

ORGANISME : École Nationale des Ponts et Chaussées

Intitulé de la thèse : Fonctionnement hydrologique des jardins de pluie – De l'évaluation in-situ à la modélisation pour une diversité de contextes

Discipline de rattachement et spécialités : Sciences de l'environnement ; Hydrologie urbaine

Mots clés : Évapotranspiration ; Gestion des eaux pluviales urbaines ; Conception ; Végétal

Structure ou laboratoire d'accueil où sera localisé le doctorant : Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, École Nationale des Ponts et Chaussées, 6-8 av. Blaise Pascal, Cité Descartes 77455 Marne-la-Vallée Cedex

École doctorale et établissement d'enseignement supérieur

École doctorale Science et Techniques de l'Environnement, Université Paris-Est

Encadrement

Directeur de thèse : Marie-Christine Gromaire [DR, HDR], École Nationale des Ponts et Chaussées, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, École Nationale des Ponts et Chaussées, 6-8 av. Blaise Pascal, Cité Descartes 77455 Marne-la-Vallée Cedex, marie-christine.gromaire@enpc.fr, 01.64.15.37.60

Co-encadrants : Jérémie Sage [ITPE], Cerema Ile-de-France, 12 rue Teisserenc de Bort, 78190 Trappes, jeremie.sage@cerema.fr, 01.34.82.12.56 & Didier Técher [CR], Cerema Est, 71 rue de la Grande Haie, 54510 Tomblaine, didier.techer@cerema.fr, 03.83.18.31.79

Partenariat

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de l'observatoire OPUR. Elle est soutenue par la Ville de Paris à travers un cofinancement et à la mise à disposition de données.

Résumé du projet de thèse

1. Contexte et objectifs

La gestion des eaux pluviales urbaines est un enjeu important pour la préservation des milieux aquatiques superficiels et la protection de la ressource en eau. Les volumes de ruissellement générés par temps de pluie sont en effet à l'origine de nombreux impacts environnementaux, du fait de la contamination qu'ils véhiculent mais aussi des dysfonctionnements qu'ils occasionnent sur des systèmes d'assainissement vieillissants et devenus insuffisants.

Dans ce contexte, le recours à des dispositifs végétalisés, favorisant les processus d'infiltration ou d'évapotranspiration, apparaît comme un moyen efficace pour limiter à la source les flux d'eau et de contaminants dirigés vers les eaux superficielles. Si de tels ouvrages sont susceptibles de donner lieu à des phénomènes de « dépollution » (filtration, adsorption...), les travaux récents indiquent que leur efficacité pour la maîtrise de la contamination est en grande partie conditionnée par leur capacité d'abattement vis-à-vis des événements fréquents (Bressy, 2014). La bonne compréhension de leur fonctionnement hydrologique est donc indispensable pour anticiper leurs performances et optimiser leur conception.

Parmi les solutions mises en œuvre, les « jardins de pluie » (ou techniques de biorétention) (Flanagan, 2018) désignent des dispositifs intégrés au milieu urbain, caractérisés par une succession de couches filtrantes ainsi qu'une palette végétale à valeur paysagère, et pour lesquels de multiples variantes de conception peuvent être envisagées : diversité de matériaux drainants, présence ou non d'imperméabilisation en fond d'ouvrage, mise en place de drains... Ces choix de conception sont susceptibles de conditionner fortement l'efficacité des ouvrages, au même titre que le contexte de mise en œuvre (régime pluviométrique, caractéristiques du sol sous-jacent, surface du dispositif relativement au bassin versant d'apport...). Leur incidence reste cependant insuffisamment maîtrisée, en particulier lorsque l'infiltration vers le sol sous-jacent n'est plus le processus dominant.

Il apparaît ainsi nécessaire de conforter la compréhension du fonctionnement de ces ouvrages et de proposer des outils permettant d'optimiser leur efficacité vis-à-vis des événements fréquents.

L'objectif de cette thèse est de préciser l'incidence de la conception des ouvrages de type « jardin de

pluie » sur leur fonctionnement hydrologique et en particulier leur capacité à limiter les volumes de ruissellement pour les événements fréquents.

2. Problématique de la thèse

L'étudiant(e) s'attachera à déterminer dans quelle mesure le fonctionnement hydrologique des jardins de pluie et leurs performances aux différentes échelles temporelles d'intérêt (événement pluvieux, saison ou périodes longues) peuvent être optimisés, en tenant compte du contexte de mise en œuvre (climat, caractéristiques du sol, espace disponible, contraintes spécifiques liées à l'infiltration...).

3. Verrous scientifiques

Les principaux verrous scientifiques sont :

(1) La variabilité, temporelle et d'un site à l'autre, des transferts hydriques conditionnant l'efficacité des ouvrages vis-à-vis des pluies courantes. L'enjeu sera ainsi de parvenir à appréhender cette variabilité temporelle via un suivi expérimental adapté et de comprendre l'incidence des choix de conceptions à partir d'une sélection restreinte de sites expérimentaux.

(2) Le rôle du végétal sur les différents transferts hydriques et en particulier l'évapotranspiration. L'évapotranspiration est en effet un processus clé dans l'efficacité de certains dispositifs mais dont la mesure demeure complexe et le plus souvent indirecte (déduction à partir des différents flux et stocks hydriques). Des techniques de caractérisation du végétal seront ici mobilisées afin de mieux quantifier le flux d'évapotranspiration.

