

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

Laboratoire : Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)

Titre du stage : ***Calibration des modèles régionaux de climat : nouvelle approche basée sur des méthodes de machine learning***

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

Pierre NABAT, Chercheur ITM, [pierre.nabat@meteo.fr](mailto:pierre.nabat@meteo.fr), tél : 05 61 07 97 40

Romain ROEHRIG, Chercheur IPEF, [romain.roehrig@meteo.fr](mailto:romain.roehrig@meteo.fr), tél : 05 61 07 97 62

Samuel SOMOT, Chercheur IPEF, [samuel.somot@meteo.fr](mailto:samuel.somot@meteo.fr), tél : 05 61 07 93 62

Sujet du stage :

Les modèles de climat représentent numériquement le système climatique en se basant à la fois sur la discrétisation des équations de la mécanique des fluides sur un maillage spatial prédéfini, et sur des paramétrisations physiques. Celles-ci reposent soit sur des principes physiques solides, soit sur des considérations plus empiriques, pour représenter l'impact sur l'échelle résolue des processus dits sous-maille, ou de ceux associés à une physique non incluse dans les équations de la dynamique (e.g. le rayonnement). Les approximations considérées introduisent un certain nombre de paramètres, résumant parfois en une valeur la complexité du monde réel, engendrant ainsi de fortes incertitudes, notamment dans le cas où ces paramètres ne sont pas directement observables, et donc difficiles à contraindre. L'ajustement de ces paramètres (ou calibration ou « tuning ») est une étape clé de la modélisation du climat, visant à construire des modèles en meilleure adéquation avec les observations, mais aussi à identifier leurs erreurs structurelles (i.e. ce qu'ils sont incapables de reproduire). Cette phase de calibration est d'autant plus importante que les choix et les compromis réalisés peuvent affecter de manière significative les résultats du modèle et influencer les projections climatiques simulées. Il est donc nécessaire de réaliser ce tuning de manière efficace, objective et transparente.

Des approches de tuning automatiques ont récemment été développées pour les modèles de climat globaux. En revanche, pour les modèles de climat régionaux, la question de leur calibration est encore rarement abordée dans la littérature scientifique (*Bellprat et al. 2012*) et très largement ouverte tant sur les approches à employer que sur les métriques de référence.

L'objectif de ce stage est de réaliser la calibration du modèle régional de climat ALADIN développé au CNRM (*Nabat et al. 2020*), utilisé ici sur l'Europe à une résolution horizontale de 12.5 km, en adoptant l'approche High-Tune Explorer (*Couvreux et al. 2021, Hourdin et al. 2021*). Il s'agit d'un outil statistique adapté aux modèles de climat, permettant d'identifier la gamme des valeurs des paramètres permettant au modèle de reproduire un climat compatible avec la réalité, au sens d'une liste de métriques définies au préalable. Cet outil inclut un traitement des incertitudes et utilise des méthodes de machine learning (processus Gaussiens) pour émuler la sensibilité du modèle à ses paramètres, et ainsi explorer l'espace des paramètres possibles de manière très efficace.

Le travail consistera à : (1) définir un ensemble de métriques qui permettront d'évaluer la capacité du modèle à reproduire le climat de l'Europe, (2) choisir les paramètres du modèle que l'on fera varier, et les gammes de valeurs raisonnables associées, (3) mettre en place la stratégie de simulations permettant de construire un ensemble d'apprentissage (notamment en termes de période couverte et de durée), (4) exploiter les capacités de l'outil High-Tune Explorer pour identifier un ensemble de configurations du modèle ALADIN à tester (5) réaliser les simulations nécessaires et analyser les résultats pour identifier les meilleures valeurs possibles des paramètres du modèle.

Références :

Bellprat, O., Kotlarski, S., Lüthi, D., & Schär, C. (2012). Objective calibration of regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D23).

Couvreux, F., Hourdin, F., Williamson, D., Roehrig, R., Volodina, V., Villefranque, N., et al. (2021). Process-based climate model development harnessing machine learning: I. A calibration tool for parameterization improvement. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13, e2020MS002217. <https://doi.org/10.1029/2020MS002217>

Hourdin, F., Williamson, D., Rio, C., Couvreux, F., Roehrig, R., Villefranque, N., et al. (2021). Process-based climate model development harnessing machine learning: II. Model calibration from single column to global. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13, e2020MS002225. <https://doi.org/10.1029/2020MS002225>

Nabat, P., Somot, S., Cassou, C., Mallet, M., Michou, M., Bouniol, D., Decharme, B., Drugé, T., Roehrig, R., and Saint-Martin, D. (2020) Modulation of radiative aerosols effects by atmospheric circulation over the Euro-Mediterranean region, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 8315–8349, <https://doi.org/10.5194/acp-20-8315-2020>, 2020.