

## ***RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS***

Le changement de paradigme qu'a connu l'hydrologie urbaine au cours des dernières décennies a vu l'émergence de nouvelles pratiques de gestion à la source des eaux pluviales, dont la finalité a elle-même évolué au cours du temps : d'une vocation essentiellement hydraulique – pallier les insuffisances du réseau d'assainissement par une maîtrise des volumes et des débits ruisselés – on parvient aujourd'hui à une vision plus « intégrée » de ces systèmes. Les recherches menées à l'échelle d'un ouvrage ont révélé des avantages « multi-composantes » de ces dispositifs : réduction des volumes renvoyés au réseau, recharge de la nappe phréatique, interception d'une partie des flux polluants, évapotranspiration et rafraîchissement de l'air ambiant, support à la biodiversité, fonction paysagère. Néanmoins l'effet « cumulé » de ces pratiques à l'échelle d'un quartier ou même d'un territoire urbain demeure assez mal appréhendé à l'heure actuelle. C'est pour cette raison que le thème R4 d'OPUR5 développe des outils de modélisation intégrée « hydrologie – Pollution – Climat urbain » afin d'évaluer les « effets combinés » d'une diffusion des nouveaux modes de gestion des eaux pluviales urbaines, et plus précisément leur capacité à compenser certains impacts négatifs des changements globaux dans la ville (évolution urbaine, changement climatique, modifications des pratiques de construction, trafic, usages, ...).

Afin de mettre en œuvre cette démarche de modélisation dans son ensemble, un consortium de recherche a été constitué entre trois équipes : le LEE (Univ. Gustave Eiffel), le CEREMA Ile de France et le LEESU (ENPC/UPEC). Ce partenariat s'appuie sur trois outils de modélisation : SWMM, URBS et TEB-Hydro.

L'action 4.5 vise à coordonner les travaux de modélisation du thème R4, pour tendre à moyen terme vers des outils de recherche et d'expertise, intégrés « Hydrologie – Pollution – Climat urbain ».

## ***BILAN DE L'ACTION R4.5***

Depuis le démarrage de la phase 5 d'OPUR en 2019, un effort important a été déployé pour capitaliser autour des deux modèles URBS et TEB qui sont utilisés dans les différentes actions de recherche du thème R4. Un bilan des développements réalisés dans le cadre d'OPUR5 est donné ci-dessous :

### ***Modèle URBS***

Le modèle URBS peut être défini comme un modèle intégré et distribué, permettant de représenter les principaux processus hydrologiques de surface ou de subsurface à l'échelle d'unités spatiales résultant d'une discréétisation du BV d'étude. Sur chacune de ces unités spatiales, différents profils d'occupation du sol peuvent être représentés : bâti, voirie et surface naturelles (dans la version initiale du modèle). Pour chacun de ces profils, les processus hydrologiques sont modélisés en considérant 4 « réservoirs » : le couvert végétal, la surface, la zone non-saturée et la nappe.

La discréétisation spatiale initialement implémentée dans URBS était basée sur la parcelle cadastrale. Elle était principalement justifiée par des considérations pratiques (disponibilité de la donnée) ainsi que sa pertinence pour décrire le réseau hydrographique. Elle s'avérait en revanche peu adaptée à une description fine des écoulements en nappe ou à la prise en compte d'élévations localisées du

niveau de la nappe telles que celles causées par les ouvrages d'infiltration. Le sol était décrit comme un milieu semi-infini, caractérisé par une décroissance exponentielle de la perméabilité, et identique en tout point du domaine d'étude. Bien que potentiellement pertinente dans des contextes où les caractéristiques du milieu sont mal connues, cette description restreignait fortement le domaine d'application de l'outil et constituait une limite relativement aux objectifs décrits plus haut (diversité de contextes hydrogéologiques). Le calcul des flux d'interface s'appliquant à la zone non-saturée (infiltration, évapotranspiration et échanges avec la nappe) était par ailleurs conditionné par la description très élémentaire de son état hydrique, consistant en un profil homogène de teneur en eau. Enfin, si le modèle permettait bien de représenter le transfert du ruissellement via des noues perméables, il ne permettait en revanche pas de tenir compte de façon explicite et localisée de leur impact sur le sous-sol et la nappe (les volumes infiltrés étant réaffectés aux unités spatiales adjacentes aux noues, sans tenir compte de l'emprise spatiale de ces dernières).

Afin de répondre aux limites posées par le découpage de l'espace selon la parcelle cadastrale, la possibilité de définir un second niveau de discréttisation dédié au calcul des écoulements en nappe et permettant d'affiner localement l'estimation des interactions avec les ouvrages d'infiltrations ou les structures souterraines a été introduite. Le mode de calcul des échanges souterrains entre les unités spatiales a par ailleurs été consolidé. La description du sol a été adaptée afin d'étendre le domaine d'application de l'outil à une plus grande diversité de contextes hydrogéologiques (sol homogène ou stratifié avec un substratum imperméable). La possibilité de faire varier la nature et l'agencement des formations d'une unité spatiale à l'autre a également été introduite. Afin de fiabiliser le calcul des flux s'appliquant à la zone non-saturée, des modifications ont été apportées pour décrire de façon plus réaliste le profil de teneur en eau (succession de couches de teneurs en eau variables plutôt qu'un unique réservoir de teneur en eau uniforme). Un profil supplémentaire d'occupation du sol correspondant aux ouvrages d'infiltration a été introduit afin de mieux rendre compte de leur effet sur le sous-sol. Des développements spécifiques ont enfin été réalisés pour étendre la gamme des structures souterraines modélisables (pompes, sous-sols drainants ou non, réseaux) tout en tirant parti des modifications apportées à la description des écoulements en nappe. Les modifications apportées à la description du compartiment souterrain ont été évaluées par comparaison à des modèles de référence sur une série de cas test : FEFLOW pour la zone-saturée (nappe) et HYDRUS-1D pour la zone non-saturée.

