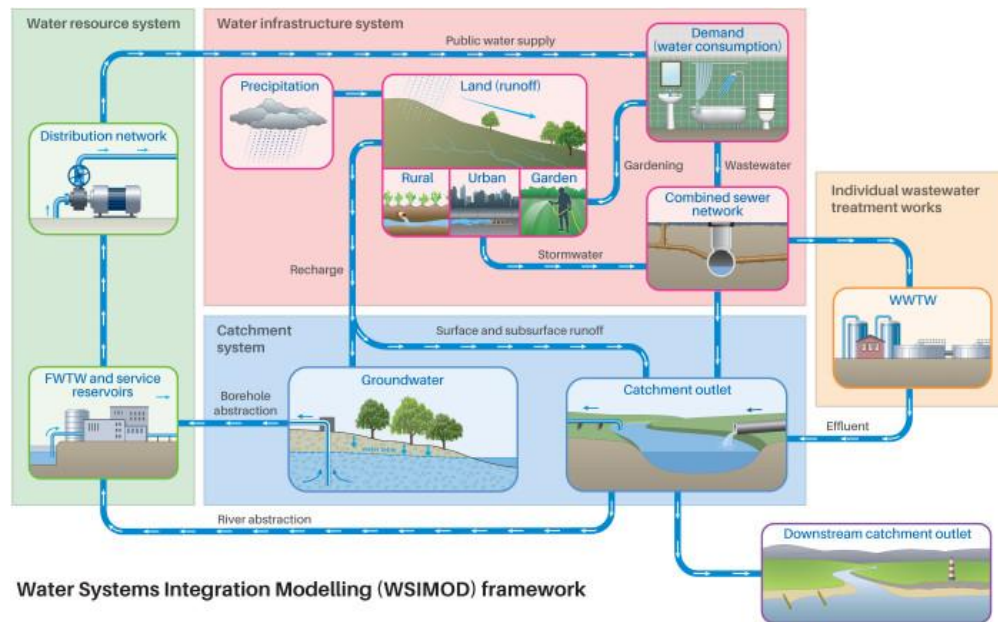


**Proposition de thèse ENPC IP Paris 2026 :
Vers une évaluation intégrée du métabolisme hydrique urbain face aux changements globaux**



Integrated urban water system modelling (adaptée de Dobson et al., 2023)

1 - Contexte et objectifs

Les systèmes d'eau urbains sont soumis à des pressions croissantes dues à l'augmentation de la densité de population, à l'urbanisation rapide et aux effets du changement climatique (Flörke et al., 2018). L'expansion des surfaces imperméabilisées, le vieillissement des infrastructures et l'accroissement de l'imprévisibilité des événements météorologiques rendent les zones urbaines particulièrement vulnérables aux enjeux liés à l'eau, tels que les inondations, la dégradation de la qualité de l'eau et les pénuries.

La gestion actuelle, segmentée entre les milieux aquatiques de surface et souterrains, l'eau potable, les eaux usées et les eaux pluviales, ne permet pas de répondre aux défis conjoints consistant à sécuriser l'approvisionnement en eau, renforcer la résilience face aux événements climatiques extrêmes et préserver les écosystèmes aquatiques dans la ville de demain. Les interrelations complexes entre les différents composants du système d'eau urbaine exigent une approche plus globale : la gestion intégrée de l'eau en milieu urbain (Wong et Brown, 2009), afin de gérer les interactions entre les différentes composantes du système et de favoriser la circularité de l'eau en ville.

Certaines solutions innovantes dans le domaine de l'eau et de l'environnement urbains, telles que la gestion à la source des eaux pluviales (Tunqui Neira et al., 2023), la séparation et la valorisation des excréta, ou la mobilisation de ressources alternatives, ont déjà fait l'objet d'évaluations techniques. Cependant, ces évaluations sont souvent limitées à l'échelle d'un projet et à une problématique spécifique.

