

## Sujet de Thèse de Doctorat – 3 ans / PhD Project – 3 years

### Amélioration de l'efficacité des tranchées d'infiltration des eaux résiduaires à partir de déchets urbains / Enhanced efficiency of infiltration trenches for wastewater using urban waste

**Encadrants / Supervisors :** Vincent CHATAIN (Laboratoire DEEP – INSA Lyon / MCF-HDR), Rémi CLEMENT (REVERSAAL – INRAE / IR-HDR), Laurent LASSABATERE (LEHNA – ENTPE / IDTPE-MTES-HDR)

Tel : 04-72-43-81-90

E-mail : [vincent.chatain@insa-lyon.fr](mailto:vincent.chatain@insa-lyon.fr)

Tel : 04-72-20-87-56

E-mail : [remi.clement@inrae.fr](mailto:remi.clement@inrae.fr)

Tel : 04-72-04-70-42

E-mail : [laurent.lassabatere@entpe.fr](mailto:laurent.lassabatere@entpe.fr)

**Adresse /Address :** Laboratoire Déchets Eaux Environnement Pollutions (DEEP), INSA de Lyon, 20 Avenue A. Einstein 69621 Villeurbanne Cedex / Laboratory Wastes Water Environment Pollutions (DEEP), INSA Lyon, 20 Avenue A. Einstein, F-69621 Villeurbanne cedex, France <http://deep.insa-lyon.fr/>

**Mots-clés / Keywords :** capacité d'infiltration ; tranchées drainantes ; déchets urbains ; mobilité des contaminants ; valorisation / infiltration capacity ; drainage trenches ; urban waste ; contaminant mobility ; valorization.

**Résumé :** Dans un contexte de changement climatique, il est avéré que l'impact sur les ressources en eau est significatif, encore plus dans les milieux urbanisés. Depuis quelques années, le concept novateur de "ville perméable" est mis en avant comme une réponse à cet enjeu pour les eaux pluviales. Aujourd'hui, la problématique s'étend aussi aux eaux usées traitées afin de minimiser les impacts sur le milieu superficiel. L'enjeu d'infiltrer les eaux pluviales ou les eaux usées traitées nécessite de mettre en place des infrastructures qui reposent sur des sols perméables et l'utilisation de matériaux rapportés (graviers, granulats, sable) pour distribuer les eaux sur les infrastructures. Or les matériaux rapportés sont systématiquement issus d'exploitation de ressources naturelles. L'extraction et le transport des matériaux drainants nécessaires à la conception des surfaces d'infiltration ont un impact écologique notable en raison des émissions carbone afférentes. Il est également important de mentionner que les matériaux drainants naturels jouent seulement un rôle de distribution de l'eau dans les surfaces d'infiltration. Des solutions alternatives pourraient exister, en effet, les villes génèrent continuellement des quantités importantes de déchets plus ou moins organiques (matériaux de déconstruction, sédiments urbains, déchets verts...) qui pourraient être utilisés sous certaines conditions pour favoriser l'infiltration des sols tout en contribuant à l'économie circulaire. La question de recherche concerne ainsi la pertinence des matériaux urbains disponibles pour concevoir et améliorer les systèmes d'infiltration des eaux urbaines, en tenant compte aussi de leurs potentiels impacts environnementales et sanitaires.

Le travail de recherche de thèse de Doctorat se concentrera ainsi sur : *i*) l'identification et le recensement qualitatif et quantitatif des matériaux urbains disponibles ; *ii*) la caractérisation hydraulique des matériaux (avec notamment modélisation des écoulements dans les systèmes d'infiltration sous COMSOL) ; *iii*) la caractérisation géochimique fine des matériaux sélectionnés ; *iv*) la compréhension des transferts entre phase solide et phase aqueuse en systèmes d'infiltration amendés de ces matériaux ; *v*) l'optimisation des performances (capacité d'infiltration, et filtration - rétention des polluants) en s'appuyant sur des mesures au laboratoire et sur site expérimental.

D'un point de vue opérationnel, la Thèse de Doctorat aboutira au développement et à l'optimisation en contexte urbain de procédés d'infiltration des eaux sobres, durables et résilients.

