M2 SOAC : Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : CNRM, Météo-France

Titre du stage : Caractérisation des changements climatiques futurs en France : synthétiser des données multi-sources pour produire une information robuste au service de l'adaptation

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage :
Lola Corre : Ingénieur des Travaux de la Météorologie, CNRM/CLIMSTAT
Samuel Somot : chercheur, CNRM/CLIMSTAT

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage :
lola.corre@meteo.fr 0561079041
samuel.somot@meteo.fr

Sujet du stage :

Enjeux et objectifs du stage

Aujourd'hui, les effets du changement climatique d'origine anthropique sont visibles dans le quotidien des français. Cette nouvelle réalité demande à la société de s'adapter au nouveau climat en vigueur et à son évolution à venir. Les effets du changement climatique étant largement hétérogènes dans l'espace et le temps, l'adaptation au changement climatique nécessite des informations à la fois locales et fiables.

Jusqu'à présent ces informations sur le climat d'une région donnée (e.g. la France) étaient le plus souvent composées d'une seule source de données relativement homogène, typiquement des modèles régionaux de climat de fine échelle (résolution typique de 12 km, 1 jour) forcés par des modèles globaux de climat sous différents scénarios socio-économiques d'évolution des gaz à effet de serre. Récemment de nouvelles sources de données sont apparues menant à de nouveaux challenges scientifiques pour passer d'une diversité de données hétérogènes à une information fiable caractérisant le climat des décennies à venir.

Parmi ces nouvelles sources de données, on retrouve :

(1) les modèles de climat à échelle kilométrique qui résolvent explicitement la convection profonde dans l'atmosphère mais aussi les interactions climat-ville et apportent une valeur ajoutée nette pour les phénomènes climatiques infra-journaliers tels que les orages (Caillaud et al. 2021),

(2) les émulateurs de modèles basées sur des réseaux de neurones profonds permettant la production de simulations à haute résolution pour un faible coût de calcul, et ainsi l'exploration d'une grande diversité des futurs possibles (Doury et al. 2022),

(3) les contraintes observationnelles qui permettent d'assurer la cohérence entre le changement climatique simulé pour le futur et l'évolution passée observée (Ribes et al. 2022).

Si on ajoute les sources de données plus classiques comme les modèles globaux de climat (ex: CMIP6, Eyring et al. 2016), les modèles régionaux de climat (ex: EURO-CORDEX, Jacob et al. 2014), on

obtient un ensemble multiple et hétérogène de sources de données, ayant chacune leurs avantages et leurs faiblesses que l'on doit combiner au mieux pour produire l'information climatique synthétique la plus fiable sur une région d'intérêt.

Dans ce cadre général, l'objectif du stage sera de développer une méthodologie pour évaluer, combiner et synthétiser un large éventail de données climatiques, afin de décrire l'évolution future du climat en France métropolitaine, en termes de moyenne, de variabilité, et d'extrêmes. Les données seront disponibles au démarrage du stage.

Méthodologie

L'approche générale suit les recommandations du chapitre 10 du 6ème rapport du GIEC (Doblas-Reyes et al. 2021), qui préconise de construire l'information climatique à partir de la distillation de sources de données diverses et hétérogènes. Il s'agira en particulier d':

- évaluer la qualité de chaque jeu de données pour l'application visée,
- gérer les écarts de résolution spatiale et temporelle,
- prendre en compte les dépendances entre les différents modèles,
- traiter les différences dans le nombre de réalisations selon les modèles,
- évaluer la cohérence entre chacune des sources en terme de changements futurs,
- tirer parti des nouvelles caractéristiques des données (résolutions fines, pas de temps horaire, longues séries depuis 1850, grands ensembles) pour enrichir l'étude des extrêmes et de la variabilité,
- quantifier et retranscrire les incertitudes associées aux changements futurs estimés.

Contexte

Météo-France finalise en 2025 la phase de production de son nouveau socle de projections climatiques pour la France hexagonale et la Corse, destiné à alimenter les services climatiques nationaux, tels que les portails *DRIAS – Les Futurs du Climat* [1] et *Climadiag Commune* [2]. Le stage s'inscrit dans la phase d'analyse de ce nouveau jeu de données qui remplacera l'ensemble Explore2 (Marson et al., 2024), utilisé notamment dans le cadre de la TRACC [3] pour décrire les changements attendus dans une France à +4 °C (Soubeyroux et al., 2024; Soubeyroux et al., 2025, Corre et al. 2025).

[1] : www.diras-climat.fr
[2] : https://meteofrance.com/climadiag-commune
[3] : https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-changement-climatique-tracc

Bibliographie

Caillaud et al. (2021) Modelling Mediterranean heavy precipitation events at climate scale: an object-oriented evaluation of the CNRM-AROME convection-permitting regional climate model. *Climate Dynamics,* https://doi.org/10.1007/s00382-020-05558-y

Corre et al. (2025) Using regional warming levels to describe future climate change for services and adaptation: Application to the French reference trajectory for adaptation. *Climate Services,* https://doi.org/10.1016/j.cliser.2025.100553

Doblas-Reyes et al. 2021: Linking Global to Regional Climate Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, https://doi.org/10.1017/9781009157896.012

Doury et al. (2023) Regional climate model emulator based on deep learning: concept and first evaluation of a novel hybrid downscaling approach. *Climate Dynamics*, https://doi.org/10.1007/s00382-022-06343-9.

Eyring et al. (2016)'Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) Experimental Design and Organization. *Geoscientific Model Development*, https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016.

Jacob et al. (2014) EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research. *Regional Environmental Change*, https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2.

Marson et al. (2024) Explore2 – Rapport de synthèse sur les projections climatiques régionalisées, https://hal.inrae.fr/hal-04443633.

Ribes et al. (2022) An Updated Assessment of Past and Future Warming over France Based on a Regional Observational Constraint. *Earth System Dynamics*, https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022.

Soubeyroux et al. (2024) A quel climat s'adapter en France selon la TRACC ? *Rapport Météo-France*, https://hal.science/hal-04797481v1

Soubeyroux et al. (2025) À quel climat s'adapter en France selon la TRACC ? partie 2. *Rapport Météo-France,* https://hal.science/hal-04991790v1