Aménagement urbain et hydrologie*

Bernard Chocat

URGC-Hydrologie urbaine, INSA de Lyon

Aménagement urbain et hydrologie (*urban development and hydrology*) : Ensemble des relations entre l'aménagement urbain et la partie urbaine du cycle de l'eau. Le développement des agglomérations modifie le fonctionnement du *cycle hydrologique* sous de multiples aspects. Après un historique montrant comment la gestion urbaine de l'eau a été traitée au cours des siècles, le problème est abordé de deux façons :

- en analysant l'impact de l'urbanisation, tant sur les milieux naturels affectés par les rejets urbains que sur la ville elle-même ;
- en présentant les précautions à prendre pour concevoir des aménagements urbains permettant de réconcilier l'eau et la ville.

I ■ ÉLÉMENTS D'HISTORIQUE

● 1.1 L'eau et la ville : une histoire très ancienne

Le relief est sans doute l'un des éléments les plus marquants dans l'organisation et la structuration des villes. De tout temps l'homme a cherché à l'utiliser au mieux, que se soit pour se protéger des agresseurs, pour contrôler un point de passage stratégique, pour profiter de microclimats (ensoleillement, protection contre le vent, exposition, etc.), ou pour bénéficier et exploiter plus facilement une ressource.

Le réseau hydrographique naturel est à la fois élément de relief et porteur de nombreuses ressources utilisables par l'homme : eau, nourriture, matériaux de construction, etc. Il permet également le

transport des biens et des personnes et l'évacuation des déchets. Fort logiquement, de très nombreuses villes se sont donc installées à proximité immédiate d'une rivière ou d'un fleuve, recherchant souvent des particularités structurelles de son cours : île, défilé, gué, confluence, élargissement, débouché à la mer ou dans un lac, etc..

Les voiries sont également très fortement conditionnées par le relief et par le réseau hydrographique. Les grands axes de circulation, depuis l'époque protohistorique, utilisent les voies naturelles de pénétration à travers le relief et la forêt que constituent les rivières et les fleuves. Les carrefours entre deux ou plusieurs de ces grandes voies de circulation ont donc constitué, par les échanges humains et commerciaux qu'ils permettaient, des points privilégiés de création des villes. Ainsi un gué ou un pont est-il à l'origine de nombreuses agglomérations. Le Petit Larousse recense par exemple 54 villes françaises dont le patronyme commence par le mot « Pont » [1]. La topographie du site et l'alternance de vallées, de pentes et de plateaux s'avèrent de même souvent déterminantes dans l'organisation de la ville :

- alternance de « bas quartiers », parfois inondables, toujours nauséabonds et mal fréquentés et de « haut quartiers », dominant la ville au sens propre comme au sens figuré ;
- spécialisation des espaces imposés par leur situation (ports), ou seulement mieux adaptés que les autres à un usage particulier (par

(*) Le texte qui suit est extrait de l'Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Editions Tec et Doc - Lavoisier, Paris, 1997 (voir détails en fin d'article).

This paper, extrated from a french encyclopedia on urban hydrology and urban drainage and sewerage (1), deals with the different relations between urban management and the water cycle. After an historical account-upon evolution of urban water management during the last centuries, two points are particularly developed:

- *impacts of urban development upon receiving waters and upon the town itself,*
- *precautions that must be taken in order to reconcile town with water.*

(1) "Encyclopedie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement" ; B. Chocat/Eurydice 92 ; Ed. Tec et doc, Lavoisier, Paris, 1997, 1124 pages.

exemple zones commerçantes à proximité des points de passage forcé) ;

— organisation du développement le long des lignes fortes du relief, et en particulier des vallées ; etc.

Cette influence historique du relief et du réseau hydrographique naturel va se poursuivre au fil du temps, y compris au XIX^e siècle lorsque les réseaux modernes se constituent. En particulier les réseaux d'assainissement primaires ont souvent comme origine un ruisseau peu à peu canalisé et couvert. Les ouvrages de moindre importance (collecteurs secondaires) sont également soumis à un fonctionnement gravitaire. Leur tracé est donc souvent lié à l'existence d'un *talweg*, qui détermine ainsi de fait les zones les plus faciles à urbaniser. Une conséquence importante de cette évolution réside dans le fait que les centres historiques des villes, de par leur situation à proximité des cours d'eau, sont souvent les plus exposés aux risques d'inondation.

Les relations entre l'eau et la ville sont donc complexes et anciennes. Leur compréhension nécessite une analyse historique du développement des villes, et en particulier une analyse de l'évolution des techniques utilisées pour assainir la ville. Voir *Rivière urbaine*.

● 1.2 L'assainissement à travers les âges et à travers les civilisations

L'homme a, depuis l'origine de l'habitat, imaginé différentes techniques susceptibles de lui permettre de mieux maîtriser son environnement. *L'assainissement urbain*, compris au sens large (assainir = rendre sain) constitue l'une de ces techniques.

1.2.1 Protection contre les crues et les nuisances liées à l'eau

Du fait de la localisation des villes à proximité immédiate des rivières et des fleuves, la nécessité de se protéger contre les conséquences des crues est très tôt apparue comme essentielle. Le mythe du déluge est ainsi partagé par presque toutes les civilisations, quel que soit le climat sous lequel elles se sont développées [2] :

— le récit de l'ancien testament sur le déluge a été emprunté aux Babyloniens : le dieu Enlil a voulu noyer tous les hommes parce qu'ils faisaient trop de bruit et l'empêchaient de dormir ;

— pour les vikings, le déluge a été causé par le sang d'un dieu mal-faisant tué par Odin ;

— dans la tradition lituanienne, c'est le dieu Pramzinas qui a déclenché le déluge et a sauvé quelques hommes en faisant tomber en haut d'une montagne la coquille d'une des noix qu'il mangeait en regardant le spectacle ;

— pour les Chippewas (indiens du Minnesota et du Dakota du nord) le déluge a été provoqué par une petite souris qui a grignoté le sac en cuir où était enfermée la chaleur du soleil, ce qui a fait fondre toute la neige et toute la glace de la terre ;

— d'après les Quichés du Mexique, les dieux ont provoqué le déluge pour balayer leur première création ratée : les hommes, modelés à partir d'argile, ne pouvaient pas tourner la tête ; etc.

Le mythe du déluge semble lié au caractère aléatoire des inondations. Les égyptiens, soumis aux crues régulières du Nil, considéraient ces dernières comme un bienfait, et leur civilisation est l'une des rares où ce mythe n'a pas existé. Ce mythe a d'ailleurs reçu une confirmation historique en 1929 lorsque Léonard Wooley a découvert la ville d'Our en Mésopotamie, noyée sous une couche d'argile de 2,5 m, déposée par l'eau en très peu de temps. 2300 ans avant JC, l'une des premières cités du monde avait été détruite par la colère de l'eau !