**Originalité des travaux proposés** : Les travaux récents conduits à REVERSAAL ont montré que l'usage de matériaux carbonés dans les tranchées d'infiltration, comme le broyat de bois, en particulier issu de feuillus, peut constituer un complément intéressant. En effet, le broyat de bois favorise le maintien de l'infiltration dans le sol sous-jacent, même ceux limono-argileux très imperméables, grâce au développement microbiologique dans les tranchées. Des améliorations de la conductivité hydraulique à saturation de 5 à 50 % ont également été observées. Il y a très peu d'études sur les matériaux végétaux disponibles en ville qui pourraient être utilisés directement dans les tranchées d'infiltration. Louis et al. ont également montré que la combinaison sol/broyat de bois permet d'améliorer le stockage du CO<sub>2</sub> dans les systèmes de 5 à 10 %, en améliorant la structuration porale et la biodiversité (santé) des sols (Louis et al., 2024). Par ailleurs, les sédiments urbains et les déchets de construction et de démolition représentent plus de 50 % du total annuel des déchets solides générés dans les villes. En 2016, la quantité de déchets solides en Europe a atteint 322 millions de tonnes, dont 35 % de déchets de construction et de démolition (Taboada et al., 2020). Dans la construction, le recyclage de matériaux pour un usage dans le domaine du génie civil est devenu courant que ce soit pour un renforcement structurel des sols sous les bâtiments ou pour une réutilisation dans la construction (Bauby et al., 2022 ; Lockrey et al., 2016). En outre, des premiers travaux ont montré que les matériaux de construction comme la brique et la tuile pouvaient présenter un intérêt très fort dans les systèmes d'infiltration en apportant des fonctions nouvelles, comme la réduction du phosphore dans l'eau (Tao et al., 2020). Bien entendu, l'usage de ces matériaux dans la ville actuelle pourra présenter des limites, en particulier liés à la présence de contaminants (HAPs ou éléments trace métalliques) (Mbanaso et al., 2019). La thèse de Doctorat a ainsi pour ambition de participer au développement de procédés de traitement complémentaire par le sol pour améliorer la gestion des eaux usées traitées ou pluviales en ville. L'objectif est de parvenir à des solutions moins pénalisantes aussi bien sur le plan financier qu'environnemental avec la promotion de systèmes robustes et fiables qui intègrent des fonctions complémentaires de traitement ou d'auto-entretien afin de favoriser le maintien de l'infiltration dans le temps.

**Moyens mis en œuvre pour atteindre les objectifs** : Le projet de thèse nécessitera la mise en place de dispositifs semi-industriels utilisant des matériaux innovants. Après une caractérisation géochimique fine, ces matériaux seront mis en œuvre sur la plateforme expérimentale Reflet, située dans l'ouest lyonnais. Quatre à six tranchées types seront installées et instrumentées en tenant compte des premiers résultats issus de la phase « laboratoire ». Deux casiers expérimentaux de la plateforme sont déjà disponibles et réservés à cet effet. Un suivi des performances des systèmes à grandeur réelle sera mis en place de manière classique, en utilisant des capteurs et des sondes déjà disponibles sur le site. De plus, un suivi géophysique par tomographie de résistivité électrique sera instauré en utilisant le système open-source développé au sein de l'équipe REVERSAAL, permettant de suivre les chemins de l'eau dans le sol pendant les périodes d'infiltration (Clément et al., 2020). Une modélisation complète du système sera envisagée pour remonter aux propriétés intrinsèques des matériaux et comprendre les mécaniques hydrauliques et physico-chimiques, à partir d'outils de modélisation multiphysique COMSOL, dont plusieurs fichiers ont déjà été développés pour modéliser les systèmes de laboratoire.

**Partenaires opérationnels et financement de la recherche** : La thèse de Doctorat s'appuiera sur l'expérience et les liens forts et historiques entre DEEP, REVERSAAL et le LEHNA sur la thématique des milieux poreux. De plus, le projet de thèse sera adossé au projet MATCARB qui devrait se poursuivre jusqu'en 2027, projet qui s'intéresse à l'usage du broyat de bois pour l'infiltration des eaux usées traitées, à hauteur de 5 à 15 k€ par an.

**Profil recherché** : étudiant en master M2 ou équivalent, très motivé par la recherche et ayant une solide formation avec un excellent niveau en physico-chimie environnementale.

## Sujet de Thèse de Doctorat – 3 ans / PhD Project – 3 years

### Amélioration de l'efficacité des tranchées d'infiltration des eaux résiduaires à partir de déchets urbains / Enhanced efficiency of infiltration trenches for wastewater using urban waste

**Encadrants / Supervisors :** Vincent CHATAIN (Laboratoire DEEP – INSA Lyon / MCF-HDR), Rémi CLEMENT (REVERSAAL – INRAE / IR-HDR), Laurent LASSABATERE (LEHNA – ENTPE / IDTPE-MTES-HDR)

Tel : 04-72-43-81-90

E-mail : [vincent.chatain@insa-lyon.fr](mailto:vincent.chatain@insa-lyon.fr)

Tel : 04-72-20-87-56

E-mail : [remi.clement@inrae.fr](mailto:remi.clement@inrae.fr)

Tel : 04-72-04-70-42

E-mail : [laurent.lassabatere@entpe.fr](mailto:laurent.lassabatere@entpe.fr)

**Adresse / Address :** Laboratoire Déchets Eaux Environnement Pollutions (DEEP), INSA de Lyon, 20 Avenue A. Einstein 69621 Villeurbanne Cedex / Laboratory Wastes Water Environment Pollutions (DEEP), INSA Lyon, 20 Avenue A. Einstein, F-69621 Villeurbanne cedex, France <http://deep.insa-lyon.fr/>

**Mots-clés / Keywords :** capacité d'infiltration ; tranchées drainantes ; déchets urbains ; mobilité des contaminants ; valorisation / infiltration capacity ; drainage trenches ; urban waste ; contaminant mobility ; valorization.

