

Générateur stochastique de champs de précipitation spatio-temporels à l'échelle nationale et au pas de temps journalier

Dates : A partir de février ou mars 2023

Lieu du stage : BioSP, INRAE Avignon

Durée : 6 mois

Rémunération : gratification de stage selon la grille en vigueur

Contacts : denis.allard@inrae.fr, lionel.benoit@inrae.fr

Contexte scientifique

Ce stage se place dans le contexte de la quantification des événements pluvieux exceptionnels, et de leur évolution en termes de fréquence et d'amplitude sous changement climatique. L'outil privilégié sera la simulation stochastique, dans l'espace et dans le temps, de champs aléatoires capables de reproduire un ensemble de statistiques caractérisant les précipitations (cumuls de précipitation à différentes échelles de temps et d'espace, longueurs des périodes de sécheresse, persistance des précipitations, aires soumises à des intensités dépassant un seuil, etc.).

État de l'art

La littérature dans le domaine des générateurs stochastiques de précipitations est abondante, et les méthodes mises en œuvre sont multiples (Wilks and Wilby, 1999 ; Ailliot et al., 2015). Nous nous intéresserons ici aux approches inspirées de la géostatistique car elles permettent de simuler des champs de précipitation réalistes et continus dans l'espace et le temps (p.ex. Leblois et al., 2013 ; Benoit et al., 2018a). Cependant, une restriction importante de ces modèles est leur cantonnement à des domaines de faible emprise (typiquement un bassin versant de taille moyenne), pour lesquels les précipitations peuvent être considérées comme stationnaires (c.-à-d. statistiquement homogènes).

Lorsque l'on souhaite réaliser des simulations sur de grands domaines, comme c'est le cas ici avec la simulation de champs de précipitation à l'échelle nationale, des approches non-stationnaires et suffisamment efficaces pour traiter des grilles de grande taille (typiquement un an de simulation à la maille SAFRAN représente 3.10^7 nœuds de grille) doivent être envisagées. L'approche classique pour relever ce défi de la large échelle consiste à découper le domaine de simulation en sous-domaines de tailles modestes et considérés comme stationnaires, sur lesquels les modèles existants peuvent être appliqués directement (Benoit et al., 2018b ; Chen, 2018). Cependant la segmentation en sous-domaines, les liens entre sous-domaines, ainsi que la simulation des précipitations dans les zones à forts gradients (typiquement les régions de piémont) constituent des verrous méthodologiques difficiles à surmonter en se cantonnant aux outils de simulation existants.

Objectif du stage

Pour pallier ces difficultés, le but du stage est de développer un générateur stochastique de précipitations tirant parti du développement récent d'outils mathématiques suffisamment flexibles pour permette de simuler directement (c.-à-d. sans avoir recours à un découpage en sous-domaines) des champs aléatoires fortement non-stationnaires et de très grande taille. L'outil mathématique privilégié sera l'approche SPDE et ses extensions spatio-temporelles (Lindgren et al., 2011 ; Carrizo-Vergara et al., 2022 ; Clarotto et al. 2022). Les avancées à réaliser au cours du stage consisteront à adapter les méthodes SPDE au cas de la précipitation (variable non Gaussienne, très dissymétriques avec une grande quantité de valeurs nulles), à la fois pour la simulation et pour l'estimation des paramètres du modèle stochastique.

On se restreindra dans un premier temps au cadre stationnaire (en temps et en espace), pour lequel des comparaisons seront possibles avec les modèles de Leblois et al. (2013) et Benoit et al. (2018a). Ensuite, si le temps le permet, des cas d'étude non-stationnaires seront progressivement abordés pour tirer pleinement profit des avantages de l'approche SPDE. Cela impliquera de gérer les non-stationnarités spatiales (effet de la géographie), mais aussi temporelles (effet des saisons), et ceci à la fois en moyenne et en structure de dépendance. Ces efforts permettront d'aboutir à un outil de simulation de champs de précipitation spatio-temporels, au pas de temps journalier et à l'échelle de la France.

Compétences recherchées

Ce stage demandera à la fois des développements mathématiques originaux en statistique spatiale et une capacité à traduire ces méthodes en code efficaces. Nous recherchons un/e étudiant/e de très bon niveau universitaire ou grande école, ayant suivi des cours en statistiques spatiales ou en géostatistique. Une expérience réussie en programmation R est demandée, ainsi que la capacité à travailler de façon autonome.

Contexte de travail

Ce stage sera financé par la chaire Geolearning¹, portée par INRAE et Mines Paris, ayant pour objectif de développer des méthodes et des outils en géostatistique, événements extrêmes et Machine Learning. Le ou la stagiaire sera basé(e) à Avignon dans l'unité Biostatistique et Processus Spatiaux sous la direction de Denis Allard et Lionel Benoit (tous deux à BioSP, INRAE), en collaboration avec Etienne Leblois (Riverly, INRAE Lyon) et David Moncoulon (CCR, Paris). Sous condition de réussite, ce stage pourra se prolonger par une thèse ayant pour objet de généraliser ce travail dans plusieurs directions : cadre non stationnaire, cadre multivarié (Précipitation + Températures, Rayonnement, etc.), ou encore prise en compte du changement climatique.

Références

- Ailliot P., Allard D., Monbet V., Naveau P. (2015). Stochastic weather generators: an overview of weather type models. *Journal de la Société Française de Statistique*, 156(1), 101-113.
- Benoit L., Allard D., Mariethoz G. (2018a). Stochastic rainfall modeling at sub-kilometer scale. *Water Resources Research*, 54(6), 4108-4130.
- Benoit L., Vrac M., Mariethoz G. (2018b). Dealing with non-stationarity in sub-daily stochastic rainfall models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 5919-5933.
- Carrizo-Vergara R., Allard D., Desassis N. (2022). A general framework for SPDE-based stationary random fields. *Bernoulli*, 28(1), 1-32.
- Chen S. (2018). *Simulation stochastique des forçages atmosphériques utiles aux modèles hydrologiques spatialisés* (Thèse de doctorat - Université Grenoble Alpes).
- Clarotto L., Allard D., Romary T., Desassis N. (2022). The SPDE approach for spatio-temporal datasets with advection and diffusion. <https://arxiv.org/abs/2208.14015>
- Leblois E., Creutin J. D. (2013). Space-time simulation of intermittent rainfall with prescribed advection field: Adaptation of the turning band method. *Water Resources Research*, 49(6), 3375-3387.
- Lindgren F., Rue H., Lindström J. (2011). An explicit link between Gaussian fields and Gaussian Markov random fields: the stochastic partial differential equation approach. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 73(4), 423-498.
- Wilks D. S., Wilby R. L. (1999). The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in physical geography*, 23(3), 329-357.

¹ Chaire financée par quatre partenaires mécènes : ANDRA, BNP-Paribas, CCR et SCOR.