Les premiers moyens de lutte ont essentiellement consisté à endiguer la rivière et à exhausser progressivement la ville. Les couches successives de bâtiments s'élevant sur les restes des couches précédentes, l'exhaussement progressif de la ville constitue d'ailleurs un phénomène permanent, ayant pour conséquence la constitution d'une couche de terrain particulière, essentiellement constituée de remblais et de détritiques (parfois appelée poubellien) [3]. Cet exhaussement du sol, s'il permet d'assainir et d'ouvrir à l'urbanisation de nouveaux quartiers, présente cependant des inconvénients : il provoque souvent l'envasement des rivières et en conséquence la remontée de leur lit. Il s'agit donc d'un combat permanent, qui ne sera jamais véritablement gagné, la plupart des villes restant encore vulnérables aux crues des rivières qu'elles traversent. Par exemple, de 1947 à 1967, 173 170 personnes ont péri dans le monde par suite

d'inondation (à titre de comparaison, pendant la même période, il y a eu 269 635 morts du fait de 18 autres types de catastrophes naturelles comprenant entre autres les cyclones tropicaux, les tornades, les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, etc. [2]). Voir *Risque, Inondation*.

A partir du XVI^e siècle, on commence également à régulariser, dallier et couvrir les ruisseaux urbains transformés en égouts. A titre d'exemple, à Paris, l'ancien ruisseau de Ménilmontant est calibré à la fin du XVI^e siècle puis à nouveau au début du XVII^e ; il est dallé au début du XVIII^e et couvert à la fin du même siècle. La ville enterre l'eau qui va progressivement tomber dans l'oubli, sauf lorsque les éléments la ramènent à la surface, parfois de manière catastrophique.

1.2.2 Evacuation des eaux usées

De même, les problèmes posés par l'évacuation des eaux usées sont aussi vieux que les villes. Il est donc naturel que des solutions aient été trouvées, à toutes les époques et sur tous les continents :

— à Harappa (Indus) (– 2 500 à – 1 500) des conduites d'écoulement relient les salles d'eau des maisons à un système d'égouts placés sous les rues ;

— les fouilles de la ville de Fostat en Egypte ont permis de découvrir des fosses d'aisance dans les maisons. Leur contenu était probablement vendu aux maraîchers comme fumier ;

— à Byzance les habitations étaient munies de latrines et dans la capitale, les égouts faisaient l'objet d'une réglementation leur imposant d'aboutir à la mer ;

— on a également prouvé l'existence d'un égout avec caniveau d'écoulement à Palenque (ville maya) ;

— dans le bassin Méditerranéen, les premiers égouts sont construits à Rome pour évacuer (ou plutôt stocker) les eaux usées ; etc.

En Europe au Moyen âge, les systèmes d'évacuation des eaux sales mis au point par les romains ne sont pas oubliés ; plus simplement, ils ne sont pas utilisés car les villes n'ont pas les ressources nécessaires pour les entretenir. C'est ce que Manéglier [4] appelle « *la ville sèche* ». En revanche certaines abbayes (Cluny par exemple) sont équipées de réseaux d'égouts très développés.

A la campagne ou dans les petites villes les techniques les plus utilisées sont les puits perdus en terrain perméable ou les puits maçonnés ailleurs.

Dans les grandes villes, et en particulier à Paris, la plupart des maisons n'ont pas de fosse d'aisance et la technique utilisée est celle du « *tout à la rue* ». Les petits ruisseaux servent d'égouts à ciel ouvert aussi bien pour les eaux usées que pour les eaux pluviales.

Suite à la grande peste de 1348 est publié à Paris, en 1350, le premier règlement de police pour l'assainissement de la ville. D'autres textes suivront en 1388, 1506, 1531, 1577.

En fait ces actions commencent à être réellement efficaces en 1667 avec le lieutenant civil d'Aubrey et le lieutenant de police La Reynie qui imposent la construction de fosses d'aisance.

A cette époque, « *l'eau usée n'existe pas, ni dans les faits (...), ni dans les esprits (...), puisque l'eau ne peut être considérée comme usée que si elle est inutile* » [3]. Or les rejets humains sont loin d'être inutiles. Les excréments sont récupérés dans les voiries pour être valorisés sous forme d'engrais (poudrette), l'urine en s'infiltrant dans le sol dépose l'ammoniaque qu'elle contient sous forme de salpêtre (le nitre) sur les parois des caves, lequel est récupéré pour fabriquer la poudre à canon. Ce mode de gestion de l'eau va connaître en Europe, comme bien d'autres domaines à la même époque, une véritable révolution à partir du milieu du XVIII^e siècle.

● 1.3 Une époque charnière : la fin du XVIII^e siècle et le début du XIX^e siècle

Dès le milieu du XVIII^e siècle, des voix commencent en effet à s'élever pour structurer la cité en utilisant de nouvelles techniques.

Par exemple, Barles [3] cite Patte, qui dès 1769 propose :

— de paver les rues ;

— de refuser l'exhaussement urbain ;

— de recueillir l'eau de pluie sur les toits pour l'alimentation en eau potable ;

— d'implanter des « *aqueducs* » sous les rues « *de 6 pieds de large, 7 pieds de haut, à 5 pieds sous le pavé* », reliés aux latrines qui seront installées en rez-de-chaussée, recueillant également les eaux de nettoyage des chaussées.

C'est également à cette époque que l'on invente la chasse d'eau, les puits d'accès, le dégrillage à la sortie du réseau, etc.

Le macadam est inventé en Ecosse entre 1820 et 1830, et Navier est chargé d'une mission pour évaluer l'intérêt du procédé. Il note l'importance qu'il y a à empêcher l'eau de pénétrer sous la structure : « *tout se réduit donc à rendre et à maintenir sec le fond sur lequel la route est établie. (...) Pour y parvenir, (...) les effets des eaux pluviales doivent (ensuite) être prévenus, en recouvrant le fond de matériaux choisis, préparés et employés de manière à devenir parfaitement imperméables à l'eau* » [5].

Malgré tout, les techniques n'évoluent que très lentement sous le poids de la nécessité. Les voiries, qui ne sont pas contestées jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, commencent à poser des problèmes au début du XIX^e siècle. En effet, l'augmentation de la densité de la population dans les grandes villes (par exemple, à Paris : 180 hab/ha en 1789, 210 en 1818, 280 en 1835) et le besoin de confort (chasses d'eau, salles de bain) entraînent une augmentation des volumes et des dilutions. Il faut trouver une solution pour les eaux excédentaires. Les premiers égouts se développent de 1800 à 1850 mais, essentiellement destinés à assainir les rues, ils n'ont pas pour fonction d'évacuer les eaux d'origine domestique. On envisage d'utiliser des « *fontaines artésiennes négatives* » pour injecter les eaux viciées à de très grandes profondeurs (« *utiliser le sous-sol pour ne pas rompre le sol* »). Cette technique est utilisée à Bondy de 1832 à 1842. Cette solution est cependant progressivement abandonnée car contradictoire avec l'idée (centralisatrice) du réseau qui commence à émerger.

« *Sous l'influence d'une certaine vulgarisation médicale, administrateurs, économistes, ingénieurs, architectes, tendent à assimiler la fonction du sang qui irrigue les tissus animaux à celle de la circulation des biens et des hommes qui contribue à vivifier ce qu'il faut bien appeler, dans la logique de cette équation, un organisme urbain* » [6].

