

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

### **INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE**

#### **FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**Titre du sujet proposé : Application d'une contrainte émergente aux projections de ruissellement annuel issues des modèles CMIP6**

**Organisme ou service proposant le sujet : CNRM/GMGEC/CLIMSTAT**

**Responsable principal du stage :**

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

NOM : DOUVILLE

Prénom : Hervé

téléphone : 05 61 07 96 25

Mél : herve.douville@meteo.fr

Autres responsables :

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

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

#### **1) Description du sujet – livrables attendus**

Bien que les mécanismes de la réponse du cycle de l'eau aux forçages anthropiques soient de mieux en mieux compris (Held and Soden, 2006; Allan et al., 2020; Douville and John, 2020), les projections hydrologiques du XXI<sup>e</sup> siècle restent très incertaines. Au-delà des différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES), une grande partie de ces incertitudes est liée à la modélisation de grande échelle (Fläschner et al., 2016; Hawkins and Sutton, 2011; Lehner et al., 2020). Au vu de « l'urgence climatique » et de la rapidité des changements en cours, réduire ces incertitudes ne peut attendre le développement d'une nouvelle génération de modèles.

L'objectif du stage est de contraindre les projections du ruissellement annuel,  $Q$ , à l'échelle de grands bassins versants (ex : Amazone, Mississippi, Danube, Niger). Dans un premier temps, on s'appuiera sur la méthode proposée par Lehner et al. (2019) pour contraindre les projections CMIP6 (Eyring et al., 2016; O'Neill et al., 2016) de ruissellement intégré sur des grands bassins (voire à l'échelle globale). Elle consiste à contraindre l'élasticité du ruissellement aux variations de précipitations ( $\Delta P$  en %) et de température ( $\Delta T$  en K) selon le modèle de régression linéaire multiple  $\Delta Q = a \Delta P + b \Delta T + e$ . Dès lors qu'on dispose d'observations relativement fiables de  $Q$ ,  $P$  et  $T$ , on peut en effet estimer les coefficients  $a$  et  $b$  de la régression, puis appliquer ce modèle prédictif aux projections de  $P$  et  $T$  après avoir vérifié que la régression permet de reproduire les projections du ruissellement ( $\Delta Q$  en %) lorsque les coefficients  $a$  et  $b$

sont tirés des simulations sur la période historique. On pourra aussi travailler en mode « pseudo-observations » (un modèle CMIP tiré au hasard sert de référence observée et permet l'évaluation de la méthode sur la période future) pour étudier comment la prévision des ruissellements futurs dépend de la disponibilité et de la qualité des observations sur la période historique, voire utiliser les reconstructions hydrologiques LMIP pilotées par des forçages atmosphériques observés pour pallier en partie au manque d'observations. On pourra enfin, et si le temps le permet, réutiliser les modèles CMIP5 pour vérifier la robustesse de nos conclusions.

Au-delà du stage (si proposition de FCPLR, décision qui reste à rendre), on pourra améliorer le modèle de régression linéaire et les contraintes observationnelles associées. Il s'agira d'une part d'ajouter un prédicteur CO<sub>2</sub> dans la régression linéaire, en raison de l'effet direct du CO<sub>2</sub> sur le bilan hydrique via la transpiration des plantes (notamment sur les bassins à fort couvert végétal). Le prédicteur précipitations pourrait également être remplacé par deux prédicteurs correspondant à l'intensité moyenne des précipitations quotidiennes et au nombre de jours de pluies (Douville and John, 2020), toujours en valeurs annuelles. On pourra aussi contraindre via les observations disponibles sur la période historique les projections de température (Ribes et al., 2020) et remplacer dans la régression les anomalies de température simulées par des anomalies contraintes. Enfin, on tentera également de contraindre l'évolution des précipitations. Plusieurs stratégies pourront être testées et comparées voire combinées. Une troisième étape pourrait consister à adapter la méthode de Lehner et al. (2019) pour contraindre non plus le ruissellement moyen sur l'année hydrologique, mais les valeurs mensuelles minimale et maximale des débits.

## **2) lieu du stage, durée ou période**

CNRM/GMGEC/CLIMSTAT, stage de 6 mois (31 janvier-29 juillet)

Calendrier:

- Quantifier les incertitudes sur les évolutions simulées, récente et future, des flux hydrologique P (précipitations) et Q (ruissellement) sur la base des simulations CMIP6.
- Mettre en œuvre la méthode proposée par Lehner et al. (2019) pour contraindre la réponse du ruissellement annuel (année hydrologique) sur de grands bassins, d'abord en mode « pseudo-observations » puis avec de véritables observations (ex : GRDC, CRU, GPCC).
- Rédaction du rapport et préparation de la soutenance.

Allan, R. P., Barlow, M., Byrne, M. P., Cherchi, A., Douville, H., Fowler, H. J., et al. (2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1–27. doi:10.1111/nyas.14337.

Douville, H., and John, A. (2020). Fast adjustment versus slow SST-mediated response of daily precipitation statistics to abrupt 4xCO<sub>2</sub>. *Clim. Dyn.* doi:10.1007/s00382-020-05522-w.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., et al. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* 9, 1937–1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.

Fläschner, D., Mauritsen, T., and Stevens, B. (2016). Understanding the intermodel spread in global-mean hydrological sensitivity. *J. Clim.* 29, 801–817. doi:10.1175/JCLI-D-15-0351.1.

Hawkins, E., and Sutton, R. (2011). The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Clim. Dyn.* 37, 407–418. doi:10.1007/s00382-010-0810-6.

Held, I. M., and Soden, B. J. (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming (vol 19, pg 5686, 2006). *J. Clim.* 19, 5686–5699. doi:10.1175/2010JCLI4045.1.

Lehner, F., Deser, C., Maher, N., Marotzke, J., Fischer, E. M., Brunner, L., et al. (2020). Partitioning climate projection uncertainty with multiple Large Ensembles and CMIP5/6. *Earth Syst. Dyn.* 11, 1–28. doi:10.5194/esd-11-491-2020.

Lehner, F., Wood, A. W., Vano, J. A., Lawrence, D. M., Clark, M. P., and Mankin, J. S. (2019). The potential to reduce uncertainty in regional runoff projections from climate models. *Nat. Clim. Chang.* 9, 926–933. doi:10.1038/s41558-019-0639-x.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., et al. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.* 9, 3461–3482. doi:10.5194/gmd-9-3461-2016.

Ribes, A., Qasmi, S., and Gillett, N. (2020). Making climate projections conditional on historical observations. *Sci. Adv.*, submitted.