



INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS



Sujet de Post-doctorat

Solutions fondées sur la Nature : modélisation thermo-hydrigue et prospective sur l'interaction avec la nappe

Contexte Scientifique :

Les zones urbaines sont confrontées à un large éventail de défis dus à une urbanisation non durable, à la dégradation de leur capital naturel, ainsi qu'à une augmentation en intensité et en fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes dus au changement climatique. Citons par exemple les îlots de chaleur urbains (UHI), caractérisés par des températures locales élevées, et les inondations pluviales. Pour atténuer ces phénomènes, les Solutions fondées sur la Nature (SfN) - comme les noues, les jardins de pluie ou les toitures végétalisées - sont souvent mises en avant de par les processus physiques mis en jeu (infiltration et évapotranspiration). Ces solutions manquent encore de démonstration quantitative sur des sites réelles pour parfaire leur usage pour des enjeux de gestion des eaux pluviales et d'atténuation des îlots de chaleur. Par ailleurs, l'impact hydrologique de ces SfN sur le milieu récepteur (nappes et rivières adjacentes) souffre clairement d'un manque de connaissance.

De nouveaux outils et méthodologies doivent donc être développés pour mieux évaluer l'apport thermo-hydrigue de ces infrastructures et leurs interactions avec le milieu récepteur. L'évaluation multi-échelle de leurs performances doit favoriser leur mise en œuvre en prenant en considération la grande complexité du milieu urbain. C'est la multiplication de ces solutions aux différentes échelles urbaines qui les rendra véritablement pertinentes pour combattre les effets du changement climatique sur des questions de rafraîchissement, de recharge des nappes et de résilience aux extrêmes.

Objectif :

Le post-doc envisagé est une contribution à l'étude des SfN d'un point de vue multi-physique et multi-échelle au sein d'un environnement urbain complexe. Il s'agit d'évaluer le potentiel des outils de modélisation (et principalement la plateforme Multi-Hydro développé à l'ENPC) pour quantifier la pertinence de SfN en gestion des eaux pluviales, rafraîchissement urbain et recharge de nappe. En effet, l'étude à des échelles dépassant celle de l'infrastructure permettra de regarder dans quelle mesure, sous quelle condition de diffusion, et sur quelle gamme d'échelles l'implantation de SfN peut influencer sur le microclimat urbain (rafraîchissement), sur la recharge des nappes, voire sur le débit de base de rivières limitrophes et les débits extrêmes en cas de fortes pluies.

Pour ce faire, ce sujet de post-doctorat s'articulera donc en 2 temps : application et prospection.

Plan de travail :

Application : Modélisation du fonctionnement thermo-hydrique de la végétation

Cette première partie s'intéressera à l'évaluation du potentiel de SfN en gestion des eaux pluviales et rafraîchissement urbain à l'aide du modèle Multi-Hydro et de son couplage avec Solène-Microclimat (Qiu et al., 2021, Versini et al, 2022). Cette partie, réalisé dans le cadre du Projet National ISSU (www.pn-issu.fr) tirera profit des développements méthodologiques et numériques en cours réalisés dans le cadre du projet ANR PENATE. Il s'agira ici de mettre en œuvre le modèle couplé sur le site de la rue Garibaldi à Lyon (les données de validation seront fournies par la métropole du Grand Lyon en complément d'autres sites étudiés dans le cadre du projet PENATE). Les résultats de modélisation pourront aussi être comparés à ceux obtenus à l'aide du modèle TEB mis en œuvre par un autre consortium dans le PN (TEB ne représente pas la scène urbaine, ni les processus thermiques et hydriques de la même manière). Cette partie s'organisera en plusieurs étapes : (i) collecte et mise en forme des données d'entrée (géographiques, météorologiques) du modèle, (ii) développement éventuel de nouveaux modules spécifiques si nécessaire (ex : arbre de pluie), (iii) mise en œuvre du modèle et validation à l'aide de données expérimentales, (iv) simulations prospectives tenant compte du changement climatique, (v) comparaison avec d'autres modèles mis en œuvre sur la rue Garibaldi.

Livrable : Présentation de la mise en œuvre du modèle et évaluation des SfN étudiées.

