

# **Intérêt de l'hydrométéorologie en milieu urbain**

Hervé Andrieu

Division Eau, LCPC, BP4129, 44341 Bouguenais Cedex

## **1. Introduction**

Le fonctionnement hydrologique, quantitatif et qualitatif des zones urbaines est apparemment simple. En présence d'un système séparatif, deux réseaux assurent l'évacuation des eaux pluviales et la collecte et le transport des eaux usées. En présence d'un système unitaire les deux fonctions sont assurées par le même réseau. La réalité est cependant beaucoup moins évidente, notamment dans le cas des systèmes séparatifs qui équipent la quasi-totalité de zones urbanisées durant les cinquante dernières années. En effet, le réseau d'eaux pluviales transporte vers le milieu naturel toute la pollution issue des surfaces urbaines sur lesquelles cette eau ruisselle. Le réseau d'eaux usées se comporte quant à lui comme un réseau d'eaux pluviales en drainant une partie des eaux de pluie qui se sont infiltrées dans le sol (Joannis et al., 1993). Pour la grande majorité des événements pluvieux, la proportion des eaux pluviales que l'on retrouve dans le réseau de drainage varie d'un événement pluvieux à l'autre, et reste largement inférieure au coefficient d'imperméabilisation des bassins versants (Berthier et al., 1999). Ces observations confirment que notre connaissance du fonctionnement hydrologique des zones urbaines reste encore imparfaite. Ce constat s'explique par le fait que les recherches ont surtout porté sur la réponse des bassins versants urbains aux événements pluvieux importants qui intervenaient dans le dimensionnement des réseaux d'évacuation des eaux pluviales. Il reste donc un important effort de recherche à fournir pour décrire et modéliser le fonctionnement des systèmes d'assainissement par temps de pluie, c'est à dire lors d'évènements pluvieux courants. On pressent d'ores et déjà que ce fonctionnement est assez largement dépendant de l'état hydrique du sol urbain (Berthier et al., 2001) et du contexte climatique. Les échanges d'eau entre le sol et l'atmosphère en milieu urbain ont donc certainement une influence sur le fonctionnement des hydrosystèmes urbains.

## **2. Particularités des hydrosystèmes urbains**

L'urbanisation affecte le cycle de l'eau à différents niveaux. L'imperméabilisation et les aménagements de la surface du sol constructions, voiries... modifient le ruissellement de l'eau et les écoulements dans un réseau hydrographique qui se transforme en réseau sous-terrain d'évacuation des eaux pluviales (Raimbault, 1996). Mais les aménagements du sous-sol urbain: présence de nombreuses tranchées de fondations et d'ouvrages sous-terrain... modifient les écoulements dans le sous-sol proche. Enfin les deux réseaux pluviales et d'eaux usées participent à l'évacuation des eaux de pluie et au drainage des eaux présente dans le sol. Sur le plan quantitatif, les hydrosystèmes urbains ont indéniablement un fonctionnement complexe qui présente un réel attrait scientifique. Cet attrait scientifique est rehaussé par un certain nombre de spécificités du milieu urbain. Les échelles spatiale et temporelles d'intérêt s'éloignent des échelles d'intérêt classiques de l'hydrologie. A la différence de systèmes hydrologiques plus classiques, le milieu urbain et par conséquent son fonctionnement hydrologique, évolue très rapidement. Le milieu urbain est en outre bien documenté, grâce au développement des banques de données urbaines. Les modèles représentant les hydrosystèmes urbains doivent donc s'adapter à ces spécificités. La qualité de la documentation du milieu urbain, l'évolution permanente qu'il connaît laissent penser que des modèles à base physique capables d'intégrer de nouveaux aménagements sont bien adaptés à la représentation d'un hydrosystème urbain. Il faut malgré tout bien prendre garde à ne pas opposer

systématiquement milieu urbain et milieu naturel. Les espaces totalement urbanisés se limitent aux centres-villes. Il existe de fait une continuité entre le milieu urbain et le milieu naturel, les zones péri-urbaines de transition étant soumises à des forçages anthropiques très variables. La continuité entre milieu urbain et milieu naturel se retrouve également au niveau des différents mécanismes mis en jeu, dont la nature reste généralement identique dans les différents milieux, mais dont l'influence dépend du niveau d'urbanisation des bassins versants.

