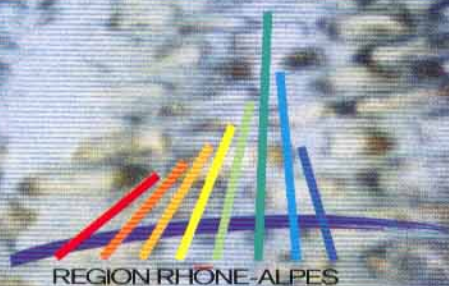


DOSSIER
ENVIRHONALPES

MIEUX GERER LES EAUX PLUVIALES LES TECHNIQUES ALTERNATIVES D'ASSAINISSEMENT

PRIX : 60 F



INTRODUCTION

Pour beaucoup de citadins, le mot d'assainissement est synonyme de tuyau d'égout, et, parfois, de station d'épuration.

On confond ainsi l'objectif : rendre la ville plus saine, plus agréable et moins dangereuse à vivre, vis à vis des menaces et des nuisances engendrées par l'eau - et le moyen : l'assainissement par réseau, qui consiste à évacuer toutes les eaux usées ou pluviales le plus vite et le plus loin possible de la cité. Une telle confusion est compréhensible, car cette technique est utilisée de façon quasiment unique depuis plus de 150 ans. Elle n'est cependant pas la seule possible, en particulier pour se protéger contre les dangers ou les nuisances dues aux eaux pluviales, et il n'est pas inutile de s'interroger sur sa pertinence : l'assainissement par réseau rend-il les services qu'on est en droit d'attendre d'un système d'assainissement ? Disposons-

nous aujourd'hui d'autres solutions plus efficaces et plus économiques ? A quelles conditions ces solutions peuvent-elles se généraliser ?

Le présent guide répond à ces questions de la façon la plus précise et la plus pratique possible. Il veut proposer à tous ceux qui travaillent à l'assainissement une réflexion et des solutions nouvelles pour la gestion des eaux pluviales.

Il ne s'agit pas seulement, ce qui n'est déjà pas si mal, de solutions mieux adaptées aux préoccupations environnementales actuelles. Les techniques abordées dans cet ouvrage répondent aussi à un souci d'économies financières, et doivent également permettre un meilleur rendement de la gestion des eaux pluviales en termes d'assainissement.

Françoise GROSSETETE
Présidente d'ENVIRHONALPES



Le réseau d'assainissement de la Communauté Urbaine de Lyon : 2500 km de tuyaux.



UN PEU D'HISTOIRE

Les principes de l'assainissement par réseau ont été conçus par les hygiénistes au début du XIX^{ème} siècle. Ils reposent sur une analogie entre la circulation du sang dans le corps humain et celle de l'eau dans la ville, qui peut être résumée par le discours prononcé par WARD à l'académie royale de LONDRES en septembre 1852 :

"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 un système efférent ou veineux, le tout actionné par un même coeur central. (...). (Le système a) 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".

Ce mode de raisonnement, reposant sur l'évacuation au plus vite des eaux de toutes natures, était principalement justifié, au moment de sa formulation, par la nécessité de lutter contre les épidémies transmises par l'eau. Paris avait par exemple connu deux épidémies tragiques de choléra en 1832 et 1848.

Une autre fonction non négligeable dévolue aux réseaux souterrains était d'embellir la ville et, déjà, de protéger les milieux récepteurs. Les classes aisées habitant dans le centre des villes n'acceptaient plus de voir les rues ressembler à des cloaques lors de chaque pluie. Il importait donc de cacher les eaux sales dans le ventre de la ville et de les évacuer au plus vite.

Les pays développés d'Europe et d'Amérique du nord disposaient à cette époque des moyens financiers et techniques permettant la mise en oeuvre de ce mode d'assainissement dans les "grandes" agglomérations, agglomérations qui étaient en fait très petites, comparées à nos mégaloilles modernes.

En France, la loi sur le tout-à-l'égout du 10 juillet 1894 consacrait cette technique et permettait aux réseaux de se développer progressivement, au rythme d'une croissance urbaine modérée, en apparaissant comme la seule technique moderne d'assainissement.

Les premiers problèmes sérieux sont apparus, 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, provoqua une augmentation importante des rejets d'eaux usées et une dégradation concomitante de la qualité des milieux récepteurs. Ces problèmes ne remirent cependant pas en cause les principes du tout-au-réseau. La circulaire CG 1333, dite circulaire Caquot, se contentait de rationaliser les méthodes de calcul des débits de pointe et de proposer

la séparation des eaux et l'épuration des eaux usées.

Deux décennies plus tard, toujours dans les pays développés, la généralisation de l'automobile permettait le développement de l'habitat individuel à la périphérie des grandes villes. Ce mode d'urbanisme allait très vite entraîner l'imperméabilisation de surfaces considérables, générant des débits eux-mêmes considérables lors des pluies, et provoquant des inondations parfois graves dans les centres urbains traditionnels, souvent situés dans les points bas. En France, l'Instruction Technique interministérielle de 1977 prenait en compte ce problème en préconisant des analyses hydrauliques plus fines du fonctionnement des réseaux, et en proposant pour la première fois une alternative aux réseaux: les bassins de retenue.

Parallèlement, le phénomène d'urbanisation s'accélérait dans les pays en voie de développement, qui voyaient la taille et la population de leurs villes s'accroître à un rythme sans commune mesure avec celui précédemment observé dans les pays développés. Les problèmes sanitaires liés à l'eau ainsi que les inondations catastrophiques devenaient l'un des fléaux majeurs de beaucoup de pays d'Afrique, d'Amérique du sud ou d'Asie.

L'ASSAINISSEMENT PAR RÉSEAU

le bilan de 150 ans de pratique

1 DES RISQUES D'INONDATIONS URBAINES DE PLUS EN PLUS IMPORTANTS

Les volumes et les débits de pointe générés par les orages sont extrêmement importants, que ce soit en valeur relative (comparés aux volumes et débits dus aux eaux usées), ou en valeur absolue. De ce fait, les inondations urbaines par ruissellement (c'est à dire dues aux eaux directement précipitées sur le territoire de l'agglomération ou sur son environnement immédiat) constituent une menace de plus en plus présente et de plus en plus grave pour une société où l'exigence de sécurité, particulièrement vis à vis des risques naturels, est perçue comme un besoin fondamental.

Sur la région Rhône-Alpes, un orage important peut apporter de 30 à 100 millimètres d'eau en quelques heures, soit de 30 à 100 litres d'eau par mètre carré. Si la surface sur laquelle cette eau arrive est imperméable (toiture, parking, rue, etc...), l'eau doit nécessairement s'écouler par ruissellement vers un exutoire, lequel est, de plus en plus souvent, constitué par un réseau souterrain d'assainissement.

Dans une agglomération comme le Grand Lyon, la surface totale imperméabilisée est de 25 000 hectares.

Le volume total d'eau à évacuer peut donc théoriquement atteindre 10 à 15 millions de mètres cubes, soit le volume moyen évacué par le Rhône en une dizaine d'heures !

Les réseaux d'assainissement pluviaux ne sont pas conçus pour protéger la ville contre les catastrophes, du type de celle de Nîmes en 1989. Leurs dimensions sont juste suffisantes pour évacuer les débits générés par des événements pluvieux rares (se produisant en moyenne 10 fois par siècle). Elles sont insuffi-

santes pour évacuer les débits dus à des événements exceptionnels (une pluie du même ordre d'importance que celle qui a ravagé Nîmes se produit en moyenne, sur Nîmes, une à deux fois par siècle).

L'assainissement par réseau permet de ne pas avoir les pieds dans l'eau lors des pluies moyennes, mais est incapable de protéger les citoyens contre les risques d'inondations graves.

Plus pernicieux encore, les villes se sont souvent développées dans les points bas, en bordure des rivières, sur les rives des lacs, près des ports naturels. Les réseaux d'assainissement, du fait de leur fonctionnement gravitaire, canalisent ainsi les eaux de toute l'agglomération vers les centres traditionnels, concentrant les flux et les risques dans les zones les plus vulnérables.

