

Le cycle de l'eau dans les infrastructures urbaines

- 1 - Représentation schématique du cycle de l'eau en milieu urbain**
- 2 - Les effets de l'urbanisation sur le cycle naturel de l'eau**
- 3 - Les effets de la voirie urbaine**
- 4 - Les actions correctives possibles**
- 5 - Les chaussées à structures réservoirs et le risque d'inondation**
- 6 - Les chaussées à structures réservoirs face à la pollution**
- 7 - Zones privilégiées pour les chaussées à structures réservoirs**
- 8 - Les infrastructures urbaines et la loi sur l'eau**

1 - Représentation schématique du cycle de l'eau en milieu urbain

Dans leur ouvrage *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie* (Tec et Doc, Lavoisier, 1992), F. Valiron et J.-P. Tabuchi proposent de représenter le cycle de l'eau en milieu urbain comme illustré à la figure 3 :

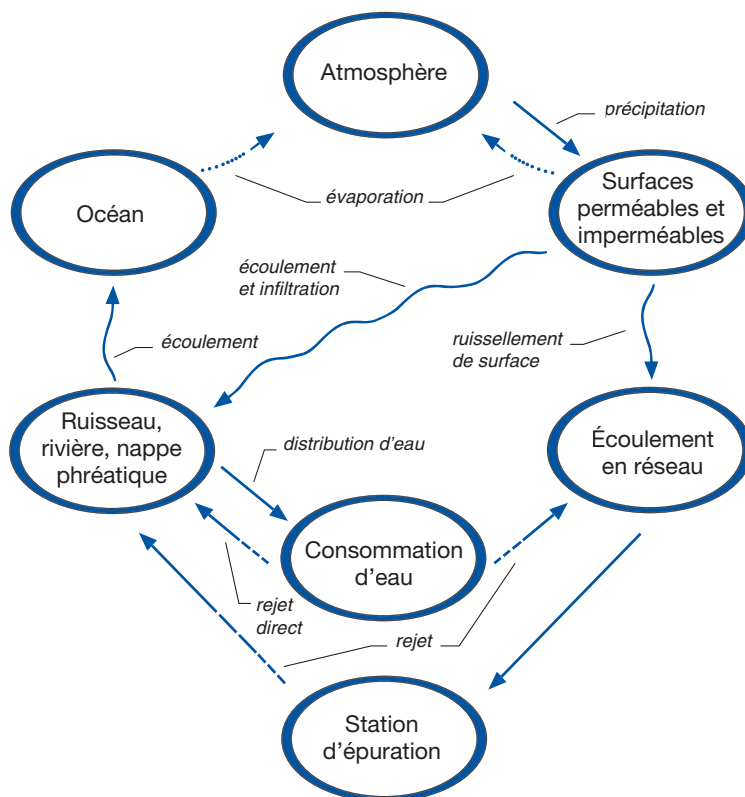


Figure 3 : schéma du cycle de l'eau en milieu urbain.

2 - Les effets de l'urbanisation sur le cycle naturel de l'eau

L'urbanisation imperméabilise les sols naturels.

Conséquences :

- augmentation du ruissellement ;
- réduction de l'infiltration naturelle.

Effets néfastes par temps de pluie :

- inondations plus fréquentes, surcharge épisodique des réseaux ;
- pollution des milieux récepteurs par lessivage.

L'urbanisation rassemble l'activité humaine.

Conséquences :

- augmentation de la consommation d'eau ;
- augmentation des rejets polluants.

Effets néfastes par temps sec :

- déficit en eau ;
- pollution des milieux récepteurs par concentration.

3 - Les effets de la voirie urbaine

La voirie urbaine est un des aspects de l'urbanisation. Elle ajoute d'autres effets néfastes, et ce, d'autant plus que :

- les techniques traditionnelles de chaussées et trottoirs privilégient l'imperméabilisation des sols par le recours à des revêtements de chaussée étanches ;
- la morphologie classique des chaussées avec les profils en toit, les bordures, les caniveaux, les avaloirs et leur raccordement direct à des réseaux de canali-

sations favorisent le transfert instantané des débits. La création de nouvelles voiries imperméables a pour effet hydraulique de réduire le temps de concentration (ou temps de réponse) des bassins versants, et de désenclaver des zones qui n'étaient pas actives antérieurement ;

• les divers usages de la voirie et de l'environnement urbain sont sources de dépôts fortement pollués sur les revêtements de chaussée (figure. 4).