Au-delà de l'intérêt scientifique d'une description détaillée du fonctionnement des hydrosystèmes urbains, il existe d'importants besoins qui justifient l'intérêt d'un nouvel effort de recherche dans ce domaine.

### **3. Les besoins en hydrologie urbaine**

Les préoccupations environnementales rendent de moins en moins acceptables les rejets polluants au milieu naturel. Les gestionnaires de systèmes d'assainissement devront donc dans l'avenir assurer le traitement et l'évacuation des eaux de temps de pluie, c'est à dire issues des réseaux unitaires et pluviaux, en minimisant ces rejets. Il est vraisemblable que cette contrainte va progressivement imposer une conception renouvelée de l'évacuation des eaux de temps de pluie. Les réseaux ont jusqu'à présent été conçus pour transférer rapidement ces eaux vers l'exutoire des bassins versants. Il transite donc des volumes et des débits importants dont le stockage que nécessite une dépollution est difficile voire impossible à assurer. Le même problème se pose pour les eaux unitaires qui doivent être déversées dans le milieu naturel lors de sollicitations pluvieuses afin de ne pas perturber le fonctionnement des stations d'épuration. La seule solution pour résoudre ce problème consiste à délaissier le transfert rapide des eaux pluviales vers l'exutoire au profit d'une limitation des débits et du stockage des eaux pluviales. Un certain nombre de villes se sont engagées dans cette direction en imposant une limitation du ruissellement à la parcelle, en concevant des dispositifs d'infiltration ou de stockage des eaux pluviales, telles que les chaussées poreuses (Azzout et al., 1994), dont l'usage s'étend. Une telle conception de la gestion des eaux urbaines de temps de pluie aura inévitablement une influence sur l'état hydrique de sols urbains amenés à retrouver une fonction de stockage des eaux pluviales qu'ils avaient perdue.

L'effort de recherche en hydrologie urbaine s'est centrée sur l'étude de la réponse des bassins versants à des pluies importantes afin de fournir des méthodes de dimensionnement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales. Les modèles actuellement utilisés par les villes, tels que CANOE (Insavalor et sogreah, 1997) constituent le résultat de ces efforts. Certaines villes sont cependant confrontés à un risque pluvial susceptible d'entraîner de graves conséquences. Lors d'évènements pluvieux très intenses pour lesquels le réseau souterrain est insuffisant, les écoulements se font en surface, la voirie se transforme en réseau hydrographique. Certaines villes : Nancy, Bordeaux, Marseille, parmi d'autres ont engagé d'importants projets pour se prémunir contre ce risque.

L'amélioration de la gestion des eaux de temps de pluie implique donc le développement de nouveaux modèles de simulation hydrologique capables de représenter l'évolution de l'état hydrique des sols urbains et prenant donc en compte les échanges d'eau entre le sol et l'atmosphère. La surveillance du risque pluvial urbain implique quant à elle le développement de nouveaux outils de surveillance hydrométéorologique. L'étude conjointe des hydrosystèmes urbaines et de l'atmosphère urbaine constitue donc une perspective à laquelle nous devons nous préparer.