Ces développements permettent d'aboutir à un cadre de modélisation original et complémentaire des outils existants (modèles d'hydrologie urbaine plus classiques ou modèles hydrogéologiques plus détaillés). Le modèle apparaît en particulier adapté à une évaluation (sur de longues périodes et à pas de temps fin) des effets des stratégies d'infiltration à l'échelle du quartier ou de petits BV urbains. Il présente également l'avantage de conserver une description relativement simple du milieu et des processus, garantissant ainsi des temps de calcul raisonnables, propice à des applications impliquant de multiples scénarios, par exemple, pour tenir compte d'incertitudes sur la composition du compartiment souterrain ou plus largement sur la paramétrisation du modèle.

### **Modèle TEB :**

Le modèle TEB (Town Energy Balance) appartient à une plateforme de modélisation appelée SURFEX, qui décrit les transferts d'énergie et d'eau entre le sol, la végétation et l'atmosphère. La segmentation de l'espace se base sur un maillage régulier d'environ 250 m de côté. Le modèle évalue les transferts moyens par maille, mais il est possible de distinguer les types de surface à l'intérieur de la maille en faisant appel à des modules différents : Surfaces d'eau ouvertes ou fermées (Module FLAKE), Surfaces naturelles (Module ISBA), Surfaces urbaines (TEB).

Le module TEB-VEG qui couple TEB et ISBA au sein d'une maille « surface urbaine » a permis de décrire la végétation à l'intérieur des surfaces urbaines. Il introduit ainsi une segmentation conceptuelle d'une surface urbaine en trois compartiments : bâti, voirie, et jardins (figure 1). Le développement de TEB-HYDRO a permis d'améliorer la description du système en représentant dans le modèle le sol situé sous le bâti et la voirie et en décrivant le réseau d'assainissement. L'infiltration de l'eau a lieu dans les jardins et, dans une moindre mesure sous les voiries, puis une redistribution latérale s'effectue dans le sol des trois compartiments. Pour ce qui est des transferts en réseau d'assainissement, seule une option de « routage » de l'hydrogramme à vitesse constante, avec sommation des différents signaux au niveau des jonctions, est disponible à ce jour. Dans le cadre d'OPUR5, les travaux de post-doc de José-Manuel Tunqui-Neira ont permis d'implémenter dans TEB-HDRO un module de représentation des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales et de description de leur fonctionnement hydrologique.

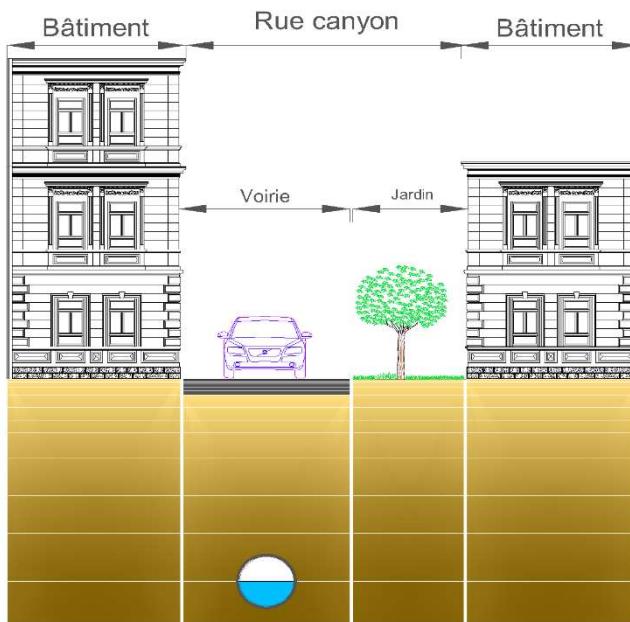


Figure 1 : Représentation de l'environnement urbain dans le modèle TEB-HYDRO à travers 3 compartiments : bâtiment, voirie et jardin

Le module OGS est développé dans le cadre de l'action R4.2. Le codage du modèle dans TEB est terminé et son évaluation est en cours.

Par ailleurs des travaux sont en cours dans le cadre de l'action 4.4 pour développer et implémenter dans TEB-Hydro un module de calcul des flux de biocides dans les eaux de ruissellement à l'échelle urbaine

## ***CONTACTS***

Ghassan Chebbo, [ghassan.chebbo@enpc.fr](mailto:ghassan.chebbo@enpc.fr)

Katia Chancibault, [katia.chancibault@ifsttar.fr](mailto:katia.chancibault@ifsttar.fr)

Marie-Christine Gromaire, [marie-christine.gromaire@enpc.fr](mailto:marie-christine.gromaire@enpc.fr)

Fabrice Rodriguez, [fabrice.rodriguez@univ-eiffel.fr](mailto:fabrice.rodriguez@univ-eiffel.fr)

Emmanuel Berthier, [emmanuel.berthier@cerema.fr](mailto:emmanuel.berthier@cerema.fr)

Jérémie Sage, [jérémie.sage@cerema.fr](mailto:jeremie.sage@cerema.fr)