Ces solutions n'ont pas encore été évaluées à l'échelle d'une ville. Leur cohérence, leur complémentarité, leurs éventuelles concurrences et leur intégration dans les systèmes existants nécessitent une analyse plus approfondie pour évaluer leur contribution à un nouveau paradigme de gestion urbaine de l'eau.

Pour faire face à ces défis globaux, il est essentiel de passer d'une gestion urbaine fragmentée à une approche intégrée fondée sur le concept de métabolisme urbain. Cette approche repose sur plusieurs éléments clés permettant de mieux appréhender les impacts complexes du développement urbain et du changement global : la prise en compte de l'ensemble des composantes du système d'eau urbain (précipitations, ruissellement, interactions avec les eaux souterraines, eau potable, eaux usées, eaux pluviales, ressources en eau, etc.) ; l'analyse des besoins en solutions innovantes ainsi que de leurs modalités de mise en œuvre, sous les angles quantitatif et qualitatif ; la représentation des dynamiques hydrologiques à différentes échelles spatiales, en intégrant à la fois les systèmes centralisés et décentralisés ; et enfin, l'intégration des effets du changement global (Bach et al., 2014 ; Behzadian et Kapelan, 2015 ; Dobson et al., 2023).

2 - Questions scientifiques

Compte tenu du contexte et des enjeux identifiés, cette thèse a pour objectif principal de **modéliser le déploiement de solutions innovantes et d'évaluer leurs interactions ainsi que leurs impacts à l'échelle urbaine, dans un contexte de changement global, à l'aide d'un modèle intégré fondé sur le métabolisme urbain de l'eau**. Les principales questions scientifiques investiguées dans cette étude sont les suivantes :

- 1) Comment modéliser quantitativement le métabolisme urbain de l'eau afin de représenter les flux d'eau naturels et anthropiques, ainsi que leurs interactions complexes au sein des villes ?
- 2) Quelles sont les solutions innovantes permettant de mieux gérer l'eau en milieu urbain, et quelles trajectoires de déploiement envisager pour leur mise en œuvre à l'échelle urbaine ?
- 3) Comment analyser la cohérence, la complémentarité ou la concurrence entre ces solutions innovantes, et leur articulation avec les systèmes existants à l'échelle urbaine ?
- 4) Comment évaluer les performances de solutions innovantes dans un contexte de changement global, et quels indicateurs utiliser pour mesurer leur effet sur la circularité de l'eau urbaine.
- 5) Comment initier une transformation durable vers un paradigme de gestion des eaux urbaines plus résilient et adaptatif face aux effets du changement global ?

3 - Déroulement de la thèse

Cette thèse sera réalisée dans le cadre du programme OPUR6 ([OPUR, observatoire d'hydrologie urbaine en Île-de-France](#)). La thèse se déroulera sur une période de 36 mois, structurée en trois phases principales correspondant aux différentes questions scientifiques. L'approche principale reposera sur la modélisation intégrée du métabolisme de l'eau, accompagnée d'analyses de données et de méthodes d'évaluation multicritères.

Partie 1- Définition des solutions innovantes et élaboration des scénarios (1^{re} année)

Mois 1 à 4 : Revue de littérature et enquêtes

Mois 4 à 12 : Elaboration des scénarios

Partie 2 – Modélisation du scénario présent avec le cas d'étude parisien (2^e année)

Mois 12 à 18 : Développement du modèle WSIMOD par l'intégration des solutions innovantes.

Mois 19 à 24 : Calibration et validation du modèle selon le scénario présent

Partie 3 – Évaluation des performances des solutions innovantes (3^e année)

Mois 25 à 26 : Définition des indicateurs pertinents pour l'évaluation des performances des solutions innovantes

Mois 26 à 30 : Simulation du scénario opérationnel avec les solutions innovantes

Mois 31 à 36 : Évaluation multicritère des impacts

4 - Résultats attendus et valorisation

Les résultats attendus de cette thèse portent sur l'évaluation des performances de solutions innovantes visant à renforcer la circularité et la résilience des systèmes d'eau urbains dans un contexte de changement global, avec l'aide de l'application d'un modèle intégré fondé sur le métabolisme urbain de l'eau.

