

.1 Tuning de LMDZ au travers de différentes configurations

Le tuning de LMDZ (calibration des paramètres libres) au moyen de l’approche de l’History Matching wiht Itrative Refocusing (HMIR) est devenue une brique de base du développement et de l’ajustement du modèle. Dans cette approches, des PPE (Perturbed Physics Ensemble) sont réalisés avec le modèle. On réalise typiquement $N = 10P$ simulations quand on cherche à ajuster P paramètres du modèles. Ces N simulations sont utilisées pour calculer des métriques et entraîner des émulateurs bien particuliers (les processus gaussien qui donne un accès rigoureux à l’erreur statistique de l’émulateur). Sur la base de ces émulateurs, on exclut une partie de l’espace des paramètres. On rejoue alors un autre ensemble de typiquement $10P$ simulations dans l’espace réduit NROY (Not Ruled Out Yet) et on itère ce processus.

Pour un nombre typique de quelques dizaines de paramètres à ajuster, on est donc amené à effectuer quelques milliers de simulations à chaque processus de tuning. Ce nombre est très petit au regard de la dimension de l’espace exploré mais le coût du tuning reste malgré tout conditionné par la réalisation de ces simulations, d’où le besoin de minimiser le coût de chaque configuration.

La méthode HMIR permet facilement d’enchaîner des simulations plus ou moins coûteuses dans le processus itératif. Dans l’implémentation réalisée le plus couramment pour tuner les configurations de référence du modèle LMDZ, on enchaîne un tuning sur la base de configuration 1D de quelques jours (le mode colonne unique, SCM, comparé à des simulations 3D explicites dites LES), puis des configurations d’une année (précédée d’un spin-up d’un an à quelques mois) avec la grille standard du modèle 3D global Hourdin et al. (2021, 2023).

Les ressources de l’Idris ont été utilisées pour voir dans quelle mesure il serait possible de contraindre les métriques globales sur la base de configurations plus légères, avec l’idée à la fois de réduire la durée de la simulation à un mois au lieu d’une année (certaines métriques globales s’ajustent en moins d’un an) et la taille de la grille horizontale. Suivant une proposition de Gerhard Krinner, nous nous sommes focalisés sur le mois d’octobre, qui est à la fois proche de l’équinoxe, donc avec une certaine symétrie du rayonnement en latitude, et pas encore trop de neige dans l’hémisphère nord.

Pour explorer ces idées, nous avons réalisé des PPEs dans plusieurs configurations de grilles et comparé les métriques calculées en résolutions standard et pour un mois et un an. L’échantillonnage des paramètres émanait quant à lui d’une expérience de tuning au Sirta (site d’observation de l’IPSL) réalisée

En termes de résolution nous avons utilisé, en plus de la résolution standard LR (144 points en longitude et 143 en latitude), la configuration 5LR utilisée pour CMIP6 (96 points en longitude et 95 en latitude) et une Very Low Resolution (VLR avec 64 points dans les deux directions).

La Figure 1 montre une comparaison, pour 3 métriques et en grille LR (la grille standard des simulations CMIP6 avec IPSL-CM6ALR), du calcul en moyenne mensuelle sur le mois d’octobre plutôt qu’en moyenne annuelle (se reporter à la Figure 2 pour la description des métriques en question). Pour évaluer la part des comportements provenant de la variabilité interne, nous montrons également les résultats d’une simulation de 20 années avec la simulation de contrôle. Sans surprise, la variabilité interne est plus forte quand on se concentre sur un mois d’octobre. La seconde ligne de la figure montre les mêmes ensembles de simulations du mois d’octobre réalisées sur deux calculateurs différents (sauf pour la simulation de contrôle où les 20 années n’ont été réalisées que sur l’un des calculateurs). Sur deux calculateurs différents, et sauf présence de bug dans le modèle ou les compilateurs, les simulations doivent avoir le même comportement climatique. Mais les différence dans les opérations faites à la précision de la machine introduisent une perturbation qui s’amplifie avec le temps. Au bout d’une quinzaine de jours les trajectoires