La construction de nouveaux réseaux, aux dimensions plus importantes, destinés à mieux protéger les quartiers périphériques des villes, augmente les risques dans les centres traditionnels.



2 LES EAUX PLUVIALES URBAINES : UN FACTEUR IMPORTANT DE DÉGRADATION DES MILIEUX AQUATIQUES

Sur un tout autre plan, la prise de conscience environnementaliste entraîne une demande croissante de remise en valeur des milieux aquatiques, en particulier aux abords immédiats des villes.

Pour régler ce problème, on a longtemps cru qu'il suffisait de récupérer les eaux usées d'origine industrielle et domestique, et de les traiter dans des stations d'épuration avant de les rejeter au milieu naturel. Les eaux pluviales, réputées propres pouvaient, croyait-on, être rejetées sans danger dans les rivières et les plans d'eau.

On sait aujourd'hui que les eaux de pluie qui ont ruisselé sur les surfaces urbaines sont extrêmement sales. Les concentrations en polluants dans les eaux pluviales peuvent même être, pour certains produits très dangereux (plomb, hydrocarbures cancérigènes, matières en suspension, etc...), supérieures à celles des eaux usées. Comme d'autre part les volumes d'eaux apportés par une pluie sont sans commune mesure avec les volumes d'eaux usées produits dans le même temps, on comprend que les masses de pollution rejetées par les réseaux d'assainissement pluviaux doivent absolument être maîtrisées si l'on veut effectivement améliorer la qualité des milieux aquatiques.

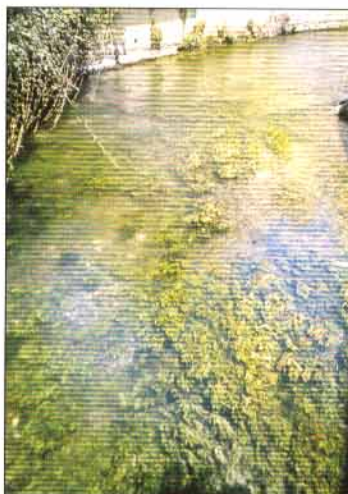
Quand la ville prend une douche : que fait-on de l'eau sale ?

Les solutions traditionnelles utilisées pour épurer les eaux usées (stations d'épuration biologiques) ne peuvent absolument pas être utilisées pour traiter les eaux pluviales du fait de l'importance des volumes et des débits. Il est donc nécessaire d'envisager d'autres réponses.

La masse d'azote et de phosphore contenue dans les eaux de ruissellement rejetées au milieu naturel par un orage violent est environ 10 fois plus importante que celle contenue dans les eaux usées produites en une journée par la même agglomération. L'excès d'azote et de phosphore est responsable du développement rapide d'algues qui entraîne une dégradation des milieux aquatiques.

La masse de métaux lourds contenue dans les eaux de ruissellement rejetées en un an au milieu naturel lors des périodes de pluie est environ 25 fois plus importante que celle contenue dans les eaux usées produites dans le même temps par la même agglomération. Les métaux lourds sont susceptibles de s'accumuler dans la chaîne alimentaire et de provoquer des maladies graves.

La masse de matières en suspension (boues, vases, etc...) contenue dans les eaux de ruissellement rejetées au milieu naturel par un orage violent est environ 100 fois plus importante que celle contenue dans les eaux usées produites en une journée par la même agglomération. Les matières en suspension sont porteuses d'une pollution importante, susceptible de provoquer des mortalités piscicoles, comme dans la Seine à Paris en juin 1991 et juin 1993.



Développement d'algues dû à un excès d'azote et de phosphore.

3 LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT TRADITIONNELS : UNE TECHNOLOGIE TROP COÛTEUSE POUR LE XXI^{ème} SIECLE

Les coûts engendrés par la construction des ouvrages nécessaires au drainage de surfaces imperméables de plus en plus étendues et situées de plus en plus loin des exutoires naturels (rivières et fleuves) deviennent difficilement supportables pour des collectivités locales qui doivent, de plus, faire face à un régime économique de crise.

Au rythme actuel des investissements, il faudrait environ un siècle pour reconstituer le patrimoine réseau d'assainissement de la France. Ceci signifie que, même en l'absence de desserte de nou-

velles zones, il faut que la durée de vie moyenne des équipements soit au moins de 100 ans pour maintenir le même niveau de service. Or, d'une part, la durée moyenne de vie des collecteurs est souvent très inférieure au siècle, et d'autre part beaucoup d'ouvrages sont déjà très âgés.

Si l'on veut continuer à promouvoir la seule technique du tout-au-réseau, il faudra accepter une augmentation considérable des dépenses d'investissement dans les années à venir, ne serait ce que pour maintenir à niveau le réseau existant.

Le coût de construction, en zone urbaine dense, d'un collecteur susceptible d'évacuer 60m³/s est du même ordre de grandeur que celui d'une autoroute.

4 L'ASSAINISSEMENT PAR RÉSEAU : UNE TECHNIQUE QUI MONTRE SES LIMITES

En résumé, les systèmes traditionnels d'assainissement, fondés sur le principe de l'évacuation au plus vite des eaux de toutes natures, montrent actuellement leurs limites : canalisant les flux dans des collecteurs aux dimensions et aux coûts prohibitifs, ils concentrent les risques, souvent dans les centres historiques des villes situés près des rivières et des fleuves, et amplifient les impacts sur les milieux naturels.

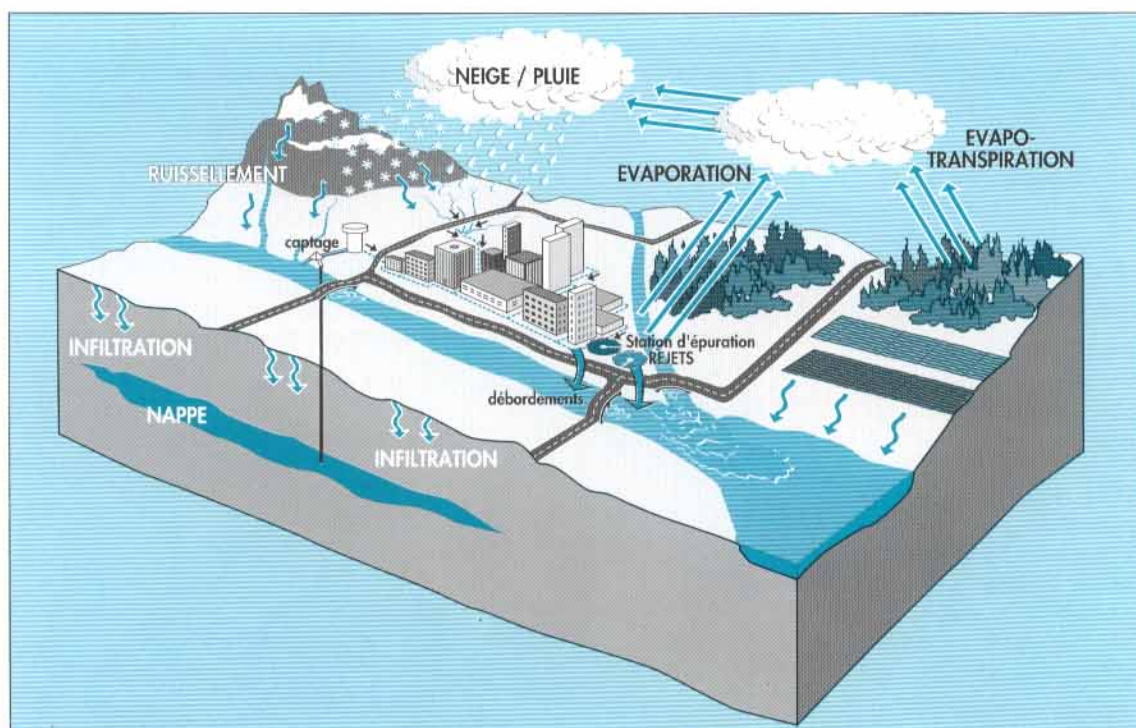


Les pluies produisent des eaux très sales...