● 1.4 Le développement du concept moderne de réseau d'assainissement

A l'origine, le mot de réseau désigne des filets ou des tissus. Sa première utilisation « moderne » est médicale : le réseau sanguin, le réseau nerveux, etc... « *Tirant son étymologie du vieux français réseuil, terme désignant une sorte de rets, de filet dont les femmes se coiffaient ou disposaient par-dessus la chemise en guise de soutien-gorge à la renaissance, et du latin retiulus, diminutif de retis, petit filet, mot technique et populaire de forme mal fixée, peut-être emprunté au toscan ; réseau est employé au XVII^e siècle par les tisserands et les vanniers pour qualifier l'entrecroisement des fibres textiles (...) et par les médecins pour formaliser l'appareil sanguin.* »

« *Ce n'est qu'au début du XIX^e siècle que le réseau apparaît comme une représentation susceptible d'être appliquée d'abord à l'hydrographie d'un bassin (1802), à la géologie (1812) pour être généralisé et de plus en plus abstrait sous la Révolution et devenir ainsi un concept.* »

Le terme est alors utilisé pour désigner « *l'organisation des fortifications sur le territoire national (1821), le système des conduites de distribution d'eau dans Paris (1828), l'organisation des voies de communication (1832).* » [7].

L'extension du terme à des organisations urbaines est le fait des hygiénistes du XIX^e siècle qui voient une analogie entre la circulation du sang dans le corps humain et celle de l'eau dans la ville :

« *Il faut lier ensemble ville et campagne par une vaste organisation tubulaire ayant deux divisions : l'une urbaine, l'autre rurale, chacune étant subdivisée en un système afférent ou artériel et en système efférent ou veineux, le tout actionné par un même cœur central.* » [8].

Ce sont également les hygiénistes qui, suite aux grandes épidémies de choléra du début du XIX^e siècle (l'épidémie de 1832 fait 18 402 morts à Paris, soit 1/43 de la population, celle de 1848 est moins meurtrière, mais marque encore davantage les esprits du fait de la répétition des crises) définissent les principes fondateurs du réseau d'assainissement moderne et imposent son usage : le système aura « *pour base fondamentale la circulation incessante de l'eau qui entre pure en ville et le mouvement également continu des résidus qui doivent en sortir. Citernes et fosses ne sont que deux formes de la stagnation pestilentielle.* » [8].

Le premier réseau « moderne » d'assainissement est ainsi construit à Hambourg en 1843 lors de la reconstruction de la ville à la suite d'un incendie. L'usage des cabinets à chasse d'eau (inventés

dès 1596 par l'anglais John Harington) commence à se répandre. Le goudronnage des routes, expérimenté dès la première moitié du XIX^e siècle par Mac Adam, ne commencera pour sa part vraiment qu'au début du XX^e siècle (en France, seulement 21 000 m² sont couverts en 1901, mais 360 000 m² en 1907).

Les voiries sont définitivement fermées à la fin du XIX^e siècle (Bondy en 1900). « *Le XIX^e siècle consacre, (...) le résidu inutile, qu'il soit liquide ou solide. L'avènement de l'hygiénisme génère le déchet (...) parce qu'il entraîne la rupture des cycles trophiques.* » [3].

Pour bien comprendre pourquoi le système va réussir à s'imposer, il est nécessaire de rappeler le contexte de cette époque. Le XIX^e siècle est certes celui de l'hygiénisme, mais c'est aussi le siècle des droits de l'homme et du centralisme étatique (tous égaux devant la loi et devant la nature), du scientisme (la science et la technique peuvent tout résoudre), du colonialisme (les ressources du monde sont à la disposition des rares pays « développés »), et de la première révolution urbaine. C'est l'époque de l'embellissement des capitales européennes, en particulier celle du baron Haussman en France [9].

Ces éléments fournissent les moyens financiers, les moyens techniques et les justifications politico-philosophiques permettant de construire ces immenses et très onéreux substituts artificiels aux réseaux hydrographiques naturels que sont les réseaux d'assainissement.

● 1.5 L'évolution du concept d'assainissement au cours du XX^e siècle

En France, la victoire des réseaux modernes d'assainissement est avalisée en 1894 par le vote de la loi sur le tout-à-l'égout à Paris. C'est le premier triomphe du concept hygiéniste de l'assainissement ; il sera rapidement suivi par d'autres succès, le système se généralisant à l'ensemble de la France dès le début du XX^e siècle.

Les premiers réseaux sont de type unitaire, les collecteurs évacuent les eaux usées de « temps sec » et occasionnellement le ruissellement pluvial. Ce système va donner satisfaction pendant une quarantaine d'années.

Les premiers problèmes sérieux apparaissent dans les pays développés, à la fin de la seconde guerre mondiale. Le premier exode rural ainsi que l'accroissement de la consommation en eau dû au développement de l'équipement sanitaire des appartements, provoquent une augmentation importante des rejets d'eaux usées et une dégradation concomitante de la qualité des milieux récepteurs. Ces problèmes ne remettent pas en cause les principes du tout au réseau comme en témoigne la circulaire CG 1333, dite circulaire Caquot, publiée en 1949. Certes ce document propose d'autres types de collecte des eaux, notamment le système séparatif, réputé améliorer le fonctionnement des installations d'épuration des eaux usées (installations qui commencent à se développer) : « *Dès l'entre deux guerres on expérimente les procédés d'épuration par boues activées et par lits bactériens. La première tranche de la station d'Achères est mise en service en 1940* » (d'après Meraud, cité par Barles [3]), mais il confirme de fait le concept hygiéniste du tout au réseau.

Deux décennies plus tard, toujours dans les pays développés, la généralisation de l'automobile permet le développement de l'habitat individuel ainsi que celui de grandes zones commerciales ou d'activités à la périphérie des grandes villes.

L'imperméabilisation de surfaces considérables nécessite le développement des réseaux secondaires de collecte, prolongeant les réseaux existants, et ramenant les eaux pluviales ainsi collectées vers les centres des agglomérations du fait de la topographie et de la structure en étoile des réseaux anciens. Les débordements de réseaux deviennent plus fréquents et imposent la prise en compte d'un nouveau concept dans la gestion de l'assainissement. Ce dernier, que l'on peut qualifier d'hydraulique, consiste à préconiser le ralentissement des écoulements sur les surfaces urbanisées, afin de réduire l'importance des débits de pointe de ruissellement. En France, l'Instruction technique interministérielle de 1977 prend en compte ce concept en préconisant des analyses hydrauliques plus fines du fonctionnement des systèmes d'évacuation, et en proposant pour la première fois une alternative aux réseaux : les bassins de retenue [10].

Le concept hydraulique est donc en opposition avec le concept hygiéniste réclamant une évacuation rapide et directe, sans stagnation. Cependant, même s'il montre sa pertinence, en particulier dans les villes nouvelles de la région parisienne, le concept hydraulique a beaucoup de mal à s'imposer. D'autre part, ne prenant en compte

que les aspects quantitatifs, il se trouve assez vite en décalage avec la montée en puissance de la prise de conscience environnementaliste. En tout état de cause il s'avère impuissant à résoudre les problèmes posés par la gestion urbaine de l'eau.