La conception classique de la voirie favorise le ruissellement et le transfert instantané des débits d'eaux vers les réseaux.

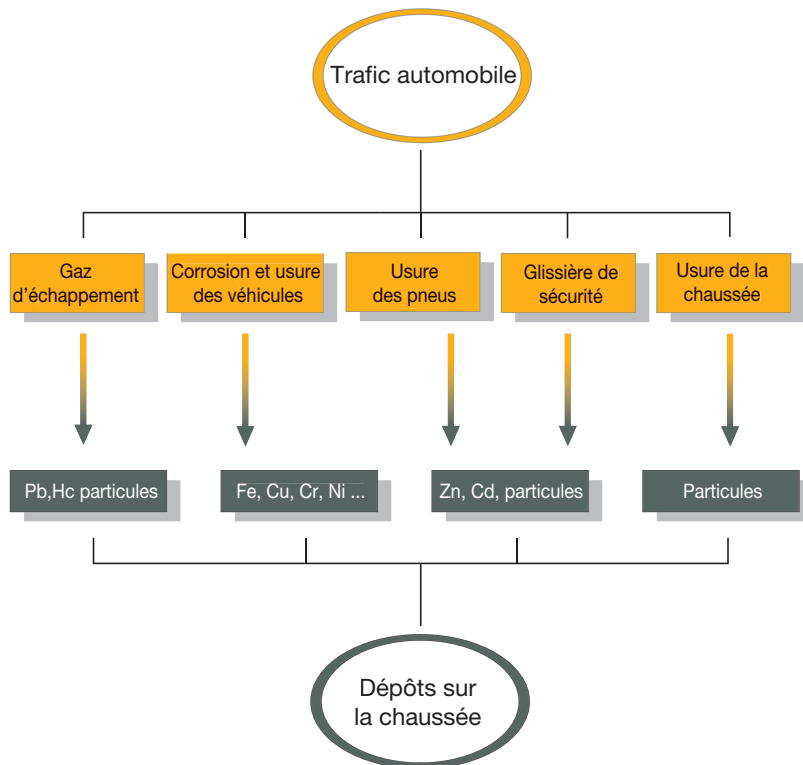


Figure 4 : pollution chronique due au trafic automobile.

Nota

En milieu urbain, au moins 40 % de ces micropolluants sont évacués vers le milieu naturel par le ruissellement pluvial.

4 - Les actions correctives possibles

La figure 5 visualise les effets négatifs de l'urbanisation sur le cycle de l'eau ; elle permet également de comprendre l'intérêt des chaussées à revêtement poreux et/ou à structures réservoirs.

- **Par temps de pluie :**

- en piégeant les polluants, les structures limitent l'effet de lessivage des chaussées, et par conséquent la pollution des cours d'eau,
- en créant des stockages, les structures régulent le débit instantané des cours d'eau et contribuent à réduire la fréquence des crues ;

- **Par temps sec :** en laissant s'infiltrer les eaux de ruissellement stockées, ces structures permettent de réalimenter les nappes et de pondérer les débits d'étiage. Le principe de ces corrections est de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau en lui faisant emprunter des cheminements comparables à ceux qu'elle empruntait avant l'urbanisation.

Ce principe implique aussi le retour à une conception ancienne de la voirie qui lui faisait assurer, en surface, une double fonction :

- la fonction route (circulation) ;
- la fonction assainissement – cette fonction comprenait même l'évacuation des eaux usées, disposition légitimement abandonnée pour des raisons d'hygiène.

L'avènement de l'assainissement via la canalisation, conjugué à la distinction faite entre les services responsables respectivement des chaussées, de l'assainissement et même de l'urbanisme, a contribué à faire oublier des morphologies de voirie et des dispositions qui permettaient l'évacuation des EP (eaux pluviales) en toute sécurité, telles que :

- l'absence de rupture de pente ;
- des profils en travers adaptés (V) ;
- la présence de marches d'accès aux immeubles.

