

Résumé

L'infiltration à la source des pluies courantes est largement encouragée par les pouvoirs publics. Pourtant, les conséquences d'une systématisation de ces pratiques à l'échelle du quartier ou de la ville restent mal connues, notamment du point de vue du compartiment souterrain. Outre la question de l'éventuelle pollution des nappes par l'eau issue du ruissellement urbain, différents travaux démontrent le risque d'introduire une recharge excessive des aquifères ou mettent en lumière les fortes incertitudes quant à la proportion des volumes infiltrés participant effectivement à la recharge des nappes et aux débits de base ou à celle regagnant finalement le réseau d'assainissement par infiltration des eaux souterraines dans les conduites. Le faible nombre d'études et le caractère spécifique des sites d'application limitent toutefois la compréhension des mécanismes en jeu et de l'influence du contexte naturel et urbain.

Cette thèse vise à préciser les effets potentiels d'une systématisation de l'infiltration à la source des eaux pluviales sur le fonctionnement hydrologique de petits bassins versants urbanisés et les facteurs gouvernant ces effets (caractéristiques du contexte climatique, hydrogéologique, d'occupation des sols et de la stratégie d'infiltration mise en œuvre). Il s'agit par ailleurs d'apporter des éléments de compréhension quant aux apports et limites des modèles hydrologiques distribués pour l'évaluation de stratégies d'infiltration à l'échelle du quartier ou de petits bassins versants.

La réponse à ces objectifs s'appuie sur l'utilisation du modèle URBS qui permet de simuler en continu et de manière distribuée le fonctionnement hydrologique de zones urbanisées. La représentation du compartiment souterrain a été enrichie et consolidée pour simuler plus finement les écoulements en zone non-saturée et saturée et modéliser une plus grande variété de sols, d'aquifères et de structures souterraines.

Le fonctionnement hydrologique d'un ensemble de bassins versants fictifs a été modélisé en faisant varier les caractéristiques du contexte climatique, hydrogéologique, d'occupation des sols et de la stratégie d'infiltration. Les résultats confirment l'intérêt des ouvrages d'infiltration pour la maîtrise du ruissellement et mettent en évidence leurs limites pour rétablir les autres composantes du bilan hydrologique, en particulier le flux d'évapotranspiration. Les ouvrages d'infiltration entraînent en conséquence un accroissement de la recharge pouvant se traduire

par une élévation de la nappe générant des interactions complexes entre volumes infiltrés, nappe, végétation et structures souterraines, en particulier en présence d'une nappe peu profonde et d'un aquifère peu transmissif. Outre le contexte hydrogéologique, le climat (e.g. répartition des précipitations et de la demande évaporative) et les caractéristiques de l'occupation des sols (e.g. densité) et sous-sols (e.g. type et répartition des structures souterraines) sont déterminants dans la capacité à retrouver un fonctionnement hydrologique pré-développement. Les résultats suggèrent ainsi que les stratégies d'infiltration doivent être adaptées localement aux spécificités du contexte et envisagées en combinaison d'une maîtrise de l'imperméabilisation et/ou d'autres ouvrages (e.g. toitures végétalisées).

La simulation du fonctionnement hydrologique d'un secteur en cours d'urbanisation situé en région parisienne a montré la pertinence d'un tel outil pour l'étude du fonctionnement hydrologique des milieux urbanisés mais aussi ses limites dans un contexte opérationnel. Elle a permis d'illustrer la forte incertitude liée à la méconnaissance du sous-sol et d'identifier des pistes d'amélioration du modèle, notamment sur la description de la transpiration.

Mots-clés : Gestion des eaux pluviales ; Modélisation hydrologique ; Hydrologie ; Hydrogéologie.

Abstract

Source-control infiltration practices are widely promoted by public authorities. However, the consequences of a systematization of these methods at the neighborhood or city scale remain poorly known, especially with regard to the underground compartment. In addition to the question of the possible pollution of groundwater by urban runoff, various studies demonstrate the risk of introducing an excessive recharge of aquifers or highlight the strong uncertainties regarding the proportion of infiltrated volumes that actually contributes to groundwater recharge and to base flows or that finally returns to the sewerage system by groundwater seepage into the pipes. However, the small number of studies and the site-specific nature of the applications limit the understanding of the mechanisms involved and of the influence of the natural and urban context.

This thesis aims at specifying the potential effects of a systematization of stormwater source-control practices on the hydrological functioning of small urbanized watersheds and the factors governing these effects (characteristics of the climatic, hydrogeological and land use context and of the implemented infiltration strategy). It also aims to provide insights into the contributions and limitations of distributed hydrological models for the evaluation of infiltration strategies at the neighborhood or small watershed scale.

The response to these objectives is based on the use of the URBS model which allows continuous and distributed simulation of the hydrological functioning of urbanized areas. The underground compartment depiction has been enriched and consolidated to more finely simulate unsaturated and saturated flows and to model a wider variety of soils, aquifers and underground structures.

The hydrological functioning of a set of hypothetical watersheds is modeled varying the characteristics of the climatic and hydrogeological context, the land use and the infiltration strategy. Results confirm the benefits of infiltration systems for runoff control and highlight their limitations in restoring the other components of the water balance, especially the evapotranspiration flow. As a consequence, infiltration devices increase groundwater recharge, which can lead to a rise in the water table, generating complex interactions between infiltrated volumes, water table, vegetation and underground structures, especially in the presence of a shallow water table

and a low-transmissive aquifer. Besides the hydrogeological context, the climate (e.g. distribution of precipitation and evaporative demand) and the characteristics of the land use (e.g. density) and subsoil (e.g. type and distribution of subsurface structures) are determinant in the ability to recover a pre-development hydrological functioning. Results suggest that source-control infiltration strategies should be locally defined according to the specificities of the context and considered in combination with a control of imperviousness and/or other types of devices (e.g. green roofs).

The simulation of the hydrological functioning of a partially urbanized watershed located in the Paris region highlights the relevance of such a tool to study the hydrological functioning of urbanized environments, but also its limitations for operational purposes. This application illustrates the high uncertainty linked to the lack of knowledge of the subsurface compartment composition and to identify ways to improve the model, especially regarding the description of transpiration.

Keywords : Stormwater management ; Hydrological modelling ; Hydrology ; Hydrogeology.