

PROJET DE FIN D'ETUDES

INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE

FICHE DE PROPOSITION DE SUJET

Titre du sujet proposé : Contribution du changement climatique aux anomalies de prévision saisonnière : utilisation de normales non stationnaires

Organisme ou service proposant le sujet :
Météo-France, DESR/CNRM/GMGEC

Responsable principal du stage :

Responsable principal (le responsable principal est l'interlocuteur direct de l'École. C'est à lui, en particulier, que seront adressés les courriers ultérieurs) :

NOM : SPECQ Prénom : Damien

téléphone : 05 61 07 93 34 Mél : damien.specq@meteo.fr

Autres responsables : GAYRARD Frédéric (Météo-France, DCSC/ACS)

Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? : Non

Le stage peut-il être effectué à distance ? : Partiellement

1) Description du sujet – livrables attendus

Météo-France produit chaque mois des prévisions saisonnières, réalisées au CNRM avec le modèle de climat global couplé CNRM-CM. Ces productions alimentent les bulletins de prévision saisonnière de l'établissement, rédigés par la Direction de la Climatologie et des Services Climatiques (DCSC), qui décrivent les conditions prévues pour le prochain trimestre. Ces prévisions saisonnières en temps réel sont généralement communiquées sous forme d'anomalies par rapport à un climat de référence. Ce climat de référence est déterminé pour le modèle avec un jeu de re-prévisions, similaires aux prévisions en temps réel mais initialisées avec des conditions du passé sur une période d'environ 25 ans (1993-2018 actuellement).

Dans un contexte de changement climatique, les anomalies entre le climat de référence et une prévision en temps réel initialisée en 2023 sont nécessairement marquées par les tendances de long terme liées à l'augmentation de l'effet de serre d'origine anthropique. Un exemple marquant est celui de la température de surface en été, pour laquelle les prévisions saisonnières sur l'Europe de ces dernières années indiquent presque systématiquement des conditions plus chaudes que la référence en raison de la tendance au réchauffement. Au-delà des températures, ces effets se remarquent également sur d'autres variables liées à la

circulation atmosphérique comme le géopotential à 500 hPa.

Les prévisions saisonnières bénéficient fortement de cette tendance climatique du point de vue de leur capacité prédictive évaluée sous forme de scores (Cai et al 2009, Meehl et al 2022). A titre d'exemple, la corrélation entre les températures de surface des prévisions saisonnières Météo-France et celles observées sur les saisons d'été (Juin-Juillet-Août) sur l'Europe du Nord est de 0.31 mais descend à 0.04 lorsqu'on retire l'effet du réchauffement. Cela interroge cependant sur la capacité des prévisions saisonnières à anticiper ce qui ne dépend pas du changement climatique mais de la variabilité interne. Ainsi, toujours pour les températures estivales d'Europe du Nord, Patterson et al (2022) ont montré que des simulations longues de changement climatique (CMIP6), sans initialisation réaliste, étaient aussi bien corrélées avec les observations que des prévisions saisonnières initialisées.

L'approche la plus simple pour estimer puis retirer la contribution du changement climatique dans la prévision saisonnière est l'utilisation d'une tendance linéaire en chaque point de grille. Le retrait d'une tendance linéaire est d'ores et déjà appliqué dans certaines productions opérationnelles de la DCSC pour la température de surface¹. Il a aussi récemment fait l'objet d'un stage court (Buey, Millot-Weil et Robo, 2022) proposant de nouvelles visualisations de la prévision saisonnière de température, sous forme de terciles de la distribution climatique s'affranchissant de cette tendance. Ce travail a néanmoins montré qu'une modélisation linéaire est diversement valable selon les endroits considérés.

Le but de ce PFE est de mettre en œuvre et d'évaluer une nouvelle méthode statistique plus sophistiquée permettant d'extraire la contribution du changement climatique dans les prévisions saisonnières. Cette méthode repose sur l'utilisation de normales non stationnaires développées dans le cadre d'une thèse soutenue au CNRM en 2020 et s'appuyant sur des fonctions non linéaires (Rigal et al 2019, Rigal 2020). La méthodologie mise en œuvre sera applicable en tout point du globe, mais on focalisera en priorité l'analyse des résultats sur le continent européen.

Le travail de ce PFE se déroulera en 4 étapes :

1) Application de la méthode des normales non stationnaires développée par Rigal et al (2019) au cadre des prévisions saisonnières de température de surface. Les normales non stationnaires ayant été initialement développées pour de longues séries temporelles continues, une adaptation aux spécificités des re-prévisions saisonnières (initialisations multiples, traitement différencié de chaque échéance, prévisions ensemblistes) sera nécessaire.

2) Comparaison de la contribution du changement climatique estimée par une tendance linéaire et celle estimée par la méthode des normales non stationnaires. On confrontera notamment les scores des prévisions saisonnières obtenus après retrait de la contribution du changement climatique, selon que celle-ci est estimée par l'une ou l'autre des méthodes.

3) Études de cas sur des prévisions saisonnières récentes. On pourra notamment s'intéresser aux contributions respectives du changement climatique dans les prévisions des saisons d'été 2022 et 2023 en Europe.

4) Si le temps le permet, extension de la démarche des étapes 1 et 2 au géopotential à 500 hPa et aux indices de circulation atmosphérique Euro-atlantique utilisés en prévision saisonnière qui en dérivent (oscillation Nord-Atlantique, mode Est Atlantique, blocage Scandinave).

Un sujet de thèse en lien avec ce stage sera proposé. Le but de cette thèse sera de poursuivre la caractérisation du signal de changement climatique dans les prévisions saisonnières sur plusieurs variables climatiques, au moyen d'approches statistiques mais aussi d'expériences numériques idéalisées.

¹ <http://seasonal.meteo.fr/content/PS-previ-cartes?language=fr>, puis sélectionner « Anomalie moins la tendance linéaire »

Bibliographie :

Buey, T., Millot-Weil, J. et Robo, M. (2022). Impact du changement climatique sur les prévisions saisonnières. *Stage "Étude Modélisation Innovation" de l'École Nationale de la Météorologie* <http://confluence.meteo.fr/pages/viewpage.action?pageId=337198465>

Cai, M. et al. (2009). The Role of Long-Term Trends in Seasonal Prediction: Implication of Global Warming in the NCEP CFS. *Weather and Forecasting*, 24 (4), 965-973.

Meehl, G.A. et al. (2022). The effects of bias, drift, and trends in calculating anomalies for evaluating skill of seasonal-to-decadal initialized climate predictions. *Climate Dynamics*, 59, 3373–3389.

Patterson, M. et al. (2022). The strong role of external forcing in seasonal forecasts of European summer temperature. *Environmental Research Letters*, 17, 104033.

Rigal, A. et al. (2019). Estimating daily climatological normals in a changing climate. *Climate Dynamics*, 53, 275–286

Rigal, A (2020). Déformation des cycles saisonniers de variables climatiques. *Thèse de doctorat, Université de Toulouse*

2) lieu du stage, durée ou période

Le stage se déroulera sur une durée de 6 mois entre février et septembre 2024, au CNRM à Toulouse.