



HAL
open science

Caractérisation des fonctions infiltration et filtration d'un ouvrage de gestion des eaux pluviales à la source

Gersende Fernandes, Simone Di Prima, Gislain Lipeme Kouyi, Tim D Fletcher, Laurent Lassabatere

► To cite this version:

Gersende Fernandes, Simone Di Prima, Gislain Lipeme Kouyi, Tim D Fletcher, Laurent Lassabatere. Caractérisation des fonctions infiltration et filtration d'un ouvrage de gestion des eaux pluviales à la source. Novatech 2023, Graie, Jul 2023, Lyon, France. hal-04183142

HAL Id: hal-04183142

<https://hal.science/hal-04183142>

Submitted on 22 Aug 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.

Caractérisation des fonctions infiltration et filtration d'un ouvrage de gestion des eaux pluviales à la source

Infiltration and filtration functions characterization of a sustainable urban drainage system

Gersende Fernandes^a, Simone Di Prima^b, Gislain Lipeme Kouyi^c, Tim Fletcher^d, Laurent Lassabatere^a

^a Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, ENTPE, UMR 5023 LEHNA, F-69518, Vaulx-en-Velin, France

^b Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, 85100 Potenza, Italy

^c University of Lyon, National Institute of Applied Sciences of Lyon - INSA Lyon, Laboratory Wastes Water Environment Pollutions (DEEP), France

^d Waterway Ecosystem Research Group, University of Melbourne, Australia

RÉSUMÉ

La gestion des eaux pluviales à l'aide des ouvrages d'infiltration à la source se généralise. Ces systèmes nécessitent un suivi hydrodynamique pour mieux connaître l'évolution de leurs capacités, adapter leur maintenance et prévenir le colmatage. Un nouveau dispositif d'infiltration est présenté et permet d'obtenir des paramètres représentatifs de tous les types de sols urbains comme la conductivité hydraulique à saturation et leur capacité d'infiltration. A ces essais infiltrométriques sont ajoutés des nanotraceurs, détectables par géoradar. La probabilité de leur présence dans le sol est quantifiée et peut permettre de développer des indicateurs de propagation des nanopolluants urbains. L'objectif final est non seulement de déterminer les paramètres hydrodynamiques des sols urbains mais aussi d'évaluer les fonctions infiltration (conductivité hydraulique à saturation, taux d'infiltration moyen) et filtration (taux de rétention des nanotraceurs dans le sol) de ces ouvrages.

ABSTRACT

Stormwater management through source control infiltration systems are increasingly used. These systems need a hydrodynamic system to better monitor the evolution of their performances and to adapt their management. A new infiltration device is presented in this paper and allows to have representative parameters of different types of urban soils, as hydraulic conductivity at saturation and global infiltration capacity. Nanotracers are added to these experiments. They are detectable by georadar and the probability of their presence in soils is investigated. This can allow to develop indicators of the propagation of urban nanopollutants. In addition to determined hydrodynamic parameters of soils, the final goal is to assess the infiltration (saturated hydraulic conductivity) and filtration (retention rate of nanotracers in soils, mean infiltration rate) functions.

MOTS CLÉS

Filtration, gestion des eaux pluviales, indicateurs, infiltration, nanotraceurs

INTRODUCTION

Les techniques alternatives aux systèmes de gestion des eaux pluviales classiques sont nombreuses (noues, chaussées drainantes, toitures végétalisées, ...) et permettent de limiter l'engorgement des réseaux de collecte et les problèmes environnementaux induits. Plusieurs d'entre elles sont conçues pour favoriser l'infiltration et sont composées de terre végétale déposée au-dessus du substrat naturel. Il en est de même pour les bassins d'infiltration, qui eux sont des techniques alternatives plutôt centralisés. L'hypothèse est que le sol assure une fonction épuratrice et retient les polluants lessivés par l'eau, ce qui permet à l'eau ainsi filtrée de rejoindre la nappe phréatique. Cependant, la mauvaise prise en compte des écoulements préférentiels dans les modèles d'infiltration et de transferts de polluants questionne cette hypothèse (Beven and Germann, 2013). Ces écoulements particuliers sont majoritairement dus à des macropores, peu nombreux mais qui drainent une grande partie des volumes d'eau qui s'infiltrent.

