

Résumé

Le développement des réseaux séparatifs entraîne le transfert fréquent de polluants urbains vers les milieux récepteurs (plans d'eau, rivières, etc.). La compréhension des processus de production et de lessivage des polluants dans le milieu urbain est pourtant incomplète à l'heure actuelle. Afin de répondre aux questions liées à la gestion des eaux urbaines, l'amélioration des connaissances des processus physiques est nécessaire, tant au niveau des surfaces urbaines que les réseaux d'assainissement. Pour cela, la modélisation du transfert hydrologique des polluants en milieu urbain peut être un outil précieux.

Cette thèse a pour objectif de développer et d'analyser des modèles distribués à base physique pour simuler les flux de polluants routiers (Matières En Suspension (MES), Hydrocarbures, Métaux) dans un environnement urbain. Elle s'inscrit dans le cadre du projet ANR "Trafipollu" et bénéficie des résultats expérimentaux mis en œuvre dans ce projet pour la calibration et validation des modèles utilisés. Le travail de thèse s'articule autour de deux échelles de modélisation : l'échelle locale et l'échelle du quartier.

A l'échelle locale, le code FullSWOF (volumes finis, schéma numérique d'ordre 2) couplé au modèle d'érosion d'Hairsine and Rose (1992a; 1992b) et des données géographiques très détaillées (résolution spatiale centimétrique) ont été utilisés et adaptés afin d'améliorer nos connaissances des processus physiques du lessivage des polluants sur les surfaces urbaines. La comparaison aux mesures en continu permet d'évaluer la performance d'une modélisation physique pour représenter les variations spatiales et temporelles des processus de transferts des polluants sur les surfaces urbaines. Les analyses des résultats obtenus permettent de constater la prédominance des effets d'arrachement liés à la pluie sur les processus d'entraînement par l'advection sur la majeure partie du bassin versant routier. L'utilisation d'un modèle d'érosion pour modéliser le transport particulaire en zone urbaine est une innovation importante de cette thèse.

A l'échelle du quartier, la deuxième étape du travail consiste à coupler séquentiellement le modèle TREX (Velleux, England, et al., 2008) avec le modèle CANOE (Alison, 2005), nommé "TRENOC" plateforme. En changeant différentes options de mise en œuvre et de configurations du modèle, l'adaptation de la précision numérique et l'utilisation de données détaillées d'occupation du sol semblent être les facteurs clés pour une telle modélisation. Par ailleurs, ce couplage a montré des problèmes de fond tels que la modélisation du schéma numérique des flux en surface (seulement dans 4 directions), ainsi que l'utilisation de l'équation USLE pour simuler l'érosion en milieu urbain, ne comprenant pas d'impact des gouttes de pluie pour la modélisation.

Pour remédier à ces défauts, la plateforme opensource LISEM-SWMM est développée en couplant le modèle LISEM (De Roo, Wesseling, et al., 1996), modèle d'érosion développé initialement pour le milieu naturel, et le modèle SWMM (Rossman, 2010). Pour la première fois, la modélisation hydrologique s'appuie aussi sur l'utilisation de sorties de modèles atmosphériques pour les dépôts des particules fines (PM10), hydrocarbures et métaux. Les résultats montrent que l'emploi de modèles totalement distribués peut arriver à reproduire de manière très fine les dynamiques des particules, des hydrocarbures et des métaux. Même si à ce stade la plateforme développée nécessite des améliorations pour adapter aux utilisations dans le champ opérationnel, ceci constitue une avancée pour le domaine de modélisation du transfert hydrologique des polluants routiers en milieu urbain.

Abstract

Nowadays, the increasing use of separate stormwater systems causes a frequent transport of urban pollutants into receiving water bodies (lakes, rivers). However, current studies still lack of the knowledge of urban build-up and wash-off processes. In order to address urban management issues, better understanding of physical mechanism is required not only for the urban surfaces, but also for the sewer systems. In this context, the modelling of hydrological transfer of urban pollutants can be a valuable tool.

This thesis aims to develop and assess the physically-based and distributed models to simulate the transport of traffic-related pollutants (suspended solids, hydrocarbons, heavy metals) in urban stormwater runoffs. This work is part of the ANR "Trafipollu" project, and benefit from the experimental results for model calibration and validation. The modelling is performed at two scales of the urban environment: at the local scale and at the city district scale.

At the local scale of urban environment, the code FullSWOF (second-order finite volume scheme) coupled with Hairsine and Rose model (1992a; 1992b) and detailed monitoring surveys is used to evaluate urban wash-off process. Simulations over different rainfall events represent promising results in reproducing the various dynamics of water flows and particle transfer on the urban surfaces. Spatial analysis of wash-off process reveals that the rainfall-driven impacts are two orders of magnitude higher than flow-drive effects. These findings contribute to a significant improvement in the field of urban wash-off modelling. The application of soil erosion model to the urban context is also an important innovation.

At the city district scale, the second step consists of coupling the TREX model (Velleux, England, et al., 2008) and the CANOE model, named "TRENOC" platform. By altering different options of model configurations, the adequate numerical precision and the detailed information of landuse data are identified as the crucial elements for achieving acceptable simulations. Contrarily, the high-resolution topographic data and the common variations of the water flow parameters are not equally significant at the scale of a small urban catchment. Moreover, this coupling showed fundamental problems of the model structure such as the numerical scheme of the overland flow (only 4 directions), and the empirical USLE equations need to be completed by raindrop detachment process.

To address these shortcomings, the LISEM - SWMM platform is developed by coupling the open-source LISEM model (De Roo, Wesseling, et al., 1996), which is initially developed for soil erosion simulations, and the SWMM model (Rossman, 2010). For the first time, the hydrological model is also supported by the simulations of atmospheric dry deposits of fine particles (PM10), hydrocarbons and heavy metals. The performance of water flow and TSS simulations are satisfying with the calibrated parameters. Considering the hydrocarbons and heavy metals contents of different particle size classes, simulated event mean concentration of each pollutant is comparable to local in-situ measurements. Although the platform at current stage still needs improvements in order to adapt to the operational applications, the present modelling approach contributes to an innovative technology in the field of modelling of hydrological transfer of the traffic-related pollutants in urban environment.