

Reconstitution par modélisation hydrologique des crues observées ces 200 dernières années dans les Alpes

Offre de stage de 6 mois (niveau M2) – Année 2024-2025

UMR Géosciences Rennes (SU) et Métis (SU)

1 Contexte

L'intensification et la fréquence croissante des événements hydrométéorologiques extrêmes représentent l'un des impacts majeurs attendus du réchauffement climatique dans les prochaines décennies. Pourtant, la quantification de cette augmentation à l'échelle locale demeure un défi, en raison de la forte variabilité naturelle du climat et du type d'événement précipitant. Comprendre cette variabilité naturelle implique souvent l'analyse de longues séries de données, qui restent malheureusement rares à travers le globe. Face à cette limitation, les hydrologues ont développé, au fil des décennies, des méthodes innovantes pour prolonger les séries d'observations hydrologiques. Parmi celles-ci, on trouve l'utilisation de données indirectes (des « proxys »), comme celles issues des cernes d'arbres ou des carottes sédimentaires. Ainsi, l'analyse de plusieurs dizaines de carottes lacustres échantillonnées dans différents lacs alpins au cours des 15 dernières années et synthétisé par Wilhelm *et al.* (2022) a permis de montrer l'effet de l'évolution de la température de l'air sur l'aléa hydrologique au cours des 10 000 dernières années, et notamment sur les crues fortes. Cependant, un verrou scientifique majeur persiste : les mécanismes sous-jacents à l'évolution de la fréquence et de l'intensité de ces crues restent mal compris. Cela est notamment dû à la difficulté de « remonter » aux conditions météorologiques qui ont provoqué les crues enregistrées dans les archives lacustres dans les Alpes.

Dans ce contexte, les longues réanalyses atmosphériques produites récemment apportent un éclairage précieux pour étudier la variabilité hydro-climatique des deux derniers siècles (e.g. [the Twentieth Century Reanalysis de la NOAA](#)). Ces réanalyses ont été utilisées pour reconstituer des longues séries de débits, par exemple en France (sur la Durance par Kuentz *et al.*, 2015, le Rhône amont par Legrand *et al.*, 2024 et sur la France entière par Devers *et al.*, 2024), au Canada (e.g. Brigode *et al.*, 2016; Gagnon-Poiré *et al.*, 2021) et plus récemment à l'échelle Européenne (Brigode et Oudin, à soumettre). La méthode de reconstitution s'articule alors généralement autour de deux étapes, la première consistant à reconstituer des séries continues de pluies et de températures par analogie de situations atmosphériques et la deuxième à transformer ces séries climatiques en série continue de débits grâce à un modèle hydrologique à l'échelle locale. Ces séries reconstituées permettent non seulement de mieux cerner la variabilité hydroclimatique à l'échelle multi-décennale, mais aussi d'analyser les mécanismes responsables des événements extrêmes, ce qui a encore été peu fait pour les crues à l'échelle régionale.

2 Objectif

L'objectif de ce stage est double. Il s'agit tout d'abord de quantifier les performances de différentes méthodes de reconstitution des crues sur plusieurs bassins versants des Alpes, puis de comparer la chronologie des crues reconstituées avec celles issues d'analyses de carottes sédimentaires lacustres.

3 Tâches et échéancier

Le travail de stage pourrait se dérouler selon l'échéancier suivant :

1. Bibliographie sur les crues observées ces dernières 200 dernières années dans les Alpes : mécanismes, méthodes d'enregistrement et de reconstitution, cohérence spatiale, etc. (~0.5 mois).
2. Synthèse des données hydro-climatiques et sédimentaires disponibles et choix des bassins versants à étudier (~0.5 mois).
3. Reconstitution des débits, de 1850 à nos jours, pour une dizaine de bassins versants alpins, au pas de temps journalier (cf. Brigode *et al.*, 2016), voire horaire (~3 mois) :
 - a. Reconstitution de séries temporelles de pluies et de températures de l'air.
 - b. Reconstitution de débits par modélisation hydrologique en utilisant des modèles GR (via le [paquet R airGR](#)).
 - c. Evaluation des performances des reconstitutions produites à partir d'archives hydrométriques et documentaires (e.g. données HANZE, Paprotny *et al.*, 2023) .
4. Analyse de la cohérence entre les reconstitutions hydro-météorologiques et sédimentaires par typologie des crues (~1 mois).
5. Rédaction du rapport de stage (~1 mois).

