

Suivi expérimental du bilan hydrologique d'arbres de pluie

Instrumentation of stormwater tree pits to determine their water balance

Rémi Combeaux ^{1*}, Frédéric Cherqui ^{1,2}, Katharina Tondera ³, Laurent Lassabatère ³, Jérémie Bonneau ¹

¹ INSA Lyon, DEEP, UR 7429

² WERG, SAFES, University of Melbourne

³ Université Claude Bernard Lyon 1, LEHNA UMR 5023, CNRS, ENTPE, F-69518

* remi.combeaux@insa-lyon.fr

RÉSUMÉ

Les arbres de pluie sont des solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales, considérés comme des aménagements adaptés aux zones fortement urbanisées, et de plus en plus utilisés. La contribution de l'arbre au bilan hydrologique (évapotranspiration) reste tout de même assez incertaine en raison de difficultés de suivi de ce type d'ouvrage. Notre étude de cas consiste à suivre cinq arbres de pluie existants de la Rue Vauban (Lyon, France). Pour ces arbres, la capacité d'infiltration est améliorée par une tranchée, afin d'accroître la collecte des eaux de ruissellement provenant des rues et des trottoirs avoisinants. Le suivi inclut également deux arbres témoins (ne recevant pas de ruissellement) situés dans la même rue. Le dispositif expérimental comprend la mesure en continu du niveau d'eau en entrée d'ouvrage, de la teneur en eau du sol et du potentiel matriciel dans la fosse de l'arbre, ainsi que du flux de sève de l'arbre. Ce résumé présente les premiers résultats ainsi qu'un retour d'expérience après 10 mois de suivi.

ABSTRACT

Stormwater tree pits are nature-based solutions for stormwater management, considered suitable for highly urbanized areas, and increasingly used. The contribution of the tree to the water balance (evapotranspiration) remains unclear due to measurement challenges. Our case study consists in the monitoring of five existing stormwater trees from the Vauban Street in Lyon (France). These five trees were retrofitted by improving the infiltration capacity with a trench, to increase collection of runoff from neighbouring streets and sidewalks. The study site also includes two control trees (receiving no runoff) located in the same street. The monitoring setup consists of a weather station, water level sensors at the inlet, soil water content and matric potential sensors in the tree pit, and sap flow sensors. The objective of the study is to characterize the overall water balance of the stormwater and control trees. This extended abstract presents preliminary results and feedbacks after 10 months' use of the system.

MOTS CLÉS

Flux de sève, gestion intégrée des eaux pluviales, humidité du sol, potentiel matriciel, solutions fondées sur la nature.

1 INTRODUCTION

Les arbres de pluie font partie des solutions fondées sur la nature (SFN) pour la gestion des eaux pluviales. Ils sont associés à plusieurs services écosystémiques, dont la prévention des inondations, la réduction de la pollution de l'eau, la lutte contre la surchauffe urbaine et l'amélioration du cadre de vie des habitants (Mullaney et al., 2015). D'après Richter et al. (2024), la conception des arbres de pluie ainsi que leur désignation sont différentes selon les pays et villes où elles sont mises en place. L'appellation *arbre de pluie*, telle qu'employée dans la Métropole de Lyon, renvoie à un arbre existant en milieu urbain dense, dont la fosse de plantation est élargie à une surface supérieure ou égale à 10 m², qui accueille le ruissellement urbain (absence de bordure), et dont le sol en surface est remplacé par de la terre fertile et couvert de végétation (Métropole de Lyon, 2022). Les arbres de pluie pourraient offrir une solution performante de gestion des eaux pluviales en milieu urbain dense, car ils permettent à la fois d'intercepter une part de la pluie par leur canopée, de favoriser l'infiltration par le développement de leurs racines, et de transpirer d'importants volumes d'eau (Richter et al., 2024). Toutefois, il existe aujourd'hui peu d'études qui ont mesuré les performances hydrologiques des arbres de pluie, et les études existantes ne couvrent pas la diversité de conceptions d'arbres de pluie et de conditions climatiques (Grey et al., 2018; Thom et al., 2020; Yerima et al., 2024). L'objectif de cette étude est de caractériser le bilan hydrologique des arbres de pluie de la Métropole de Lyon, et notamment d'améliorer la compréhension du rôle de l'arbre dans celui-ci. Pour cela, nous avons mis en place un système de mesure en continu des stocks et flux hydrologiques entrants et sortants de la fosse de l'arbre de pluie. Cette partie expérimentale est complétée par un second volet, qui consiste à développer un nouveau cadre de modélisation sur HYDRUS associé à des mesures de terrain pour caractériser finement les processus d'infiltration et de prélèvement racinaire.

