



**HAL**  
open science

# L'arbre d'alignement comme moyen innovant pour la maîtrise des eaux pluviales en ville : vers l'optimisation des services rendus

Hayath Zime Yerima, Martin Seidl, Abdelkader Bensaoud, Emmanuel Berthier, Marie-Christine Gromaire

## ► To cite this version:

Hayath Zime Yerima, Martin Seidl, Abdelkader Bensaoud, Emmanuel Berthier, Marie-Christine Gromaire. L'arbre d'alignement comme moyen innovant pour la maîtrise des eaux pluviales en ville : vers l'optimisation des services rendus. JDHU 2022, INSAVALOR, Oct 2022, Lyon, France. hal-04081575

**HAL Id: hal-04081575**

**<https://enpc.hal.science/hal-04081575v1>**

Submitted on 25 Apr 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **L'arbre d'alignement comme moyen innovant pour la maîtrise des eaux pluviales en ville : vers l'optimisation des services rendus**

Hayath ZIME YERIMA<sup>1\*</sup> (Doctorante en 1<sup>ère</sup> année), Martin SEIDL<sup>1</sup>, Abdelkader BENSAOUD<sup>2</sup>, Emmanuel BERTHIER<sup>3</sup> et Marie-Christine GROMAIRE<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains (LEESU) Ecole des Ponts Pari-Tech, 77420 Champs sur Marne

\*Auteur correspondant : hayath.zime-yerima@enpc.fr

<sup>2</sup>Bureau d'études Hydrasol, 39 avenue du Général Leclerc, 92350 Le Plessis Robinson

<sup>3</sup>Cerema, 12 Rue Léon Teisserenc de Bort, 78190 Trappes

### **Résumé :**

Le changement climatique perturbe les écosystèmes, affecte les phénomènes météorologiques et le bilan hydrologique, notamment en zone urbaine où se rajoutent les effets de l'imperméabilisation croissante. Parmi les solutions de résilience, les arbres en ville offrent de multiples services écosystémiques permettant d'atténuer sur le plan hydrique les impacts négatifs de ce dérèglement climatique. Les services rendus par les arbres ne se limitent pas au plan hydrique, on peut citer entre autres le rafraîchissement des villes, le refuge pour la biodiversité, l'absorption de polluants, la protection contre la pollution sonore, le service de bien-être physique et mental ou encore leur paysagère. La technique de « l'arbre de pluie » est un moyen de gestion alternative des eaux pluviales urbaines. C'est un arbre d'alignement planté dans une fosse capable de stocker les eaux pluviales collectées par ruissellement sur les surfaces environnantes, avant leur restitution à l'atmosphère ou au sous-sol. Les eaux ainsi stockées pourront également servir à l'alimentation de l'arbre en période estivale. Le système peut de plus être conçu pour assurer une dépollution des eaux. Afin d'optimiser cette technique, un dispositif pilote a été mis en place fin 2019 au sein de la mini ville de Sense-City, pour mieux quantifier et qualifier le rôle hydrologique des arbres de pluie dans l'espace urbain. Dans la continuité de l'acquisition des données de ce dispositif, la présente thèse a pour objectif de préciser les modalités de mise en œuvre et de développement de cette technique alternative en conditions réelles.

**Mots clés :** Techniques alternatives ; Eaux pluviales ; Ruissellement urbain ; Arbre d'alignement ; Ecophysiologie ; Dépollution.

### **Introduction**

L'imperméabilisation croissante des sols en milieu urbain entraîne une augmentation des débits, une réduction de la recharge des nappes souterraines. A cela s'ajoutent les effets du changement climatique avec l'augmentation des températures, la modification des régimes de précipitations, des événements météorologiques extrêmes. Afin d'y remédier, les solutions fondées sur la nature sont de plus en plus incorporées dans les nouveaux plans d'aménagements comme les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales (Lähde et al. 2019; Jouin et Mlocek 2020; McClymont et al. 2020). La végétation peut contribuer à une gestion durable des eaux pluviales urbaines en optimisant les processus de rétention, d'évapotranspiration et d'infiltration dans un système maîtrisé (Berland et al. 2017 ; Seidl et Saifane 2020). Dans le cas d'un arbre, ce concept se traduit par un arbre d'alignement, alimenté gravitairement par le ruissellement de la voirie adjacente, où l'eau pluviale s'infiltré dans la fosse de l'arbre puis est restituée vers le sous-sol, ou à l'égout, ou vers l'atmosphère par évapotranspiration (EPA 2012). Les bénéfices d'une alimentation par les eaux pluviales cités dans la littérature (Whitlow, Bassuk, et Reichert 1992; Vaz Monteiro, Levanič, et Doick 2017) semblent multiples : une meilleure croissance des arbres, une dépollution locale du ruissellement et une contribution à la gestion des épisodes courants.

