

Offre de thèse  
CDD de 36 mois

---

**Mesure multi-échelle de l'évapotranspiration de Solutions Fondées sur la Nature en milieu urbain**

---

**Data limite de candidature : 30 juin 2026**  
**Date de prise de poste envisagée : Septembre 2026**

**Contexte :**

La végétation est de plus en plus présente en milieu urbain. Les facteurs de ce développement sont multiples, parmi lesquels : la prise de conscience environnementale, l'adaptation aux changements globaux et la nécessité d'une meilleure gestion des eaux pluviales à travers, notamment, le déploiement de « Solutions Fondées sur la Nature » (SFN). Ce changement de paradigme dans l'aménagement urbain favorise l'évapotranspiration qui est un processus clé du cycle hydrologique au sein des SFN, jouant un rôle essentiel dans les interactions entre le sol, la végétation et l'atmosphère. La quantification précise de l'évapotranspiration permettrait d'optimiser la gestion de l'eau et d'améliorer le rafraîchissement en milieu urbain.

Cependant, en milieu urbain, les surfaces végétalisées sont généralement caractérisées par une forte hétérogénéité spatiale, rendant difficile l'estimation de leur capacité globale d'évapotranspiration. Cette hétérogénéité découle de variations dans la couverture végétale : présence de différentes strates (herbacée, arbustive, arborescente) associées à des caractéristiques physiologiques contrastées des plantes qui les composent.

Actuellement, les méthodes existantes pour quantifier l'évapotranspiration se concentrent soit sur des échelles spatiales limitées, soit sur de grandes surfaces mais avec des méthodes qui ne sont pas forcément adaptées aux surfaces urbaines végétalisées ou qui reposent sur des hypothèses d'homogénéité simplificatrices. Une approche intégrée tenant compte des variations spatiales et multi-échelles est donc nécessaire pour surmonter ces limitations et mieux caractériser l'évapotranspiration résultant de couverts végétaux plurispécifiques.

**Objectifs de la thèse**

Ce sujet de thèse vise à développer une méthode innovante de caractérisation de l'hétérogénéité des surfaces végétalisées urbaines et à déduire leur capacité d'évapotranspiration globale. Les objectifs sont les suivants :

1. Caractériser l'hétérogénéité du couvert végétal à différentes échelles spatiales en collectant et analysant des données mesurées à l'échelle de la feuille, de la plante, du mètre carré et de la surface totale afin de décrire les variations biophysiques et physiologiques (par exemple, conductance stomatique, indice de surface foliaire, état hydrique, taux de couverture, structure verticale)

susceptibles d'affecter l'évapotranspiration et les transferts d'eau, plus globalement, dans le continuum sol-plante-atmosphère au sein de SFN « types ».

2. Intégrer les échelles spatiales en développant une méthode permettant de relier les observations à petite échelle (feuille, plante) aux processus d'évapotranspiration aux échelles supérieures (canopée, ouvrage végétalisé/SFN).
3. Analyser la sensibilité et valider cette méthode par confrontation à des mesures directes (lysimètre, chambre à évapotranspiration, eddy covariance, scintillométrie) ou indirectes (bilan énergétique).

### **Méthodologie**

La thèse s'articulera autour de trois grandes étapes :

1. Acquisition des données avec des mesures in situ à différentes échelles spatiales (feuilles, plantes, mètre carré, surface végétalisée totale) sur des surfaces végétalisées en milieu urbain utilisées pour la gestion des eaux pluviales. Ces mesures pourront être complétées avec de l'imagerie thermique (à différentes échelles spatiales) et des données sur les flux d'eau et d'énergie.
2. Modélisation avec le développement de modèles combinant des approches physiques/physiologiques et des approches statistiques pour intégrer les différentes échelles spatiales.
3. Proposition d'une méthode de mesure reproductible pour estimer l'évapotranspiration globale des surfaces hétérogènes.

Il est attendu de ce travail l'établissement d'une méthode innovante permettant d'estimer la capacité d'évapotranspiration globale en tenant compte des variations locales.

### **Conditions d'accueil :**

La thèse se déroulera sur le site du Cerema à Trappes (78) ainsi que sur celui de l'École Nationale des Ponts et Chaussées à Champs-sur-Marne (77), en lien avec l'agence du Cerema de Nancy et le laboratoire LEE de l'université Gustave Eiffel à Nantes.

Ce travail sera réalisé en collaboration avec des équipes de recherches partenaires et en interaction avec des projets de recherche en cours (ANR PENATE, programme OPUR, PN ISSU).

### **Profil / Qualifications :**

- Titulaire d'un Master 2 en hydrologie ou biologie fonctionnelle ou plus largement en lien avec l'environnement
- Intérêt pour l'écophysiologie végétale/aspects bioclimatiques, les « Solutions fondées sur la Nature »
- Attrait pour les approches exploratoires/imagerie/biophysiques
- Curiosité, rigueur et capacités à rendre compte de sa méthode et de ses résultats
- Déplacements réguliers à prévoir
- Bonnes capacités d'organisation, communication et capacité à travailler en autonomie sur sites ;
- Bonne capacité rédactionnelle ;

- Bonnes connaissances en traitement et analyses de données, des langages (Python, R...) et outils scientifiques/modélisation informatique ;

**Contacts et modalité de candidature :**

Toute personne intéressée est invitée à postuler, avec un CV et une lettre de motivation, au plus tôt et par mail auprès de :

David Ramier – david.ramier@cerema.fr  
Tel : +33 (0)6 60 39 47 91

Pierre-Antoine Versini – [pierre-antoine.versini@enpc.fr](mailto:pierre-antoine.versini@enpc.fr)  
Tel : +33 (0)1 64 15 37 54

**Références bibliographiques :**

Ouédraogo, A. A., Berthier, E., Ramier, D., Tan, Y., & Gromaire, M.-C. (2023). Quantifying evapotranspiration fluxes on green roofs: A comparative analysis of observational methods. *Science of the Total Environment*, 902, 166135. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166135>

Gires, A., Tchiguirinskaia, I., Schertzer, D., Maksimovic, C., & Zhu, S. (2024). Scintillometer measurements to explore evapotranspiration variability through multifractal analysis. Institut Polytechnique de Paris, Research Day, Science Shining Light. HAL-04828857.

Versini, P.-A., Castellanos, L.A., Ramier, D., and Tchiguirinskaia I. (2023). Evapotranspiration evaluation by 3 different protocols on a large green roof in the greater Paris area, *Earth Syst. Sci. Data* (Scopus, CS=14,9), <https://doi.org/10.5194/essd-2023-324>