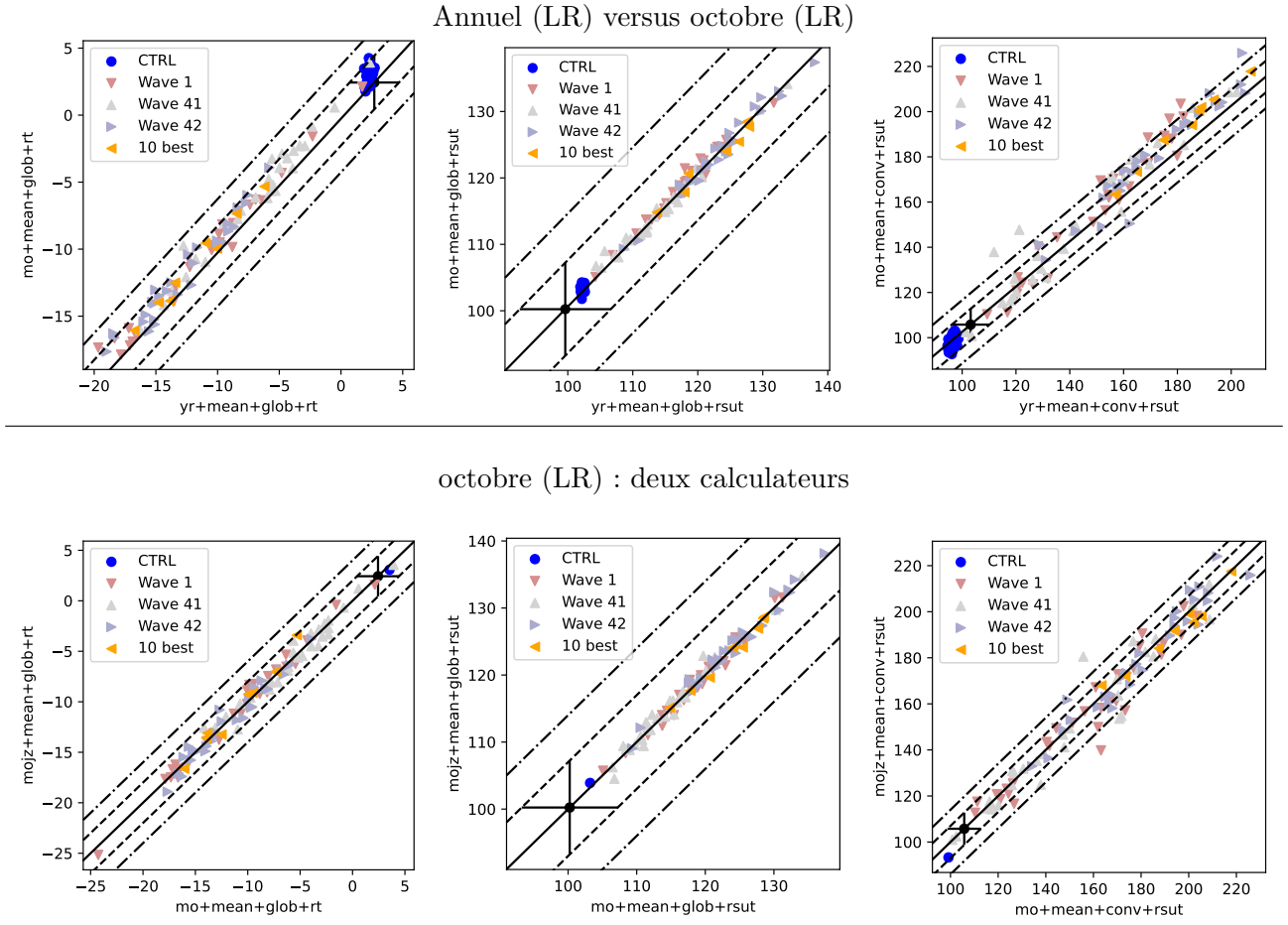


FIGURE 1

Diagramme de dispersion comparant trois métriques pour différentes configurations du modèle : colonne de droite le bilan total au sommet (**glob+rt**), colonne du milieu le flux solaire montant global (**glob+rsut**), colonne de droite le flux solaire montant moyen dans les régions convectives sur les océans tropicaux (**conv+rsut**). La ligne du haut montre la comparaison du mois d'octobre (ordonnées) avec la moyenne annuelle (abscisse) pour chacune des métriques en configuration LMDZ6ALR. La ligne du bas compare les métriques obtenus pour les mêmes PPE pour le mois d'octobre, mais en réalisant les simulations sur deux calculateurs différents (le calculateur **jean-zay** de l'idris et le calculateur **adastra** du Cines).

