

## Fiche de stage de recherche en laboratoire

Laboratoire : Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM, Météo-France, CNRS)

Titre du stage : Étude des impacts combinés des futures sécheresses et vagues de chaleur sur les villes de France métropolitaine.

Nom et statut du (des) responsable (s) de stage : Benjamin LE ROY (CNRM), Mayeul QUENUM (CECI)

Coordonnées (téléphone et email) du (des) responsable (s) de stage : benjamin.leroy@meteo.fr ; quenum@cerfacs.fr

### Sujet du stage :

De par leur artificialisation, les villes sont déjà soumises à d'importants épisodes de surchauffe (îlots de chaleur urbains, ICU) qui peuvent avoir un impact majeur sur la santé humaine. De plus, dans un contexte de changement climatique, les zones urbaines sont de plus en plus exposées à des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les inondations, les vagues de chaleur et les sécheresses. La succession ou la concomitance de ces phénomènes (*compound events*) expose la population urbaine à un niveau de risque élevé. Dans les zones urbaines, les sécheresses qui surviennent avant ou pendant les vagues de chaleur peuvent créer un environnement défavorable pour la population, qui peut être soumise à un stress thermique accru. Différentes zones de l'espace urbain pourraient répondre de manière divergente à ces évènements : les centres denses plus artificiels seraient uniquement soumis à l'effet de la température tandis que les zones périurbaines plus végétalisées pourraient également être impactées par les effets de la végétation sur l'humidité de l'air.

Les études existantes s'intéressant aux impacts combinés des sécheresses et des vagues de chaleur reposent généralement sur des observations, ou utilisent des simulations climatiques de plus faible résolution (dizaine de kilomètres) n'intégrant pas de représentations détaillées du milieu urbain (Coppola et al., 2021 ; Sutanto et al., 2025).

Pour analyser les effets combinés du changement climatique et du climat sur des périodes suffisamment longues, des modèles de climat à haute résolution (de l'ordre du kilomètre) ont été développés. Au CNRM, une simulation centennale a été produite à la résolution de 2,5 km sur la France hexagonale avec le modèle AROME (Monteiro et al., 2024). AROME, dans son cycle 46, est couplé au modèle de canopée urbaine TEB, qui représente la végétation urbaine (Lemonsu et al., 2012), ainsi que le bilan énergétique des bâtiments et le confort thermique des habitants dans la rue à travers l'indicateur UTCI (Schoetter et al., 2017).

Dans le cadre de ce stage, différents points seront étudiés sur des territoires urbains à forte vulnérabilité (comme la région Parisienne) ou forts aléas potentiels (comme la région Occitanie ou le pourtour méditerranéen français) :

- Une étude des conditions climatiques estivales simulées par AROME en période historique et future sur plusieurs territoires urbains : températures journalières minimale et maximale, humidité de l'air et des sols, îlots de chaleur urbains.
- Un focus sur des périodes spécifiques comme des évènements de vague de chaleur combinées ou précédées de fortes sécheresses.
- La comparaison des différentes réponses d'un même territoire en fonction des caractéristiques du tissu urbain : évolution du stress thermique dans le centre dense comparé aux zones péri-urbaines, effets de la végétation.

Pour ce stage, une formation en météorologie/climat et/ou en statistiques est recherchée. Compte tenu de la quantité de données importante que représentent les simulations climatiques, des compétences en gestion de données et programmation seront très bénéfiques (NetCDF, CDO, R, Python).

### Références bibliographiques

Coppola, E., Raffaele, F., Giorgi, F., Giuliani, G., Xuejie, G., Ciarlo, J. M., ... & Rechid, D. (2021). Climate hazard indices projections based on CORDEX-CORE, CMIP5 and CMIP6 ensemble. *Climate dynamics*, 57(5), 1293-1383.

Lemonsu, A., Masson, V., Shashua-Bar, L., Erell, E., & Pearlmuter, D. (2012). Inclusion of vegetation in the Town Energy Balance model for modelling urban green areas. *Geoscientific Model Development*, 5(6), 1377-1393.

Monteiro, D., Caillaud, C., Lafaysse, M., Napol, A., Fructus, M., Alias, A., & Morin, S. (2024). Improvements in the land surface configuration to better simulate seasonal snow cover in the European Alps with the CNRM-AROME (cycle 46) convection-permitting regional climate model. *Geoscientific Model Development*, 17(21), 7645-7677.

Schoetter, R., Masson, V., Bourgeois, A., Pellegrino, M., & Lévy, J. P. (2017). Parametrisation of the variety of human behaviour related to building energy consumption in the Town Energy Balance (SURFEX-TEB v. 8.2). *Geoscientific Model Development*, 10(7), 2801-2831.

Sutanto, S. J., Duku, C., Güleren, M., Dankers, R., & Paparizos, S. (2025). Future intensification of compound and consecutive drought and heatwave risks in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(10), 3879-3895.