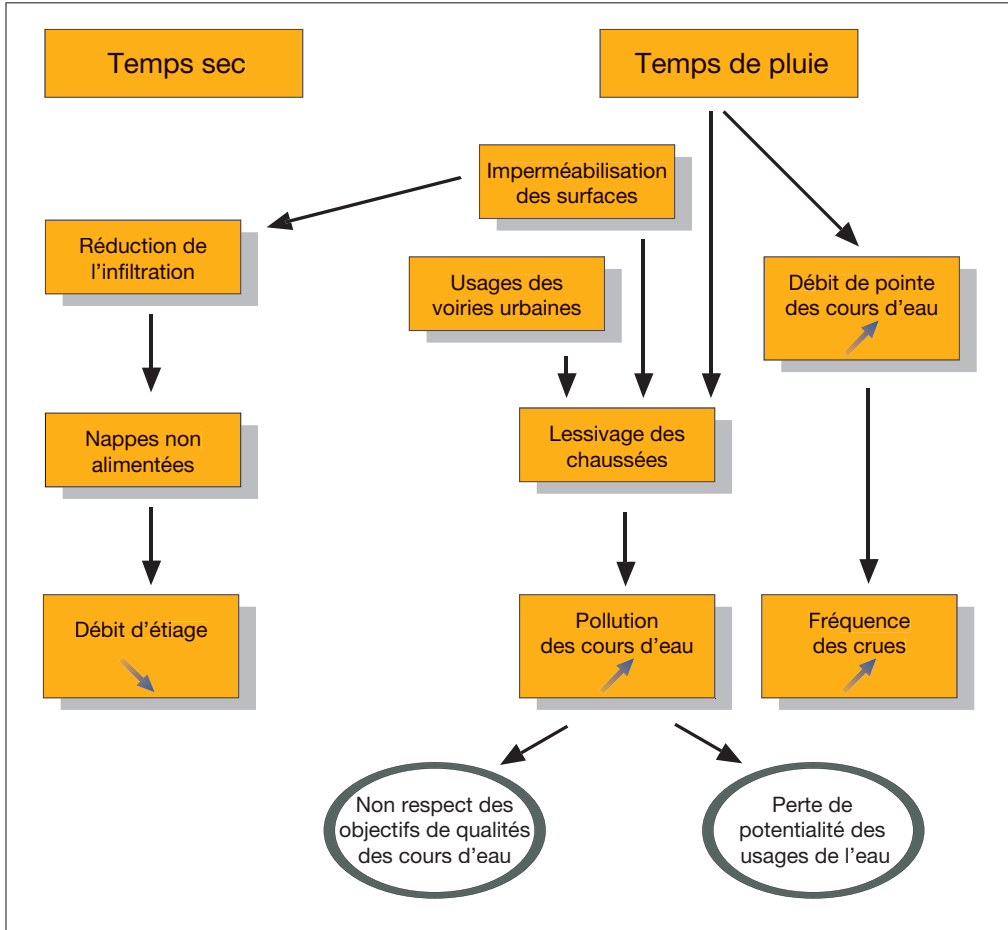


Figure 5 : influence des voiries urbaines sur le cycle de l'eau.

5 - Les chaussées à structures réservoirs et le risque d'inondation

Les développements récents de l'urbanisation ont montré que l'extension urbaine a tendance à se faire en amont des bassins versants. Mais l'impact par temps de pluie se produit, lui, en aval, sur des villes anciennes, dans les points bas, souvent en bordure des rivières ou des fleuves, avec des réseaux d'assainissement insuffisamment dimensionnés. L'insuffisance de



Des inondations de plus en plus fréquentes.

ces réseaux anciens, qui sont encore plus sollicités par la création de réseaux secondaires pour l'urbanisation de la périphérie des villes, conduit à des inondations de plus en plus fréquentes, même pour des événements pluvieux relativement courants. Cette situation est d'autant plus insupportable que les zones inondées sont des zones d'habitat ou d'activité, donc très sensibles.

Pour éviter l'installation de collecteurs de dimensions incompatibles (techniquement et économiquement) avec les sites urbains, on a de plus en plus recours à d'anciennes solutions comme les solutions compensatoires, dont le principe est de créer des stockages provisoires afin de retarder le transfert de l'eau vers les exutoires et/ou de faciliter son infiltration (figure 6).

