

Perspectives dans le domaine de l'Hydrologie Urbaine

Coordination : H. Andrieu (LCPC), S. Barraud (INSA-Lyon), B. Tassin (ENPC)

A partir des contributions de : B. Chocat (INSA-Lyon), J.C. Deutsch (ENPC), C. Delolme (ENTPE), V. Guinot (Université de Montpellier), R. Laganier (Université Paris 7), A. Paquier (CEMAGREF), N. Rivière (INSA-Lyon), V. Ruban (LCPC), M.H. Tusseau (CEMAGREF), J.Y. Toussaint (INSA-Lyon), A. Vasquez (ENGEES) ; N. Voynet (Université Technologique de Compiègne).

VERSION PROVISOIRE (7 janvier 2008) – NE PAS CITER

Ce texte est en cours de rédaction. La version provisoire est mise en ligne par souci de rapidité mais peut comporter des erreurs, oublis ou imperfections. Merci d'en excuser l'auteur et d'attendre la version définitive avant d'y faire référence.

1 – Contexte et enjeux

Contexte

- L'hydrologie urbaine est définie par ses acteurs comme la discipline consacrée à l'étude du cycle de l'eau en milieu urbanisé pris sous les angles physiques, physico-chimiques et biologiques, et à l'étude des interactions entre le cycle de l'eau et les activités humaines dans ce milieu. Ses préoccupations sont centrées sur : i) la protection sanitaire des personnes, ii) la protection des personnes et des biens face aux inondations (dues à l'insuffisance des réseaux, au ruissellement ou aux crues de cours d'eau urbain), iii) de façon plus récente sur la protection de l'environnement : eaux superficielles, eaux souterraines et sols. L'hydrologie urbaine s'est développée comme une discipline finalisée associant étroitement recherche et réponse à une demande sociale. Sur le plan scientifique, l'hydrologie urbaine s'est structurée au niveau international, indépendamment de la communauté des sciences de la terre et de l'environnement, dont l'hydrologie au sens large fait partie. Toutefois, la place grandissante de préoccupations environnementales fait de l'hydrologie urbaine une composante importante des sciences de l'environnement en milieu urbain. Le rapprochement entre les différentes communautés doit cependant intégrer les spécificités et particularités de l'hydrologie urbaine :
- Les réseaux hydrographiques en milieu urbain ont souvent été « réquisitionnés » pour assainir les villes, c'est à dire transporter hors des villes les eaux pluviales et les eaux brutes, puis épurées. Ils sont ainsi devenus des éléments des systèmes d'assainissement urbain, tout en conservant parfois une fonction hydrologique naturelle.
- Le développement de réseaux séparatifs de transport des eaux usées et des eaux pluviales a partiellement remédié à cette dualité, avant que l'on prenne conscience que cette séparation des flux était très imparfaite : les réseaux d'eaux usées sont en interaction avec l'eau du sol dont ils assurent involontairement le drainage ; en lessivant les surfaces urbaines, le réseau hydrographique des eaux pluviales se charge de polluants.
- L'assainissement urbain a toujours été une composante forte de l'aménagement urbain et de l'ingénierie urbaine. Les espaces urbains sont façonnés par l'homme. Il en va de même du cycle de l'eau en milieu urbain, très influencé par les aménagements consécutifs à l'urbanisation, mais aussi par les pratiques et usages des habitants. La demande sociale se manifeste avec vigueur dans les périodes de développement urbain, et explique le schéma de fonctionnement de l'hydrologie urbaine qui associe assez souvent étroitement recherche et ingénierie.

- La reconnaissance de l'existence d'un véritable environnement urbain et l'intégration du fait urbain par les sciences de l'environnement sont récentes. Les préoccupations environnementales (lois sur l'eau successives, directive cadre européenne sur les eaux continentales), mais aussi le grignotage de l'espace que réalise les agglomérations urbaines et l'extension de zones mixtes ou péri-urbaines, sont autant d'éléments qui démontrent que la séparation entre espaces urbains et naturels est parfois artificielle et que la préservation de l'environnement se pose également en milieu urbain. Ainsi la ville ne doit plus être considérée simplement comme une menace ou une contrainte sur un "environnement" extérieur plus ou moins "naturel", mais comme un élément à part entière de cet environnement.