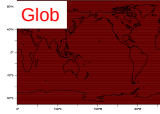
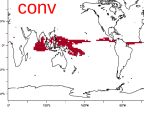
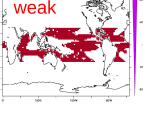
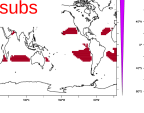
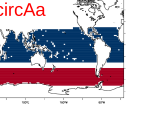
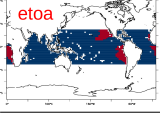
Mask	Variable	Metrics	target W m^{-2}	error W m^{-2}
	Total rad. TOA (rt) Swup TOA (rsut)	glob.rt	2.5	0.2
		glob.rsut	99.6	5
		circAa.rsut	24.0	5
		circAa.rlut	-48.6	5
		subs.rsut	84.9	5
		weak.rsut	81.8	5
		conv.rsut	103.2	5
		subs.rlut	274.6	5
		weak.rlut	264.3	5
		conv.rlut	235.8	5
		etoa.rsut	11.0	5
Convective, intermediate, subsiding    Circum Antact. anomaly 	SWup TOA (rsut) LWup TOA (rlut)			
etoa Eastern Tropical Ocean anomaly 	SWup TOA (rsut)			

FIGURE 2 – Figure issue de Hourdin et al. (2021) montrant les différents masques utilisés pour calculer les métriques (gauche) et la liste des métriques radiatives avec leur valeurs de références et les tolérances à l’erreur classiquement utilisées (droite). Les métriques de différences (circAa et ETOA) sont calculées comme la différence entre les métriques moyennées sur les régions rouges et bleues. Les notations rt, rsut et rlut utilisent la norme des variables des CMIP6 : r pour flux radiatif, s pour solaire ou l pour infrarouge (*longwave*), u pour pour les flux montant (*up*) et t pour TOA (*Top Of Atmosphere*). Les valeurs de références indiquées sont issues du produit CERES-EBAF, excepté pour la métrique glob.rt

des deux mêmes simulations vont ainsi totalement diverger. On voit que la variabilité interne de la simulation de contrôle (dispersion sur l’axe des ordonnées) est tout à fait comparable à celle obtenue en changeant d’ordinateur (dispersion des PPEs autour de la diagonale). Il s’agit d’une variabilité irréductible, sauf à utiliser du guidage éventuellement. Et encore on a vu au Sirta que ça ne suffisait pas forcément.

On constate cependant que pour ces trois métriques au moins, l’écart entre métrique annuelle et mensuelle reste inférieur à deux fois la tolérance à l’erreur. Sur ces métriques en particulier, il n’y a pas de biais systématique entre les deux calculs (les points étant distribués autour de la diagonale) et il est donc tout à fait envisageable, et même souhaitable, d’inclure des vagues avec cette configuration pour économiser du temps humain et de l’énergie dans le processus de tuning.

Si on regarde maintenant le changement de résolution Figure 3 on constate que des différences supplémentaires viennent s’ajouter, avec une dispersion qui s’accroît et des biais (décalage systématiques par rapport à la diagonale). Notamment le flux solaire montant total au sommet de l’atmosphère est renforcé, notamment en configuration VLR, et c’est encore plus vrai dans la région de convection. La dégradation obtenue pour la configuration VLR semble en général un peu trop importante.

Il apparaît clairement qu’un tuning sur le mois d’octobre en configuration LR et même 5LR devrait suffire à restreindre l’espace des paramètres dans une région compatible avec le tuning annuel de la configuration standard, sous réserve, suivant les métriques, d’accroître un peu la tolérance à l’erreur, ou de cibler une valeur légèrement différente de celle donnée par les observations afin de corriger un biais de configuration.

Le résultat de ces expériences va donc pouvoir être utilisé pour réduire significativement le temps de calcul des prochaines expériences de tuning de LMDZ.