...qui sont évacuées de la ville par de gigantesques collecteurs.

D'AUTRES SOLUTIONS EXISTENT



Le cycle de l'eau

1 REDÉCOUVRIR LE CYCLE NATUREL DE L'EAU

Devant ce constat, les techniciens de l'assainissement, mais aussi les autres acteurs de la ville, ont commencé à réfléchir à d'autres solutions possibles. De nombreuses techniques ont ainsi été imaginées. Toutes reposent en fait 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.

Les principes de base de ces solutions nouvelles peuvent se résumer en une seule phrase :

retarder le transfert de l'eau vers les exutoires de surface et/ou faciliter son infiltration.

2 LES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES AU RÉSEAU : DES SOLUTIONS EFFICACES

La plupart de ces systèmes existent déjà : chaussées à structure réservoir avec ou sans revêtements poreux, bassins de retenue, puits d'infiltration, tranchées drainantes, stockage en toiture, etc...

Autant de solutions mises en place et testées dans différents pays, et depuis plusieurs dizaines d'années pour les plus anciennes.

Toutes ces expériences ont montré que ce type de techniques permettait de réduire très significativement les pointes de débit ainsi que les masses de pollution déversée.

3 LES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES AU RÉSEAU : DES SOLUTIONS FIABLES

En ce qui concerne la fiabilité, là encore, l'analyse des réalisations passées permet de définir clairement les conditions de réussite. Au début des années 80, la mise en place d'une chaussée à structure réservoir ou d'un bassin de retenue paysager était une aventure technologique et économique. Aujourd'hui, il s'agit d'une opération banale, pour peu que l'on respecte quelques règles de base bien connues. Des guides techniques clairs et précis, détaillant les règles de l'art et cautionnés à la fois par les instances ministérielles et par les professionnels sont maintenant disponibles.

4 LES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES AU RÉSEAU : DES SOLUTIONS ÉCONOMIQUES

Toutes les études montrent 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. Il s'agit sans doute là de l'élément décisif pour les années à venir, le coût des grands ouvrages d'évacuation devenant de plus en plus lourd à financer pour les collectivités territoriales.



COMPARAISON DES COÛTS D'INVESTISSEMENT ENTRE SOLUTION TRADITIONNELLE ET SOLUTIONS ALTERNATIVES POUR L'ASSAINISSEMENT DE LOTS D'HABITATION
(coûts exprimés en francs 1990 par m²)

SURFACE DES LOTS (M ²)	1 000	800	600	400	200
SOLUTION TRADITIONNELLE (canalisation)	7,2	8,3	9,9	12,1	14,6
MICRO STOCKAGE (puits nidaplast)	5,5	6,9	9,2	13,8	27,5
CHAUSSEES À STUCTURE RÉSERVOIR (chaussées en ballasts)	4,2	5,2	6,9	10,4	20,8
TRANCHÉES DRAINANTES	5,0	5,7	6,6	7,8	-
NOUES	2,5	2,9	3,5	-	-

Ce tableau, construit d'après J.D. BALADES et G. RAIMBAULT ("Urbanisme et assainissement", Bull. liaison labo. P. et Ch. 170 - novembre - décembre 1990), montre que dès que la surface moyenne des lots atteint ou dépasse 400 m², toutes les solutions alternatives étudiées dans ce cas d'école sont plus économiques que la solution traditionnelle.

LES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES AU RÉSEAU : un départ difficile

Malgré tous leurs avantages, le développement des technologies alternatives reste lent et il est utile de se demander quels sont les freins réels à leur mise en oeuvre ainsi que les conditions nécessaires à leur généralisation.

1 ADAPTER LES DÉCOUPAGES ADMINISTRATIFS ET TERRITORIAUX

Les principaux freins à l'utilisation de ces nouvelles approches ne sont pas techniques. La réussite du développement de ces procédés 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 caractère administratif 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 de 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 à la mise en place d'une gestion cohérente de l'eau.

2 SUPPRIMER LES BARRIÈRES ENTRE LES SERVICES TECHNIQUES

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 d'abord voirie, puis assainissement. Les deux domaines doivent impérativement

être étudiés en commun. La mise en place de telles solutions condamne donc certaines habitudes.

Les découpages par spécialités doivent s'estomper, et la notion d'ouvrage, conçu globalement comme un système multi-techniques, doit servir de point de départ à une organisation nouvelle des services techniques des collectivités.

3 RAPPROCHER LES URBANISTES, LES AMÉNAGEURS ET LES TECHNICIENS

Poursuivons l'analyse sur l'exemple des chaussées à structure réservoir. 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 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 V.R.D. (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 technologies alternatives, une nécessité absolue.

Le développement de ce type d'approche

ne pourra s'envisager que si les techniciens des différents services, les urbanistes et les aménageurs parviennent à coopérer plus étroitement qu'ils n'en ont l'habitude.

Il est nécessaire de créer les conditions d'une collaboration plus étroite entre urbanistes, aménageurs et techniciens, et probablement de réfléchir à une nouvelle définition de leurs missions respectives.

La suite du document présente les différentes techniques existantes sous la forme de fiches de synthèse.

L'une des difficultés de l'utilisation des technologies alternatives est liée à l'inadaptation des textes réglementaires que peut mettre en oeuvre la collectivité locale pour imposer ou du moins privilégier leur utilisation.

Il est malgré tout possible d'inscrire de telles obligations, en particulier dans les POS. Par exemple, la Communauté Urbaine de Bordeaux, pionnier dans ce domaine, a prévu, pour les eaux pluviales de certaines zones, les dispositions suivantes : "Lorsque le réseau est établi, le débit pouvant être rejeté dans celui-ci ne pourra être supérieur à celui correspondant à une imperméabilisation de 30% de la surface du terrain.

Si le réseau n'est pas établi, ou insuffisant, l'aménageur devra réaliser sur son terrain, à sa charge, les dispositifs appropriés et proportionnés permettant l'évacuation soit directement, soit après stockage préalable, vers l'exutoire désigné à cet effet par la Communauté Urbaine de Bordeaux."

Ce texte est conforme à l'article R 123.21 du code des communes qui précise que le règlement peut "édicter les prescriptions relatives à l'accès, à la desserte, à l'équipement en réseaux divers et le cas échéant aux dimensions et à la surface des terrains".

BASSINS DE RETENUE EN

1 PRÉSENTATION

Un bassin de retenue est un ouvrage de stockage destiné à retenir provisoirement l'eau pendant la pointe de crue, pour la restituer après l'averse avec un débit contrôlé.

2 FONCTIONNEMENT

Les bassins de retenue peuvent être placés sur un réseau d'assainissement traditionnel. Ils sont constitués d'un ouvrage d'arrivée, d'un ouvrage de stockage et d'un ouvrage d'évacuation destiné à réguler les débits sortants du bassin.

Il existe deux grandes catégories de bassins de retenue : les bassins à sec et les bassins en eau. Dans le premier cas, on vidange complètement le bassin entre deux utilisations : le volume disponible pour stocker la crue est donc égal à la capacité totale du bassin. Dans le second cas le bassin est un plan d'eau permanent et le volume disponible dépend du marnage acceptable (différence de niveau d'eau entre les périodes de temps sec et les périodes de pluie).

Quel que soit le type de bassin utilisé, le prix élevé des terrains en zone urbaine ou périurbaine amène souvent à essayer d'utiliser les surfaces ainsi gelées en dehors des périodes de pluie. On cherche alors à construire des bassins

de retenue susceptibles d'avoir d'autres fonctions que le simple stockage des eaux pluviales pendant les pointes de débit.

BASSINS EN EAU

La solution la plus fréquente consiste à traiter le bassin comme un plan d'eau permanent et paysager, susceptible d'accueillir des activités variées : pêche, canotage, lieu de promenade, etc... Cette solution ne peut cependant pas toujours être mise en oeuvre. Elle impose en effet des contraintes sur la qualité de l'eau recueillie (réseau séparatif strict conseillé), sur l'alimentation du bassin pendant les périodes de sécheresse (nécessité de compenser l'évaporation par des apports de sources ou de rivières existantes) et sur la gestion du bassin (traitement de la végétation, contrôle des usages, etc...). Par ailleurs elle est coûteuse en espace du fait que le stockage ne peut utiliser que le volume libéré par le marnage possible du plan d'eau.