2 MATERIEL ET METHODES

L'étude porte sur un ensemble de cinq arbres de pluie (AdP) et deux arbres témoins (AT) (ne recevant pas de ruissellement) situés dans la rue Vauban, dans le centre de la ville de Lyon (France) (voir Figures 1A et 1C). Tous les arbres sont des tilleuls de Crimée (*Tilia x euchlora*) d'une trentaine d'années. L'aménagement des arbres de pluie a été réalisé en 2022, en équipant les arbres existants d'une tranchée d'infiltration de dimensions [3,08 à 5,16] m x 0,6 m x 0,6 m (voir Figure 1B) pour faciliter l'infiltration du ruissellement provenant de la chaussée. Les fosses ont été élargies (surfaces de 10 à 16 m²) en retirant le béton présent, et les 0,3 à 0,5 m de sol superficiel ont été remplacés par de la terre végétale. Chacun des arbres de pluie draine une surface comprise entre 65 m² et 160 m², résultant en un rapport de surfaces fosse/bassin versant compris entre 8 % et 26 %.

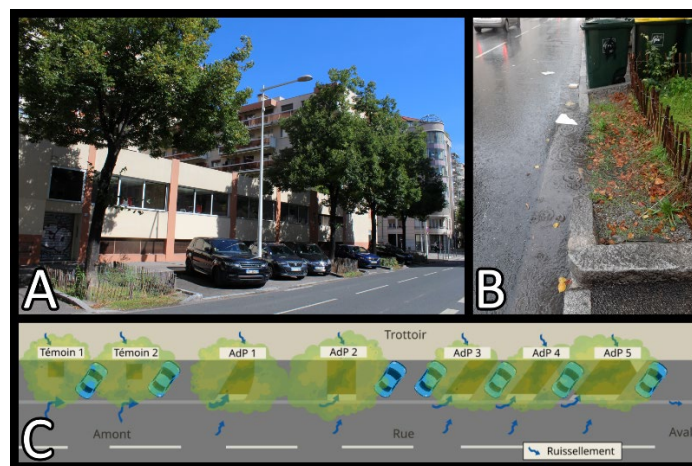


Figure 1 : A. photo des arbres de pluie ; B. photo de la tranchée d'infiltration d'un arbre de pluie pendant un événement pluvieux ; C. représentation schématique du site d'étude en vue de dessus.

Le dispositif expérimental est présenté sur la Figure 2, il fonctionne sur batterie et transmet les mesures en temps réel en LoRa. Pour déterminer le bilan hydrologique des arbres de pluie et des arbres témoins, nous avons installé sur chacun des arbres, lorsque cela était possible, un capteur de flux de sève (dual method ; modèle SFM-5 de marque UGT, cf. Figure 2E), ainsi que des capteurs de teneur en eau (capacitance-based ; TEROS 10 & TEROS 11 de marque METER) à 20, 40 et 60 cm de profondeur dans leur fosse. Pour les arbres de pluie, deux profils verticaux de capteurs de teneur en eau ont été installés, soit 6 capteurs par fosse, à proximité et à l'opposé de

la tranchée d'infiltration. Pour les arbres témoins, un seul profil de capteurs a été installé car nous supposons que l'infiltration se fait principalement verticalement. Une partie des arbres a été également équipée avec des capteurs de potentiel matriciel aux mêmes positions dans la fosse que les capteurs de teneur en eau (AdP 1 & 3), et avec un piézomètre dans la tranchée d'infiltration (AdP1 & 5, cf. Figure 2B). Le pas de temps de mesure est de 30 min pour tous les capteurs. Tous les capteurs utilisés ont été préalablement calibrés en laboratoire et/ou sur le terrain. Une station météo a été installée sur le toit d'un bâtiment de la rue pour déterminer la pluviométrie et les conditions météorologiques locales, au pas de temps de 5 min.