La conception et l'installation de l'ouvrage impactent la performance de l'ensemble du dispositif. Les défauts dans la conception peuvent être liés à une taille trop petite de la fosse, un volume de sol insuffisant, un sol compacté, un manque des éléments nutritifs pour la croissance de l'arbre (EPA 2012). Les fosses d'arbres de pluie varient d'un m<sup>3</sup> à plus de 12 m<sup>3</sup>. Il faut noter que le volume peut aller au-delà en fonction des conditions du site de plantation et de l'espèce à planter. Quant au substrat, il faut noter que malgré la diversité ( mélange terre-pierre, CU-Soil, Stalite... ), son rôle principal est d'assurer un meilleur ancrage des racines (Bassuk et al. 2015; Grey et al. 2018 ; Ahmed et Borst 2020 ; ...). De plus, le substrat assure une fonction de stockage à travers la rétention des eaux pluviales. La capacité de stockage dépend du volume de la fosse et du type de substrat. La performance des arbres à abattre les volumes ruisselés et restaurer un bilan hydrologique plus naturel dépend également de la surface d'apport par arbre, de la nature du sol sous-jacent, des modes d'alimentation et drainage, de la physiologie de l'arbre. Il faut noter que si de récentes études (Xiao et McPherson 2002, Bartens et al. 2009, Soares et al. 2011, Nowak et al. 2014, Szota et al. 2019, ...) ont porté sur le rôle des arbres urbains, peu ont quantifié le potentiel de stockage des arbres de pluie et leur impact sur le bilan hydrologique urbain. L'étude de Gray (2018) à Melbourne en Australie a par exemple montré une réduction de 90% du ruissellement sur une pluie annuelle de 587mm. Sur cette étude, la surface de drainage par arbre variait entre 100 et 480m<sup>2</sup>. Les études de Joo (2011) montraient ainsi que le ruissellement pouvait être réduit de 65%.

Depuis environ dix ans, cette solution est mise en place, avec divers degrés de complexité, en Australie et aux États-Unis (EPA 2012; Geronimo et al. 2019), et plus récemment proposée par la communauté de communes de Bruxelles sous le nom « d'arbre de pluie » (IBGE 2014). En France le projet SESAME (Chrétien et al. 2019) porté par le Cerema et le projet ARTISAN (OFB 2020) mis en œuvre par la Métropole du Grand Lyon s'intéressent aux diverses fonctions écosystémiques des arbres en ville sans aborder spécifiquement la fonction hydrologique.

Ainsi, le programme de recherche OPUR propose dans sa thématique de gestion à la source des eaux pluviales une action spécifique sur les arbres de pluie pour mieux qualifier et quantifier leur rôle dans l'espace urbain du point de vue hydrologique. Le projet est structuré autour du dispositif expérimental existant au sein de la mini ville climatique Sense-City et des expérimentations in situ pour proposer un nouvel outil de gestion du ruissellement urbain généralisable pour la ville de demain. Le projet devrait permettre de faire des choix adéquats des dimensions de la fosse, de la surface d'apport, de la nature du substrat, du drainage et également des espèces d'arbre.

L'objectif général de la thèse inscrite dans ce cadre est de mieux qualifier et quantifier les fonctions hydrologiques et écophysiologicals des arbres d'alignement dans l'espace urbain et plus spécifiquement :

- Décrire le fonctionnement hydrologique et écophysiological d'un arbre de pluie
- Optimiser les fonctions agronomiques et hydriques de la fosse de plantation pour favoriser le stockage, l'évapotranspiration et la dépollution.
- Évaluer l'appropriation de l'outil « arbre de pluie » par les services techniques des communes et par les riverains.