BASSINS À SEC

Les bassins à sec peuvent également être paysagés ou traités de façon à accueillir des usages multiples. Le plus simple est de les traiter en espaces verts inondables. Des solutions plus ambitieuses sont également possibles : par exemple la ville de Vitrolles a construit un stade vélodrome susceptible d'être inondé lors de fortes crues. A Osaka, au Japon, certaines parties de parcs publics, des parkings de surface, et même des cours d'école, ont été traités en bassins de retenue.



Les bassins de retenue en surface, qu'ils soient à sec ou en eau, participent à l'aménagement du paysage : à gauche Val Maubuée à Marne la Vallée ; à droite le bassin de retenue de Pommiers (Rhône) à sec.



SURFACE

Ce type de solution est possible aux conditions suivantes :

- hauteurs d'eau atteintes faibles (par exemple inférieures à la hauteur des bas de caisse des voitures pour un parking),
- durée de submersion du même ordre de grandeur que celle de la pluie,
- fréquence d'utilisation rare.

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les bassins de retenue en surface présentent les avantages suivants :

- ils permettent de réduire les pointes de débit,
- ils constituent des ouvrages de dépollution très efficaces,
- il existe une méthode normalisée de dimensionnement définie par l'instruction technique de 1977, et l'on dispose d'une expérience longue et variée pour la conception et l'exploitation de ces ouvrages.

Les bassins de retenue imposent cependant quelques contraintes :

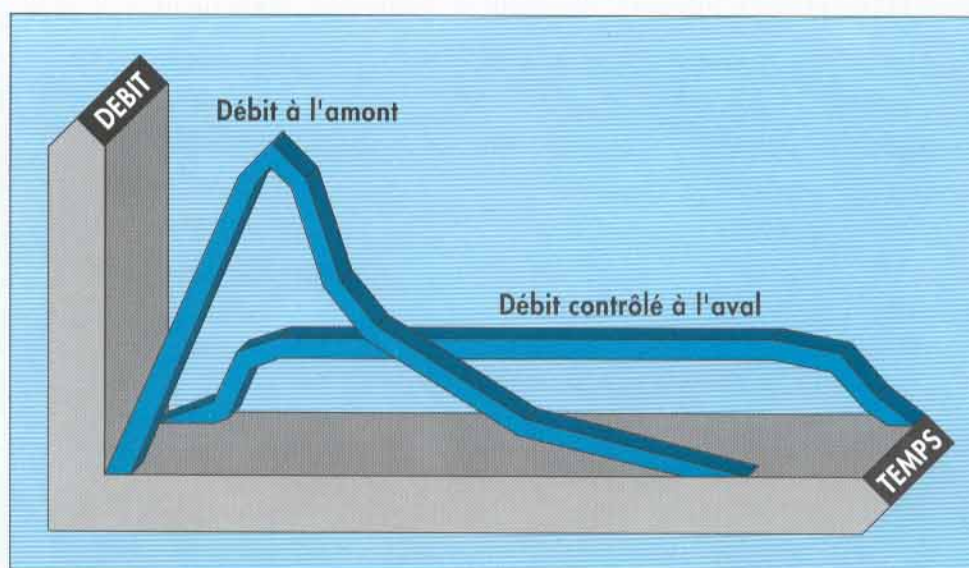
- nécessité d'une conception soignée et d'une gestion rigoureuse de façon à limiter les risques liés à la sécurité des riverains et à leur confort (une zone parfois inondée est susceptible d'engendrer des nuisances : moustiques, boues, odeurs, etc...),
- consommation importante d'espace, d'où coût élevé des acquisitions foncières.

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

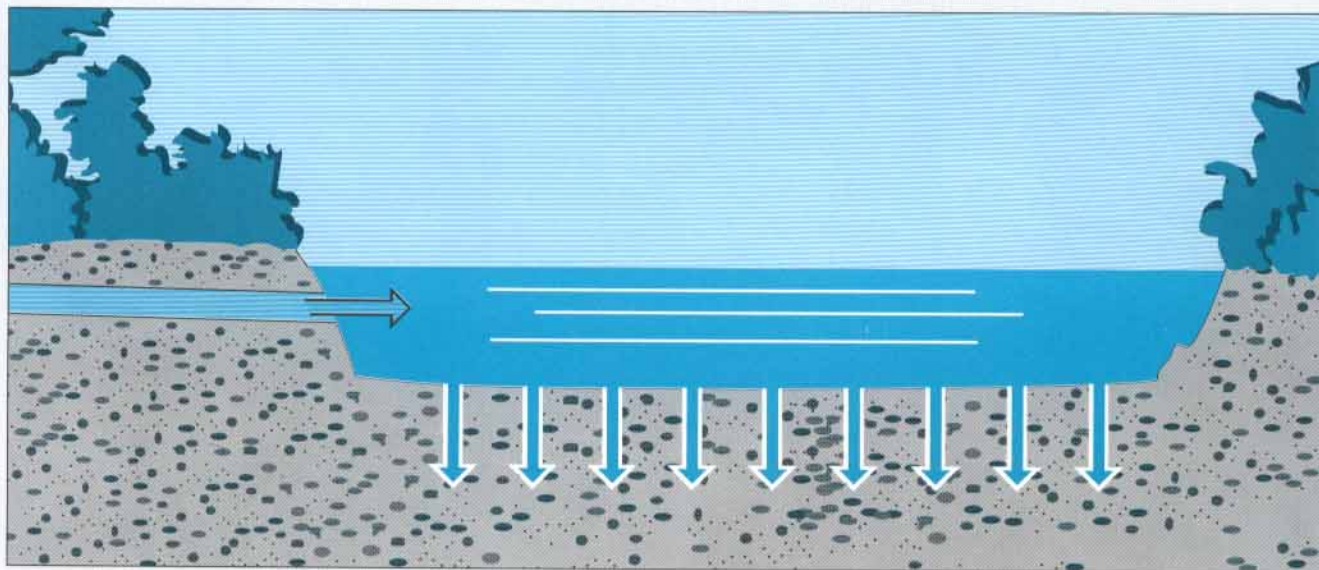
L'analyse des réalisations passées montre que ce type d'ouvrage est à réserver aux cas où l'on sera capable de mettre en oeuvre une conception raisonnée et une gestion efficace. L'utilisation systématique de bassins de retenue à l'échelle du lotissement ou de la Z.A.C. peut même parfois constituer une stratégie dangereuse.

Le domaine privilégié d'utilisation des bassins de retenue est constitué par des ouvrages de dimensions relativement importantes, implantés à la limite des zones urbaines denses à protéger. Ils doivent être conçus et gérés par le service chargé de l'assainissement, dans le cadre d'une politique globale de gestion des eaux de ruissellement.

Rôle régulateur d'un bassin de retenue : courbes d'évolution du débit en fonction du temps à l'entrée et à la sortie du bassin.



BASSINS D'INFILTRATION



1 PRÉSENTATION

Un bassin d'infiltration est un ouvrage généralement placé à l'exutoire d'un réseau d'assainissement traditionnel, et permettant le stockage temporaire des eaux de ruissellement avant leur infiltration dans le sol.

Il peut également être placé en parallèle au réseau. Dans ce cas, il n'est alimenté que par des surverses et pour des événements de fréquence rare produisant des débits trop importants pour être évacués par le réseau.

Les principes sont voisins de ceux des bassins de retenue en surface, à ceci près que la vidange du bassin s'effectue vers le sol et non vers un exutoire de surface.

Le premier point doit être analysé dans le temps, en prenant en compte l'éventualité d'un colmatage du sol par les sédiments les plus fins.