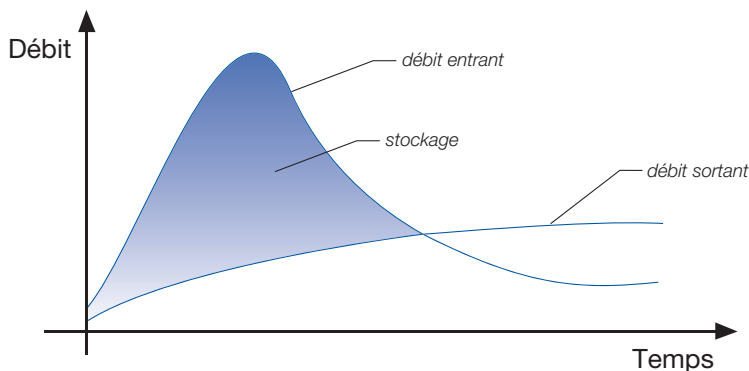


Figure 6 : effet du stockage temporaire sur les débits.

Un des premiers recours est la voirie, à laquelle on va redonner son rôle hydraulique vis-à-vis des inondations.

La route peut en effet :

- constituer une digue de protection ;
- évacuer les crues ;
- constituer des réservoirs de stockage « écrêteurs » de crues :
 - dans les zones amont des bassins versants (simples bassins de rétention) ;
 - dans toutes les zones, y compris aval (chaussées réservoirs au sens large).



Réalisation d'une structure réservoir en bétons poreux.

Les chaussées à structures réservoirs font partie de la panoplie des solutions compensatoires. Du fait de leur fonctionnement hydraulique, elles sont en mesure de protéger contre le risque d'inondation en cas de pluie, grâce à trois fonctions :

- le **recueil** de l'eau de pluie : que le recueil soit réparti (au travers d'un revêtement drainant) ou qu'il soit localisé (revêtement imperméable), la chaussée absorbe l'intensité maximale de la pluie ou le débit de pointe ;
- le **stockage temporaire** de l'eau dans la structure de chaussée ; le volume à stocker dépend de la quantité d'eau tombée et du débit de fuite que l'on a nécessairement limité ;
- la **régulation des débits**, c'est-à-dire la restitution lente et différée selon un débit de fuite maximal ; cette restitution se fait soit dans le système d'assainissement superficiel par l'intermédiaire d'un orifice calibré, soit par infiltration dans le sol support.

6 - Les chaussées à structures réservoirs face à la pollution

6.1 La pollution des eaux de ruissellement des chaussées urbaines

Le contexte urbain est propice à la production de polluants d'origines diverses, dont une bonne part se déposent sur la voirie et se retrouvent entraînés par le ruissellement des eaux de pluie. À la source, on trouve la pollution atmosphérique liée aux activités humaines qui produisent des gaz et des poussières : industrie, chauffage, moteurs à combustion... Mais on trouve également les particules et solides générés par la concentration humaine et par l'usage même de la voirie urbaine : circulation de véhicules et de piétons, débris d'espaces verts, détritus, déjections animales...

Le niveau de pollution des eaux de ruissellement urbain contraint désormais les aménageurs à ne pas envisager leur rejet sans précaution ; la loi sur l'eau (voir le sous-chapitre 8, page 33) est, à cet égard explicite.

Cette pollution est caractérisée essentiellement par :

- la discontinuité de sa mobilisation : elle ne se produit que par temps de pluie, avec de possibles effets de choc lors des orages importants ; elle conduit à des pollutions passagères, dues au lessivage des sédiments accumulés sur les chaussées ;
- des concentrations élevées en matières en suspension (MES) et en métaux lourds ; la pollution des eaux pluviales urbaines est essentiellement le fait des particules.

Les principaux paramètres de la pollution des eaux de ruissellement de chaussées sont :

- **pour la pollution mécanique :**
 - les MES (matières en suspension) ;
- **pour la pollution organique :**
 - la DCO : demande chimique en oxygène,
 - la DBO₅ : demande biochimique en oxygène en 5 jours (à un degré moindre),
 - les MVS (matières volatiles en suspension) ;

• **pour la pollution toxique**

(hiérarchisés par rapport à la nécessité d'intervenir en cas de présence) :

- le plomb (Pb) et les hydrocarbures totaux (HC),
- le mercure (Hg),
- le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le cadmium (Cd).

La pollution microbiologique est moins sensible dans le ruissellement pluvial.

Le tableau 1 illustre l'importance des masses de polluants mises en jeu annuellement. Le contexte dans lequel ces mesures ont été faites nécessite pour le réseau unitaire de majorer de 20 à 30 % les MES et la DCO, et de 50 % la DBO₅. Malgré cela, la pollution d'origine strictement pluviale est très significative.