## Matériels et méthodes

Le projet repose actuellement sur un dispositif expérimental pilote mis en œuvre au sein de l'équipement Sense-City (<https://sense-city.ifsttar.fr/>) préalablement à la mise en place d'expérimentations en conditions réelles. Equipement d'Excellence du Programme d'Investissement d'Avenir 2011-2019 de l'ANR, Sense-City consiste en une mini-ville laboratoire et une chambre climatique sur le campus universitaire de la Cité Descartes à Champs sur Marne (77). Il a pour objectif d'accompagner les acteurs industriels de la ville dans l'expérimentation de leurs concepts et technologies. La rue canyon de ce dispositif a été équipée fin 2019 avec 3 érables de 3.5 m de chaque

côté, dont seulement un côté alimenté par le ruissellement de 80 m<sup>2</sup> de la voirie (Figure 1). L'ensemble est monitoré dans le cadre de l'observatoire de recherche OPUR par des capteurs mesurant les flux d'eau dans les différents compartiments, plante (flux de sève), sol (humidité, entrée et sortie) et atmosphère (météorologie 1m et 4 m).



Figure 1: Vue nord-sud de la rue canyon, avec à gauche les arbres de pluie et à droite les arbres de référence (Seidl 2021)

Afin d'évaluer la capacité de rétention, l'arbre de pluie est équipé de différents capteurs mesurant les flux d'eau entrant et sortant. Les volumes d'eau ruisselés sont mesurés par des débitmètres électromagnétiques, la teneur en eau dans le sol est mesurée par des sondes TDR (Campbell) à différentes profondeurs, les volumes drainés sont mesurés par un débitmètre à auget basculant. Le flux de sève qui est un flux sortant est mesuré par le capteur Implex SapFlow (Edaphic) basé sur la dissipation thermique.

L'état de santé de l'arbre étant un paramètre important pour assurer toutes ses fonctions hydriques, on envisage de l'équiper également de capteurs microdendrométriques pour suivre sa croissance et pour détecter d'éventuels stress.

La technique sera par ailleurs expérimentée en conditions réelles dans de nouveaux projets (Paris, Lyon...) pendant au moins 2 saisons de végétation pour comprendre et mieux maîtriser la mise en œuvre du système.

## Résultats attendus

La présente étude permettra de tester un nouvel équipement pour la gestion des eaux pluviales de type "arbre de pluie" dans les conditions hydrologiques et environnementales du milieu urbain. Elle décrira avec précision les flux hydriques, les mécanismes de dépollution et les éventuels impacts ou bénéfiques pour le végétal dans un nouveau système bio-filtrant. Enfin, la recherche interrogera le modèle de gestion et la position des services gestionnaires vis-à-vis des innovations dans la gestion des eaux pluviales. La valorisation du travail prévu dans la thèse devra permettre de fournir des méthodes et outils pour mieux concevoir, dimensionner, et gérer les arbres et leur fosse de plantation. Il s'agira de répondre aux questions suivantes : Quelle est la surface d'apport optimum pour un arbre ? Quel est l'abattement de ruissellement par la technique lors des pluies fréquentes ? Quelle est la part d'infiltration qui pourrait altérer les équilibres hydrologiques fragiles dans le sous-sol urbain ? Quel est l'impact d'un excès d'eau sur la physiologie de l'arbre ? Comment réduire la pollution des eaux collectées ? Comment optimiser le stockage et augmenter l'efficacité de l'évapotranspiration ? Comment faire intégrer la technique dans les pratiques habituelles des différents services de la ville ?

La présentation détaillera le dispositif existant au sein de Sense-City et fera état de quelques résultats préliminaires obtenus en 2022.