Plusieurs méthodes de suivi des écoulements préférentiels existent, notamment avec des traceurs colorés qui permettent de visualiser directement l'infiltration (Allaire et al., 2009), mais ces méthodes sont lentes et destructrices car elles nécessitent l'excavation du sol. L'objectif de cette étude est d'utiliser un infiltromètre assez grand pour activer tous les pores (matrice et réseaux de macropores) des sols étudiés, ainsi qu'un géoradar permettant le suivi de nanotraceurs par envoi d'ondes électromagnétiques dans le sol. Ces nanotraceurs ont été manufacturés pour représenter le comportement courant des nanopolluants urbains. Le but final est d'estimer les indicateurs des fonctions infiltration et filtration pour un système de gestion des eaux pluviales dont l'infiltration est un des principes de fonctionnement (pour les ouvrages d'infiltration à la source et centralisés).

1 MATERIELS ET METHODES

1.1 Sites expérimentaux

Deux sites principaux ont été suivis lors des campagnes expérimentales : un premier sur le campus de la Doua, à Villeurbanne (69100) près de Lyon (France) entre 2021 et 2022, et un deuxième près de Melbourne (Victoria, Australia) début 2023.

A Villeurbanne, le site d'étude se situe juste à côté d'un bassin d'infiltration recueillant les eaux d'un bassin versant de 180 ha. Une première couche d'une dizaine de centimètre composée de terre végétale est présente, suivie d'un mélange de terre et d'alluvions fluvioglaciaires (formation géologique superficielle en place). La nappe phréatique se trouve à environ 6 mètres de profondeur.

Près de Melbourne, le bassin d'infiltration Wicks Reserve, qui recueille les eaux d'un bassin versant de 5 ha, est un système très étudié et suivi depuis sa création en 2011 (Bonneau et al., 2021). Il est composé d'un sol en argile déposée sur de la rhyodacite. Un cours d'eau, le Dobsons Creek, est présent 75 mètres plus bas.

1.2 Matériel utilisé

Sur le terrain, un infiltromètre de grande taille composé d'un anneau de 50 cm de diamètre et de deux colonnes réservoirs d'environ 40 L chacune est utilisé. L'anneau est enfoncé de quelques centimètres dans le sol et les colonnes sont placées à côté puis remplies d'eau. Un tuyau qui part du bas de ces réservoirs est déroulé jusqu'à l'intérieur de l'anneau. Les réservoirs utilisent le principe de Mariotte : des entrées d'air permettent au système de maintenir une charge hydraulique (c'est à dire une hauteur d'eau) constante de quelques centimètres à l'intérieur de l'anneau, et ce tout le long de l'expérimentation. L'eau des colonnes passe par les tuyaux vers l'anneau où elle s'infiltré. Le suivi de l'infiltration en temps réel, via la diminution de la hauteur d'eau dans chaque colonne, est réalisé en chronométrant le temps que met chaque centimètre d'eau dans chacune des colonnes à s'infiltrer.

Les nanotraceurs, des nanoparticules superparamagnétiques d'oxyde de fer enrobées de silice, sont ajoutées à partir du milieu de l'expérimentation pour avoir dans un premier temps un suivi de l'infiltration de l'eau seule et permettre l'atteinte du régime permanent d'écoulement, avant de réaliser le suivi des nanotraceurs. Deux lignes perpendiculaires sont positionnées sur le sol autour de l'anneau. Le géoradar suit ces deux lignes régulièrement avant, pendant, et après l'essai d'infiltration.

1.3 Traitement des données

L'infiltrométrie permet d'obtenir des données concernant le volume d'eau infiltré en fonction du temps. Ce volume est divisé par la surface d'infiltration pour calculer la hauteur d'eau. Des prélèvements autour de la zone d'étude donnent une indication sur la teneur en eau du site ainsi que sa granulométrie. La méthode BEST (Angulo-Jaramillo et al., 2019) permet alors de tracer les courbes de caractérisation hydrodynamique des sols.