<i>Tableau 1 : masses transportées annuellement (en kg/ha imperméabilisé) à l'aval de bassins versants unitaires et pluviaux (d'après Philippe, Ranchet et Chebbo)</i>		
<i>Paramètres de pollution</i>	<i>En collecteurs unitaires</i>	<i>En collecteurs pluviaux</i>
MES	744 - 1 650	503 - 2 278
DCO	442 - 1 235	235 - 1 076
DBO ₅	85 - 233	39 - 206
HC	3 - 47	4 - 35
Pb	0,6 - 2	

Si la mobilisation des polluants est discontinue, leur production, quant à elle, est à la fois :

- **chronique** : il s'agit des retombées atmosphériques sèches, des apports des véhicules (carrosserie, gaz d'échappement, hydrocarbures, usure des pneumatiques, etc.), de l'usure des chaussées ;
- **saisonnnière** : il s'agit essentiellement des sels de déverglaçage en hiver ;
- **accidentelle** : déversement accidentel de chargements dangereux.

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux de ruissellement de chaussée sont très variables d'un site à un autre. Elles sont notamment fonction :

- de l'intensité du trafic routier ;
- des caractéristiques de la chaussée, de son état d'usure et de son entretien ;
- du mode d'utilisation de la chaussée ;
- de l'environnement ;
- des caractéristiques de la pluie ;
- de la nature de l'entretien des chaussées.

6.2 - Impact du ruissellement sur les chaussées urbaines

En milieu urbain, les eaux de ruissellement de chaussées, très chargées en solides et en métaux lourds, contribuent immédiatement ou de façon différée à :

- porter atteinte aux équilibres de l'écosystème du milieu récepteur : apport d'eau sous-oxygénée, de matières organiques et de métaux lourds qui, à la fois sous forme dissoute et sous forme de particules, se retrouvent à l'état rémanent dans la chaîne alimentaire ; ce qui se traduit, par exemple, par des mortalités piscicoles ;
- menacer les usages de l'eau – prélèvements d'eau potable, conchyliculture, baignade, etc. –, entraînant ainsi des conséquences économiques localement très graves.

6.3 - Fonction épuratoire des chaussées à structures réservoirs

■ 6.3.1 - Influence sur la qualité des eaux à l'exutoire d'un bassin versant routier

Plusieurs études dans le monde ont mis en évidence une influence favorable des chaussées à structures réservoirs sur la qualité des eaux de ruissellement qui y transitent. Une diminution significative de la pollution a toujours été observée. Elle a pour origine :

- le rôle de filtre joué par les différentes couches poreuses, notamment le revêtement superficiel lorsque l'infiltration répartie le traverse ;
- les possibilités de décantation dues à la faible vitesse des écoulements dans ces structures ;
- l'infiltration éventuelle dans le sol sous-jacent.

Concernant les structures poreuses en béton, deux chantiers expérimentaux ont été suivis en France. Des échantillons ont été prélevés sur plus d'un an dans l'eau transitant par ces chaussées, qui ont ensuite été comparés à des prélèvements de ruissellement à l'exutoire de chaussées témoins étanches (même situation et même usage).

Le tableau 2 indique les abattements obtenus sur les concentrations dans les eaux pour ces deux structures réservoirs :

- parking commercial du Caillou à Bordeaux, pour des véhicules légers : 5 cm de béton bitumineux drainant sur 17 cm (en moyenne) de béton poreux ;
- avenue de la Porte-de-Vitry à Paris, trafic urbain lourd, très dense : 16 cm de béton drainant monocouche sur support en béton.

Ces abattements sont particulièrement significatifs et efficaces en termes de dépollution, car il s'agit ici de bassins versants urbains qui génèrent un ruissellement avec de fortes concentrations en polluants et en toxiques. Les concentrations observées étant nettement plus faibles pour des bassins versants routiers et autoroutiers en rase campagne*, la destination privilégiée des structures réservoirs serait donc la voirie urbaine et périurbaine.

Tableau 2 : abattements sur la pollution des eaux pluviales apportés par deux chaussées à structures réservoirs (Balades et al [1992], et Ranchet et al [1993])

	Abattements sur les concentrations en :		
	DCO	MES	Pb
Parking commercial à Bordeaux	89 %	50 %	93 %
Avenue de la Porte-de-Vitry à Paris	54 %	70 %	78 %



Revêtement d'une chaussée réservoir réalisé avec des pavés en béton perméables à l'eau.