Enjeux

Cette évolution de l'hydrologie urbaine est à situer dans le processus d'urbanisation que connaît l'ensemble des pays. 75% de la population des pays développés vit actuellement en ville. Les pays en développement connaissent une urbanisation très rapide dans un contexte économique et hydrologique souvent défavorable. Dans ce contexte, l'enjeu majeur est de parvenir à une gestion du cycle de l'eau en milieu urbain qui se conforme aux exigences d'un développement durable. Atteindre cet objectif implique de¹ :

- Limiter les débits et les volumes d'eau pluviale en direction du milieu naturel. Qu'urbanisation ne rime plus avec augmentation des débits est très important alors que le développement urbain se poursuit et que les modifications climatiques auront des conséquences sur le cycle de l'eau en ville. La démarche consiste à favoriser la rétention, le stockage et l'infiltration en agissant à différentes échelles (à la source, bassins d'infiltration...);
- Lutter contre la détérioration de la qualité des eaux de ruissellement urbaines. Cette pollution, souvent d'origine diffuse, est produite par les activités humaines (transports,). La limitation des débits vers le milieu naturel entraîne une accumulation progressive de cette pollution dans le milieu urbain, dans les dispositifs de contrôle des débits, avec un risque de migration dans les sols ;
- Adapter le fonctionnement des réseaux de collecte et des ouvrages existants, conçus pour un transfert rapide des eaux de ruissellement urbain vers le milieu autre logique, aux nouveaux enjeux ;
- Faire contribuer l'eau à l'amélioration de la qualité de l'environnement urbain : restauration des cours d'eau urbains ; plans d'eau et activités récréatives.....

Cette évolution amène à regarder le cycle urbain de l'eau avec un point de vue renouvelé. Il existe donc de très nombreuses questions scientifiques encore peu abordées et de nombreux verrous à débloquent. La recherche en hydrologie urbaine doit en effet :

- Se consacrer à l'étude de processus qui participent au cycle hydrologique et au cycle des polluants en milieu urbain en prenant en compte l'ensemble des facteurs d'influence et contribuer aux avancées scientifiques sur la description et la compréhension des mécanismes affectant le cycle de l'eau et des flux associés en prenant en compte les particularités du milieu urbain. Une attention particulière est à accorder aux questions d'échelle.

- *échelles spatiales* : le changement d'échelle spatiale de la micro-échelle vers le bassin versant ou de la ville s'accompagne d'une importance croissante des facteurs (forçages) anthropiques et des hétérogénéités - voire des discontinuités - présentes dans l'espace physique).

- *échelles temporelles* : l'hydrologie des longues chroniques est seule à même de prendre en compte les effets cumulatifs des polluants, et d'intégrer le développement du espaces urbains. Il s'agit d'une approche exigeante scientifiquement qui demande de s'intéresser à toute l'étendue du fonctionnement hydrologique des zones urbaines.

¹ Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W., Urbonas B., 2004, Urban drainage : Out of sight-out-of-mind ?, Proceedings Novatech 2004

- Parvenir à une approche globale ou intégrée du cycle de l'eau en ville, c'est à dire regroupant l'eau ressource (potable), les eaux pluviales, eaux usées et le réseau hydrographique (le plus souvent dans le milieu urbain), mais également poursuivant l'ambition de coupler la modélisation des flux d'eau et les flux de polluants aux différentes échelles d'intérêt (micro-échelle, ouvrage, bassin versant)
- Promouvoir l'interdisciplinarité entre chercheurs en sciences de l'environnement, sous leurs aspects sciences du milieu naturel, sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales. Ceci impose d'impliquer praticiens et les services opérationnels de façon à prendre en compte les facteurs anthropiques (développement et aménagement urbain, pratiques et usages des habitants, évolution des modes de gestion,) avec pour objectif le développement de stratégies et de techniques durables de gestion urbaine des eaux, utilisables dans les pays développés mais également dans les pays en développement, et capables de s'adapter aux évolutions du milieu urbain.

Les paragraphes suivants abordent successivement les priorités de recherche en hydrologie urbaine qui s'intègrent directement au domaine scientifique « Surfaces et Interfaces Continentales » ; et les priorités de recherches interdisciplinaires contribuant à une gestion durable de l'eau en milieu urbain.