Cette recherche aboutira à :

- Identifier les solutions innovantes et leur typologie.
- Une meilleure compréhension des interactions entre les flux d'eau naturels et anthropiques à l'échelle urbaine ;
- Un cadre méthodologique pour évaluer à long terme les impacts sur la résilience des systèmes d'eau urbains liés au déploiement de solutions innovantes ;
- Des recommandations concrètes à destination des décideurs pour l'adaptation urbaine et la gestion intégrée de l'eau.

La valorisation scientifique se fera par la publication de plusieurs articles dans des revues internationales à comité de lecture, telles que *Environmental Modelling & Software*, *Journal of Environmental Management*, *Journal of Hydrology* et *Water Resources Research*.

Les résultats seront également présentés lors de conférences/colloques nationaux et internationaux dans les domaines de l'hydrologie urbaine et de l'environnement (par exemple : EGU, IWA World Water Congress, Novatech).

Enfin, les outils et cadres développés pourront être mis à disposition des partenaires institutionnels et opérationnels (collectivités, opérateurs de l'eau), dans une optique de transfert vers la pratique.

5 - Supervision:

Le doctorant / la doctorante sera encadré(e) par Dr Ghassan Chebbo (directeur de recherche, HDR), Dr Marie-Christine Gromaire-Mertz (directrice de recherche, HDR) et Dr Yangzi Qiu (chargée de recherche), chercheurs à l'École nationale des ponts et chaussées. Dr Ghassan Chebbo (20 % d'encadrement), Dr Marie-Christine Gromaire (20 % d'encadrement) et Dr Yangzi Qiu (60 % d'encadrement), sont des spécialistes de l'hydrologie urbaine et de la modélisation, des expertises indispensables à la réussite de cette thèse.

Les réunions de suivi auront lieu régulièrement sur site ou en visioconférence, permettant un encadrement rapproché, réactif et cohérent. Aucune mobilité longue distance n'est requise pour l'encadrement ou la réalisation des travaux de recherche, l'établissement d'inscription (ENPC) étant également le lieu d'accueil principal du doctorant.

6 - Compétences / Profil du candidat :

La bourse AMX est exclusivement réservée aux élèves de l'École polytechnique, Institut Polytechnique de Paris. Le candidat idéal doit posséder une solide formation en hydrologie urbaine, en sciences de l'environnement, en gestion des ressources en eau ou dans des disciplines connexes. Des compétences en modélisation numérique, en Systèmes d'Information Géographique (SIG) et en programmation (Python, R

ou MATLAB) sont fortement souhaitables. Une expérience en gestion intégrée de l'eau ou en évaluation de la durabilité constituera un atout. Le candidat doit également disposer de solides compétences analytiques et de communication, lui permettant d'interpréter des données complexes et de présenter les résultats à des publics académiques et non académiques. La motivation à travailler dans un environnement interdisciplinaire et l'intérêt pour les défis liés au changement global dans les systèmes hydriques urbains sont essentiels.

References:

- Behzadian, K., & Kapelan, Z. (2015). Modelling metabolism based performance of an urban water system using WaterMet2. *Resources, Conservation and Recycling*, 99, 84-99.
- Bach, P. M., Rauch, W., Mikkelsen, P. S., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2014). A critical review of integrated urban water modelling—Urban drainage and beyond. *Environmental modelling & software*, 54, 88-107.
- Flörke, M., Schneider, C., & McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, 1(1), 51-58.
- Dobson, B., Liu, L., & Mijic, A. (2023). Water Systems Integrated Modelling framework, WSIMOD: A Python package for integrated modelling of water quality and quantity across the water cycle. *Journal of Open Source Software*, 8(83), 4996.
- Tunqui Neira, J. M., Gromaire, M. C., Chancibault, K., & Chebbo, G. (2023). Toward a comprehensive functional typology of stormwater control measures for hydrological and water quality modeling purposes. *Blue-Green Systems*, 5(1), 41-56.