* Réf. : Balades et al. (1994) ; Ranchet et al. (1993) ; LROP et Agence de l'eau Seine-Normandie (1994).

Mise en œuvre
d'un revêtement en
béton drainant.



■ 6.3.2 - Localisation de la pollution retenue dans une structure réservoir

Le fait d'avoir réduit la pollution dans les eaux à l'exutoire (largement en dessous des seuils généralement acceptables par les milieux naturels) signifie que la structure poreuse l'a retenue. Selon le mode d'introduction dans la structure, l'expérience montre que le piégeage de la pollution se fait à des niveaux différents selon le type de structure.

- Cas où le revêtement superficiel est drainant

Dans ce cas, le revêtement joue le rôle d'un filtre à particules et retient donc également les toxiques qui y sont liés, plomb et cadmium notamment. Avec le temps, les deux premiers centimètres tendent à se colmater, favorisant le piégeage de la pollution. Cette évolution limite la fonction hydraulique et nécessite donc des interventions d'entretien. Si le revêtement de la chaussée comporte des pavés poreux ou des dalles poreuses, la couche de sable support constitue un filtre supplémentaire très efficace pour stocker les polluants non piégés par le revêtement.

- Cas d'un revêtement étanche (entrée d'eau ponctuelle ou linéaire)

L'environnement du drain de distribution et le fond de la structure concentrent dans ce cas l'essentiel de la pollution piégée.

■ 6.3.3 - Risque de contamination des sols

Le risque de contamination des sols n'existe que lorsque l'évacuation de l'eau stockée est prévue uniquement par infiltration, solution qui n'est autorisée que lorsque la nappe n'est pas vulnérable. Lorsque le fond de la structure n'est pas étanche (infiltration d'eau possible), la présence d'un géotextile constitue également un piège à polluants très efficace, encore plus efficace avec le temps à mesure que progresse son colmatage. Seule une pollution des sols situés à proximité immédiate a pu être observée, dans les premiers temps de la vie des ouvrages.

■ 6.3.4 - *Pollution saisonnière*

Les sels de déverglaçage, dissous dans l'eau, ne sont pas piégés efficacement comme les autres polluants.

■ 6.3.5 - *Pollution accidentelle*

Par rapport aux chaussées classiques, les structures réservoirs présentent l'avantage de localiser et de confiner la pollution, de ralentir sa propagation et d'offrir des possibilités d'action, par rinçage et aspiration notamment. Le principe est moins évident dans le cas où l'infiltration est préconisée (ce qui n'est pas le cas dans les zones à risques), mais le ralentissement de la progression de la pollution est tel que les interventions restent possibles. La pollution accidentelle ne peut donc constituer un frein à l'utilisation des structures réservoirs.

6.4 - L'entretien des chaussées à structures réservoirs

Un entretien est nécessaire pour que ces structures puissent continuer d'assurer avec le meilleur rendement la fonction hydraulique pour laquelle elles ont été conçues. En ce sens, l'entretien préventif et curatif prévu au chapitre VII est efficace. Il l'est également vis-à-vis de la pollution accumulée, sous forme de particules fines agglomérées, sachant toutefois que les quantités de solides piégés sur les revêtements drainants ou à l'intérieur des structures poreuses sont suffisamment faibles pour ne pas nécessiter un entretien complémentaire. Du fait des faibles quantités générées, ce ne sont donc pas les critères de pollution qui sont déterminants pour les durées de service et de vie des chaussées à structures réservoirs. Les chaussées à structures réservoirs correspondent donc à un concept de « chaussées écologiques ». Contrairement aux chaussées classiques qui déplacent ou dispersent aveuglément la pollution, les structures réservoirs localisent et concentrent la pollution sur des sites identifiés. Sur ces sites, on sait que la migration des toxiques est minimale – elle n'a encore jamais été observée – et qu'il n'y a pas de risques pour les nappes aquifères et autres milieux récepteurs sensibles, préservant ainsi les divers usages de l'eau.