2 – Priorités de recherche en Hydrologie Urbaine

Un hydrosystème en milieu urbain présente des particularités qu'il convient de prendre en compte pour définir des priorités de recherche :

- Des dimensions réduites (l'échelle caractéristique étant généralement de quelques kilométriques),
- Une grande hétérogénéité spatiale qui se manifeste en surface et dans le proche sous-sol : à petite échelle dans l'organisation du tissu urbain, mais aussi à l'échelle de la ville ou de l'agglomération urbaine qui regroupe des zones urbanisées et naturelles (espaces péri-urbains) ;
- Une forte anthropisation : imperméabilisation des surfaces, réseau hydrographique transformé et artificialisé, construction d'ouvrages de contrôle des flux d'eau, dont la conséquence principale est une accélération des processus et qui impose de travailler avec des pas de temps plus courts ;
- Une forte présence humaine qui à la fois affecte les processus, les forçages (en particulier les sources de polluants) et augmente la vulnérabilité du milieu ;
- Une évolution temporelle régulière de ses caractéristiques résultant de plusieurs facteurs : i) poursuite de l'urbanisation qui modifie l'occupation des sols, les réseaux hydrographiques, ii) modification des pratiques et usages et donc des pressions anthropiques (sources de polluants), iii) influence des politiques d'aménagement et de gestion de l'urbain ;
- Une documentation de plus en plus détaillée des caractéristiques physiques grâce au développement des banques de données urbaines, susceptible d'influencer les choix de modélisation.

Les domaines sur lesquels il paraît aujourd'hui important d'avancer concernent globalement une meilleure connaissance et un besoin de modélisation des flux d'eau et de polluants de leur production (origine) à leur impact sur les milieux récepteurs (eaux de surface et eaux souterraines) en intégrant leurs transformations au sein de la ville c'est-à-dire au sein des bassins versants : réseaux de collecte, et ouvrages tels que bassins d'infiltration et dispositifs de contrôle à la source d'assainissement. Chacun de ces thèmes de recherche nécessite une réflexion sur l'échelle d'étude des mécanismes étudiés et sur le transfert d'échelle entre cette échelle d'étude et/ou d'observation et celle du bassin versant ou de la ville.

Mesure des flux d'eau et de polluants à l'interface sol-atmosphère

L'interface sol-atmosphère joue un rôle particulièrement important en milieu urbain du fait de la présence des surfaces imperméabilisées qui réduisent les temps de réponse à un événement pluvieux, et qui pendant les périodes sèches voient s'accumuler non seulement les particules atmosphériques

polluantes, mais aussi les polluants sous formes particulaire et dissoute qui seront ensuite transportées par les eaux de ruissellement. Il est donc important de s'intéresser aux flux d'eau et de polluants à l'interface sol-atmosphère, en privilégiant en premier lieu les travaux expérimentaux visant à mieux connaître :

- Les précipitations aux échelles temporelles et spatiales caractéristiques de l'hydrologie urbaine (une minute, une centaine de mètres), dans l'objectif de mieux caractériser la variabilité des champs pluvieux, d'en déduire les paramètres utiles pour déterminer par exemple la capacité d'érosion de la pluie. Les nouveaux radars météorologiques polarimétriques voire les antennes de téléphonie mobile offrent certainement des opportunités à saisir pour progresser dans cette direction ;
- La mesure de l'évapotranspiration qui reste, même en zone urbaine, une composante importante du bilan hydrologique, et dont les méthodes classiques de mesure, développées pour des surfaces naturelles, ne sont pas adaptées du fait de l'hétérogénéité des surfaces urbaines ;
- Les retombées sèches de particules atmosphériques sur le sol, dont l'importance reste très mal connue et qui sont vraisemblablement une composante significative des apports polluants dans les zones urbaines ;
- La mesure des flux polluants issus du ruissellement sur les surfaces urbaines qui présentent une grande variabilité aussi bien en terme de composition chimique, qu'en terme de mobilisation temporelle et spatiale.