« Les eaux cachées dans le ventre des villes se manifestent en surface de plus en plus fréquemment : les déversoirs d'orage des parties unitaires des réseaux d'évacuation rejettent dans les cours d'eau des flots pollués à la moindre pluie, voire de façon permanente ; les ruissellements pluviaux gonflés par l'imperméabilisation inondent les points bas des villes souvent anciennes et à potentiel économique élevé. » [11].

En fait, l'inondation de Nîmes en octobre 1988, celle de Narbonne en août 1989, la pollution de la Seine en juillet 1990 et juin 1991, sont autant de révélateurs qui montrent qu'une approche purement technique de l'assainissement est devenue insuffisante pour résoudre les problèmes posés par la gestion des eaux urbaines.

Cette insuffisance provient en grande partie des interactions fortes qui existent entre le développement de la ville et le cycle de l'eau, interactions que les systèmes conventionnels d'assainissement par réseau contribuent à déréguler fortement, comme le montre le paragraphe suivant.

II ■ IMPACTS DE L'URBANISATION SUR LE CYCLE DE L'EAU

Les impacts de l'urbanisation sur le cycle de l'eau sont nombreux. Ils peuvent être schématisés par la figure 1.

Parmi tous ces impacts, cinq principaux sont développés ci-après.

1. Impacts de l'urbanisation sur les milieux aquatiques d'après [12].

● 2.1 L'imperméabilisation des sols

L'une des conséquences les plus visibles de l'urbanisation est l'imperméabilisation des sols qui limite très fortement les possibilités d'infiltration de l'eau. Il s'agit d'un phénomène récent. En France, par exemple, la surface imperméabilisée a décuplé entre 1955 et 1965 [12].

Ce phénomène entraîne en premier lieu une augmentation des volumes d'eau ruisselée. Cet élément est souvent mis en avant pour expliquer les inondations urbaines. Cependant, si l'accroissement du ruissellement est très sensible pour les événements pluvieux fréquents, voire pour les événements correspondants aux périodes de retour prises en compte pour le calcul des systèmes d'assainissement pluviaux (de l'ordre de 10 ans), il n'est pas déterminant pour les événements exceptionnels. En effet, la capacité d'infiltration de la plupart des sols saturés, en l'absence de couvert forestier dense, ou à l'exception de terrains très sableux, est très inférieure aux intensités que l'on peut rencontrer lors d'événements pluvieux exceptionnels. Ainsi, dans ce type de situation, les terrains non revêtus donnent souvent lieu à des volumes ruisselés spécifiques (volume ruisselé par unité de surface) qui tendent vers ceux des sols imperméables. A titre d'exemple, lors de la crue de l'Yzeron, dans la région Lyonnaise, en avril 1989, le coefficient volumique de ruissel-

lement de la partie rurale du bassin versant a été estimé à 50 %, celui de la partie urbaine à 60 % [13]. Voir *Coefficient de ruissellement*.

Une autre conséquence non négligeable de l'imperméabilisation des sols réside dans un manque de réalimentation des nappes souterraines. Ce phénomène peut d'ailleurs être accentué en cas de pompes dans la même nappe pour l'alimentation de la ville. En plus de l'effet direct de diminution de la ressource en eau, la baisse du niveau de la nappe est susceptible d'entraîner un affaissement du sol pouvant atteindre plusieurs mètres, lui-même susceptible de détruire les immeubles. Par exemple, en France, lors de la sécheresse du début des années 1990, les indemnités versées par les assurances pour des dégradations d'immeubles (fissurations, affaissement, etc.), ont été deux fois plus importantes que celles versées au titre des calamités agricoles [14]. Cependant, dans certains cas, les exfiltrations des réseaux peuvent compenser partiellement le déficit d'infiltration. Ainsi, dans une agglomération se développant sur 5 000 hectares, imperméabilisée à 50 %, et consommant 100 000 m³ d'eau par jour, des fuites de 20 % sur le réseau sont équivalentes à une alimentation en eau souterraine de 300 mm.

● 2.2 L'accélération des écoulements

La deuxième conséquence directe de l'urbanisation ou de l'aménagement des espaces périurbains, bien que moins évidente, est sans doute beaucoup plus déterminante dans l'augmentation des risques d'inondations. Elle consiste en un accroissement des vitesses d'écoulement, entraînant, même à coefficient de ruissellement constant, une augmentation considérable des débits de pointe. Cet accroissement des vitesses d'écoulement est dû, dans les zones urbaines, au remplacement d'un réseau hydrographique naturel, parfois non permanent, utilisant des cheminements sinueux, très encombrés, peu pentus, par un réseau d'assainissement souvent surdimensionné dans ses parties amont, au tracé direct pour en limiter la longueur, et doté d'une pente confortable pour diminuer son diamètre (et donc son coût) et limiter son ensablement. Il est également dû, dans les zones périurbaines, au drainage des sols et au recalibrage des ruisseaux et des fossés. Ce recalibrage, souvent présenté comme un moyen sûr de lutter contre les inondations, a souvent eu comme origine l'urbanisation du lit majeur du ruisseau, zone naturelle d'expansion de la crue, et donc régulateur du débit à l'aval.

Sous l'effet conjugué de toutes ces actions, certains bassins versants ont vu leur temps de réponse divisé par un facteur de l'ordre de cinq à quinze [15]. La diminution du temps de réponse a deux conséquences. En premier lieu, pour une même pluie et pour un même volume ruisselé, elle augmente le débit de pointe du fait du raccourcissement de la durée de l'hydrogramme et de la diminution de son *amortissement*. En second lieu, elle rend le bassin versant sensible à des événements pluvieux de durées plus courtes, donc plus intenses et produisant des *débits spécifiques* plus importants. Au total, la réduction du temps de réponse peut conduire à une multiplication du débit de pointe spécifique par un facteur allant de cinq à cinquante [15].

Remarque : la pluie théoriquement la plus pénalisante pour un bassin versant homogène est celle dont la durée est égale à son *temps de concentration*. En effet si la durée de la pluie est plus courte, la totalité de la surface du bassin versant ne contribue pas en même temps au débit à l'exutoire ; à l'opposé plus la durée de la pluie augmente plus son intensité moyenne diminue pour une période de retour donnée. Voir *Méthode rationnelle*.

● 2.3 La construction d'obstacles à l'écoulement

L'urbanisation, y compris dans les zones périurbaines, s'accompagne toujours de la mise en place d'un réseau de routes et de rues. Les plus importantes (autoroutes, rocade, boulevards périphériques, etc.) sont souvent construites en surélévation par rapport aux terrains naturels qui les bordent, ou au contraire en tranchée. Ces voies de circulation superposent au relief naturel un « relief » artificiel qui, en particulier dans les zones peu pentues, peut modifier considérablement l'écoulement des eaux superficielles :

— lorsqu'elles sont perpendiculaires à la pente, et donc aux lignes d'écoulement naturelles de l'eau, elles constituent de véritables digues, « forçant l'écoulement des eaux accumulées vers des passages obligés, généralement placés sur des cheminements naturels significativement apparents (lits de ruisseaux, talwegs importants,

etc.) » [15]. Elles peuvent même, dans certains cas et sur des secteurs à relief peu marqué, modifier de façon importante la délimitation des bassins versants.