L'importance du second point ne doit pas être exagérée. Seule la pollution dissoute peut migrer jusqu'à la nappe (dans le cas d'une infiltration dans la zone non saturée). Les matières en suspension, qui portent l'essentiel de la pollution des eaux de ruissellement, sont rapidement filtrées par le sol (ce qui provoque d'ailleurs son colmatage).

Ces deux risques peuvent être atténués par l'utilisation de systèmes de pré-traitement (dégraisage, débouage, décantation) à l'entrée du bassin.

2 FONCTIONNEMENT

La condition principale pour installer un bassin d'infiltration réside dans la possibilité d'infiltrer l'eau dans le sol. Cette possibilité doit être envisagée selon deux points de vue :

- la perméabilité du sol est-elle suffisante pour vidanger le bassin par infiltration en un temps suffisamment court ?
- les risques de pollution de nappe sont-ils à envisager, et si oui, sont-ils maîtrisables ?

Dans le cas où le bassin d'infiltration n'est utilisé que pour des événements de fréquence rare (supérieure à quelques mois), un aménagement paysager est également possible. Les solutions les plus classiques consistent à utiliser la surface comme espace vert, comme zone de loisirs ou même comme terrain de sport.

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les bassins d'infiltration présentent les mêmes inconvénients que les bassins de retenue :

consommation d'espace, nécessité d'une conception soignée et d'un entretien régulier pour éviter risques et nuisances pour les riverains. De plus ils sont susceptibles de participer à la contamination des nappes phréatiques.

Ils présentent les avantages suivants :

- Ils permettent de conserver des zones vertes à l'intérieur des villes : un bassin d'infiltration bien traité peut permettre de maintenir ou de créer des zones humides susceptibles d'accueillir une flore et une faune intéressantes sur le plan écologique,
- le risque de pollution des nappes phréatiques doit être mis en parallèle avec la pollution certaine des eaux de surface que provoque l'évacuation habituelle par réseau. D'autre part l'infiltration permet également la recharge des nappes.

Enfin, comparés aux bassins de retenue, les bassins d'infiltration présentent un intérêt supplémentaire :

- ils ne nécessitent pas de collecteurs à l'aval et peuvent donc être utilisés dans des zones dépourvues d'exutoire naturel.

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

Les caractéristiques des sites sur lesquels l'utilisation de bassins d'infiltration peut être conseillée sont les suivantes :

- absence d'exutoire naturel ;
- perméabilité suffisante du sol ;
- nappe phréatique peu vulnérable (notamment niveau de la nappe à plus de 1,20 mètres du fond du bassin) ;
- disponibilité d'espace.



Bassin de la ferme de Croze

BASSINS ENTERRÉS

1 PRÉSENTATION

Un bassin de retenue enterré est un ouvrage de stockage souterrain, implanté sous une place, une voirie, un parking, etc..., destiné à stocker provisoirement l'eau pendant la pointe de crue, pour la restituer après l'averse avec un débit compatible avec la capacité d'évacuation des ouvrages situés à l'aval ou des exutoires naturels. Il est possible d'envisager l'installation de tels ouvrages sous les immeubles, pour peu que de nouveaux textes réglementaires assouplissent les conflits de gestion entre sol et sous-sol.

L'intérêt des bassins enterrés par rapport aux bassins en surface réside dans le fait que la surface au sol reste disponible pour d'autres usages.

La maîtrise de l'hydraulique est essentielle pour assurer la maîtrise de la décantation. Les zones de décantation, ou au contraire d'érosion privilégiées dépendent de la géométrie du bassin, de son mode d'alimentation et de son mode de vidange, responsables des courants préférentiels et des zones d'eaux mortes. Ces aspects doivent faire l'objet d'une étude précise. La vidange par pompage est coûteuse en énergie, mais elle permet de bien maîtriser la remise en suspension des boues en fin de crue.

Les organes électromécaniques de contrôle hydraulique sont toujours très difficilement accessibles et doivent supporter une atmosphère défavorable. Il faut donc prendre les mêmes précautions que celles nécessaires aux ouvrages installés à l'intérieur des réseaux d'assainissement.

2 FONCTIONNEMENT

Comme tout ouvrage de stockage un bassin enterré est constitué de trois types d'éléments :

- un ouvrage d'amenée introduisant l'eau dans le bassin,
- un ouvrage de stockage,
- un ouvrage d'évacuation.

Pour des raisons d'entretien, il est préférable que le bassin soit installé en parallèle au réseau, c'est à dire qu'il ne fonctionne que pour les pluies les plus fortes. Ceci mis à part, la conception de l'ouvrage d'amenée n'est pas différente de celle d'un bassin de surface. Une alimentation par pompage réduit les risques de remplissage excessif du bassin.

L'ouvrage de stockage peut prendre des formes très différentes selon l'espace disponible et les contraintes d'implantation : bassin parallélépipédique, circulaire, constitué de conduites de gros diamètre, etc... Deux principes de base peuvent cependant être énoncés :

- choisir une forme facilitant l'exploitation de l'ouvrage : par exemple, les bassins conçus comme des parkings souterrains, avec un grand nombre de poteaux, sont souvent difficiles à exploiter.
- concevoir l'ouvrage en plusieurs caissons pour limiter la surface salie fréquemment.

La réalisation d'un bassin enterré, coûte environ deux fois à deux fois et demi plus cher que celle d'un bassin en surface de même capacité. L'expérience montre cependant que le coût du foncier contrebalance souvent largement cette différence.

TRENTE TROIS MILLE PNEUS POUR UN BASSIN

La recherche de solutions innovantes pour stocker temporairement les 35 000 m³ d'eaux pluviales d'un parc d'activité a conduit la commune de Sevran (93) à réaliser un bassin de rétention enterré entièrement constitué de pneumatiques ; l'intérieur du pneu servant de "Chambre à eau".

33 000 pneumatiques impropres à la vente ont ainsi été utilisés pour construire ce bassin, permettant tout à la fois le recyclage de ces déchets non biodégradables et des économies sensibles sur le coût de réalisation de l'ouvrage.

Recouvert et paysagé, ce bassin est parfaitement intégré dans son environnement.

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les bassins de retenue enterrés présentent les mêmes avantages que les bassins en surface, en particulier :

- ils permettent de réduire les pointes de débit,
- ils constituent des ouvrages de dépollution très efficaces.

De plus, ils sont discrets et peuvent être implantés dans le centre des villes. Ils sont économes en espace au sol mais coûteux en génie civil.

Le principal inconvénient est qu'il s'agit d'un ouvrage très technique, posant des problèmes d'exploitation parfois diffi-

ciles : sécurité des riverains en cas de mise en charge, sécurité du personnel d'exploitation (risque de formation de gaz explosifs), difficultés de curage et de nettoyage, etc...

