

**PROJET DE FIN D'ETUDES  
INGENIEURS DE L'ECOLE NATIONALE DE LA METEOROLOGIE  
FICHE DE PROPOSITION DE SUJET**

**1- Titre du sujet proposé**

**Influence des forêts et de l'urbanisation sur les précipitations.**

**2 - Organisme ou service proposant le sujet**

CNRM/GMME/PRECIP

**3 - Responsable principal du stage**

NOM : DOUVILLE

Prénom : Hervé

téléphone : 0561079625

Mél : herve.douville@meteo.fr

Bureau: n°230 (Bâtiment Navier)

**4 - Le stage présente-t-il un caractère de confidentialité ? **NON****

**5 - Le stage peut-il être effectué à distance ? **NON****

**6 - Description du sujet – livrables attendus**

Villes et forêts modifient les interactions surface-atmosphère via divers mécanismes (albédo, rugosité, humidité) pouvant influencer les précipitations à l'échelle régionale. Le rôle des forêts dans le recyclage de l'eau à l'échelle régionale est encore controversé (Tuinenburg et al., 2022; Douville et al., 2024). Le dernier rapport du GIEC signale en revanche une augmentation probable des précipitations au-dessus des villes et dans les zones situées sous le vent (Douville et al., 2021), ce que confirme en partie une étude plus récente menée sur l'Europe et les USA (Lalonde et al., 2026). Les effets observés varient cependant d'une situation à l'autre et restent souvent difficiles à décoder. Ils semblent en partie liés à une modification des intensités de pointe, soulignant la nécessité d'aller au-delà des cumuls moyens pour comprendre la réponse des précipitations. Leur représentation dans les modèles climatiques régionaux demeure également incertaine, ne serait-ce qu'en raison d'une résolution horizontale limitée.

L'objectif de ce stage est d'utiliser de nouveaux jeux de données pour réexaminer cette question, d'abord sur l'Europe puis sur la France. Il offrira notamment l'occasion de comparer une simulation CNRM-ALADIN (Nabat et al., 2020) à 12 km sur l'Europe, réalisée dans le cadre de l'exercice d'inter-comparaison CORDEX-Europe (Katragkou et al., 2024), avec quelques simulations CNRM-AROME (Caillaud et al., 2021; 2026) à 2.5 km sur la France. Ce dernier modèle présente l'avantage d'inclure une représentation explicite des surfaces urbaines (Lemonsu et al., 2023) et une description plus fine des surfaces forestières. L'analyse portera exclusivement sur des simulations pilotées par la réanalyse ERA5, permettant une évaluation chronologique des précipitations simulées sur la base des réanalyses CERRA-Land à 5,5 km (Ridal et al., 2024; Wood et al., 2025) et ARRA à 1,3 km (Van Hyfte et al., 2023), en parallèle des données radar COMEPHORE (Le Roy et al., 2020).

Ces nouveaux jeux de données offrent des opportunités inédites pour étudier l'effet des forêts ou des villes sur les précipitations. Dans un premier temps, nous nous appuierons sur les données ECOCLIMAP et sur l'outil développé par Diez-Sierra et al. (2025) pour délimiter les zones forestières / urbaines et leurs environs immédiats. Cette méthode d'appariement sera d'abord appliquée à l'Europe où elle permettra de comparer la simulation CNRM-ALADIN pilotée par ERA5 aux réanalyses CERRA et CERRA-Land. Dans un second temps, nous zoomerons sur la France grâce aux nouveaux jeux de données à résolution kilométrique. Une prise en compte de la dynamique, voire la mise en œuvre d'une méthode de tracking des cellules convectives (Caillaud et al., 2021), pourra être envisagée pour mieux identifier les contrastes de précipitations de part et d'autre (amont/aval) des types de surface considérés.

Ces travaux feront l'objet d'un rapport de stage, voire d'une publication scientifique selon leur avancée et l'originalité des résultats obtenus.

## **7 - Lieu du stage, durée ou période**

Lieu: CNRM/GMME/PRECIP, 42 av. Coriolis, 31057 Toulouse CEDEX

Dates: Premier semestre 2027, à la convenance de l'étudiant(e).

## **8. Références utiles:**

- Caillaud, C., Somot, S., Alias, A., et al. (2021) Modelling mediterranean heavy precipitation events at climate scale: An object-oriented evaluation of the CNRM-AROME convection-permitting regional climate model. *Climate Dynamics*, 56(5–6), 1–36. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05558-y>
- Caillaud, C., Harader-Coustau, E., Li, S., *et al.* (2026). Technical note : configuration and first evaluation of the kilometre-scale regional climate model CNRM-AROME46t1. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20448598>
- Diez-Sierra, J., Quintana, Y., Langendijk, G. S., Milovac, J., Demuzere, M., Nogherotto, R., Pietikäinen, J.-P., Rechid, D., Zazulie, N., Solman, S. A., & Fernández, J. (2025). A global CORDEX-based dataset delineating urban areas and their surroundings to assess climate change on megacities. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15568959>
- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J. et al. (2021) Water Cycle Changes. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055-1210, doi:10.1017/9781009157896.010.
- Douville, H., et al. (2024) Call for caution regarding the efficacy of large-scale afforestation and its hydrological effects. *Sci. Total Env.*, 950, 175299, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175299>
- Katragkou, E. et al. (2024) Delivering an Improved Framework for the New Generation of CMIP6-Driven

EURO-CORDEX Regional Climate Simulations. BAMS, E962-E974. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0131.1>

- Lalonde, M., Bastin, S., Oudin, L. (2026) Diverse urban effects on precipitation over North American and European cities. *Urban Climate*, 67, 102867. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2026.102867>

- Lemonsu, A., Caillaud, C., Alias, A. et al. (2023) What added value of CNRM-AROME convection-permitting regional climate model compared to CNRM-ALADIN regional climate model for urban climate studies ? Evaluation over Paris area (France). *Clim. Dyn.*, 61, 1643–1661. <https://doi-org.insu.bib.cnrs.fr/10.1007/s00382-022-06647-w>

- Nabat, P. et al. (2020) Modulation of radiative aerosols effects by atmospheric circulation over the euro-mediterranean region. *Atm. Chemistry and Physics*, 20(14), 8315–8349. <https://doi.org/10.5194/acp-20-8315-2020>

- Ridal, M., Bazile, E., Le Moigne, P., Randriamampianina, R., Schimanke, S., Andrae, U., et al. (2024) CERRA, the Copernicus European Regional Reanalysis system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 150(763), 3385–3411. <https://doi.org/10.1002/qj.4764>

- Le Roy, B., Lemonsu, A. et al. (2020) Long time series spatialized data for urban climatological studies: A case study of Paris, France. *Int J Climatol.*, 40, 3567–3584. <https://doi.org/10.1002/joc.6414>

- Tuinenburg, O.A. et al. (2022) The global potential of forest restoration for drought mitigation. *Environ. Res. Lett.*, 17, 034045. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac55b8>

- Van Hyfte, S., Le Moigne, P., Bazile, E., Verrelle, A., Boone, A. (2023) High-Resolution Reanalysis of Daily Precipitation using AROME Model Over France. *Tellus*, 75, 27-49. <https://doi.org/10.16993/tellusa.95>

- Wood, R.R. et al. (2025) Comparison of high-resolution climate reanalysis datasets for hydro-climatic impact studies. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 29, 4153–4178. <https://doi.org/10.5194/hess-29-4153-2025>