— lorsqu'elles sont dans le sens de la pente, elles peuvent devenir de véritables canaux, souvent rectilignes, parfois pentus, et toujours de faible rugosité en regard d'un bief naturel. Les écoulements peuvent alors atteindre des vitesses très grandes provoquant des effets dévastateurs comme ce fut le cas à Nîmes en octobre 1988.

● 2.4 L'artificialisation des rivières urbaines

A partir du milieu du XVII^e siècle les travaux d'endiguement, d'élargissement et de rectification des cours d'eau en ville commencent. Les rivières les plus modestes sont busées, canalisées ou enterrées. Les plus importantes se retrouvent enserrées entre des quais hauts qui les isolent complètement de la ville. Cette évolution se poursuit jusqu'à la première moitié du XX^e siècle, et les cours d'eau urbains ne sont plus considérés que comme des « égouts virtuels ». Entre les deux guerres, puis après la 2^e guerre mondiale, la croissance urbaine s'intensifie encore et vient de plus en plus fréquemment occuper l'espace vital des cours d'eau. Voir *Rivière urbaine*.

Le résultat de cette évolution est double :

— busés, canalisés, cachés, les cours d'eau urbains ont progressivement été oubliés des citoyens qui n'en perçoivent plus que les nuisances ;

— enserrés dans un corset trop étroit, les cours d'eau urbains ont perdu toute possibilité « naturelle » d'épanchement de leurs trop-pleins en cas de crue.

Les conséquences peuvent devenir catastrophiques : la ville, correctement protégée tant que le niveau de l'eau reste inférieur à celui des digues, se trouve brusquement submergée si la crue augmente. N'étant plus habituée à la présence de l'eau, elle révèle alors sa vulnérabilité accrue : installations sensibles (standards téléphoniques, transformateurs électriques, etc.) situées dans les sous-sols, parkings souterrains, stocks importants de marchandises fragiles en rez-de-chaussée, grande flottabilité des véhicules, inexpérience des citoyens, etc. Tout se conjugue pour transformer la crue en catastrophe.

Sur un plan écologique, l'artificialisation des rivières n'est pas non plus sans conséquences. Un cours d'eau est en effet un milieu vivant qui doit être considéré dans sa dynamique : la succession de crues et d'étiages, le transport solide, les transformations du lit, la diversité des habitats (nature des berges, largeur du lit, vitesse de l'eau, profondeur de la rivière, etc.) sont indispensables à son équilibre. Par ailleurs un cours d'eau ne peut pas être séparé de son environnement : le bassin versant qui l'alimente, les abords de ses berges et en particulier son lit majeur, le sous-sol immédiat avec lequel il est en échange permanent (nappe alluviale), conditionnent totalement son évolution et son fonctionnement. Or la ville n'a de cesse de couper la rivière de son environnement immédiat, de régulariser son lit et son régime. Enfin, la suppression de l'alternance de zones calmes et de zones courantes limite les possibilités de réoxygénation alors même que la pollution de la rivière augmente.

● 2.5 La pollution des milieux récepteurs

La dernière conséquence importante de l'urbanisation est l'augmentation de la pollution des milieux récepteurs. Certes, les rejets urbains ne sont pas les seuls en cause ; l'agriculture et l'industrie ont également une lourde part de responsabilité. Malgré tout, les conséquences des rejets urbains sont extrêmement lourdes :

— parce qu'ils représentent, pour certains *polluants*, la part essentielle des rejets ;

— parce qu'ils sont très concentrés en un nombre relativement limité de points, en opposition avec les rejets agricoles, beaucoup plus diffus, donc moins apparents ;

— parce que les portions de rivières, de littoral, ou les lacs qu'ils affectent sont bien évidemment ceux qui sont situés à proximité des plus grandes concentrations de populations, donc ceux possédant la plus grande valeur d'usage (sinon la plus grande valeur écologique). Voir *Impact (des rejets sur les milieux récepteurs)*.

Même si l'on observe depuis quelques années en Europe une volonté affirmée de reconquête de la qualité des milieux aquatiques, le combat est très loin d'être gagné. Si le contrôle des rejets urbains de temps sec paraît possible à relativement court terme, celui des rejets urbains de temps de pluie nécessitera des efforts beaucoup plus considérables, du fait des volumes d'eau et des masses de polluants en jeu. Voir *Pollution des rejets urbains de temps de pluie*.

III ■ POUR UN AMÉNAGEMENT URBAIN RÉCONCILIANT L'EAU ET LA VILLE

Pour apporter des éléments de solution aux différents problèmes précédemment évoqués, il apparaît nécessaire de proposer un nouveau concept, de type environnementaliste, permettant de reposer le problème de l'assainissement en s'appuyant sur une formulation plus ouverte de la problématique et une liaison plus forte avec l'aménagement urbain. Ce nouveau concept nécessite en fait de promouvoir une nouvelle culture urbaine de l'eau reposant elle-même sur différents principes qui vont être brièvement présentés dans les paragraphes suivants.

● 3.1 Développer les techniques alternatives

L'assainissement par réseau a montré ses limites. Depuis une vingtaine d'années de nombreuses techniques, dites alternatives ou compensatoires, susceptibles de compléter, voire de se substituer complètement au système par réseau ont été imaginées. Toutes reposent sur la même stratégie : essayer de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau, c'est-à-dire continuer à utiliser au mieux les cheminements que prenait l'eau avant l'urbanisation. Voir *Techniques alternatives*.

Les principes de base de ces solutions nouvelles peuvent ainsi se résumer en une seule phrase : retarder le transfert de l'eau vers les exutoires de surface et accélérer son évacuation vers les exutoires souterrains.

Ces systèmes ont été mis en place et testés dans différents pays depuis plusieurs dizaines d'années pour les plus anciens : *chaussées à structure réservoir* avec ou sans revêtements poreux, *bassins de retenue*, *puits d'infiltration*, *tranchées drainantes*, *stockage en toiture*, etc. Toutes ces expériences ont montré que ce type de technique permettait de réduire très significativement les pointes de débit ainsi que les masses de polluants déversées. Elles ont également mis en évidence le fait que l'utilisation de technologies alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial n'augmente pas les coûts de viabilisation à l'échelle de la zone équipée, et qu'elle contribue à diminuer de façon très sensible les coûts d'équipements structurants d'assainissement.

Ces techniques innovantes (même si elles ne sont pas toutes nouvelles) représentent donc une alternative extrêmement efficace et pertinente à l'assainissement traditionnel par réseau. Par ailleurs, elles peuvent constituer l'occasion ou le moyen de développer de nouveaux espaces « naturels » en ville.

● 3.2 Mieux gérer les risques majeurs

En matière de protection contre les inondations, il n'est pas possible de se protéger contre tous les risques. Quelle que soit la technique utilisée et quelles que soient les dimensions des ouvrages, il y aura forcément un jour où ces ouvrages seront insuffisants. La prise en compte de ces événements exceptionnels (ou dont la période de retour est supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages) constitue donc une nécessité pour l'aménageur. Voir *Période de retour*, *Risque*, *Inondation*.

Cette prise en compte peut se faire par voie réglementaire, en limitant, en réglementant, voire en interdisant l'urbanisation dans les zones potentiellement inondables (voir *Procédures de prévention des risques d'inondation*). Les solutions de ce type sont susceptibles, si la réglementation est respectée, d'apporter des éléments de réponse pour les débordements des rivières, en revanche elles sont plus difficiles à appliquer pour les inondations dues à des ruissellements superficiels sur les surfaces urbaines.