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

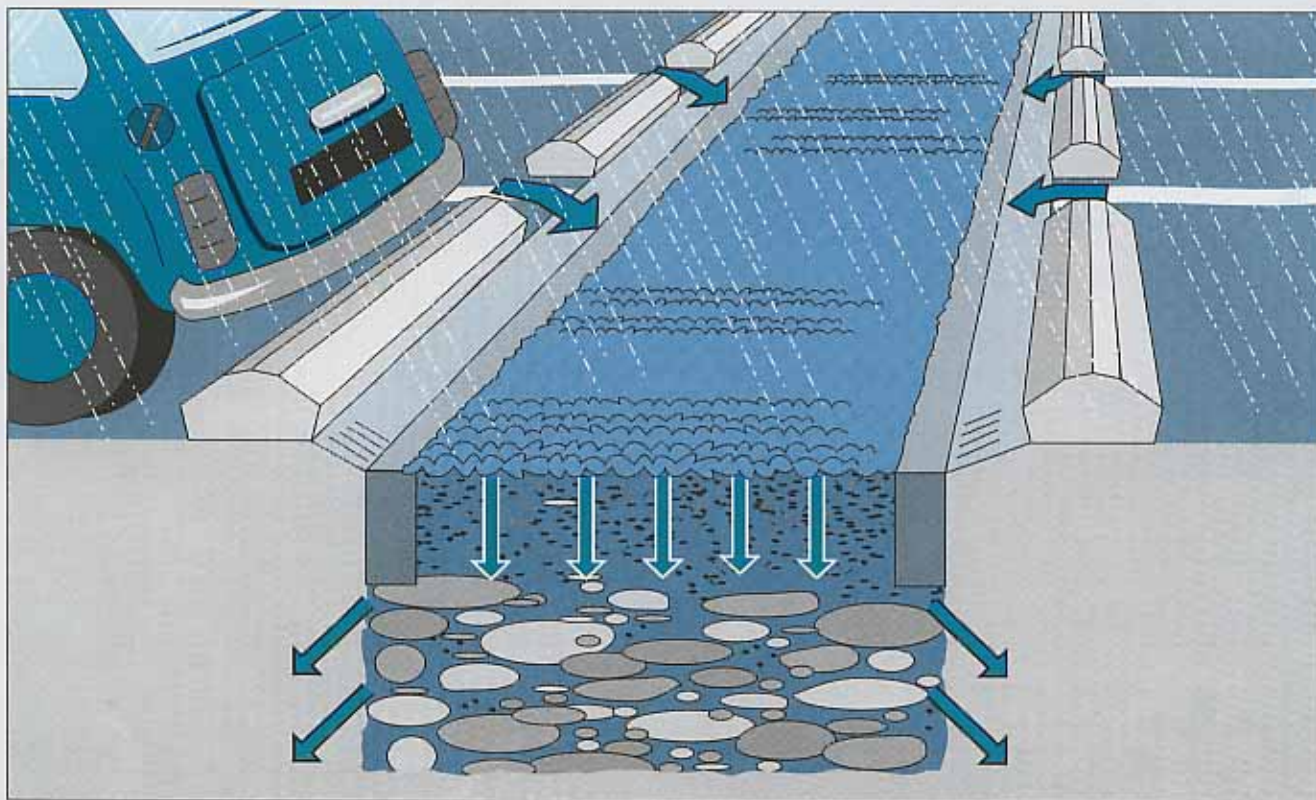
La technique des bassins de retenue enterrés peut être préconisée dans deux types de cas différents :

- lorsqu'il est nécessaire d'écarter les crues sur un réseau d'assainissement pluvial existant, et que le manque de terrain disponible ou l'importance du coût du foncier interdisent l'utilisation d'ouvrages de surface. Ce type de système a en particulier été souvent utilisé pour protéger les centres de villes situées à proximité des exutoires naturels des réseaux (Bordeaux, Nancy, etc...) ;
- lorsque l'on souhaite réduire les apports de pollution aux milieux naturels en installant des ouvrages de décantation au plus près des points de rejets.



Construction du bassin enterré
de la Vologne à Nancy.
Capacité et stockage : 17 000 m³

TRANCHÉES ET PUIITS



Tranchée d'infiltration

1 PRÉSENTATION

Ces deux techniques, de principe ancien, consistent à évacuer les eaux pluviales en les infiltrant dans le sol à proximité immédiate de l'endroit où elles ont été recueillies. Les ouvrages nécessaires sont constitués par des excavations superficielles (tranchées) ou ponctuelles (puits), remplies de concassé ou de graviers (porosité du matériau au moins de l'ordre de 30%).

Les **tranchées d'infiltration** (ou **tranchées absorbantes**) sont des ouvrages linéaires, de faible profondeur et de faible largeur, faciles à intégrer le long des rues ou des immeubles. Elles sont donc susceptibles de recueillir aussi bien les eaux ruisselant sur les toitures que celles provenant des voiries.

Les **puits d'infiltration** sont des ouvrages ponctuels et profonds. Comme les tranchées, ils sont utilisables pour absorber le ruissellement direct (pied de gouttière, centre de placette, etc...). Ils peuvent également être utilisés comme exutoire d'un réseau d'assainissement traditionnel, ou même installés en série sur le réseau.

2 FONCTIONNEMENT

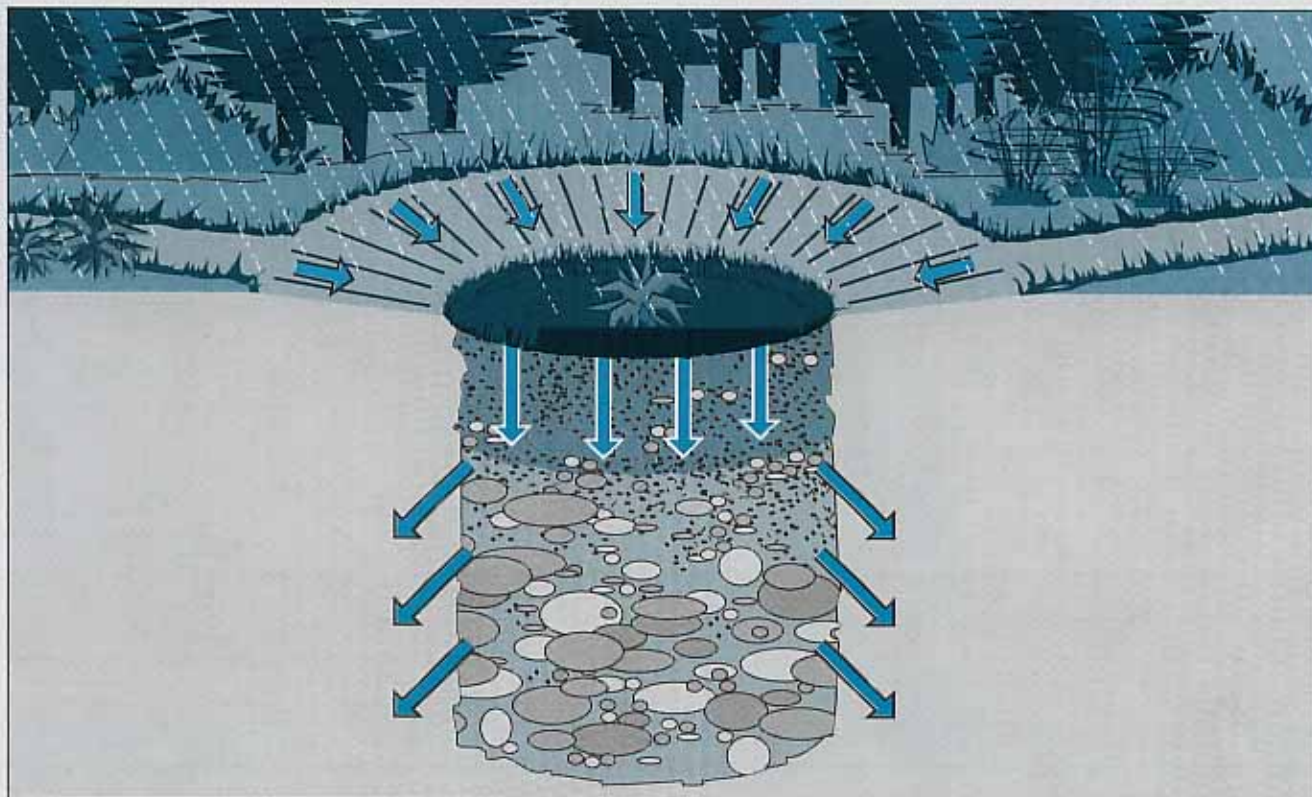
L'alimentation des puits et des tranchées peut se faire par ruissellement direct. Dans ce cas les ouvrages doivent être recouverts par un matériau très perméable (enrobé poreux, dalles alvéolées, sol léger engazonné, etc...).

Ils peuvent également être alimentés par des drains, amenant l'eau directement au cœur de la structure.

L'évacuation de l'eau s'effectue toujours par infiltration dans le cas des tranchées filtrantes ; par infiltration ou par injection directe dans la zone saturée dans le cas des puits d'infiltration.

L'injection directe dans la nappe est cependant déconseillée.

D'INFILTRATION



Puits d'infiltration

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les intérêts principaux de ces techniques d'infiltration sont les suivants :

- elles participent à la réalimentation de la nappe phréatique,
- elles nécessitent peu d'espace au sol,
- elles s'intègrent facilement dans des tissus urbains très diversifiés.