Les radargrammes, composés de valeurs d'amplitude de signaux électromagnétiques transmis et reçus par l'antenne radar, sont d'abord traités sur le logiciel ReflexW (©Sandmeier geophysical research) (interface air-sol, normalisation, gain en profondeur). Les tableaux de données peuvent alors être importés sur R où deux codes reprenant deux méthodes utilisées dans la littérature permettent de caractériser le contraste entre sections successives et d'étudier l'évolution de la propagation de l'eau et des nanotraceurs dans le sol. La première méthode consiste à réaliser la différence entre les valeurs d'amplitude des deux radargrammes puis à seuiller selon l'écart-type (Di Prima et al., 2020). La deuxième compare les tableaux en appliquant une fonction de similarité sur une sous-partie des radargrammes (par exemple sur une fenêtre de 3*3, de 5*3 pixels, ...) pour calculer un indice de similarité sur le pixel central (Allroggen and Tronicke, 2015). Cette méthode calcule cet indice en chacun des pixels des radargrammes en bougeant la fenêtre sur tout le radargramme selon le principe de la moyenne mobile.

2 RESULTATS

2.1 Identification de la présence des nanotraceurs dans le sol

Un radargramme initial, juste avant l'ajout des nanotraceurs, est comparé (avec les deux méthodes présentées ci-dessus) aux suivants, pendant l'infiltration des nanotraceurs. Les données sont alors superposées afin de déterminer la probabilité de présence des nanotraceurs : si les deux méthodes montrent la présence des nanotraceurs (deux couleurs présentes), alors on peut affirmer qu'il est très probable que des nanotraceurs soient présents ; si une seule des deux méthodes montre la présence de nanotraceurs, alors il est probable qu'ils soient présents ; si aucune ne le montre, il est peu probable que des nanotraceurs soient présents (**Figure 1**).

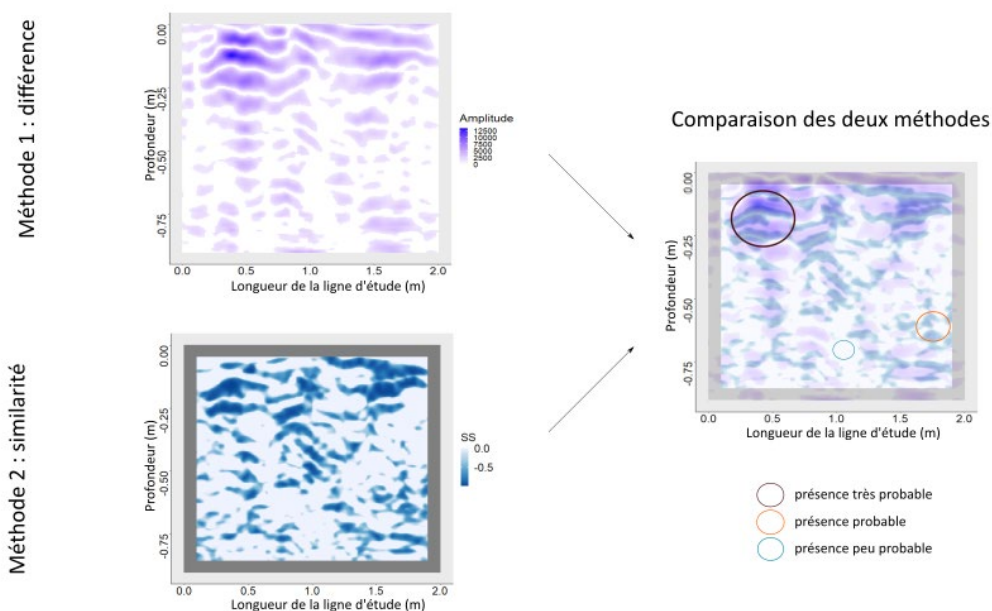
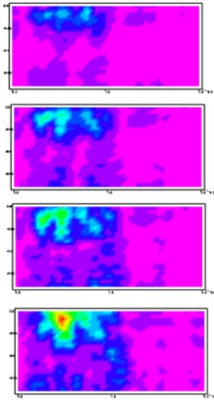


Figure 1 : exemple de superposition des deux méthodes pour un radargramme et indication sur la probabilité de présence des nanotraceurs

L'identification des zones de présence très probable des nanotraceurs peut ensuite servir à déterminer des indicateurs de propagation des polluants et à calculer des volumes concernés. Ce travail est en cours.