La protection contre les événements exceptionnels peut également être assurée par des solutions techniques. Le concept de systèmes mineur et majeur d'assainissement, déjà utilisé au Canada sous le nom de système dual [16] ou en Australie [17], est à ce titre exemplaire. Il est fondé sur une organisation de l'urbanisation autour de la nécessité de protéger la ville contre les risques extrêmes, en différenciant l'assainissement pluvial normal et la gestion des écoulements exceptionnels. Chacun de ces deux problèmes est traité par un réseau d'évacuation spécifique (voir fig. 2) :

— le système mineur est destiné à l'évacuation (éventuellement par un réseau souterrain) des ruissellements de période de retour inférieure à 10 ans (généralement 2 à 5 ans) ;

2. Principe du système dual d'assainissement : le réseau souterrain possède une capacité d'évacuation limitée, la rue est traitée pour accueillir et évacuer sans dommage l'excédent d'eau ; d'après [16].

— le système majeur correspond à un aménagement de l'espace en vue de l'évacuation des ruissellements superficiels exceptionnels (période de retour 100 ans et plus).

Les surfaces urbaines sont incorporées dans le système d'assainissement. Les voiries sont par exemple considérées comme des vecteurs temporaires d'évacuation des eaux de ruissellement. Elles sont donc conçues de façon à ce que les vitesses et les hauteurs d'eau atteintes restent faibles et en tout état de cause, inférieures à des seuils susceptibles de dégrader les habitations riveraines (hauteur d'eau inférieure à celle des trottoirs) et les voiries elles-mêmes ou de porter atteinte aux véhicules ou aux personnes par entraînement.

L'eau ainsi recueillie est transportée sur des distances aussi courtes que possible, pour être ensuite détournée, soit vers un talweg naturel non construit, mais aménagé pour réduire les vitesses, soit vers un champ d'inondation temporaire. Ce dernier peut être un parc urbain, une aire de sport, etc.

Les solutions de ce type nécessitent bien évidemment de considérer la maîtrise du ruissellement pluvial comme une composante structurante de l'aménagement de l'espace, la topographie jouant un rôle essentiel dans la hiérarchisation des surfaces. Leur mise en place dans les parties denses des villes déjà très développées risque d'être longue et délicate du fait des choix d'urbanisation précédemment effectués. En revanche leur utilisation devrait être systématique dans les zones périphériques des agglomérations (ne serait-ce que pour ne pas aggraver les risques dans les centres anciens), ainsi que dans beaucoup de villes de pays en développement qui sont en train de se structurer.

3.3 Prendre en compte l'ensemble des rejets urbains ainsi que leurs impacts réels sur les milieux récepteurs

Jusqu'à une époque très récente, seules les eaux usées étaient considérées comme polluées. Par ailleurs, la nécessité de l'épuration était davantage perçue par les gestionnaires de systèmes d'assainissement comme une contrainte réglementaire visant à respecter des normes de rejet ou de traitement, que comme une participation active à la remise en état des milieux récepteurs.

Un peu partout en Europe, et particulièrement en France, les choses sont en train de changer. La Directive Européenne du 21 mai 1991, relative aux eaux résiduaires urbaines, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 et l'ensemble de leurs textes d'application introduisent en effet trois éléments clés :

- la nécessité de prendre en compte l'ensemble des rejets urbains : eaux usées, eaux pluviales et eaux industrielles ;
- la nécessité d'assurer des niveaux de traitement satisfaisants, y compris pendant les périodes pluvieuses autres qu'exceptionnelles ;
- la nécessité d'adapter les traitements aux spécificités et aux exigences particulières des milieux récepteurs.

Ces textes réglementaires sont accompagnés d'un effort important de recherche et de développement visant à mettre au point de nouvelles solutions techniques destinées à limiter les apports de polluants d'origine urbaine aux milieux naturels. Voir *Polluants (rejets), Pollution des rejets urbains de temps de pluie, Impacts des rejets sur les milieux récepteurs*.

IV ■ UNE NÉCESSAIRE REMISE EN CAUSE DE NOS HABITUDES

Si les solutions techniques ou réglementaires visant à réconcilier l'eau et la ville existent, leur mise en application pratique n'est pas pour autant acquise. La résistance au changement est en effet une constante du comportement humain et il n'est pas suffisant qu'une idée soit bonne pour qu'elle s'impose à tous. Il est également nécessaire que différentes conditions soient remplies :

- la nécessité d'agir imposée par l'environnement ;
- l'existence des moyens financiers et techniques ;
- la formation des différents acteurs ; etc.

Trois éléments, qui constituent autant de préalables au développement pratique d'une nouvelle culture urbaine de l'eau, sont présents ci-après.

4.1 Reconsidérer les fonctions urbaines de l'eau

Pour parodier une publicité célèbre, la première nécessité consiste à changer le regard porté sur l'eau : « il faut positiver ». L'eau doit cesser d'être une menace ou une nuisance pour devenir un élément de valorisation. Il ne faut plus « raisonner assainissement de la ville » mais « utilisation de l'eau pour la mise en valeur de la cité ».

Différents arguments peuvent être avancés dans ce sens :

- la promotion de la ville qui peut améliorer son image en développant des activités innovantes reposant sur la promotion de l'eau ;
- le développement économique local, reposant aussi bien sur les activités industrielles traditionnelles associées à l'eau que sur le développement du tourisme ou des loisirs, voire sur la qualité du cadre de vie ;
- l'utilisation de l'eau comme élément d'aménagement urbain ;
- la mise en valeur du patrimoine lié à l'eau : patrimoine historique (lavoirs, fontaines, ponts, puits, aqueducs, etc.) ou industriels (moulins, quais, activités diverses liées à l'eau) ;
- l'utilisation de l'eau comme élément de sociabilité : développement de lieux de rencontre ou d'activité (pêche, baignade, jeux d'eau, etc.).

Les actions engagées en s'appuyant sur les enjeux précédents permettent non seulement d'argumenter des solutions techniques visant à une gestion plus intégrée, donc plus pertinente, de l'eau en ville, elles permettent également de dégager des ressources financières complémentaires. Plus généralement, en changeant l'échelle à laquelle les problèmes sont formulés, il devient possible de mettre en relief les véritables enjeux économiques et sociaux des opérations : emplois créés, augmentation des valeurs foncières et mobilières, etc., et d'éclairer d'un jour nouveau les politiques d'aménagement et de gestion urbaine de l'eau [18].

4.2 Mieux prendre en compte l'eau dans les documents d'urbanisme

4.2.1 Urbanisme prévisionnel

En France, la loi fait obligation aux collectivités territoriales de tenir compte des problèmes d'environnement dans les schémas directeurs et dans les Plans d'occupation des sols. Par exemple, l'article 2 de la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature indique que « (...) les documents d'urbanisme doivent respecter les préoccupations d'environnement ». Le décret d'application du 31 décembre 1976 précise ces conditions de prise en compte.