Les inconvénients les plus souvent cités sont le risque de pollution de la nappe phréatique et/ou colmatage.

Ces inconvénients ne doivent pas être exagérés. La pollution des eaux pluviales est essentiellement particulaire (fixée sur les matières en suspension) et le sol constitue un filtre généralement très efficace. Le colmatage des ouvrages d'infiltration est la conséquence directe de ce rôle épuratoire du sol. Il ne doit donc pas être considéré comme un inconvénient, mais plutôt comme une contrainte nécessaire à la dépollution des effluents. Il implique néanmoins un entretien des ouvrages.

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

L'utilisation de ces techniques d'infiltration nécessite les conditions suivantes :

- perméabilité suffisante du sol,
- nappe largement en dessous du fond de la structure pour limiter les risques de contamination (1 mètre). Dans ce cas, le filtrage par les couches de sol non saturées assure une dépollution suffisante des effluents (un puits d'infiltration peut éventuellement fonctionner dans la zone saturée si la nappe n'est pas vulnérable, par exemple si on n'envisage pas de l'utiliser pour la production d'eau potable, ou si son débit est assez important pour assurer une dilution suffisante).
- pas de zone de stockage de produits industriels toxiques à proximité.
- pas de roches solubles (gypse) sur le parcours de l'eau absorbée.

Aucune contrainte urbanistique ne limite l'utilisation de ces techniques qui peuvent aussi bien s'intégrer dans des zones d'urbanisation diffuse qu'en tissu urbain dense.

CHAUSSÉES À STRUCTURE

1 PRÉSENTATION

Deux mots sont souvent confondus bien qu'ils recouvrent en fait des notions différentes : chaussées poreuses et chaussées à structure réservoir. Ces deux techniques sont complémentaires :

- **une chaussée poreuse** est réalisée avec un revêtement perméable, permettant à l'eau précipitée sur la voirie de s'infiltrer à travers le revêtement ;
- **une chaussée à structure réservoir** permet le stockage provisoire de l'eau dans les couches profondes de la voirie. L'eau peut ensuite être infiltrée dans le sol support, ou récupérée dans un drain pour être acheminée vers le réseau d'assainissement.

2 FONCTIONNEMENT

La partie principale d'une chaussée à structure réservoir est la couche de base (éventuellement la couche de fondation) ; réalisée en matériaux poreux naturels (concasés) ou artificiels (plastiques alvéolaires), elle permet le stockage provisoire des eaux de ruissellement.

L'injection de l'eau dans cette couche peut se faire soit au travers du matériau de surface (chaussées poreuses), soit par des drains, eux mêmes alimentés par des caniveaux et des avaloirs traditionnels.

La vidange peut se faire soit par infiltration dans le sol support, soit par un drain situé au fond du réservoir et restituant l'eau avec un débit régulé à un réseau d'assainissement traditionnel.

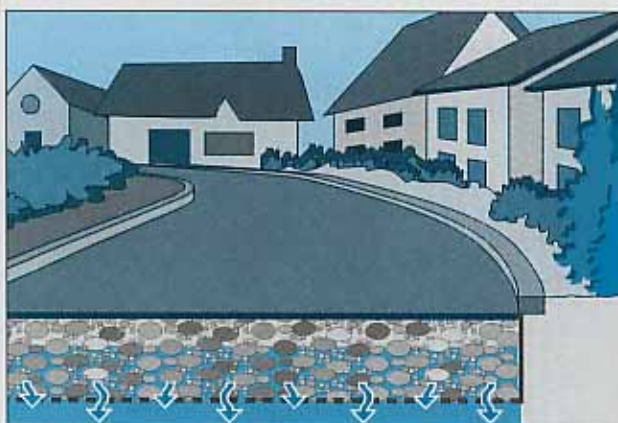
Principe de différentes chaussées à structure réservoir



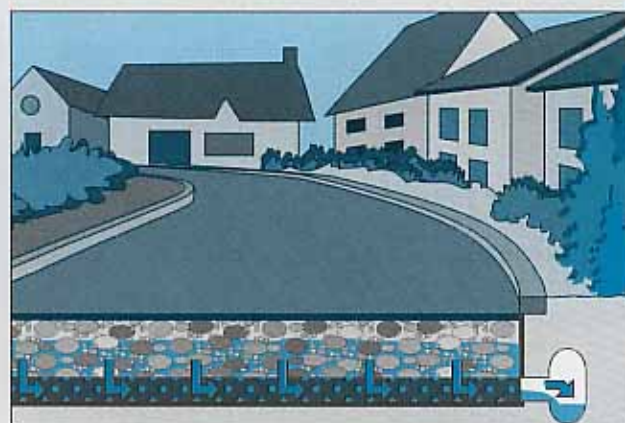
Revêtement imperméable : injection par un drain



Injection de l'eau à travers un revêtement poreux



Vidange par infiltration dans le sol support



Vidange par un drain vers un réseau traditionnel

RÉSERVOIR

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Toutes les chaussées à structure réservoir possèdent les intérêts suivants :

- écrêtement des pointes de débit,
- décantation et donc dépollution importante des effluents.

Si les eaux sont ultérieurement infiltrées dans le sol, cette technique contribue également à recharger les nappes et à alimenter la végétation urbaine. Les chaussées à structure réservoir **avec enrobé drainant** présentent plusieurs avantages supplémentaires :

- suppression des projections d'eau et diminution de la glissance qui permettent d'améliorer le confort et la sécurité des usagers de la route,
- diminution des bruits de trafic routier (jusqu'à 3 décibels, ce qui revient à diviser par deux le niveau acoustique).

Les inconvénients les plus souvent cités, associés aux chaussées à structure réservoir avec revêtement drainant sont :

- le risque de colmatage de l'enrobé drainant, qui peut être évité par un entretien régulier de la chaussée,
- les problèmes de viabilité hivernale : nécessité de plus de sels de déverglaçage et sensibilité accrue au gel (risque de formation de givre à la surface de la chaussée),
- la moins bonne tenue mécanique que pour une chaussée traditionnelle, mais cet aspect est maintenant bien maîtrisé.

Le dernier risque souvent cité est celui de la pollution des nappes dans le cas où la vidange de la chaussée réservoir se fait par infiltration dans le sol support :

- le risque est très faible pour les pollutions diffuses. La chaussée et les couches superficielles du sol filtrent les matières en suspension qui portent l'essentiel de la pollution,
- le risque existe dans le cas d'un rejet accidentel d'un produit liquide (dû par exemple à un accident de la circulation). Il ne doit cependant pas être exagéré. Il est en effet accepté sur toutes les routes de campagnes où les bas cotés des routes sont perméables.



Jour de pluie : la chaussée poreuse au premier plan apparaît sèche alors que l'eau ruisselle sur la chaussée traditionnelle au second plan.



Détail du revêtement poreux.

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

Cette technique présente un caractère général. Elle peut être utilisée pour traiter les eaux de toutes les voiries : boulevards urbains, voiries secondaires ou tertiaires, places, parkings. Il est indispensable d'adapter chaque fois la solution à la spécificité du site, en rajoutant par exemple des dispositifs de pré-traitement dans le cas d'eaux de ruissellement chargées en matières en suspension.

MICRO-STOCKAGES

1 PRÉSENTATION

La technique des micro-stockages consiste à interposer sur le parcours de l'eau, le plus près possible de la surface captatrice, un ensemble de dispositifs destinés à interdire ou à ralentir son écoulement. Différents moyens peuvent être mise en place : stockage sur les toits, stockage en bas de gouttière, stockage dans des revêtements alvéolaires, etc...

La différence essentielle, par rapport aux bassins de retenue traditionnels, réside dans le caractère réparti des ouvrages de stockage. Le stockage s'effectue le plus près possible de la surface captatrice, sans nécessiter d'ouvrage de collecte ou de transfert entre les deux éléments.

qu'un tel stockage s'effectue de fait sur les toitures terrasses engravillonnées, et que ce phénomène réduit de manière sensible les pointes de débit de ruissellement (de 30 à 40 %). L'utilisation d'un dispositif spécifique de régulation du débit sortant (orifice calibré par exemple) améliore l'efficacité de ce stockage. Ce dernier procédé est assez largement utilisé aux Etats-Unis et au Japon. Les toitures terrasses ainsi aménagées peuvent éventuellement être affectées à d'autres usages : parking, jardin, etc...