Modélisation des flux d'eau dans les hydrosystèmes urbanisés

Les modèles hydrologiques urbains ont souvent été conçus pour représenter la réponse d'un bassin versant à une sollicitation pluvieuse intense et accordent donc généralement un rôle prépondérant au ruissellement sur les surfaces imperméabilisées. L'évolution vers une gestion intégrée des eaux de temps de pluie prenant en compte les évolutions des zones urbaines implique de reproduire en continu le comportement hydrologique de zones urbaines pendant de longues chroniques (incluant une alternance de périodes sèches et d'événements pluvieux d'importance très variables). Pour cela, il est nécessaire de s'intéresser aux points suivants :

- Enrichir les modèles hydrologiques en milieu urbanisé en prenant en compte l'ensemble des composantes du bilan hydrologique (interactions entre la zone saturée et les réseaux de drainage urbain, rôle de l'évaporation et de l'évapotranspiration dans le réessuyage des surfaces, infiltration à travers des surfaces réputées imperméables (voiries), variabilité temporelle de l'infiltration et du ruissellement), etc.) qui ont une importance significative sur les bilans hydriques ;
- Aborder la modélisation des bassins versants dits « péri-urbains », c'est à dire regroupant zones naturelles et zones urbanisées. Ces bassins versants méritent très certainement une approche spécifique et constituent une excellente base pour aborder la question de la segmentation de l'espace en hydrologie et développer les collaborations entre hydrologues des milieux urbains et naturels ;
- Développer la modélisation des ouvrages de gestion locale des eaux pluviales (techniques alternatives) qui se multiplient pour favoriser le stockage et l'infiltration des eaux pluviales et proposer des schémas de paramétrisation de ces solutions pour étudier l'influence de leur généralisation à l'échelle des bassins versants ;
- Développer le recours aux banques de données urbaines (BDU) et aux SIG en modélisation hydrologique, en essayant de trouver le compromis entre le niveau de détail auquel ces systèmes donnent accès et l'échelle pertinente pour représenter la dynamique spatiale et temporelle des processus hydrologiques.

Meilleure compréhension et modélisation du fonctionnement des systèmes d'assainissement

L'hydraulique des réseaux d'assainissement a fait l'objet de recherches approfondies dans les décennies précédentes (notamment au niveau national avec les travaux de Cunge ou Preissman) qui

sont à la base des modèles de simulation actuellement utilisés en ingénierie et en exploitation. Mais les réseaux d'assainissement (eaux usées, unitaires ou pluviaux) assurent également le transport de matériel dissous et particulaire contenu dans l'eau vers les stations de traitement des eaux et/ou le milieu récepteur. Le fonctionnement des réseaux dans ce rôle de transporteur et de transformateur de pollution reste encore mal connu et son étude doit constituer une priorité de recherche qui pourra mettre l'accent sur :

- Le transport sédimentaire : la pollution évacuée par les réseaux est pour une grande part sous forme de particules et de sédiments dont les caractéristiques diffèrent de ce que l'on rencontre en milieu naturel. L'effort devrait tout d'abord porter sur la métrologie de la pollution particulaire dans les réseaux, et notamment sur l'utilisation des turbidimètres et spectromètres qui ouvrent la voie à une mesure en continu de cette pollution particulaire, à l'établissement de lois de dépôt et d'érosion propres aux sédiments urbains, et à la modélisation du transport solide ;
- L'évolution bio-physico-chimique des polluants dans le système d'assainissement. Le réseau se comporte en effet comme un bio-réacteur dont les composants (quantité et nature de la biomasse en particulier) évoluent avec le temps ; l'apport de spécialistes chimistes, biologistes et de génie des procédés seraient ici souhaitable ;
- L'observation et la modélisation des ouvrages particuliers du réseau, tels que les déversoirs, les bassins de stockage, de décantation et d'infiltration, qui jouent parfois un rôle de dépollution (en particulier en favorisant la décantation) et par lesquels s'effectue souvent le rejet des eaux dans le milieu récepteur. Là encore ces ouvrages sont le siège de processus hydrodynamiques complexes (eau et solides) couplés à des mécanismes bio-physico-chimiques dont le rôle vis-à-vis de la rétention et de la transformation des polluants urbains est encore mal cerné..

Inondations en ville

Lors des événements pluvieux exceptionnels, la capacité des systèmes d'assainissement devient en général insuffisante et le cheminement de l'eau se fait en partie sur des surfaces urbaines rarement organisées pour le recevoir. Dans beaucoup de cas la compréhension des mécanismes générateurs des inondations nécessitent une approche couplée de phénomènes le plus souvent étudiés séparément avec des outils de nature différente) : crues de rivière, débordements de réseau, écoulements de surface. Le rôle des interfaces (par exemple avaloirs ou bouches d'égouts), souvent négligés dans les approches traditionnelles, peut même devenir prépondérant. Il est clairement nécessaire de développer des modèles dédiés à la description de ces écoulements d'eau couplés à travers le tissu urbain.