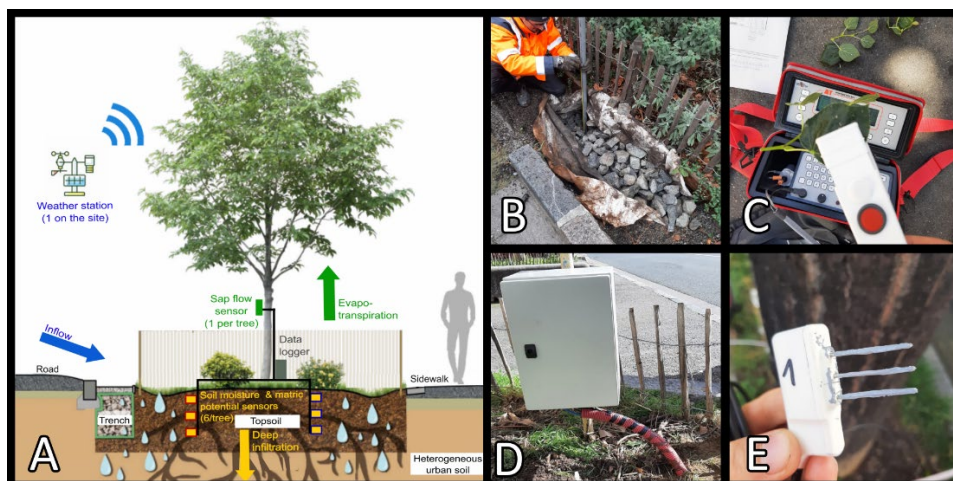


Figure 2 : A. vue d'ensemble du dispositif expérimental, adapté de (Métropole de Lyon, 2022) ; B. installation du piézomètre ; C. mesure de conductance stomatique pour fiabiliser les mesures de flux de sève ; D. coffret avec centrale d'acquisition; E. capteur de flux de sève enduit de graisse thermique.

Le dispositif expérimental ne nous permet pas de mesurer directement toutes les composantes du bilan hydrologique, car les arbres de pluie sont déjà aménagés. Certaines composantes sont donc estimées (ruissellement, évapotranspiration de la végétation basse), et d'autres sont obtenues par modélisation (infiltration profonde à l'aide du modèle HYDRUS). Des mesures complémentaires d'infiltrométrie et de granulométrie ont permis d'appliquer la méthode BEST (Lassabatère et al., 2006) pour estimer les paramètres hydrauliques du sol.

3 PREMIERS RESULTATS ET RETOURS D'EXPERIENCE

La Figure 3 présente les données mesurées sur l'arbre de pluie 1, ainsi qu'une comparaison entre tous les arbres.

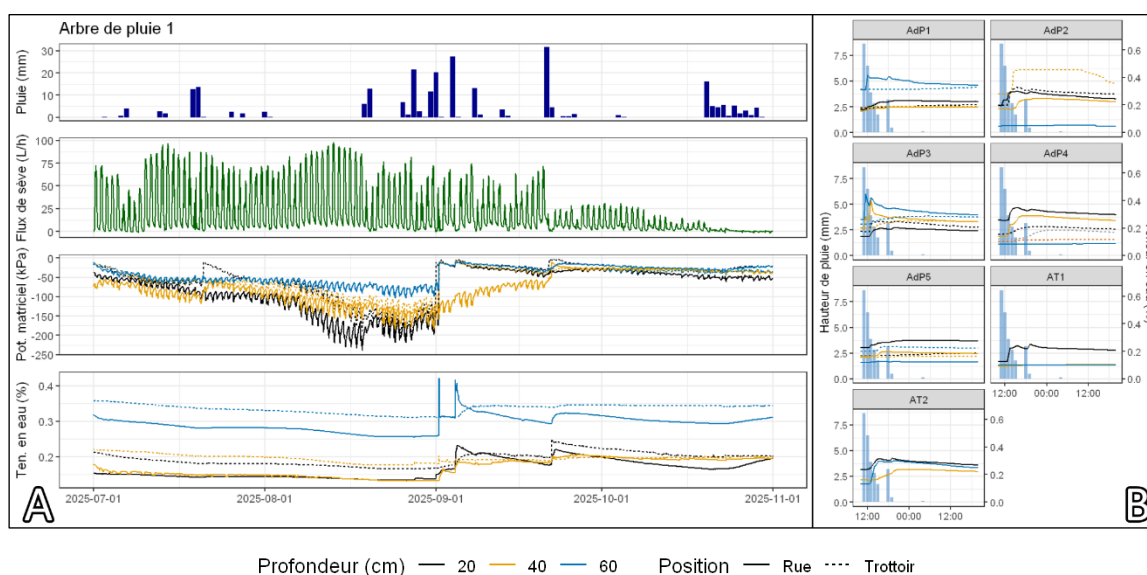


Figure 3 : A. Pluviométrie et évolution temporelle du flux de sève (données non calibrées), du potentiel matriciel et de la teneur en eau de juillet à octobre 2025, pour l'arbre de pluie 1 ; B. Evolution temporelle de la teneur en eau dans la fosse

de chacun des arbres, à la suite d'un événement pluvieux de hauteur totale cumulée 27,4 mm, le 4 septembre 2025.

