

# Résumé

Dans un monde qui s'urbanise rapidement, les surfaces imperméables continuent à se développer, entraînant une diminution du taux d'infiltration dans le sol et une augmentation du ruissellement superficiel. Ce ruissellement provoque une altération du *régime hydrologique naturel* et la dégradation des milieux aquatiques. En particulier, le ruissellement des chaussées et des voiries urbaines, connus pour leur grande imperméabilité et leur forte contamination par des micropolluants organiques et métalliques. Des alternatives à la gestion classique des eaux pluviales, des *systèmes végétalisés* favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration, peuvent être installés en bordure des voiries. Ils visent un traitement ou un prétraitement des eaux de ruissellement pour les pluies courantes mais aussi un retour vers un fonctionnement hydrologique plus proche du bilan naturel. Le fonctionnement hydrologique de ces dispositifs en milieu urbain, en particulier le long des voiries, n'est pas encore suffisamment maîtrisé. Cette thèse vise à comprendre le fonctionnement hydrologique de ce type d'ouvrage et à analyser les conséquences en termes de conception. Les ouvrages étudiés sont deux bandes enherbées et une noue filtrante situées en bordure d'une route départementale en région parisienne.

La première partie du travail consiste en la mise en place d'un *dispositif métrologique* permettant le suivi en continu d'un ouvrage pour les flux entrant, sortant et le stockage dans le sol. Elle comprend également un *travail expérimental* de caractérisation de l'hydrodynamique du sol et de calibration de la mesure de la teneur en eau. Une variabilité spatiale significative - horizontale et verticale - de la conductivité hydraulique à saturation du sol a été mise en évidence. Elle est dominante par rapport aux incertitudes de mesure et affecte les volumes et les débits de pointe sortant de l'ouvrage. Les équations d'étalonnage spécifiques au type de sol et les incertitudes associées pour deux capteurs capacitifs de teneur en eau sont fournies dans cette partie.

Une évaluation de la performance hydrologique et des bilans hydriques de la noue filtrante pour les pluies courantes et à différentes échelles de temps a été réalisée sur la base des *résultats expérimentaux*. Les facteurs affectant le fonctionnement hydrologique de l'ouvrage ainsi que les incertitudes liées au calcul des bilans hydriques sont également analysés. La noue filtrante a montré des performances hydrologiques intéressantes (réduction du volume de ruissellement, réduction du débit de pointe, ...). En ce qui concerne le bilan hydrique, l'incertitude du calcul ainsi que les éventuelles pertes *in situ* ne sont pas négligeables et représentent un pourcentage relativement important du volume entrant dans la structure.

La troisième partie de la thèse, consiste en une *approche de modélisation*, en vue de tester le potentiel d'un outil de modélisation à base physique pour analyser le fonctionnement hydrologique des dispositifs de filtration végétalisés. A l'aide de ce modèle, des bilans hydriques et des performances hydrologiques pour différentes configurations de bandes enherbées sont établis. Les résultats montrent que la validation du modèle sur la base des seules données de teneur en eau n'est pas suffisante si l'objectif est de modéliser le bilan hydrique, et en particulier le ruissellement. La bande enherbée joue un rôle important dans la performance hydrologique du système de gestion des eaux pluviales. En effet, cette bande est capable de réduire complètement le volume et les pics de ruissellement de la chaussée.

Cette recherche démontre l'intérêt des ouvrages végétalisés pour la gestion des eaux ruissellement de chaussées. Elle apporte également des suggestions pour la conception et l'évaluation hydrologique de ces systèmes.

**Mots-clés :** Eaux pluviales, Eaux de voirie, Infiltration, Propriétés hydrauliques du sol, Techniques alternatives, Gestion à la source, Modélisation hydrologique, Base de données.

# Abstract

In a world of rapid urbanization, impervious surfaces continue to expand, resulting in a decrease in soil infiltration and an increase in surface runoff. This runoff causes an alteration of the *natural hydrological regime* and the degradation of aquatic environments. In particular, runoff from urban roads and pavements, known for their high impermeability and their high contamination by organic and metallic micropollutants. Alternatives to traditional stormwater management, SuDS (*Sustainable Drainage Systems*) that promote infiltration and evapotranspiration, can be installed along roads. They aim at treating or pre-treating runoff water but also at returning to a hydrological functioning closer to the natural balance. The hydrological functioning of these systems in urban areas, particularly along roadways, is not yet sufficiently understood. This thesis aims to understand the hydrological functioning of this type of structure and to analyze the consequences in terms of design. The structures studied are two filter strips and a bioretention swale located along a departmental road in the Paris region.

The first part of this work consists in the implementation of measurement instruments allowing the *continuous monitoring* of a vegetated system for the inflow, outflow and soil storage. It also includes an *experimental work* of characterization of soil hydrodynamics and calibration of water content probes. A significant spatial variability - horizontal and vertical - of the soil saturated hydraulic conductivity has been demonstrated. It is dominant relative to measurement uncertainties and affects the volumes and peak flows leaving the system. Soil-specific calibration equations and associated uncertainties for two capacitive water content sensors are provided in this section.

An evaluation of the hydrological performance and water balance of the bioretention swale at different time scales was carried out on the basis of the *experimental results*. Factors affecting the system hydrological functioning as well as

uncertainties related to water balance calculation are also analyzed. The bioretention swale showed promising hydrological performances (runoff reduction, peak flow attenuation, ...). Regarding the water balance, calculation uncertainties as well as possible in situ water losses are not negligible and represent a relatively large percentage of the volume entering the structure.

The third part of the thesis, consists of a *modeling approach*, in order to test the potential of a physics-based modeling tool to analyze the hydrological functioning of vegetated filtration devices. By means of this model, water balances and hydrological performances for different configurations of vegetated filter strips are established. The results show that model validation based on water content data alone is not sufficient if the objective is to model water balances, and in particular surface runoff. The filter strip plays an important role in the hydrological performance of the stormwater management system. Indeed, this strip is able to completely reduce runoff volume and peak flow generated by the road.

This research highlights the benefits of SuDS (Sustainable Drainage Systems) in managing road runoff. It also provides suggestions for the design and hydrological evaluation of these systems.

**Keywords** : Stormwater, Roadside, Infiltration, Soil hydraulic properties, Stormwater, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Hydrological modeling, Data base