Plusieurs approches complémentaires peuvent être envisagées :

- La modélisation détaillée : la densification du bâti conduit à une artificialisation des cheminements avec, en général, une concentration des écoulements sur la voirie à côté d'un bâti plus ou moins perméable et le passage d'une structure ramifiée (la rivière et ses affluents) à une structure maillée (le réseau de rues) plus complexe compte tenu de la multiplication des sites de jonction et de division des écoulements. Il s'agit alors de procéder à une modélisation explicite de ces sites de jonction et de division pour définir la répartition locale des flux et les paramètres de l'aléa et d'étudier le processus d'écoulement de surface en milieu urbain en prenant en compte les effets de la structure (organisation, type de bâti) et la présence des singularités (carrefours, embâcle, mobilier urbain)
- La modélisation macroscopique : le tissu urbain est représenté par un milieu continu équivalent, dont les propriétés hydrodynamiques de surface peuvent être déduites en grande partie des propriétés géométriques de la voirie. Il convient d'évaluer la pertinence de cette approche et de déterminer ses conditions d'application.

Source et transfert de polluants

Les aménagements des bassins versants et les activités qui s'y déroulent sont autant de sources de polluants ou nutriments, susceptibles d'être transférées vers les milieux récepteurs par l'intermédiaire

des eaux pluviales, ce milieu récepteur étant de plus en plus souvent le milieu urbain ou le sol urbain lui-même (contrôle à la source des eaux pluviales et leur infiltration dans le sol). La quantification des flux de polluants et de nutriments en milieu urbain conduit à concentrer les efforts de recherche sur :

- *La connaissance des sources et flux de polluants et nutriments.* La quantification des flux de polluants et nutriments en milieu urbain et la détermination de l'origine de ces polluants doit intervenir à tous les niveaux pertinents des bassins versants, depuis les retombées atmosphériques jusqu'à l'exutoire en incluant les différents types de surfaces urbaines : naturelles, revêtues, bâties. Les polluants pris en compte seront les micro-polluants prioritaires et émergents. La quantification doit concerner toutes les eaux urbaines : réseaux séparatifs et/ou unitaires, ruissellement de chaussée et de toitures, cours d'eau urbains, mais aussi les retombées sèches et humides, les sols urbains. La complexité des matrices solides et liquides dans lesquelles se trouvent les polluants organiques et minéraux à l'état de trace ou d'ultra-trace nécessite le développement de techniques de prélèvement et d'outils analytiques adaptés.
- *L'analyse chimique en continu : développement de capteurs.* La quantification des flux ne peut être améliorée que par un suivi en continu des concentrations de certains éléments chimiques dans les différents compartiments du milieu urbain. Le développement de capteurs de traceur non réactifs et/ou de polluants dans des eaux fortement chargées en MES. doit être poursuivi (chimiques, électrochimiques, biologiques)
- *La spéciation des polluants organiques et minéraux.* La compréhension du transfert des polluants dans le milieu urbain ne peut être réalisée qu'en étudiant les phases minérales ou organiques (particulaires ou colloïdales) porteuses de ces micro-polluants au cours du transfert de l'eau à l'interface eau-sol-atmosphère. Il est important de bien comprendre la répartition des éléments recherchés entre les phases soluble, colloïdale et adsorbée sur les matières en suspension et la réversibilité de cette répartition. Ainsi le développement de techniques de séparation (soluble, colloïdale et particulaire) doit être privilégié ainsi que l'utilisation de techniques microscopiques et spectroscopiques adaptées à l'étude de la spéciation des polluants sur les matières solides parfois fortement concentrées en matière organique.
- *Les transferts des polluants dans la zone non-saturée* afin de développer les connaissances sur le devenir des polluants dans les sols urbains. Il s'agit d'identifier les mécanismes (chimiques, hydrodynamiques) prépondérants se déroulant dans les milieux poreux spécifiques du milieu urbain, l'échelle spatiale d'action de ces mécanismes, mais également leurs temps caractéristiques d'action. Parallèlement à une meilleure description du compartiment microbien et plus généralement de la fraction organique dans ces milieux complexes, beaucoup de connaissances doivent encore être acquises sur leur rôle dans les transferts de polluants. Le domaine d'application de ces recherches concerne en premier lieu les dispositifs de stockage et l'infiltration des eaux pluviales à la source qui se développent rapidement.
- *L'impact des micropolluants* liés aux pluviales sur les systèmes urbains et le milieu naturel est difficile à estimer en raison : i) de leur multiplicité et des effets synergiques ou antagonistes qu'ils peuvent produire sur le milieu, ii) de la difficulté à estimer leur biodisponibilité. Il importe de développer des méthodes visant à estimer l'écotoxicité des polluants des rejets urbains de temps de pluie et leur biodisponibilité.

