



**Trajectories**  
Univ. Grenoble Alpes



Sujet de stage de Master2 et/ou d'Ingénieur

## **ANALYSE DES ÉVOLUTIONS FUTURES DE LA VARIABILITÉ INTERNE**

### **Encadrement**

Guillaume Evin ([guillaume.evin@irstea.fr](mailto:guillaume.evin@irstea.fr)), Univ. Grenoble-Alpes, Irstea – ETNA, Grenoble

Benoit Hingray ([benoit.hingray@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:benoit.hingray@univ-grenoble-alpes.fr)), Univ. Grenoble-Alpes, IGE, Grenoble

Martin Ménégoz ([Martin.Menegoz@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:Martin.Menegoz@univ-grenoble-alpes.fr)), Univ. Grenoble-Alpes, IGE, Grenoble

### **Contexte**

Le projet *Trajectories* vise à améliorer la connaissance des interactions entre les sociétés humaines et leur environnement dans les régions alpines. Ce projet repose entre autres sur des outils de modélisation du climat permettant de décrire les trajectoires possibles du climat jusqu'à la fin du siècle. Un aspect critique de ce thème de recherche concerne l'analyse des incertitudes sur les projections futures. Une quantification adéquate des différentes sources d'incertitude est nécessaire afin d'estimer correctement l'intervalle des changements futurs possibles, leur significativité, et leur importance pour l'élaboration de stratégies d'adaptation au changement climatique. C'est également un outil important en terme d'allocation des ressources pour la recherche et le développement (Northrop et Chandler 2014). Un consensus existe aujourd'hui sur la nécessité de travailler avec des ensembles de projections représentant au mieux la variabilité des futurs possibles.

Les scénarios sont générés après formulation d'hypothèses socio-économiques, tandis que les modèles sont appliqués pour simuler les processus physiques qui déterminent le climat. Les projections obtenues comportent plusieurs sources d'incertitudes dont les principales sont liées (i) aux « scénarios » qui traduisent l'évolution inconnue des concentrations des gaz à effet de serre et (ii) aux « modèles » qui sont basés sur des hypothèses simplificatrices de notre compréhension du système Terre et de nos représentations imparfaites des processus géophysiques.

À ces incertitudes se conjugue **la variabilité "interne"** du climat. La nature chaotique du climat terrestre se traduit par des fluctuations des variables climatiques sur des échelles temporelles multiples (de la journée à quelques dizaines d'années) indépendantes des modifications long-terme associées aux forçages anthropiques. Elle est irréductible au sens où il s'agit d'une caractéristique propre du système climatique. Contrairement aux différentes sources d'incertitude qui peuvent éventuellement être réduites si notre connaissance augmente

(évolution des gaz à effet de serre mieux connue, engagements politiques fermes, ou amélioration des modèles climatiques), cette variabilité conduira toujours à un éventail de futurs possibles. Elle est souvent estimée à partir d'ensemble d'expériences produites à partir d'une même chaîne de modèles.

## **Sujet**

Ce stage consistera à développer des méthodes d'estimation de la variabilité interne et d'évaluer sa possible évolution à partir d'un ensemble de projections climatiques. L'approche *time-series* (Hawkins et Sutton 2009; Hingray et Saïd 2014; Reintges et al. 2017) sera privilégiée. Elle consiste à extraire d'abord la réponse climatique de chaque chaîne de simulation à l'aide d'un modèle de tendance (par exemple des fonctions polynomiales). Les signaux identifiés permettront de mettre en évidence la variabilité forcée, qu'elle soit thermodynamique (typiquement le réchauffement lié aux gaz à effet de serre) ou dynamique (associée à des changements de circulation atmosphérique éventuellement induits par les forçages anthropiques). La variabilité climatique interne pourra alors être estimée comme la différence entre les sorties brutes des modèles numériques et ces signaux forcés.