2.2 Développement d'indicateurs pour l'amélioration de la modélisation



A l'aide du logiciel RockWorks (RockWare®), il est ensuite possible d'interpoler les données (Di Prima et al., 2020) et d'évaluer l'évolution du front d'infiltration dans les sols (**Figure 2**). Dans ce cas, on représente la différence entre un état donné et l'état initial sec. Une étude de ces figures peut permettre la construction d'indicateurs de propagation de l'eau et l'estimation du volume injecté. L'objectif est de construire un indicateur de la fonction infiltration à partir du suivi du bulbe d'infiltration.

De plus, l'essai d'infiltrométrie permet de calculer le taux d'infiltration global et la méthode BEST permet d'obtenir une valeur de conductivité hydraulique à saturation pour le sol étudié. Il est envisagé d'utiliser aussi ces données pour construire d'autres indicateurs de la fonction infiltration et les comparer à ceux construits à partir des images radar.

Figure 2 : évolution du front d'infiltration

3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette nouvelle méthodologie de caractérisation de l'infiltration de l'eau et de la filtration de polluants par les sols urbains se compose d'un essai sur le terrain d'infiltrométrie, couplé au suivi de nanotraceurs par un géoradar, puis au traitement de ces données.

En comparant les données obtenues par l'essai d'infiltration et les données utilisées pour la modélisation ainsi que celles recueillies par les différents appareils de suivi sur le terrain (piézomètres, volume de sortie, ...), nous serons en mesure d'évaluer les fonctions infiltration et filtration des systèmes de gestion des eaux pluviales. Nous espérons pouvoir améliorer les méthodes d'estimation de ces fonctions à l'aide des indicateurs développés. L'objectif final est d'obtenir une manière plus simple, mais juste et basée sur la physique, pour la caractérisation des fonctions infiltration (conductivité hydraulique à saturation, taux d'infiltration moyen) et filtration (taux de rétention de nanopolluants, densité de présence de nanopolluants en fonction de la profondeur) de systèmes de gestion des eaux pluviales.

BIBLIOGRAPHIE

- Allaire, S.E., Roulier, S., Cessna, A.J., 2009. Quantifying preferential flow in soils: A review of different techniques. *J. Hydrol.* 378, 179–204. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.013>
- Allroggen, N., Tronicke, J., 2015. Attribute-based analysis of time-lapse ground-penetrating radar data. *Geophysics* 81, H1–H8. <https://doi.org/10.1190/geo2015-0171.1>
- Angulo-Jaramillo, R., Bagarello, V., Di Prima, S., Gosset, A., Iovino, M., Lassabatere, L., 2019. Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters (BEST) across soils and scales. *J. Hydrol.* 576, 239–261. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.007>
- Beven, K., Germann, P., 2013. Macropores and water flow in soils revisited. *Water Resour. Res.* 49, 3071–3092. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20156>
- Bonneau, J., Kouyi, G.L., Lassabatere, L., Fletcher, T.D., 2021. Field validation of a physically-based model for bioretention systems. *J. Clean. Prod.* 127636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127636>
- Di Prima, S., Winiarski, T., Angulo-Jaramillo, R., Stewart, R.D., Castellini, M., Abou Najm, M.R., Ventrella, D., Pirastru, M., Giadrossich, F., Capello, G., Biddoccu, M., Lassabatere, L., 2020. Detecting infiltrated water and preferential flow pathways through time-lapse ground-penetrating radar surveys. *Sci. Total Environ.* 726, 138511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138511>