#### 4. Quelques voies de recherche, actuelles ou futures

##### a. *L'étude des précipitations aux échelles des hydrosystèmes urbains*

La pluie représente le terme d'entrée d'eau dans le bassin versant. La mesure de la pluie est nécessaire au gestionnaire d'un système d'assainissement, et la mesure de la pluie et sa prévision à très courte échéance sont déterminants pour la surveillance du risque pluvial qui peut menacer certaines agglomérations. Un effort instrumental conséquent a été consenti depuis plusieurs années par différentes équipes : CETP, LA, LTHE... afin de développer des radars météorologiques fonctionnant en bande-X adaptés à la couverture locale de zones urbaines. Il semble important de poursuivre ces efforts jusqu'au développement d'un prototype de radar météorologique urbain dédié à des expérimentations en hydrométéorologie urbaine. Il serait alors possible :

- De confirmer l'intérêt de tels radars pour la surveillance hydrométéorologique des agglomérations urbaines, en testant leur capacité à mesurer les intensités pluvieuses et en définissant les caractéristiques souhaitables de tels radars;
- De développer des méthodes d'interprétation de ces données pour la prévision de la pluie à très courte échéance. Les échelles urbaines ne seront pas accessibles à la modélisation météorologique opérationnelle avant une ou deux décennies. Il convient donc de répondre aux besoins des utilisateurs dans ce domaine en faisant appel aux observations disponibles localement et donc aux images radars. Le développement de méthodes d'interprétation des données radar pour la prévision de la pluie à très courte échéance a fait l'objet de nombreux travaux. Ces travaux méritent d'être poursuivis en s'intéressant à l'intérêt de nouveaux paramètres radars, tels que le VIL, Doppler (Thielen et al., 2000).
- D'étudier la variabilité spatiale des précipitations aux échelles de l'hydrologie urbaine qui reste très mal connue. Certaines villes se sont dotées de réseaux denses de mesure pluviométriques : un appareil tous les 10 km<sup>2</sup> environ, insuffisants toutefois pour décrire la variabilité de la pluie à l'échelle de bassins versants de quelques km<sup>2</sup>. L'incertitude sur l'entrée pluie constitue un des points susceptibles de détériorer les résultats de modélisation hydrologique. Des résultats préliminaires (Morena et al., 2001) laissent penser que l'influence de cette variabilité n'est pas négligeable et mérite d'être étudiée.

##### b. *Etude du comportement hydrologique des hydrosystèmes urbains*

La réponse à un événement pluvieux est parfois résumée par le coefficient d'écoulement défini comme le rapport entre le volume d'eau écoulé et le volume précipité. Il apparaît que le coefficient d'écoulement varie de façon significative d'une pluie à l'autre. Ces variations, mal reproduites par les fonctions de production classiques (Rodriguez et al., 2000) peuvent avoir plusieurs origines: i) une appréciation imparfaite du comportement des surfaces revêtues ; ii) le rôle du proche sous-sol dans la formation du débit en milieu urbain qui semble réel (Berthier, 1999); iii) les échanges entre le sol et l'atmosphère, dont l'influence sur les hydrosystèmes urbains est à évaluer. Un projet du PNRH, associant le LTHE (Grenoble), le CNRM (Toulouse), le LMF-ECN et le LCPC (Nantes) a été engagé afin d'étudier le comportement hydrique des surfaces revêtues urbaines: mouillage, séchage...., et les échanges hydriques avec l'atmosphère : évaporation, infiltration.... Ces surfaces ont en effet un rôle déterminant dans la formation des débits. L'étude de ces mécanismes sera étudiée de façon expérimentale à l'échelle micro-hydrologique (tronçons de voirie, toitures), cette approche expérimentale étant complétée par une modélisation aux échelles micro-hydrologique et des bassins versants.

Une étude commune, conduite dans le cadre du PNRH99 a montré les incertitudes qui prévalaient dans l'estimation des flux d'eau à travers les surfaces urbaines naturelles. Deux modèles d'inspirations différentes ont été testés pour reproduire le comportement du bassin versant expérimental de Rezé: le modèle de l'élément hydrologique qui met l'accent sur le rôle du sol (Berthier, 1999), et le modèle SM2-U (Modèle de Sol pour Sub-Méso-Urbain) destiné à représenter les échanges de chaleur sensible et latente entre le sol et l'atmosphère (Dupont et al., 2001) Cette comparaison a montré que les deux modèles fournissent des estimations différentes des flux évapotranspirés qui conditionnent l'état hydrique du proche sous-sol urbain. Ce résultat confirme l'intérêt d'un approfondissement des travaux sur ce sujet.

