

## Sujet de stage M2

**Intitulé :** Vers des prévisions des ressources hydrologiques en France à l' échelle de temps décennale

**Encadrantes :** Juliette Mignot (LOCEAN, Paris, [juliette.mignot@locean.ipsl.fr](mailto:juliette.mignot@locean.ipsl.fr)) et Florence Habets (Laboratoire de ENS, France, [florence.habets@ens.fr](mailto:florence.habets@ens.fr))

**Lieu du stage :** LOCEAN, Tr 45-55 5<sup>e</sup> étage, 4 place Jussieu, 75005 Paris ou ENS, 24 rue Lhomond, Aile Erasme – 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages, 75005 Paris

### Sujet :

La prévision du climat à l'échelle de temps décennale, intermédiaire entre la prévision saisonnière et les projections climatiques à long terme, est une thématique encore émergente des sciences du climat mais fort attendue par les décideurs pour l'adaptation et l'anticipation des effets du changement climatique. De telles prévisions utilisent à la fois les scénarios futurs d'émissions de gaz à effet de serre mais aussi les sources internes de prévisibilité du système climatique notamment dans l'océan, pour prévoir au mieux la trajectoire climatique au cours des 2 à 10 prochaines années. Ces prévisions, qui surpassent les projections traditionnelles, peuvent apporter un bénéfice intéressant pour de nombreux secteurs, notamment l'agriculture, l'énergie, la gestion de l'eau, *etc.* Les ressources en eau en France, exprimées en terme de ressources en eau souterraine ou de débits de certains fleuves, montrent justement une forte corrélation avec les variations décennales du système climatiques (e.g. Bonnet et al. 2020), suggérant une bonne prévisibilité à ces échelles de temps. Cependant, l'exploitation des expériences de prévisions décennales pour la prévision de ces ressources hydrologiques n'est pas évidente : d'une part, les observations hydrologiques sont souvent trop courtes (moins de 60 ans), et fortement anthropisées. D'autre part, la prévision hydrologique est fortement sensible aux régimes de temps, et à des phénomènes atmosphériques de relativement haute résolution, mal résolus dans les modèles de climat.

Dans un premier temps, on s'appuiera directement sur la prévision décennale des précurseurs dynamiques identifiés dans les études précédentes, telles que la variabilité multidécennale Atlantique, mais aussi conditions de température et précipitations sur le continent, pour évaluer le gain éventuel des prévisions de ressources en eau quelques années en avance par rapport à ce qui est obtenu à l'échelle de temps saisonnière. Cette approche purement dynamique pourra être affinée d'une part grâce à l'identification de trajectoires futures physiquement plausibles (storylines), concept particulièrement adapté à la prévision du climat régional (Shepherd et al. 2019). Une autre piste d'amélioration des prévisions dynamiques pourra reposer sur le concept d'analogues, qui consiste à identifier les conditions de temps associées à certains événements hydrologiques ou à leur variabilité et prédire ces derniers dans le modèle de climat.

Une autre approche pourrait consister à utiliser les sorties du modèle de climat pour forcer un modèle hydrologique tel que SIM (<https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article424>) ou AQUI-FR (<https://www.geosciences.ens.fr/recherche/projets/aqui-fr>). Cependant, une telle opération impose de descendre les informations climatiques de l'échelle de la maille des modèles de climat (environ 100 km de côté) à des échelles plus fines, typiquement

kilométriques (downscaling). Pour se faire, des méthodes statistiques ont été développées, comme par exemple la méthode dite « Cumulative Distribution Function-transform » (CDF-t) (Michelangeli et al. 2009) qui a déjà été appliquée avec succès aux prévisions climatiques de ressources viticoles en Europe (Sgubin et al. 2022). Cependant, ces méthodes ne sont pas encore adaptées au downscaling de l'ensemble des données climatiques nécessaires au forçage du modèle hydrologique. Une revue des développements existants en collaboration avec l'équipe française experte de ces méthodes sera proposée.

Ce stage propose donc d'explorer la faisabilité de la prévision des ressources hydrologiques en France à l'échelle de temps de quelques années. Les différentes pistes seront abordées selon l'intérêt et le profil du candidat et pourront constituer la base d'études futures, éventuellement développées au cours d'une thèse. Le stage sera co-encadré d'une part par Juliette Mignot, chercheuse au LOCEAN, contributrice au développement des expériences de prévision décennales à l'IPSL, et d'autres part par Florence Habets, hydrologue, spécialiste de l'effet du changement climatique sur les ressources en eau en France. De nombreuses collaborations pourront être envisagées, avec Didier Swingedouw (EPOC), co-développeurs des expériences de prévision décennales et expert de leur application à des services climatiques, Mathieu Vrac (LSCE), expert des techniques de débiaisage et descente d'échelle des simulations climatiques, Julien Boé (Cerfacs), spécialiste de l'impact du changement climatique à l'échelle d'un bassin versant ou encore Christophe Cassou (Cerfacs) spécialiste des changements climatiques sur la France.

**Compétences requises :** Nous cherchons un.e étudiant.e avec des connaissances en physique du climat et/ou en hydrologie. Le travail du stage inclura une forte composante statistique et de calcul numérique sur des langages du type python, matlab, ou R. Une certaine autonomie, de la rigueur et de la créativité seront très utiles pour la bonne réalisation du stage. Une aisance dans la communication aussi bien orale qu'écrite sera également une qualité recherchée.

## Références

- Bonnet, R., Boé, J., and Habets, F.: Influence of multidecadal variability on high and low flows: the case of the Seine basin, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 1611–1631, <https://doi.org/10.5194/hess-24-1611-2020>, 2020.
- Michelangeli, P.-A., Vrac, M. & Loukos, H. Probabilistic downscaling approaches: Application to wind cumulative distribution functions. *Geophys. Res. Lett.* **36**, L11708 (2009).
- Shepherd, T., 2019 Storyline approach to the construction of regional climate change information *Proc. R. Soc. A*.4752019001320190013 <http://doi.org/10.1098/rspa.2019.0013>
- Sgubin, G. *et al.* Systematic investigation of skill opportunities in decadal prediction of air temperature over Europe. *Clim. Dyn.* (2021) doi:10.1007/s00382-021-05863-0.