Les schémas directeurs sont des documents prospectifs à long terme. Ils fournissent un cadre général pour les décisions d'aménagement les plus importantes. Ils doivent assurer la cohérence entre les diverses solutions retenues pour l'assainissement des eaux pluviales et usées (grands collecteurs, stations d'épuration, bassins de retenue, etc.). Ils doivent également intégrer les projets d'intérêts généraux édictés par les représentants de l'État [19].

Les Plans d'occupation des sols (POS) doivent assurer la mise en cohérence technique et financière du développement de l'urbanisation et de celle des services urbains. Ils devraient donc constituer l'un des outils privilégiés d'une meilleure gestion urbaine de l'eau. Si les annexes sanitaires ont pendant longtemps été pour le moins négligées, les collectivités territoriales françaises sont cependant de plus en plus nombreuses à intégrer les contraintes de l'assainissement dans le règlement. Par exemple, l'article 4 du POS des communes du Département de Seine Saint Denis précise :

« *Quelle que soit l'opération d'urbanisation, l'imperméabilisation et le ruissellement engendrés devront être quantifiés afin de mesurer les incidences sur les volumes d'eau à transiter dans les réseaux communaux et départementaux. Aucun rejet supplémentaire ne sera accepté dans les réseaux. Les rejets supplémentaires devront faire l'objet d'une technique de rétention ou bien d'une technique de non-imperméabilisation, adaptable à chaque cas* ». Cet article s'applique partout, quelle que soit la nature de la zone. [20].

Par ailleurs, la réglementation en matière d'urbanisation des zones inondables est en train d'évoluer. L'extension de l'urbanisation dans de telles zones est maintenant soumise à un contrôle très strict destiné à assurer que les aménagements éventuellement autorisés ne remettent en cause ni la sécurité des personnes, ni l'écoulement des eaux.

Ainsi la Circulaire du 24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables, précise aux préfets : « (...) La priorité de votre action sera d'établir une cartographie des zones inondables qui pourra prendre la forme d'un atlas. Doivent être identifiés et délimités, d'une part, les couloirs d'écoulement des eaux où devront être prohibés toutes les activités et aménagements susceptibles d'aggraver les conditions d'écoulement et, d'autre part les zones d'expansion des crues. »

L'objectif de l'élaboration de tels documents est de sensibiliser les élus aux risques d'inondations en intégrant les informations collectées dans les *Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux* (SDAGE).

Les *plans de prévention des risques* (PPR), disposition établie par la loi sur le renforcement de la protection de l'environnement n° 95-101 du 2 février 1995, prévoient que tous les documents relatifs aux risques naturels (plans de surfaces submersibles, incendies de forêts, etc.) soient regroupés sous la dénomination de plans de prévention des risques naturels prévisibles. Ces documents comprennent obligatoirement une cartographie des zones à risques ; ils sont annexés au POS conformément à l'article L 126.1 du code de l'urbanisme.

4.2.2 Urbanisme opérationnel

Les documents d'urbanisme contrôlent la mise en place de projets de construction qui constituent eux-mêmes à leur tour des points possibles de prise en compte des préoccupations hydrologiques.

Les Zones d'aménagement concertées (ZAC), font largement appel à la collaboration entre acteurs publics et privés. Ces procédures sont donc tout à fait favorables à des négociations permettant une gestion intelligente de l'eau au niveau de la parcelle. Les incitations fiscales peuvent par exemple se révéler d'un grand secours pour obtenir de l'aménageur qu'il suive des prescriptions spéciales dépassant celles exigées par l'article 317-4 du Code Général des Impôts. Par exemple l'exonération totale ou partielle de la taxe locale d'équipement peut l'inciter à réaliser des équipements locaux d'infiltration ou de stockage des eaux [19]. Un conseil technique efficace est cependant indispensable pour assurer que les solutions retenues seront à la fois pertinentes et pérennes.

Les articles R 111-8 à R 111-12 du code de l'urbanisme permettent à l'autorité compétente d'assortir l'octroi du permis de construire de certaines conditions obligeant le pétitionnaire à réaliser les travaux qu'elle juge nécessaires pour limiter les conséquences du ruissellement des eaux pluviales. L'article R 111-13 l'autorise même à refuser le permis de construire si elle juge que la collectivité n'a pas les moyens de réaliser ou de gérer les équipements publics nécessaires [19].

● 4.3 Repenser les découpages techniques et administratifs

Les principaux freins à l'utilisation de ces nouvelles approches ne sont pas techniques. La réussite du développement de ces nouvelles

solutions nécessite surtout de changer d'attitude par rapport à l'eau. Le temps est fini où l'on pouvait isoler l'eau pure de la campagne et l'eau sale de la ville. L'eau forme un tout : de la source à l'océan et de l'océan à la source, le cycle de l'eau doit être considéré dans son ensemble. Les découpages territoriaux de nature administrative doivent s'estomper devant des découpages correspondant mieux à la réalité de la gestion de l'eau. Ceci implique en particulier de raisonner à l'échelle des bassins versants. La nouvelle loi sur l'eau du 3 janvier 1992 donne les moyens juridiques et définit le cadre technique d'une telle approche. En particulier les *Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux* (SDAGE) et les *Schémas d'aménagement et de gestion des eaux* (SAGE) semblent parfaitement adaptés pour permettre la mise en place d'une gestion cohérente de l'eau.

La deuxième barrière à éliminer est celle qui existe entre les différents services techniques. Par exemple, l'utilisation de chaussées à structure réservoir interdit de raisonner « voirie » puis « assainissement ». Les deux domaines doivent impérativement être étudiés en commun. La mise en place de telles solutions condamne donc certaines pratiques actuelles, où chaque technicien pouvait ignorer les méthodes et outils de son collègue du bureau voisin. Les découpages par spécialité doivent s'estomper, et la notion d'ouvrage, conçu globalement comme un système multi-technique, doit servir de point de départ à une organisation nouvelle des services techniques des collectivités.

Si l'on poursuit l'analyse à partir de ce point de vue, la conception d'un ouvrage impose de commencer par définir les qualités qu'il doit présenter : résistance mécanique, perméabilité, capacité de stockage, aspect, atténuation acoustique, etc..

La définition de ces qualités passe par le choix préalable des fonctions que l'ouvrage doit assurer : accueil de circulations, stockage des eaux de ruissellement, desserte d'activités, etc., ce qui ne peut se faire que si la voirie est perçue comme partie prenante de l'aménagement de la ville et non seulement comme un élément technique nécessaire à son fonctionnement. Le raisonnement, même global, en terme d'ouvrage est donc insuffisant. La voirie doit être conçue comme un élément complexe structurant l'espace urbain. Les techniciens doivent donc également travailler très étroitement avec les urbanistes et les aménageurs qui conçoivent les espaces urbains, et ceci dès les premières phases du projet.

Ce mode de raisonnement, fondé sur une analyse globale des VRD (Voirie et réseaux divers) menée dès les phases de conception du plan masse, n'est pas nouveau. Simplement, il est, dans le cas de l'utilisation de techniques alternatives, une nécessité absolue. Le développement de ce type d'approche ne pourra donc s'envisager que si les techniciens des différents services, les urbanistes et les aménageurs parviennent à coopérer plus étroitement qu'ils n'ont l'habitude de le faire. Ceci nécessitera sans doute de redéfinir leurs missions et leur organisation.