## 5. Conclusion

Les besoins actuels en hydrologie urbaine, la priorité accordée à la limitation des rejets polluants incitent à un fonctionnement des systèmes d'assainissement par temps de pluie favorisant la conservation de l'eau sur le bassin versant au détriment d'une évacuation rapide. Il est nécessaire de concevoir des modèles hydrologiques décrivant explicitement l'évolution de l'état hydrique des sols urbains, prenant en compte les aménagements apportés aux bassins versants à différentes échelles: parcelle, rue... pour favoriser le stockage et l'infiltration des eaux de pluie. Les échanges d'eau entre les sols urbains deviennent donc un paramètre important de la modélisation hydrologique en milieu urbain. L'étude de l'influence des aménagements apportés aux bassins versants implique de procéder à une modélisation continue et non événementielle de leur fonctionnement, intégrant l'évolution de l'état hydrique des sols urbains. Au moins deux arguments incitent donc à rapprocher les recherches en météorologie et hydrologie urbaines : i) comme aux autres échelles, ces deux disciplines doivent prendre en compte l'état hydrique des sols urbains ; ii) la sensibilité de la ville moderne à son environnement atmosphérique et hydrique : bruit, pollution, circulation, assainissement... peut laisser penser qu'à terme les gestionnaires de la ville souhaiteront disposer d'une perception globale de cet environnement. Les prochaines années constituent l'occasion de se préparer à cette évolution.

## 6. Références

- Azzout Y., Barraud S., Cres F., Alfakih E. , Techniques alternatives en assainissement pluvial, Lavoisier Tec&Doc, 1994.
- Berthier, E., Contribution à une modélisation hydrologique à base physique en milieu urbain: élaboration du modèle et première évaluation, Ph.D. thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, 1999.
- Berthier, E., F. Rodriguez, and H. Andrieu, The Rezé urban catchments database, *Water Resources Research*, 35(6), 1915-1919, [ftp.lcpc.fr/incoming/reze](http://ftp.lcpc.fr/incoming/reze), 1999.
- Dupond, S., Modélisation dynamique et thermodynamique de la canopée urbaine : réalisation du modèle de sols urbains pour Subméso, Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, 2001.
- Insavalor and Sogreah, Canoe : logiciel d'hydrologie urbaine, conception et évaluation de réseaux d'assainissement, simulation des pluies, des écoulements et de la qualité des eaux. Manuel de l'utilisateur, 1997.
- Joannis, C., N. Belhadj, and G. Raimbault, Rainfall induced infiltration into sewer systems, paper presented at 6th International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Ontario, Canada, 1988-1993, 1993.
- Morena, F., H. Andrieu, F. Rodriguez, and J.D. Creutin, Effect of rainfall variability on the behaviour of urban watersheds : A numerical study based on weather radar data and cadastral data, Preprints 5th Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Kyoto, Japan, 445-450, 2001.
- Raimbault, G., Effet des sols et sous-sol urbains sur le devenir des eaux pluviales, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 202, 71-78, 1996.
- Rodriguez, F., Intérêt des banques de données urbaines pour l'analyse hydrologique: détermination de la fonction de transfert d'un bassin versant urbain. Thèse de doctorat Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999.
- Rodriguez, F., H. Andrieu, and Y. Zech, Evaluation of a distributed model for urban catchments using a 7-year continuous data series, *Hydrological processes*, 14, 899-914, 2000.
- Thielen, J., Boudevillain, B. and Andrieu, H. (2000). A radar data based short-term rainfall prediction model for urban areas - a simulation using meso-scale meteorological modelling, *Journal of Hydrology*, 239, 1-4, 97-114.