7 - Zones privilégiées pour les chaussées à structures réservoirs

La localisation privilégiée pour les structures réservoirs correspond évidemment aux régions à forte pluviométrie (Ouest) ou à orages violents et localisés (Sud-Est), mais *a priori*, il n'existe pas, en France, de réelle contre-indication climatique à leur implantation. Pour les villes situées au point bas des bassins versants et/ou soumises à une « contrainte aval » (cote des plus hautes eaux, marnage), les villes où la densité de l'urbanisation empêche économiquement l'aménagement de nouveaux collecteurs pour les bassins de stockage-décantation des stations d'épuration, les structures réservoirs s'imposent par leur double fonction hydraulique et épuratoire. Elles peuvent être affectées aux places, aux rues piétonnes, aux parkings, aux voies de lotissement, aux zones d'activités commerciales et industrielles. Les voies périurbaines à fort trafic pourraient alors être constituées de chaussées à revêtement drainant dont la capacité de stockage serait plus limitée.

8 - Les infrastructures urbaines et la loi sur l'eau

8.1 - La procédure d'autorisation ou de déclaration

Les infrastructures urbaines sont directement concernées par les dispositions de l'article 10 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Comme le souligne le diagramme illustrant leur influence sur le cycle de l'eau, ces infrastructures sont, aux termes de la loi, « susceptibles de présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter atteinte gravement à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique ».

L'article 10 instaure les régimes d'autorisation ou de déclaration dont l'application est réglementée par le décret n° 93-742 du 29 mars 1993. Un second décret n° 93-743 du 29 mars 1993 établit la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration, et fixe les seuils qualitatifs et quantitatifs qui déclenchent les procédures. Il a été modifié, à la date du 17 juillet 2006, pour y intégrer les rejets d'eau pluviale dans les eaux superficielles sur le sol ou dans le sous-sol. Pour des infrastructures en site urbain, les seuils fixés sont élevés ; ils sont notamment de :

- 20 hectares pour un bassin versant contribuant à un rejet d'eaux pluviales soumis à autorisation (1 ha pour déclaration) ;
- 120 kg de DBO₅ (demande biochimique en oxygène à 5 jours) pour le flux journalier d'un déversoir d'orage soumis à autorisation (12 kg pour déclaration), sachant qu'une forte pluie polluée en site urbain peut générer de 5 à 10 kg par jour et par hectare imperméabilisé.

La nomenclature reste toutefois très contraignante pour les travaux et ouvrages en rivières ou à leur voisinage : tous les ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, qui constituent un obstacle à l'écoulement des crues, sont soumis à autorisation.

Une demande d'autorisation comprend notamment un document d'incidence de l'opération sur le milieu aquatique (et sa préservation), la ressource en eau, les écoulements, le niveau et la qualité des eaux, le ruissellement... Ce document doit définir :

- l'origine des incidences chroniques, épisodiques ou accidentelles ;
- l'impact sur l'eau et les activités humaines ;
- l'influence des variations ;
- les mesures pour limiter les incidences, et notamment les mesures compensatoires et correctrices ;
- la prise en compte des objectifs de qualité et des documents de planification.

Pour une opération concernant, en plus des travaux de voirie, d'autres types de travaux (cas des opérations d'aménagement, des lotissements...), la demande d'autorisation est à présenter par le maître d'ouvrage pour l'ensemble des travaux de l'opération, lorsque cette opération se situe au-delà du seuil fixé par la nomenclature, même si l'un des types de travaux (par exemple la voirie) se situe en deçà.

8.2 - Le zonage « eaux pluviales »

Les communes (ou groupements) ont obligation – article 35-3 de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 –, si le risque est avéré, après enquête publique, de délimiter les zones où :

- des mesures sont à prendre pour limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser les débits et les écoulements ;
- des dispositions sont nécessaires pour réduire l'impact des eaux pluviales.

Pour cela, en fonction des insuffisances qualitatives (pollution du milieu naturel) et/ou quantitatives (inondations) mises en évidence, et en tenant compte de la vulnérabilité de secteurs identifiés, le territoire concerné est découpé en zones sur lesquelles sont fixés des seuils de limitation des débits et où sont positionnés d'éventuels dispositifs de rétention, de stockage et de traitement des eaux pluviales.

En annexant ce zonage aux plans d'occupation des sols, les communes aident les aménageurs à respecter ces dispositions dans leurs projets.

Les chaussées poreuses, et plus particulièrement les chaussées à structures réservoirs, procurent des réponses simples et pratiques aux contraintes imposées par la loi sur l'eau aux infrastructures urbaines. À ce titre, elles permettent d'apporter :

- des mesures compensatoires et correctrices sur les incidences des projets (art. 10) ;
- des moyens pour maîtriser les débits lors des fortes pluies et réduire l'impact des rejets urbains par temps de pluie (art. 35.3).