Prospection : Modélisation des interactions entre SfN et nappe

Cette seconde partie s'intéressera à la relation entre milieu urbain et milieu récepteur, et s'interrogera sur la capacité des outils de modélisation à représenter l'interaction des SfN avec les nappes. La plateforme Multi-Hydro dispose d'un module de sol (VS2DT) avec lequel les modules de surface et de réseaux d'assainissement peuvent interagir. Néanmoins celui-ci n'a encore jamais été utilisé pour suivre le niveau des nappes, et plus particulièrement comment les SfN pourraient y contribuer. On cherchera donc ici à mettre à l'épreuve la version actuelle de Multi-Hydro pour étudier sa capacité à répondre à la problématique. On s'interrogera particulièrement sur la manière de réaliser un couplage pertinent capable de tenir compte des différentes échelles spatiales et temporelles en lien avec les processus étudiés (ruissellement, infiltration). Des pistes d'amélioration ou de simplification d'échelle seront envisagées. Cette partie s'organise en plusieurs étapes : (i) État de l'art sur la modélisation hydrologiques des nappes, (ii) évaluation du couplage existant dans Multi-Hydro (iii) proposition de pistes d'amélioration.

Livrable : Rapport bibliographique et propositions d'améliorations

Cadre de la recherche et perspectives :

Ce travail sera en partie réalisé dans le cadre du Projet National ISSU (Innovation Solutions Surchauffe Urbaine) qui vise à mieux comprendre le phénomène de surchauffe urbaine et à développer des solutions innovantes pour en limiter les effets, notamment lors des épisodes de fortes chaleurs. Il rassemble des acteurs publics et privés afin de produire des outils, méthodes et retours d'expérience pour aider les collectivités à concevoir des villes plus résilientes et plus confortables.

Il se fera aussi en interaction avec le projet ANR PENATE. Débuté en 2025, ce dernier vise à évaluer les performances et l'efficacité des SfN comme outil d'adaptation au changement climatique en milieu urbain. Pour ce faire, PENATE se propose de : (i) étudier et comprendre les contraintes (juridiques, institutionnelles, techniques) de mise en œuvre des différents textes réglementaires/stratégies et la manière dont les SfN pourraient y répondre, (ii) relier les propriétés intrinsèques de la végétation à son incidence sur les transferts thermo-hydriques dans les SfN (par une approche basée sur les traits fonctionnels), (iii) Disposer d'outils numériques capables de simuler la multifonctionnalité des SfN et d'évaluer leurs performances à travers les échelles d'un territoire complexe.

Profil du candidat :

Docteur.e en sciences de l'environnement, ayant des compétences/connaissances en mécaniques des fluides et simulations/programmations numériques (Python) et intéressé.e par les travaux interdisciplinaires.

Eléments administratifs :

Ce post-doctorat de 18 mois (prolongation possible) se déroulera à l'École Nationale des Ponts et Chaussées dans le laboratoire Hydrologie, Météorologie et Complexité (<http://www.enpc.fr/hydrologie-meteorologie-et-complexite>) à partir du printemps 2026. Rémunération selon expériences.

Il sera réalisé sous la supervision de Pierre-Antoine VERSINI, Directeur de Recherche à HM&Co-ENPC

Date limite de dépôt de candidature : 31 mars 2026

Contact : pierre-antoine.versini@enpc.fr (+33 (0)1 64 15 37 54)
HM&Co – ENPC, 6-8 avenue Blaise Pascal, 77455 Champs-sur-Marne (France)

Références :

Versini, P.-A., Castellanos-Diaz A., Lapergue, L., Ramanathan, A., 2022. Deliverable 4.1: Report on the coupling between Multi-Hydro and Solène-Micoclimat and its application on a real site, technical report, 21pp, https://hmco.enpc.fr/wp-content/uploads/2023/02/202212_Livrable4.1_MH_SM_coupling_PiloteSite.pdf

Qiu, Y., da Silva Rocha Paz, I., Chen, F., Versini, P.-A., Schertzer D, Tchiguirinskaia I., 2021. Space variability of hydrological responses of Nature-Based Solutions and the resulting uncertainty, *Hydrology and Earth System Sciences* (Scopus, CS=9,5), 25(6), 3137-3162. <https://doi.org/10.5194/hess-25-3137-2021>