

## M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : CNRM, Météo-France/CNRS, Toulouse

Titre du stage : Accélération de la mise à l'équilibre du modèle de climat CNRM-CM

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage :

Aurore Voldoire, chercheur IDTM

Romain Roehrig, chercheur IPEF

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :

Aurore Voldoire - 05 61 37 96 98 - aurore.voldoire@meteo.fr

Romain Roehrig - 05 61 07 67 62 – romain.roehrig@meteo.fr

Sujet du stage :

Les exercices internationaux d'intercomparaison des modèles de climat pour l'étude des changements climatiques [1] et qui alimentent une partie des travaux du GIEC, font l'hypothèse que le système climatique était à l'équilibre avant l'ère industrielle (i.e. avant 1850). Pour atteindre un tel état d'équilibre, les modèles climatiques sont intégrés sur de longues périodes en appliquant des concentrations en gaz à effet de serre constantes, représentatifs de la période pré-industrielle. Cependant, cet état d'équilibre est difficile à atteindre car le système climatique, et en particulier l'océan, met plusieurs milliers d'années à se stabiliser. De telles simulations demandent plusieurs mois d'intégration sur un supercalculateur et le coût numérique est important, si bien que cette étape ne peut pas être répétée fréquemment. Ainsi, la mise à l'équilibre n'est souvent réalisée que partiellement et conduite de façon empirique en mêlant mises à jour des modèles au fil de la mise à l'équilibre [2]. Pourtant, certaines études [3] suggèrent que les projections climatiques sont sensibles à l'état initial de l'océan mais cela n'a pas pu être étudié en détail du fait du coût prohibitif des simulations qu'il faudrait réaliser. En effet, même si les moyens de calcul ont régulièrement progressé, les modèles se sont aussi complexifiés au même rythme, ne permettant pas de réaliser plus rapidement de longues intégrations.

Afin de pouvoir analyser de façon plus complète l'importance de cette phase de mise à l'équilibre, une version basse résolution du modèle CNRM-CM a été mise en place. Cette version est environ 10 fois moins coûteuse que le modèle à résolution standard [4] et permet de réaliser de très longues intégrations pour un temps de calcul raisonnable. L'objectif de ce stage est d'étudier, à l'aide de cette version de CNRM-CM, la mise à l'équilibre de l'océan qui est la composante qui a le plus d'inertie.

La première étape sera de caractériser la ou les échelles de temps de cette mise à l'équilibre, pour la dynamique océanique et pour les propriétés des masses d'eau (e.g., température, salinité), en identifiant les métriques les plus pertinentes pour quantifier la mise à l'équilibre de l'océan.

Dans une deuxième phase, l'importance de la méthode de forçage du modèle océanique (i.e. les conditions imposées à l'interface océan-atmosphère) sera examinée. La méthode communément utilisée [5] consiste à utiliser un forçage observé sur la période passée (1958-2018) que l'on répète plusieurs fois pour atteindre des durées de simulations de plusieurs centaines d'années. Cette méthode est cependant critiquée car le forçage utilisé contient une tendance pouvant induire une dérive dans la mise à l'équilibre du modèle. Nous testerons d'autres alternatives comme n'utiliser que les premières décennies du forçage pendant lesquelles la tendance est limitée. Les métriques établies à la première étape permettront de comparer les différentes méthodes. L'influence de la méthode de forçage sur le climat équilibré sera également caractérisé.

Dans un troisième temps, différentes stratégies d'accélération de la phase de mise à l'équilibre du modèle seront comparées. En particulier, 2 méthodes seront testées :

- considérer que la dynamique de l'océan est rapidement équilibrée et restreindre le spin-up à une advection des variables décrivant l'état de l'océan (température et salinité) [6].
- utiliser une méthode de type « fast-forward » [7] pour accélérer la pénétration de la perturbation initiale.

L'objectif de ce travail est donc de comparer différentes stratégies de mise à l'équilibre vis-à-vis de l'approche standard et coûteuse, caractériser leurs avantages et leurs limites, et ainsi identifier la méthode la plus pertinente et la plus efficace qui pourra être utilisée routinièrement dans les configurations « opérationnelles » du modèle de climat du CNRM.

- [1] V. Eyring *et al.*, « Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization », *Geosci. Model Dev.*, 2016, doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016.
- [2] A. Yool *et al.*, « Spin-up of UK Earth System Model 1 (UKESM1) for CMIP6 », *J. Adv. Model. Earth Syst.*, vol. 12, n° 8, août 2020, doi: 10.1029/2019MS001933.
- [3] H. T. Banks, S. Stark, et A. B. Keen, « The Adjustment of the Coupled Climate Model HadGEM1 toward Equilibrium and the Impact on Global Climate », *J. Clim.*, vol. 20, n° 23, p. 5815-5826, déc. 2007, doi: 10.1175/2007JCLI1688.1.
- [4] A. Voldoire *et al.*, « Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1 », *J. Adv. Model. Earth Syst.*, vol. 11, n° 7, p. 2177-2213, juill. 2019.
- [5] S. M. Griffies *et al.*, « OMIP contribution to CMIP6: Experimental and diagnostic protocol for the physical component of the Ocean Model Intercomparison Project », *Geosci. Model Dev.*, vol. 9, n° 9, p. 3231-3296, 2016, doi: 10.5194/gmd-9-3231-2016.
- [6] F. C. Cooper, « A potential method to accelerate spin up of turbulent ocean models », *Ocean Model.*, vol. 120, p. 79-82, déc. 2017, doi: 10.1016/j.ocemod.2017.10.008.
- [7] D. Saint-Martin *et al.*, « Fast-Forward to Perturbed Equilibrium Climate », *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, n° 15, 2019, doi: 10.1029/2019GL083031.