Les mesures de teneur en eau et de potentiel matriciel réagissent toutes deux aux précipitations les plus importantes (Figure 3A). Selon la position, la profondeur et l'arbre considéré, la teneur en eau mesurée n'évolue pas de la même manière lors d'un événement pluvieux (Figure 3B). Pour chacun des arbres, on constate que la teneur en eau ne varie pas ou très peu pour les pluies de hauteur cumulée inférieure à environ 10 mm, indifféremment pour les arbres témoins et arbres de pluie (donnée non montrée ici). De plus, lors d'une expérience où nous avons déversé 750 L d'eau dans la tranchée de l'AdP5 (correspondant pour cet arbre à une pluie de 10-15 mm), nous avons mis en évidence que le ruissellement entrant dans la tranchée s'infiltre majoritairement verticalement et n'atteint pas la zone de sensibilité des sondes de teneur en eau.

A noter, les piézomètres installés dans la tranchée de deux arbres, tels qu'illustré sur la Figure 2B, ne permettent pas de déterminer le volume entrant car l'infiltration se fait trop rapidement et la tranchée ne rentre que très rarement en charge. Le pas de temps de 30 min n'est pas compatible avec la dynamique de remplissage de la tranchée. Nous approximons alors le volume entrant dans les fosses par le produit de la hauteur de pluie et de la surface de bassin versant de chaque arbre. La surverse d'un arbre se jetant dans l'arbre aval, il est très difficile de caractériser le ruissellement entrant dans chaque fosse d'arbre dans cette configuration.

Sur la Figure 3A, on observe les variations quotidiennes du flux de sève de l'AdP1, et on constate une diminution au cours du temps due à la chute des feuilles en octobre. Les capteurs de flux de sève à impulsion de chaleur devront être calibrés en déterminant la diffusivité thermique et la profondeur du bois d'aubier à l'aide d'un à deux carottages par arbre étudié. La mesure répétée de conductance stomatique (voir Figure 2C) et le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀) permettra de confronter la mesure de flux de sève à deux autres mesures indépendantes de la transpiration.

4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les premiers résultats de 10 mois de suivi sont très encourageants. La mesure du bilan hydrologique des arbres de pluie en situation réelle présente tout de même de nombreux défis. La poursuite du suivi, la réplication des mesures ponctuelles, et la modélisation numérique, nous permettront de mieux appréhender le bilan hydrologique des arbres de pluie. L'objectif, *in fine*, est de mieux évaluer les performances du système en climat actuel et futur.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce au soutien de l'EUR H2O'Lyon (ANR-17-EURE-0018) de l'Université de Lyon (UdL) et de l'observatoire de terrain en hydrologie urbaine (OTHU) dans le cadre du programme "France 2030" géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). / This work has been supported by the Graduate School H2O'Lyon (ANR-17-EURE-0018) of Université de Lyon (UdL) and the field observatory in urban hydrology (OTHU), within the program "France 2030" operated by the French National Research Agency (ANR).

BIBLIOGRAPHIE

- Grey, V., Livesley, S.J., Fletcher, T.D., Szota, C., 2018. Tree pits to help mitigate runoff in dense urban areas. *J. Hydrol.* 565, 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.038>
- Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J.M., Cuenca, R., Braud, I., Haverkamp, R., 2006. Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments—BEST. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 521–532. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0026>
- Métropole de Lyon, 2022. Livret technique : les arbres de pluie.
- Mullaney, J., Lucke, T., Trueman, S.J., 2015. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landsc. Urban Plan.* 134, 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.013>
- Richter, M., Heinemann, K., Meiser, N., Dickhaut, W., 2024. Trees in Sponge Cities—A Systematic Review of Trees as a Component of Blue-Green Infrastructure, Vegetation Engineering Principles, and Stormwater Management. *Water* 16, 655. <https://doi.org/10.3390/w16050655>
- Thom, J.K., Szota, C., Coutts, A.M., Fletcher, T.D., Livesley, S.J., 2020. Transpiration by established trees could increase the efficiency of stormwater control measures. *Water Res.* 173, 115597. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115597>
- Yerima, H.Z., Seidl, M., Bensaoud, A., Berthier, E., 2024. Stormwater management by urban trees: case of the SenseCity experimental device.