## Références

- Bartens, Julia, Susan Day, J Harris, T. Wynn Thompson, et Joseph Dove. 2009. « Transpiration and Root Development of Urban Trees in Structural Soil Stormwater Reservoirs ». *Environmental management* 44 (septembre): 646-57. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9366-9>.
- Bassuk, Nina, Bryan Denig, Ted Haffner, Jason Grabosky, et Peter Trowbridge. 2015. « CU-Structural Soil - A Comprehensive Guide ». <http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/CU-Structural%20Soil%20-%20A%20Comprehensive%20Guide.pdf>.
- Berland, Adam, Sheri A. Shiflett, William D. Shuster, Ahjond S. Garmestani, Haynes C. Goddard, Dustin L. Herrmann, et Matthew E. Hopton. 2017. « The role of trees in urban stormwater management ». *Landscape and Urban Planning* 162 (juin): 167-77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017>.
- Chrétien, Luc, Rémi Suaire, Nadjwa Pailloux, Nadia Aubry, et Cécile Vo Van. 2019. « Services EcoSystémiques rendus par les Arbres, Modulés selon l'Essence ».
- EPA. 2012. « Stormwater to Street Trees Engineering Urban Forests for Stormwater Management ». EPA 841 B 13 001 /epa\_p100h2rq.pdf.
- Geronimo, Franz Kevin, Marla Redillas, Hyeseon Choi, Heidi Guerra, et Lee-Hyung Kim. 2019. « Understanding the mechanisms affecting the fate of organics and nutrients in a tree box filter treating parking lot runoff ».
- Gray, Vaughn, Stephen J. Livesley, Tim D. Fletcher, et Christopher Szota. 2018. « Tree Pits to Help Mitigate Runoff in Dense Urban Areas ». *Journal of Hydrology* 565 (octobre): 400-410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.038>.
- IBGE. 2014. « Outil de gestion de l'eau de pluie à l'échelle du quartier - recommandation pratique, les arbres de pluie - GEQ08 ». GEQ08. Evaluation des techniques alternatives pour une gestion des eaux pluviales sur l'espace collectif. [http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user\\_files/geq08\\_arbrespluie.pdf](http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/geq08_arbrespluie.pdf).
- Jouin, C., et Z. Mlocek. 2020. « Évolutions des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales : l'exemple de trois projets à Villeneuve-la-Garenne ». *Techniques Sciences Méthodes*, n° 3 (mars): 61-70. <https://doi.org/10.36904/tsm/202003061>.
- Lähde, Elisa, Ambika Khadka, Outi Tahvonen, et Teemu Kokkonen. 2019. « Can we really have it all?—Designing multifunctionality with sustainable urban drainage system elements ». *Sustainability* 11 (7): 1854.
- McClymont, Kent, Davi Gasparini Fernandes Cunha, Chris Maidment, Biniam Ashagre, Anaí Floriano Vasconcelos, Marina Batalini de Macedo, Maria Fernanda Nóbrega dos Santos, et al. 2020. « Towards Urban Resilience through Sustainable Drainage Systems: A Multi-Objective Optimisation Problem ». *Journals of Environmental Management* 275 (décembre): 111173. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111173>.
- Nowak, David J., Satoshi Hirabayashi, Allison Bodine, et Eric Greenfield. 2014. « Tree and Forest Effects on Air Quality and Human Health in the United States ». *Environmental Pollution* 193 (octobre): 119-29. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>.
- OFB. 2020. « Le projet Life intégré ARTISAN ». 2020. <https://www.ofb.gouv.fr/le-projet-life-integre-artisan>.
- Seidl, Martin. 2019. « L'arbre de pluie pour la gestion du ruissellement urbain ». In *Journée SenseCity le 26 Novembre 2019*.
- Seidl, Martin, et Manal Saifane. 2020. « A Green Intensity Index to Better Assess the Multiple Functions of Urban Vegetation with an Application to Paris Metropolitan Area ». *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01293-4>.
- Soares, A. L., F. C. Rego, E. G. McPherson, J. R. Simpson, P. J. Peper, et Q. Xiao. 2011. « Benefits and Costs of Street Trees in Lisbon, Portugal ». *Urban Forestry & Urban Greening* 10 (2): 69-78. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.12.001>.
- Szota, Christopher, Andrew M. Coutts, Jasmine K. Thom, Harry K. Virahsawmy, Tim D. Fletcher, et Stephen J. Livesley. 2019. « Street Tree Stormwater Control Measures Can Reduce Runoff but May Not Benefit Established Trees ». *Landscape and Urban Planning* 182 (février): 144-55. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.021>.
- Vaz Monteiro, Madalena, Tom Levanič, et Kieron J. Doick. 2017. « Growth rates of common urban trees in five cities in Great Britain: A dendrochronological evaluation with an emphasis on the impact of climate ». *Urban Forestry & Urban Greening* 22 (Supplement C): 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.003>.
- Whitlow, Thomas H., Nina L. Bassuk, et Deborah L. Reichert. 1992. « A 3-Year Study of Water Relations of Urban Street Trees ». *Journal of Applied Ecology* 29 (2): 436-50. <https://doi.org/10.2307/2404512>.