Progresser vers une modélisation intégrée des hydrosystèmes urbains

Les axes de recherche précédents s'adressent à différents compartiments du cycle de l'eau et des polluants, et ne donnent pas accès au fonctionnement hydrologique d'ensemble des espaces urbains. De façon à fédérer le savoir-faire des hydrologues urbains, il est proposé de s'aborder les questions d'environnement urbain de façon plus globale ou intégrée, il est proposé de faire une priorité scientifique du développement d'une modélisation intégrée continue des flux d'eau et de polluants associés en milieu urbain. Il s'agit d'une perspective ambitieuse qui serait certainement de nature à :

- Renforcer la capacité de la communauté scientifique en hydrologie urbaine à expliquer le fonctionnement du cycle urbain de l'eau, mais également renforcer et structurer cette communauté scientifique et technique autour d'un objectif commun ;

- Fournir des bases scientifiques et préfigurer le développement d'outils propices à l'élaboration de politiques d'aménagement urbain propices à un développement durable selon différents scénarios...
- Aborder l'incidence du développement urbain, mais également les conséquences du changement climatique sur le cycle urbain de l'eau et des matières et pollutions associés ;
- Favoriser les relations avec d'autres communautés scientifiques actives dans le domaine de l'environnement urbain, et notamment les météorologues urbains et ouvrir la voie à une description plus générale de l'environnement urbain, mais également des interactions entre la ville dans son environnement naturel.

4 –Priorités de recherche interdisciplinaires en hydrologie urbaine

Le développement d'une modélisation intégrée des hydrosystèmes urbains constitue indéniablement un objectif scientifique très ambitieux qui reste toutefois insuffisant pour parvenir à des méthodes durables de gestion du cycle de l'eau en milieu urbain. Les espaces urbains sont assujettis à l'action humaine qui se manifeste sous différentes formes : politiques d'aménagement, de gestion de la ville et des infrastructures, mais aussi de pratiques et d'usages des habitants. Il est impossible de déconnecter l'hydrologie urbaine du fonctionnement global de la ville. Le développement de méthodes durables de gestion du cycle de l'eau en milieu urbain passe par des projets interdisciplinaires qui regroupent différents volets : hydrologique, fonctionnement et évolution de la ville, actions anthropiques et qui associent différentes communautés : sciences de l'univers et de l'environnement, sciences de l'ingénieur, science économique, sciences politiques et des organisations, sociologie, anthropologie et histoire urbaine, géographie et aménagement urbain.

Evaluation de l'efficacité des systèmes de gestion des eaux urbaines

L'efficacité des stratégies de gestion des eaux en milieu urbain est associée à leur aptitude à assurer un développement durable, c'est-à-dire à leur efficacité technique, environnementale, sanitaire, sociale et économique. Cette efficacité dépend de la qualité des technologies mises en place mais également de la qualité de la gouvernance, c'est-à-dire des procédures et politiques qui produisent et permettent de gérer ces stratégies (décision politique, planification, conception, réalisation, gestion,...). L'efficacité dépend enfin de l'aptitude des technologies et/ou des organisations à assurer, l'adhésion des usagers et des gestionnaires autour des stratégies développées. Une stratégie n'est jamais aussi efficace que si elle est bien comprise voire souhaitée et si elle n'entre pas en conflit avec d'autres intérêts. Il semble donc nécessaire d'avoir d'une part une meilleure connaissance des relations entre les systèmes techniques, le système urbain et sa gouvernance et d'autre part une bonne vision des mécanismes aboutissant aux politiques de prises de décision en matière d'aménagement urbain en liaison avec la gestion de l'eau.