RÉFÉRENCES

- [1] CHOCAT B., LE GAUFFRE P. — « Les réseaux techniques urbains » ; Cours de DEA, INSA de Lyon, France, 1991.
- [2] CLARK C. — « Les inondations » ; Collection la planète terre, Ed. Time-Life books, Amsterdam, 176 p., 1983.
- [3] BARLES S. — « La pédosphère urbaine : Le sol de Paris XVIII^e-XX^e siècles » ; Thèse Do ENPC, 569 p., 1993.
- [4] MANEGLIER H. — « Histoire de l'eau, du mythe à la pollution » ; Ed. François Bourin, 1991.
- [5] NAVIER — « Considérations sur les travaux d'entretien des routes en Angleterre. Procédés de M. Mac Adam » ; Annales des Ponts et Chaussées., 2^e sem. 1831.
- [6] HAROUEL J.M. — « Les fonctions de l'alignement dans l'organisme urbain, XVIII^e siècle », 1977.
- [7] GUILLERME A. — « Genèse du concept de réseau - Territoire et Génie en Europe de l'Ouest - 1760-1815 », janvier 1988, rapport DRI, ministère de l'équipement, 230 p., 1988.

- [8] WARD — Discours « Circulation et stagnation », septembre 1852.
- [9] DUPUY G. et KNAEBEL G. — « Assainir la ville hier et aujourd'hui » ; Ed. Dunod, Paris, 1982.
- [10] Ministère de la culture et de l'environnement, Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire, Ministère de l'agriculture, Ministère de la santé et de la sécurité sociale ; « Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations », IT 77 284 INT ; Imprimerie nationale, Paris ; 62 p. + annexes, 1977.
- [11] DESBORDES M., DUREPAIRE P., GILLY J.C.L., MASSON J.M., MAURIN Y. — « 3 octobre 1988, Inondations sur Nîmes et sa région. Manifestation, causes et conséquences » ; Ed. C. Lacour, Nîmes, 93 p., 1989.
- [12] EURYDICE 92 — « Réconcilier l'eau et la ville par la maîtrise des eaux pluviales » ; Ed. de STU, Ministère de l'équipement, Paris, 64 p., 1991.
- [13] CHOCAT B. — « La crue de l'Yzeron du 29 avril 1989, premiers éléments d'analyse » ; rapport interne, INSA Lyon — France, 3 p., 1989.
- [14] LEDOUX B. — « Les catastrophes naturelles en France » ; Document Payot, 1995.
- [15] DESBORDES M. — « Principales causes d'aggravation des dommages dus aux inondations par ruissellement superficiel en milieu urbanisé » ; Bulletin hydrologie urbaine — SHF ; Paris, n° 4, pp. 2-10, 1989.
- [16] WISNER P. — « Introduction à l'hydrologie urbaine » ; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Cours international d'hydrologie opérationnelle et appliquée, 100 p., 1983.
- [17] O'LOUGHLIN G. — « Safety for urban drainage systems » ; 4th International conference on urban storm drainage, Lausanne, pp. 345-350, 1987.
- [18] OLIVRY D. — « Aménager l'espace urbain lorsque l'eau ressurgit » ; n° spécial de la revue Etude et réflexions (l'eau dans la ville), n° 5, NFPT, pp. 28-32, août 1989.
- [19] COGEZ C. — « La prise en compte de l'eau dans les documents d'urbanisme » ; N° spécial de la revue Etude et réflexions (l'eau dans la ville), n° 5, CNFPT, pp. 33 – 37, août 1989.
- [20] Direction de l'Eau et de l'Assainissement ; « Pour concilier l'eau et la ville » ; Conseil Général de Seine Saint Denis, 1993, 16 p.
- [21] GUILLERME A. — « Les temps de l'eau : la cité, l'eau, les techniques. » ; Collection « Milieux », Ed. Du Champ Vallon ; Seyssel (01), France, 264 p., 1984.

CONTRIBUTIONS À L'ENCYCLOPÉDIE DE L'HYDROLOGIE URBAIN ET DE L'ASSAINISSEMENT

COORDINATION

L'encyclopédie sur l'hydrologie urbaine et l'assainissement est un ouvrage collectif rédigé à l'initiative et sous la responsabilité de l'association EURYDICE 92. Bernard Chocat a été le maître d'œuvre de cette entreprise. Il a porté le projet depuis son idée originelle jusqu'à son achèvement tout en assurant une part importante de la rédaction des textes.

COMITÉ DE RÉDACTION

La rédaction de cette encyclopédie a été supervisée par un comité de rédaction, dont les membres ont assuré collectivement le choix des entrées, l'écriture de la majorité des articles et la relecture critique du document. Ce comité était composé des personnes suivantes :

- Serge Aguilar — Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;
- Sylvie Barraud — Institut National des Sciences Appliquées de Lyon ;
- Jean-Luc Bertrand-Krajewski — Lyonnaise des Eaux ;
- Francis Calvet — Société du canal de Provence ;
- Bernard Chocat — Institut National des Sciences Appliquées de Lyon ;
- Claire Cogez — Conseil Général de Seine Saint Denis ;
- Jean-Dominique Creutin — CNRS et Université de Grenoble ;
- Michel Desbordes — Université de Montpellier II ;
- Jean-Claude Deutsch — Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;
- Alain Faure-Soulet — Centre d'études Techniques de l'Équipement Méditerranée ;
- Benoît Le Guennec — Institut National Polytechnique de Toulouse ;
- Gilles Hubert — Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;
- Yves Kovacs — Sépia Conseils.

AUTRES AUTEURS

Différents experts ont également participé à la rédaction du texte :

- André Bachoc — Direction Régionale de l'Environnement, région Centre ;
- Elodie Brelot — Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau ;
- Ghassan Chebbo — Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;
- François-Noël Crès — Institut National des Sciences Appliquées de Lyon ;
- Dominique Laplace — Société d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de Marseille ;
- Vladan Milisic — Laboratoire de Modélisation Avancée des Systèmes Thermiques et des Écoulements Réels ;
- Frédéric Nougarede — Lyonnaise des Eaux ;
- Serge Thibault — Université de Tours.

ONT ÉGALEMENT CONTRIBUÉ À L'EXISTENCE DE CET OUVRAGE

De nombreuses personnes ont contribué à l'existence de cet ouvrage, en rédigeant, relisant ou corrigeant certains articles :

Elham Alfakih ; Jean-Michel Bergue ; Jean-Marie Delattre ; Didier Gaujous ; Olivier Gilard ; Bénédicte Greff ; Claude Joannis ; Pascal Le Gauffre ; Jean-Marie Mouchel ; Isabelle Putas ; Daniel Renard ; Christian Roux ; Jean-Pierre Tabuchi ; Bruno Tassin ; Daniel Thévenot. Sans omettre ceux et celles qui ont participé à la mise en forme du texte et à la réalisation des illustrations graphiques : Yann Barlerin ; Marion Chocat ; Nathalie Chocat ; Clarisse Fontaine ; Renée Hector ; Fabienne Lareguin ; Natacha Mathieu ; Valérie Ohron ; Michel Tabib.