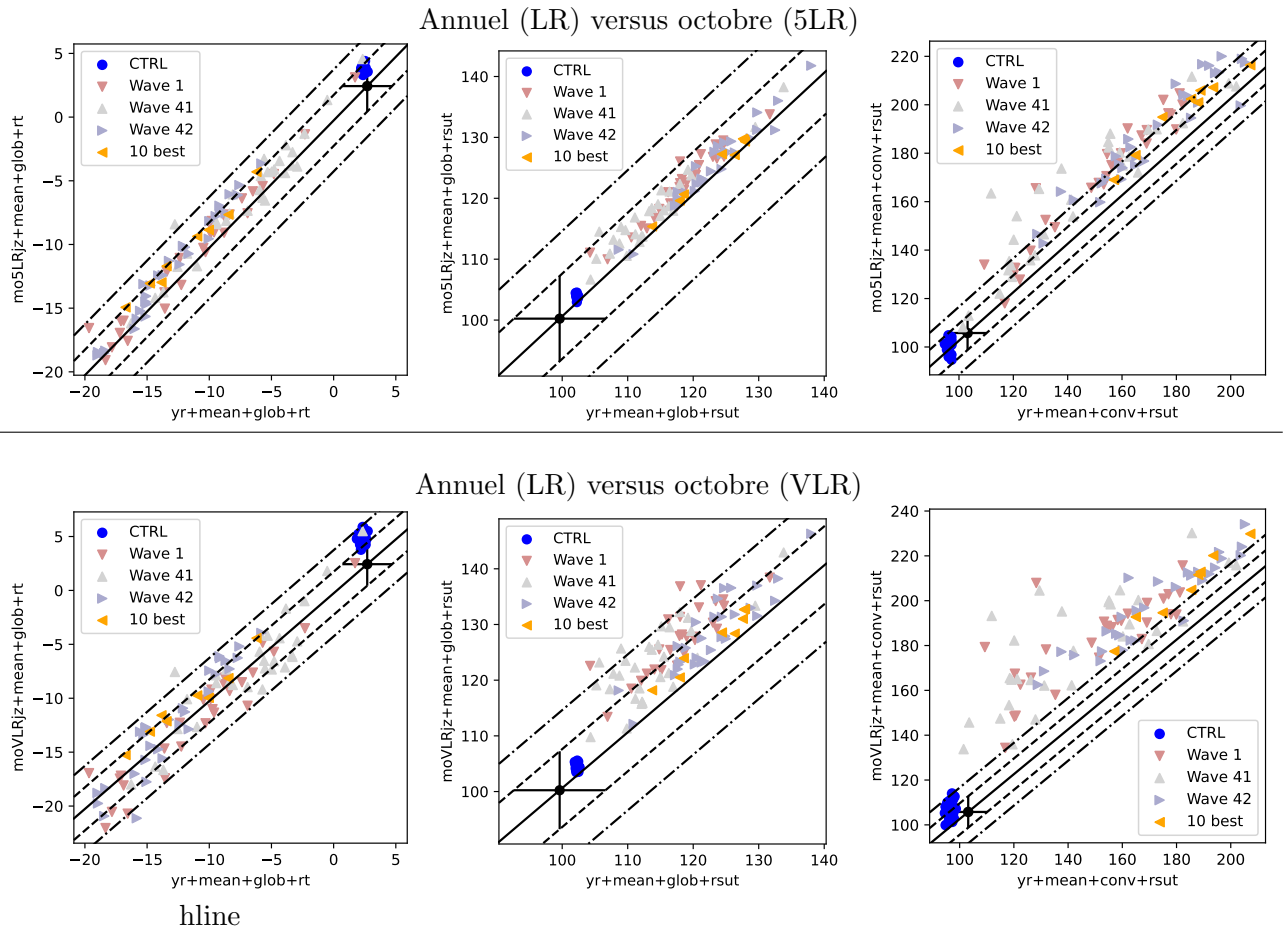


FIGURE 3 – Comme la première ligne de la Figure 1 excepté que les grilles utilisées pour les simulations mensuelles sont la grille 5LR (ligne du haut) et VLR (ligne du bas).

Bibliographie

- Hourdin, F., Ferster, B., Deshayes, J., Mignot, J., Musat, I., and Williamson, D. (2023). Toward machine-assisted tuning avoiding the underestimation of uncertainty in climate change projections. *Science Advances*, 9(29) :eadf2758.
- Hourdin, F., Williamson, D., Rio, C., Couvreux, F., Roehrig, R., Villefranque, N., Musat, I., Fairhead, L., Diallo, F. B., and Volodina, V. (2021). Process-Based Climate Model Development Harnessing Machine Learning : II. Model Calibration From Single Column to Global. *J. of Adv. in Modeling Earth Systems*, 13(6) :e02225.