Ce n'est qu'à ce prix que l'on pourra développer une recherche permettant de mettre au point des méthodes d'évaluation et de suivi de stratégies de gestion des eaux de manière à disposer d'éléments susceptibles d'améliorer les systèmes, leur mode de production (planification, conception, réalisation, gestion, communication avec la population et les gestionnaires), dans un contexte opérationnel où les données et les informations peuvent être incertaines et incomplètes; des méthodes de comparaison ou de suivi de stratégies qui peuvent être là encore techniques (recours à des technologies de gestion de l'eau à la source, amélioration des réseaux de conduites, amélioration ou mise au point de systèmes de traitement, ...), organisationnelles (mise en place de réglementations, d'un système de taxation ou encore de politiques de réduction des émissions à la source, ...).

Ces méthodes nécessitent d'une part un travail méthodologique important de développement d'indicateurs qui couvrent non seulement l'efficacité économique, la protection du milieu à court et à long terme, ainsi que l'efficacité sociale en ce qui concerne la disponibilité pour chacun de disposer

d'une eau de qualité adaptée à ses besoins, et d'autre part un travail plus disciplinaire pour évaluer la pertinence des indicateurs retenus pour chacune des différentes facettes..

Evolution des modes de gestion des eaux urbaines

Les politiques urbaines tendant à mettre l'accent sur le développement durable, les effets de la mondialisation conduisant à une concurrence accrue en particulier dans le domaine des services urbains et l'évolution des techniques considérant l'eau comme une ressource permettent de poser de nouveau la question de la gestion des eaux urbaines sur le plan de la plus ou moins grande centralisation de cette gestion. Le siècle dernier a été celui du développement des réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement, et en parallèle la montée en puissance des grandes sociétés prestataires de service dans ces domaines. Les évolutions citées plus haut tendent à remettre en question ce modèle. La question du mode de gestion : régie ou gestion déléguée redevient d'actualité en particulier à travers les aspects de mesure de l'efficacité du service. Par ailleurs, la libéralisation économique pourrait inciter d'autres acteurs économiques à se positionner sur le marché de la gestion de l'eau et nous ignorons aujourd'hui quel pourrait être l'impact de cette évolution.

Le réseau lui-même est mis en question par le développement des techniques de récupération des eaux pluviales, et plus largement des techniques alternatives. Les éléments manquent aujourd'hui pour apprécier dans toutes ses dimensions ce phénomène. Par ailleurs, si celui-ci se généralisait ne serait – ce que partiellement sur certaines portions du territoire, se poserait la question du partage du coût de la création et de la maintenance de ces techniques entre les différents acteurs concernés : citoyens, élus, sociétés prestataires de service. Les citoyens sont-ils prêts à prendre en charge ces coûts et assurer concrètement la maintenance, les élus sont-ils prêts à inciter la mise en place de telles techniques et quels contrôles peuvent ils mettre en place, à quelles conditions les sociétés peuvent-elles assurer une transition entre un modèle et un autre d'un point de vue économique et managérial ?

Enfin, l'ensemble de ces questions se pose de manière différente dans le cadre des pays émergents. Il ne s'agit plus là de la transition entre modèles, mais bien du choix d'un modèle qui tienne compte en même temps du contexte local mais aussi de l'état de l'art développé par ailleurs dans les pays développés.

Les habitants et cycle urbain de l'eau.

Les problèmes environnementaux, dans nos sociétés, ne peuvent plus être réglés sans que la participation du public n'ait été envisagée. Les conditions de cette participation sont loin d'être élucidées, du point de vue de la motivation des personnes et des procédures à mettre en œuvre.

Le grand nombre d'acteurs qui peuvent être concernés par la gestion des eaux urbaines nécessitent que les processus de décision soient éclaircis et des outils permettant une meilleure prise en compte des intérêts de chacun de ces acteurs soient mis en œuvre. Le développement de techniques innovantes dans ce domaine qui peuvent avoir des effets importants pose de manière cruciale la question de savoir comment l'innovation percole vers les systèmes opérationnels. Une analyse est nécessaire sur les conditions de mise en place des nouvelles techniques et sur les acteurs qui les portent.