**Summary:** In the context of climate change, it is well established that the impact on water resources is significant, especially in urban areas. In recent years, the innovative concept of the "permeable city" has been highlighted as a response to this challenge for stormwater management. Today, the issue extends to treated wastewater as well, aiming to minimize impacts on surface water bodies.

The challenge of infiltrating stormwater or treated wastewater requires the implementation of infrastructures based on permeable soils and the use of imported materials (gravel, aggregates, sand) to distribute water across the infrastructures. However, these imported materials are consistently derived from natural resources. The extraction and transportation of the necessary draining materials for infiltration surfaces have a notable ecological impact due to associated carbon emissions. It is also important to note that natural draining materials only play a role in water distribution within infiltration surfaces. Alternative solutions could exist; cities continually generate significant quantities of more or less organic waste (construction materials, urban sediments, green waste...) which could be used under certain conditions to promote soil infiltration while contributing to the circular economy. The research question thus concerns the relevance of available urban materials to design and improve urban water infiltration systems, considering their potential environmental and health impacts.

The doctoral research work will focus on: *i*) the identification and qualitative and quantitative inventory of available urban materials; *ii*) the hydraulic characterization of materials (including flow modeling in infiltration systems under COMSOL); *iii*) the fine geochemical characterization of selected materials; *iv*) understanding transfers between solid and aqueous phases in infiltration systems amended with these materials; *v*) optimizing performances (infiltration capacity and filtration - pollutant retention) based on laboratory and experimental site measurements.

From an operational point of view, the doctoral thesis will lead to the development and optimization, in an urban context, of sober, sustainable, and resilient water infiltration processes.

**Originality of the proposed research:** The recent work conducted at REVERSAAL has demonstrated that the use of carbonaceous materials in infiltration trenches, such as wood chips,

particularly those derived from hardwoods, can be an interesting addition. Indeed, wood chips promote the maintenance of infiltration in the underlying soil, even in highly impermeable silty-clay soils, through microbiological development in the trenches. Improvements in hydraulic conductivity at saturation from 5 to 50% have also been observed.

There are very few studies on urban plant materials that could be directly used in infiltration trenches. Louis et al. have also shown that the combination of soil/wood chips improves CO<sub>2</sub> storage in systems by 5 to 10%, by enhancing soil pore structure and biodiversity (Louis et al., 2024). Furthermore, urban sediments and construction and demolition waste represent over 50% of the total annual solid waste generated in cities. In 2016, the quantity of solid waste in Europe reached 322 million tons, with 35% being construction and demolition waste (Taboada et al., 2020). In construction, material recycling for use in civil engineering has become common, whether for structural reinforcement of soils under buildings or for reuse in construction (Bauby et al., 2022; Lockrey et al., 2016). Moreover, initial studies have shown that construction materials such as brick and tile could be highly beneficial in infiltration systems by providing new functions, such as phosphorus reduction in water (Tao et al., 2020). Of course, the use of these materials in the current city may have limitations, particularly related to the presence of contaminants (PAHs or trace metal elements) (Mbanaso et al., 2019).

The doctoral thesis thus aims to contribute to the development of complementary soil treatment processes to improve the management of treated or stormwater in urban areas. The aim is to achieve solutions that are less damaging both financially and environmentally, with the promotion of robust, reliable systems that incorporate additional treatment or self-maintenance functions to help preserve the effectiveness of infiltration in the long term.

**Resources used to achieve objectives:** The doctoral project will involve setting up semi-industrial facilities using innovative materials. After in-depth geochemical characterization, these materials will be implemented on the Reflet experimental platform, located in the western part of Lyon. Four to six standard trenches will be installed and instrumented, taking into account the initial results of the laboratory phase. Two experimental trays on the platform are already available and dedicated to this purpose. Full-scale monitoring of system performance will be carried out conventionally, using sensors and probes already available on site. Additionally, geophysical monitoring using electrical resistivity tomography will be implemented using the open-source system developed within the REVERSAAL team, allowing tracking of water pathways in the soil during infiltration periods (Clément et al., 2020). A comprehensive modeling of the system will be considered to deduce the intrinsic properties of the materials and understand the hydraulic and physicochemical mechanics, using multiphysics modeling tools like COMSOL, for which several files have already been developed to model laboratory systems.

**Operational partners and research funding:** The PhD thesis will build on the experience and strong historical connections between DEEP, REVERSAAL and LEHNA on the topic of porous media. In addition, the thesis proposal will be supported by the MATCARB project, which is scheduled to be ongoing until 2027. The MATCARB project focuses on the use of wood chips for infiltration of treated wastewater, with funding ranging from 5 to 15 k€ per year.

**Candidate profile:** M2 Master's student or equivalent, highly motivated by research and with a solid background in environmental physical chemistry.