations tropicales aux paramétrisations physiques utilisées dans LMDZ, dans des configurations réalistes (de type AMIP), aqua-planète et terra-planète.

Pour l'année 2024-2025, 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 taille seuil que doit atteindre un thermique de couche limite pour déclencher le schéma de convection profonde.

\Rightarrow *Demande = 10 simulations \times 3 ans \times 750h \simeq 23 000h heures CPU sur Irène SKL, 5 To stockage*

4.2 Climats polaires

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

Pour l'année 2024, nous prévoyons de développer une paramétrisation des nuages de phase mixte polaire dans le modèle à aire limitée ICOLMDZ. Cette paramétrisation sera évaluée avec des données de la campagne aéroportée RALI-THINICE qui a eu lieu en Arctique en 2022. Nous comptons également poursuivre le développement et l'évaluation d'une nouvelle paramétrisation de neige soufflée par la calotte Antarctique. Des travaux sur l'amélioration de la paramétrisation des chutes de neiges dans le modèle sont également prévus et nous souhaitons mettre en place de façon automatique l'évaluation et la calibration de ICOLMDZ sur les vents catabatiques et les précipitations en Antarctique en utilisant nos nouvelles configurations légères à aire limitée.

Nous demandons:

- 10 ans de simulations ICOLMDZ globales zoomées sur l'Antarctique: $10 \times 2\,900\text{ h} \simeq 29\,000\text{ h cpu}$
- 20 ans de simulations ICOLMDZ LAM Terre Adélie à 20 km de résolution pour les vents catabatiques: $20 \times 1\,900\text{ h} \simeq 38\,000\text{ h cpu}$
- 5 ans de simulations ICOLMDZ LAM Arctique à 20 km de résolution pour l'étude des nuages de phase mixte: $5 \times 1\,900\text{ h} \simeq 10\,000\text{ h cpu}$

\implies Demande = 77 000h heures CPU sur Irène SKL, 2 To stockage

4.3 Interactions atmosphère-banquise

Camille Risi, Xiaohu Huan (thèse), Guillaume Gastineau, Francis Codron

Dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Tongji à Shanghai, la doctorante Xiaohu Huan est venue pour un an travailler au LMD. Elle est encadrée par Camille Risi en collaboration avec Guillaume Gastineau, Francis Codron du LOCEAN. Le but est de comprendre l'impact relatif de différents facteurs sur l'évolution de la glace de mer en changement climatique: quel est l'impact des changements radiatifs liés à l'effet de serre? des changements de circulation atmosphérique? des changements de circulation thermohaline? Ce projet est dans la continuité d'une collaboration avec Zhongfang Liu de L'université de Tongji qui a déjà donné lieu à plusieurs publications utilisant des ressources du GENCI [Liu et al., 2021, Liu et al., 2022]

Pour répondre à cette question, Xiaohu Huan va réaliser des simulations couplées atmosphère-océan avec LMDZ-NEMO dans des conditions pré-industrielles, puis avec une concentration en CO2 multipliée par 4 (4xCO2). Puis nous réaliserons une simulation 4xCO2 dans laquelle les vents sont guidés par ceux de la simulation pré-industrielle. Cela permettra de quantifier l'impact des changements de circulation atmosphérique [Oudar et al., 2020] sur les changements de glace de mer. Il s'agit là d'une application originale du guidage des vents, qui est actuellement sous-exploitée dans les simulations couplées. Enfin, nous réaliserons une 4e simulation 4xCO2 dans laquelle la circulation thermohaline est contrainte pour ressembler à celle de la simulation pré-industrielle, selon la méthode développée par [Jiang et al., 2023]. Cela permettra de quantifier l'impact des changements de circulation thermohaline sur les changements de glace de mer.

Nous réaliserons ces simulations à basse résolution. De plus, on s'intéressera à la composante rapide des changements, avec des simulations de 25 ans seulement. Nous avons vérifié dans les simulations CMIP6 de l'IPSL que l'essentiel des changements atmosphériques et océaniques étaient visibles dès les premières décennies, en cohérence avec des études précédentes [Ceppi et al., 2018].

Nous réaliserons donc 4 simulations de 25 ans:

$4 \times 25\text{ ans} \times 1500\text{h} + 5\,000\text{ h pour le débogage} = 155\,000\text{ heures}$

\implies Demande = 155 000h heures CPU sur Irène SKL, 1 To stockage

4.4 Isotopes de l'eau

Camille Risi, Sébastien Nguyen, David Cugnet, Cécile Agosta, Niels Dutrievoz (thèse), Xiaohe Huan (thèse)

Les isotopes stables de l'eau (HDO , $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$) peuvent être utilisés pour mieux comprendre les processus hydrologiques et atmosphériques et mieux évaluer leur représentation dans les modèles de climat. Ils sont implémentés dans le modèle LMDZ depuis 2008. Nous demandons des heures afin d'effectuer:

- Une simulation avec O17 [Risi et al., 2013] dans le cadre d'une collaboration avec Anne Alexandre au CEREGE. L'O17 avait été implémenté en 2013 [Risi et al., 2013], mais il n'avait plus été testé depuis. Par soucis de sobriété, cette simulation sera lancée en basse résolution.