4. Déroulement de la thèse

Programme de travail

Ce travail s'appuiera en premier lieu sur le suivi de deux sites dans l'est parisien. Le premier présente la particularité d'être intégré à la mini-ville climatique « Sense-City » à Champs-sur-Marne, un équipement expérimental d'envergure et unique à l'échelle nationale (maquette de 400 m² au-dessus de laquelle une chambre climatique mobile permet d'évaluer en conditions réelles ou contrôlées le comportement et les performances d'aménagements ou de matériaux urbains innovants). L'ouvrage sera équipé d'une série de capteurs permettant de caractériser finement la variabilité spatiale et temporelle de son état hydrique. Des mesures environnementales (climatiques ou liées à l'état de saturation du sous-sol) portant sur l'ensemble de la maquette seront également mobilisées.

L'influence de la conception des ouvrages sera également analysée à partir de données issues d'une expérimentation menée par la Ville de Paris sur la période 2020 – 2022 (3 ans). Des mesures en continu de débits, de profils de teneur en eau et de niveaux de saturation (complétées par un suivi des conditions climatiques) seront effectuées pour deux dispositifs pilotes (situés à l'école du Breuil dans le bois de Vincennes) présentant des caractéristiques différentes de ceux suivis dans le cadre de la thèse : type de matériau drainant, épaisseur de substrat, surface relative... Enfin, le panel d'ouvrage pourra éventuellement être élargi avec des sites instrumentés et étudiés dans le cadre de travaux antérieurs.

Le suivi des débits et de l'état hydrique du milieu drainant sur les différents sites expérimentaux sera complété par des mesures plus ponctuelles mais régulières des caractéristiques des strates végétales (résistance stomatique, indice foliaire, teneur en chlorophylle...) et de l'évapotranspiration (mesure par chambre d'évapotranspiration sur une surface d'1 m²). Ces dernières permettront en premier lieu de mieux caractériser l'évapotranspiration, soit par quantification directe de ce flux soit par estimation des paramètres permettant de le déduire des variables climatiques. Les performances et le bilan hydrologique des ouvrages pourront en outre être mis en relation avec certains des traits fonctionnels du végétal et leur saisonnalité.

Le suivi des ouvrages alimentera un travail de modélisation reposant sur des schémas à base physique et une description fine des différents transferts hydriques. Des logiciels classiques de calcul des écoulements en milieu non-saturé tels que HYDRUS 1D/2D pourront alors être utilisés. Cette démarche de modélisation permettra dans un premier temps d'approfondir l'analyse de la variabilité des comportements hydrologiques observés, et in-fine, d'améliorer la compréhension des différents processus. Dans un second temps, le modèle autorisera une exploration plus systématique de l'influence des choix de conception sur le fonctionnement et les performances des ouvrages. La variabilité des comportements simulés pourra enfin être mise en regard de résultats issus de modèles conceptuels simplifiés (SWMM par exemple), fréquemment utilisés en hydrologie urbaine, afin de préciser les limites de ces derniers.

Déroulement prévisible et organisation

La période 2021-2022 sera consacrée au suivi expérimental et à l'analyse des données. Ce suivi se poursuivra en 2023, année au cours de laquelle les travaux de modélisation seront initiés. Ces derniers pourront s'étaler jusqu'au printemps 2024.

Des réunions en présentiel ou en visioconférence seront organisées de façon régulière afin d'assurer un suivi adéquat de l'avancement de la thèse par les co-encadrants.

5. Caractère innovant

L'expérimentation in-situ est une approche fréquente en hydrologie urbaine pour évaluer l'efficacité des techniques de gestion des eaux pluviales. Le choix de se concentrer sur des ouvrages au sein desquels l'évapotranspiration peut jouer un rôle prépondérant tout en adaptant les méthodes de suivi de manière à quantifier au mieux ce flux, en lien avec les caractéristiques du végétal et les autres grandeurs hydrologiques, constitue en revanche une réelle originalité du travail proposé. De la même manière, bien que ces ouvrages aient déjà fait l'objet des travaux de modélisation, l'effet de différents choix de conception n'a pas été étudié de façon systématique et la pertinence de leur description dans les modèles usuels d'hydrologie urbaine n'a pas été évaluée.

6. Résultats attendus et valorisation

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse ont vocation à améliorer la connaissance du bilan hydrique des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales et plus particulièrement des dispositifs filtrants multicouches, équipés de drains, ou de géomembranes. Préciser l'incidence de ces choix de conception, qui répondent le plus souvent à des contraintes locales (réseau existant, occupation du sous-sol, pédologie, volonté de réduire la charge particulière des eaux incidente...), devrait permettre une meilleure prise en compte de l'objectif de maîtrise des pluies courantes lors de la mise en œuvre de ces ouvrages. Le suivi des sites expérimentaux sera également l'occasion de lever une partie des incertitudes sur la contribution aux différentes échelles temporelles (pluriannuelle, saisonnière, événementielle...) du flux d'évapotranspiration à l'abattement hydrologique des techniques de gestion à la source. La caractérisation de la physiologie du végétal (et sa variabilité dans le temps, d'un site à l'autre ou au sein d'un même ouvrage) contribuera plus généralement à avancer dans la compréhension du rôle de ce compartiment sur les différents transferts hydriques. Enfin, les travaux de modélisation et la confrontation des modèles usuels à des schémas plus détaillés devrait ouvrir des perspectives pour le développement d'outils adaptés à la conception des jardins de pluies.

Références bibliographiques

Flanagan K., Branchu P., Gromaire M-C. (2017), Les ouvrages de biorétention : synthèse des guides internationaux de conception et de maintenance des filtres plantés pour traiter à la source des eaux de ruissellement urbaines, Techniques Sciences Méthodes, pp. 89-126

Bressy A., Gromaire M-C., Lorgeoux C., Saad M., Leroy F., Chebbo G. (2014), Efficiency of source control systems for reducing runoff pollutant loads: Feedback on experimental catchments within Paris conurbation, Water Research, 57(1), pp. 234-256