La problématique principale de ce stage est donc de développer une méthodologie d'estimation de la variabilité interne (souvent supposée constante) dans un contexte de non-stationnarité temporelle. On se posera également la question de l'identification des cycles pluriannuels (par ex. décennaux, 20 ans) et de l'évaluation de la variabilité interne pour ces fréquences. On explorera en particulier la possibilité de séparer les composantes de la variabilité interne liées d'une part à la variabilité multidécennale du climat et d'autre part à la variabilité interannuelle (plus haute fréquence).

Enfin, nous évaluerons si possible l'intérêt d'avoir à disposition plusieurs membres d'une même chaîne de simulation. Les analyses et développements seront effectués sur la base des projections de précipitation et de température EUROCORDEX obtenues à l'aide de différents modèles régionaux du climat pour l'Europe, sur la base des projections climatiques globales récentes (CMIP5). L'analyse de ces projections permettra de mettre en évidence les contrastes entre les changements attendus pour les différentes régions en Europe.

Les analyses devraient permettre d'affiner l'estimation des futurs possibles et la significativité des changements attendus pour ces variables au regard de cette composante de l'incertitude, souvent importante et toujours irréductible par nature.

## **WP et enjeux concernés dans Trajectories**

Ce stage concerne le WP3 « *Modeling of the Integrated System* » et vise à mieux décrire les trajectoires moyennes (ainsi que les incertitudes associées) de tout type de variable qui aura été estimé via un modèle d'impact simulant la traduction d'un ensemble de projections climatiques pour un secteur socio-écossystémique donné. Concrètement, ce type d'approche permet donc de mieux décrire les évolutions moyennes (et les incertitudes associées) de

variables climatologiques (par ex. l'enneigement, Evin et al. 2018), écologiques (par ex. la biodiversité, Carlson et al. 2017) ou autres.

## Références

- Carlson, Bradley Z., Monica C. Corona, Cédric Dentant, Richard Bonet, Wilfried Thuiller, et Philippe Choler. 2017. « Observed Long-Term Greening of Alpine Vegetation—a Case Study in the French Alps ». *Environmental Research Letters* 12 (11): 114006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa84bd>.
- Evin, G., B. Hingray, J. Blanchet, N. Eckert, M. Lafaysse, S. Morin, et D. Verfaillie. 2018. « Partitioning uncertainty components of an incomplete ensemble of climate projections using data augmentation ». *Journal of Climate*.
- Hawkins, E., et R. Sutton. 2009. « The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions ». *Bulletin of the American Meteorological Society* 90 (8): 1095-1107. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>.
- Hingray, B., et M. Saïd. 2014. « Partitioning Internal Variability and Model Uncertainty Components in a Multimember Multimodel Ensemble of Climate Projections ». *Journal of Climate* 27 (17): 6779-98. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00629.1>.
- Northrop, Paul J., et Richard E. Chandler. 2014. « Quantifying Sources of Uncertainty in Projections of Future Climate ». *Journal of Climate* 27 (23): 8793-8808. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00265.1>.
- Reintges, Annika, Thomas Martin, Mojib Latif, et Noel S. Keenlyside. 2017. « Uncertainty in Twenty-First Century Projections of the Atlantic Meridional Overturning Circulation in CMIP3 and CMIP5 Models ». *Climate Dynamics* 49 (5-6): 1495-1511. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3180-x>.

## Profil recherché

BAC+5 (projet de fin d'études) en statistique ou en probabilités / mathématiques appliqués. Une bonne expérience en programmation serait appréciée ainsi qu'un gout marqué pour les sciences de l'environnement (météorologie / climatologie) et les problèmes multidisciplinaires. De bonnes connaissances d'un langage de programmation (par exemple R, Matlab) sont requises.

## Durée du stage

5 à 6 mois

## Début du stage

avril 2019 (ajustable)

## Gratification

Indemnité de stage de 554,40 € par mois

## Lieu

Irstea - Grenoble, Unité de recherche Erosion Torrentielle, Neige et Avalanche (ETNA)  
2, rue de la papeterie, 38402 Saint-Martin-d'Hères

## Personne à contacter :

[guillaume.evin@irstea.fr](mailto:guillaume.evin@irstea.fr)