15 ans \times 1000 h \times 1.5 (facteur pour l'O17) + 5 000 h pour le débogage = 20 000h

- Une simulation avec LMDZ6 MR avec isotopes de l'eau, avec les corrections découlants des nos simulations et analyses passées, qui nous servira de référence pour les développements futurs. Nous demandons donc:

40 ans \times 2000 h + 5 000 h pour le débogage = 85 000 h.

- Une simulation avec coloriage de l'eau selon l'origine géographique de son évaporation à la surface de l'océan [Risi et al., 2010]. Cela permettra de quantifier l'importance relative des différentes sources de vapeur d'eau pour les précipitations arctiques, et la façon dont les variations de glace de mer impactent ces sources. Ceci est dans le cadre de la collaboration avec l'Université de Tongji à Shanghai et de la visite de Xiaohe Huan.

20 ans \times 1000 h \times 3 (facteur pour le coloriage) + 5 000 h pour le débogage = 25 000h

\Rightarrow *Demande = 130 000h heures CPU sur Irène SKL, 3 To stockage*

4.5 Amélioration du code radiatif de LMDZ

Abderrahmane Idelkadi, Frédéric Hourdin, Lionel Guez, Maelle Coulon Decorzens (thèse), Najda Villefranque

Ce travail entre dans le cadre du développement de LMDZ et de la préparation de la version du modèle pour le prochain exercice CMIP7. Le nouveau code radiatif ECRAD est implémenté dans le modèle LMDZ. ECRAD est constitué de quatre modules pratiquement indépendants : Optique des gaz; Optique des aérosols; Optique des nuages; Solveurs des équations de transfert radiatif. Le travail de validation de LMDZ avec ECRAD consiste à l'évaluation de LMDZ avec ces différents modules. Pour inter-comparer les différents solveurs, un double appel du code ECRAD est récemment implémenté dans LMDZ. Une série de simulations sera effectuée pour inter-comparer les différents solveurs et tester l'effet 3D des nuages pris en compte dans ECRAD en utilisant le solveur SPARTACUS.

La résolution standard 144x142x79 sera utilisée pour ces simulations. Voici les tests prévus :

- Tests Solveurs : *10 \times 5 ans \times 750h = 37 000h*
- Tests double appel de ECRAD : *20 \times 5 ans \times 750h \times 1.5 (facteur pour le double appel) = 75 000h*

\Rightarrow *Demande = 112 000h sur Irène SKL et 7 To d'espace de stockage*

5 Lien avec autres projets

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 rlm6 se différencie de ce projet en explorant des pistes de développement très en amont, alors que genCMIP6 est plus opérationnel.

References

- [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.
- [Ceppi et al., 2018] Ceppi, P., Zappa, G., Shepherd, T. G., and Gregory, J. M. (2018). Fast and slow components of the extratropical atmospheric circulation response to co 2 forcing. *Journal of Climate*, 31(3):1091–1105.
- [Hourdin et al., 2019] Hourdin, F., Jam, A., Rio, C., Couvreux, F., Sandu, I., Lefebvre, M.-P., Briant, 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.
- [Jiang et al., 2023] Jiang, W., Gastineau, G., and Codron, F. (2023). Climate response to atlantic meridional energy transport variations. *Journal of Climate*, pages 1–42.
- [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.
- [Liu et al., 2021] Liu, Z., Risi, C., Codron, F., He, X., Poulsen, C. J., Wei, Z., Chen, D., Li, S., and Bowen, G. J. (2021). Acceleration of western arctic sea ice loss linked to the pacific north american pattern. *Nature communications*, 12(1):1–9.
- [Liu et al., 2022] Liu, Z., Risi, C., Codron, F., Jian, Z., Wei, Z., He, X., Poulsen, C. J., Wang, Y., Chen, D., Ma, W., et al. (2022). Atmospheric forcing dominates winter barents-kara sea ice variability on interannual to decadal time scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(36):e2120770119.
- [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.
- [Oudar et al., 2020] Oudar, T., Cattiaux, J., Douville, H., Geoffroy, O., Saint-Martin, D., and Roehrig, R. (2020). Robustness and drivers of the northern hemisphere extratropical atmospheric circulation response to a co 2-induced warming in cnrm-cm6-1. *Climate Dynamics*, 54(3-4):2267–2285.

- [Risi et al., 2010] Risi, C., Bony, S., Vimeux, F., Frankenberg, C., and Noone, D. (2010). Understanding the Sahelian water budget through the isotopic composition of water vapor and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 115, D24110:doi:10.1029/2010JD014690.
- [Risi et al., 2013] Risi, C., Landais, A., Winkler, R., and Vimeux, F. (2013). Can we determine what controls the spatio-temporal distribution of d-excess and 17 o-excess in precipitation using the lmdz general circulation model? *Climate of the Past*, 9(5):2173–2193.