L'efficacité à long terme des techniques alternatives, telles que le contrôle des eaux pluviales à la source dépend de leur appropriation par les habitants. Par ailleurs, une partie des polluants que l'on retrouve dans les eaux urbaines résultent des pratiques et des comportements des habitants. Il serait particulièrement utile par exemple de savoir en quoi les comportements des acteurs (pratiques des usagers, des organisations, des secteurs d'activités, mode d'appropriation...) peuvent compromettre ou favoriser le bon fonctionnement des systèmes techniques proposés pour améliorer la gestion des eaux urbaines?

Vulnérabilité et risque hydrologique.

Les hydrologues travaillent sur l'aléa hydrologique (pluie et conséquences en terme de flux produits), mais très peu sur la vulnérabilité. La vulnérabilité urbaine dépend du caractère fonctionnel et organisationnel de la ville et regroupe ses dysfonctionnements technique, économique et sociaux. Il s'agirait alors de concevoir des outils visant à mesurer l'impact des aléas sur les activités urbaines : économiques, sociales, lieux d'innovation...qui dépassent largement l'échelle locale où s'exprime l'aléa et de quantifier l'influence de la perturbation des différents réseaux (électrique, routier, informatique, communications...) qui peut s'exercer sur des échelles territoriales plus petites (région, pays continent) compte tenu des liens qui se développent à partir de nœuds de ces réseaux. Cette caractérisation serait de nature enfin à aider au développement de méthodes d'élaboration de principes de planification, à la reformulation des méthodes de conception actuelles et à l'évolution des moyens de gestion des eaux.

5 – Systèmes d'observations en hydrologie urbaine

L'observation *in situ et sur le long terme* constitue en hydrologie urbaine, comme dans toutes les sciences de la nature, un préalable indispensable à la constitution et à la validation des connaissances. Les réseaux d'observations doivent être denses (pour être sûr d'observer correctement le phénomène s'il se produit et avoir une bonne couverture spatiale et temporelle de phénomènes dont la variabilité est grande aux échelles de la ville), fiables (pour fonctionner dans des conditions souvent difficiles), pérennes (pour pouvoir intercepter des événements rares et intégrer l'évolution des systèmes sur le long terme). Par ailleurs, le développement et le test *in situ* de nouveaux capteurs constitue un volet important de l'expérimentation. Enfin, les systèmes d'observation sont très certainement une des clés du succès de projets interdisciplinaires

Malgré l'importance de l'observation, il n'existe actuellement pas de systèmes d'observation labellisés (Observatoire de Recherche en Environnement, Zone Atelier, ou Observatoire des sciences de l'Univers) en hydrologie urbaine. Cette situation peut-être expliquée. Certaines collectivités locales (Seine-St-Denis, Nancy, Marseille parmi d'autres) ont en effet dans les années 80 et 90, mis en place des réseaux de mesure hydrologiques (pluviomètres, limnimètres, ...) qui ont assez longtemps joué le rôle de systèmes d'observations en milieu urbain avant de se recentrer sur une instrumentation à vocation plus opérationnelle, pas toujours compatible avec les besoins de la recherche. L'absence de systèmes d'observation labellisés ne doit pas cacher l'existence d'une véritable dynamique, à travers des initiatives impulsées par les principales équipes de recherche en hydrologie urbaine et bénéficiant du soutien des autorités locales ou régionales : OTHU à Lyon, OPUR en Région Ile de France, SAP à Nantes ² parmi d'autres. L'OTHU s'intéresse à la caractérisation des rejets urbains de temps de pluie et leur impact sur deux types de milieux récepteurs, jugés particulièrement sensibles : la Nappe de l'est lyonnais, l'Yzeron et ses affluents, représentatifs des petites rivières périurbaines de l'ouest lyonnais. OPUR s'intéresse à la génération, au transport et à la gestion des polluants véhiculés dans les réseaux d'assainissement des grandes agglomérations. Le SAP est centré sur le suivi des flux d'eau (en incluant l'évaporation urbaine et les flux d'eau dans le sol), de pollution et d'énergie d'un quartier de l'agglomération nantaise.

Ces sites expérimentaux constituent de fait l'ossature des dispositifs d'observation pour la recherche en hydrologie urbaine. Il serait donc souhaitable qu'ils soient reconnus comme tels par la communauté scientifique et qu'ils bénéficient de son appui en étant incités à se mettre en réseau pour gagner en complémentarité et en efficacité.

² OTHU : Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine
OPUR : Observatoire des Polluants Urbains
SAP : Secteur Atelier Pluridisciplinaire