

Sujet de stage M2

Simuler des vagues de chaleur extrêmes en Europe avec le système AIFS

Encadrants

Pascal Yiou, DR CEA, HDR, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette

Soulivanh Thao, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Orme des Merisiers, Gif-sur-Yvette

Motivation

Les vagues de chaleur ont des conséquences énormes sur les écosystèmes et la société. Leur anticipation (dans les années futures) et leur prévision (dans les jours prochains) sont des enjeux scientifiques importants qui nécessitent un grand nombre de simulations numériques de modèles climatiques. Les émulateurs de modèles climatiques par intelligence artificielle sont en train de révolutionner le domaine de la prévision météorologique, avec des systèmes comme GraphCast (DeepMind (Lam et al., 2023)), Pangu-Weather (Huawei (Bi et al., 2023)) ou AIFS (ECMWF (Lang et al., 2024)), pour n'en citer que quelques-uns. Ces systèmes « apprennent » des variables climatiques de la réanalyse ERA5, et arrivent à prévoir de manière opérationnelle des champs comme la température ou la précipitation, ainsi que des trajectoires de cyclones (Rasp et al., 2024).

Travail proposé

Nous avons installé le code du système AIFS (ECMWF) sur le supercalculateur français (« Jean Zay »). Plutôt que de refaire une prévision météorologique, nous sommes intéressés par les capacités d'AIFS à simuler des températures extrêmes, soit comme la vague de chaleur emblématique de 2003 en Europe (qui est toujours l'été le plus chaud), soit comme le pic de température en Colombie Britannique en juin 2021 (température proche de 50°C). L'idée est d'utiliser une approche d'ensemble boosting (Gessner et al., 2021) en partant de conditions initiales qui précèdent ces événements, et d'évaluer comment AIFS arrive à reproduire leur intensité et la probabilité d'atteindre de tels événements. Il s'agira de simuler des ensembles de simulations perturbées avec ce système.

Le travail consistera à :

- Concevoir des expériences numériques avec AIFS (quelle base d'entraînement ? quels hyper-paramètres ? quelles conditions initiales ? quelles perturbations). Cette partie permettra de se familiariser avec le système AIFS et sera basée sur des comparaisons avec la prévision opérationnelle. Un des attendus de cette partie sera l'évaluation de grandeurs comme les exposants de Lyapounov (le taux de divergence des trajectoires) de l'émulateur pour des simulations de plusieurs semaines.
- Analyser les simulations, et en particulier les bilans d'énergie (processus dynamiques et thermodynamiques) qui conduisent à des températures extrêmes. Cette partie permettra d'évaluer si AIFS apprend les lois de la physique qui conduisent à des

températures extrêmes. On évaluera aussi la prédictabilité à court terme de tels événements.

Dans un second temps (si possible), nous évaluerons le potentiel de « transfert learning » de simulations numériques du climat réalisées dans le cadre de CMIP6 (Eyring et al., 2016), afin de prévoir des températures extrêmes pour le monde « réel » : peut-on prévoir des températures extrêmes dans ERA5 à partir d'une connaissance dans CMIP6, en entraînant AIFS sur un modèle CMIP6 ? Répondre à cette question permettra de produire un système de prévision d'événements extrêmes dans un climat changé, d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

Déroulement du stage

Le stage s'effectuera au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), UMR du CEA, CNRS et UVSQ. Le LSCE est situé à Gif-sur-Yvette, près du campus de l'Université Paris-Saclay. Le LSCE est sur un site du CEA, ce qui peut impliquer des formalités administratives précoces. Merci donc d'anticiper au maximum toutes ces formalités.

Les calculs seront effectués sur le serveur de calcul de l'IPSL (spiritx et hal) et sur le supercalculateur Jean-Zay.

Le stage sera encadré par Soulivanh Thao et Pascal Yiou, au sein de l'équipe de recherche ESTIMR.

Formations et Compétences

Grandes Ecoles d'ingénieur, Master en sciences de l'environnement, Master en datascience Statistiques et machine learning, data science, informatique (shell, python, R, linux), sciences de l'atmosphère.

Rémunération

Oui (barème CNRS)

Poursuite en thèse

Oui (selon les concours doctoraux).

Références

Bi, K., Xie, L., Zhang, H., Chen, X., Gu, X., and Tian, Q.: Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks, *Nature*, 619, 533–538, 2023.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E.: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geoscientific Model Development*, 9, 1937–1958, 2016.

Gessner, C., Fischer, E. M., Beyerle, U., and Knutti, R.: Very rare heat extremes: quantifying and understanding using ensemble reinitialization, *Journal of Climate*, 34, 6619–6634, 2021.

Lam, R., Sanchez-Gonzalez, A., Willson, M., Wirnsberger, P., Fortunato, M., Alet, F., Ravuri, S., Ewalds, T., Eaton-Rosen, Z., Hu, W., Meroze, A., Hoyer, S., Holland, G., Vinyals, O., Stott, J., Pritzel, A., Mohamed, S., and Battaglia, P.: Learning skillful medium-range global weather forecasting, *Science*, 382, 1416–1421, <https://doi.org/10.1126/science.adi2336>, 2023.

Lang, S., Alexe, M., Chantry, M., Dramsch, J., Pinault, F., Raoult, B., Bouallegue, Z. B., Clare, M., Lessig, C., and Magnusson, L.: AIFS: A new ECMWF forecasting system, ECMWF Newsletter, 178, 4–5, 2024.

Rasp, S., Hoyer, S., Meroze, A., Langmore, I., Battaglia, P., Russell, T., Sanchez-Gonzalez, A., Yang, V., Carver, R., Agrawal, S., Chantry, M., Ben Bouallegue, Z., Dueben, P., Bromberg, C., Sisk, J., Barrington, L., Bell, A., and Sha, F.: WeatherBench 2: A Benchmark for the Next Generation of Data-Driven Global Weather Models, *J Adv Model Earth Syst*, 16, e2023MS004019, <https://doi.org/10.1029/2023MS004019>, 2024.