4 Conditions du stage

- **Lieu de stage** : UMR Géosciences Rennes (*Campus Beaulieu, Université de Rennes, 35042 Rennes*) et/ou UMR Métis (*4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05*).
- **Encadrement** :
 - Pierre BRIGODE (pierre.brigode@ens-rennes.fr),
 - Ludovic OUDIN (ludovic.oudin@sorbonne-universite.fr).
- **Durée** : 6 mois, à partir de février 2025.
- **Salaire** : indemnité de stage mensuelle de l'ordre de 620 euros.
- *Des missions de terrain peuvent être envisagées.*

5 Compétences recherchées

- Notions de base en hydrologie, géologie, sédimentologie et en analyse statistique de données.
- Compétences fortes (ou a minima intérêt fort) pour la programmation appliquée (langage R).
- Aisance rédactionnelle, curiosité et autonomie.

6 Et après le stage ?

Une poursuite en thèse sur un sujet proche de celui de ce stage est envisageable.

7 Candidature

Les candidatures doivent être adressées, par courriel, à Pierre Brigode, avant le 30 novembre 2024.

8 Références

- Brigode, P., F. Brissette, A. Nicault, L. Perreault, A. Kuentz, T. Mathevet, et J. Gailhard. 2016. « Streamflow variability over the 1881–2011 period in northern Québec: comparison of hydrological reconstructions based on tree rings and geopotential height field reanalysis ». *Climate of the Past* 12 (9): 1785-1804. <https://doi.org/10.5194/cp-12-1785-2016>.
- Brigode, Pierre, et Ludovic Oudin. s. d. « Using global reanalysis and rainfall-runoff model to study multi-decadal variability of catchment hydrology at the European scale ». *Hydrology and Earth System Sciences*.
- Devers, Alexandre, Jean-Philippe Vidal, Claire Lauvernet, Olivier Vannier, et Laurie Caillouet. 2024. « 140-Year Daily Ensemble Streamflow Reconstructions over 661 Catchments in France ». *Hydrology and Earth System Sciences* 28 (14): 3457-74. <https://doi.org/10.5194/hess-28-3457-2024>.
- Gagnon-Poiré, Antoine, Pierre Brigode, Pierre Francus, David Fortin, Patrick Lajeunesse, Hugues Dorion, et Annie-Pier Trottier. 2021. « Reconstructing Past Hydrology of Eastern Canadian Boreal Catchments Using Clastic Varved Sediments and Hydro-Climatic Modelling: 160 Years of Fluvial Inflows ». *Climate of the Past* 17 (2): 653-73. <https://doi.org/10.5194/cp-17-653-2021>.
- Kuentz, A., T. Mathevet, J. Gailhard, et B. Hingray. 2015. « Building long-term and high spatio-temporal resolution precipitation and air temperature reanalyses by mixing local observations and global atmospheric reanalyses: the ANATEM model ». *Hydrology and Earth System Sciences* 19 (6): 2717-36. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2717-2015>.
- Legrand, Caroline, Benoît Hingray, Bruno Wilhelm, et Martin Ménégoz. 2024. « Assessing Downscaling Methods to Simulate Hydrologically Relevant Weather Scenarios from a Global Atmospheric Reanalysis: Case Study of the Upper Rhône River (1902–2009) ». *Hydrology and Earth System Sciences* 28 (9): 2139-66. <https://doi.org/10.5194/hess-28-2139-2024>.
- Paprotny, Dominik, Pawel Terefenko, et Jakub Śledziowski. 2023. « An Improved Database of Flood Impacts in Europe, 1870-2020: HANZE v2.1 ». *Earth System Science Data Discussions*, octobre, 1-37. <https://doi.org/10.5194/essd-2023-321>.
- Wilhelm, B., W. Rapuc, B. Amann, F. S. Anselmetti, F. Arnaud, J. Blanchet, A. Brauer, et al. 2022. « Impact of Warmer Climate Periods on Flood Hazard in the European Alps ». *Nature Geoscience*, janvier, 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00878-y>.