Le stockage est aussi possible sur des toits en pente en utilisant des caissons cloisonnant la surface. Les volumes susceptibles d'être stockés dans de telles conditions restent limités.

2 FONCTIONNEMENT

Pour décrire les systèmes utilisés, il est nécessaire de passer en revue différentes techniques.

STOCKAGE SUR LES TOITS

L'idée de stocker l'eau sur les toitures résulte du constat

STOCKAGE SOUTERRAIN DANS DES REVÊTEMENTS ALVÉOLAIRES EN PLASTIQUE

Les revêtements alvéolaires en plastique permettent de constituer des réservoirs souterrains sous n'importe quelle surface. Ils peuvent être utilisés sous le domaine public comme sous le domaine privé. La vidange de tels réservoirs, alimentés par le ruissellement direct, peut se faire soit par infiltration, soit vers un réseau traditionnel avec un système régulant le débit de fuite.



Schéma de stockage sur toit en pente

RÉSERVOIR EN PIED D'IMMEUBLE

L'utilisation de réservoirs destinés à récupérer et stocker l'eau provenant des toitures est une technique très ancienne imaginée pour constituer une réserve disponible par exemple pour l'arrosage.

Les réservoirs peuvent être installés en surface et alimentés directement par la gouttière ; il s'agit là d'une installation économique, mais qui nécessite la participation des usagers.

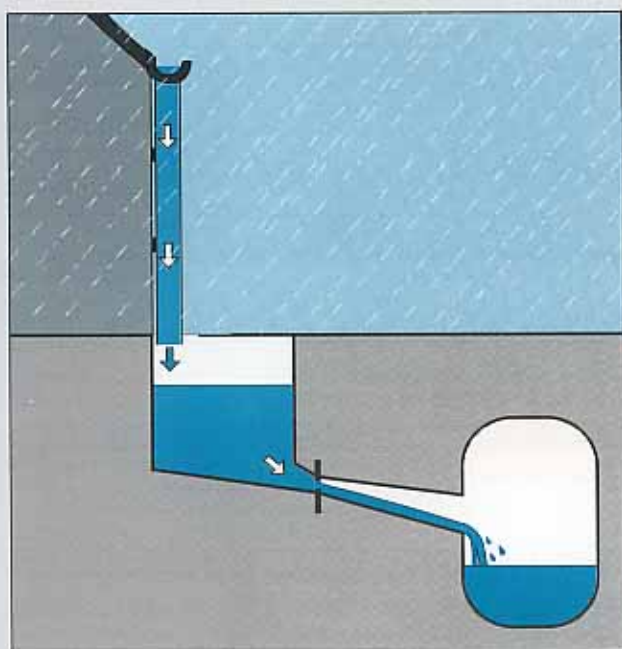
Ils peuvent également être placés dans le sol en bordure de l'immeuble. Leur vidange peut se faire :

- à débit contrôlé, vers un réseau d'assainissement classique,
- par pompage, à la discrétion des habitants, par exemple pour arroser les espaces verts,
- par infiltration.

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les intérêts principaux de ces techniques de stockage réparti sont les suivants :

- réduction des pointes de débit par stockage momentané de l'eau,
- pas ou peu de consommation d'espace au sol,
- facilité d'intégration dans des tissus urbains très diversifiés.



L'eau est stockée dans une citerne en pied d'immeuble puis renvoyée avec un débit très faible vers le réseau d'assainissement.

Les inconvénients les plus souvent cités sont :

- La difficulté d'entretien et d'exploitation, particulièrement pour les ouvrages situés sur le domaine privé, pour lesquels on doit compter sur la bonne volonté des usagers ;
- Les inconvénients spécifiques concernant le stockage sur les toits :
 - Les surcoûts dus aux surcharges à considérer. Cet argument est la plupart du temps erroné. En effet, dans la majorité des régions françaises, les surcharges à prendre en compte pour la neige sont supérieures à celles susceptibles d'être provoquées par le volume d'eau à stocker ;
 - Les problèmes d'étanchéité. Ce problème peut être résolu par une approche technique sérieuse.

En réalité, le problème principal est de nature psychologique, et l'intérêt de cette solution devrait d'abord être mis en évidence sur des bâtiments publics ou industriels.

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

Le stockage sur les toits peut être utilisé dans toutes les circonstances. Un stockage efficace nécessite cependant des toitures terrasses, contrainte architecturale forte qui ne peut pas être imposée partout.

Le stockage des eaux de toitures dans des citernes au niveau du sol nécessite la collaboration des usagers.

Le stockage souterrain dans des structures alvéolaires en plastique peut être généralisé sous tous les espaces publics : allées, places, etc... Son utilisation sous le domaine privé nécessite de définir contractuellement les conditions de l'exploitation des ouvrages. Le stockage sous les voiries constitue une technique à part (chaussées à structure réservoir).

FOSSÉS ET NOUES

1 PRÉSENTATION

Fossés et noues constituent deux systèmes permettant de ralentir l'évacuation de l'eau. Les noues ou les fossés traditionnels permettent l'écoulement et le stockage de l'eau à l'air libre ; les fossés drainants permettent de la faire circuler sous la surface du sol, par percolation à travers un milieu poreux.



Fossés drainants



Noues

2 FONCTIONNEMENT

Fossés ou noues ont le même objectif : ralentir l'écoulement de l'eau et réguler le débit à l'exutoire. Ce double objectif est obtenu en jouant sur le stockage disponible. Il s'agit d'un ouvrage différent des systèmes traditionnels de stockage. Dans ce cas, la même structure permet à la fois l'alimentation, le stockage et l'évacuation de l'eau.

L'évacuation peut se faire par infiltration si la perméabilité du sol et du sous-sol le permet. En cas d'utilisation de noues sur un substrat imperméable, on conseille généralement de prévoir une cunette bétonnée dont la capacité de débit est choisie en fonction du débit de fuite admissible. Cette solution évite la création de petites zones humides résiduelles susceptibles de générer des nuisances pour les riverains (moustiques, odeurs, etc...). Ce problème ne se pose pas dans le cas de fossés drainants.

Les ouvrages de cette nature doivent suivre au plus près les courbes de niveaux. Les accès aux parcelles et les franchissement des fossés seront traités par des busages. Il est préfé-

nable d'en réduire le nombre, à la fois pour des problèmes de coût d'investissement et d'entretien (risque d'obstruction). Pour utiliser ces techniques, il est nécessaire de prendre en compte la gestion des eaux dès les premières phases de conception du plan masse.

3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les intérêts principaux des noues et des fossés sont les suivants :

- participation à la création d'un paysage (particulièrement les noues),
- aménagements très peu coûteux,
- contribution à la décantation et à la filtration des eaux.

Les inconvénients les plus évidents sont la nécessité d'un entretien régulier et les risques de nuisances dues à la stagnation de l'eau.



Exemple de noues dans la région de Bordeaux

4 DOMAINE PRIVILÉGIÉ D'UTILISATION

Les noues présentent un caractère esthétique et paysager intéressant mais elles occupent une surface non négligeable. Leur utilisation sera donc en général limitée à des milieux péri-urbains : zones d'habitat individuel peu dense, zones d'activités tertiaires, etc...

D'une façon générale, noues et fossés sont mieux adaptés à des zones relativement plates. Ils peuvent constituer une excellente solution lorsque la nappe est très proche du sol, y compris dans des terrains peu perméables.



Exemple de noues dans la région de Bordeaux

POUR EN SAVOIR PLUS

S'INFORMER

ORGANISMES NATIONAUX ET INTERNATIONAUX

Office International de l'Eau

Direction de la Documentation et des Données
rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES

Institut de l'Environnement International

B.P. 128
73101 AIX LES BAINS CEDEX

Ministère de l'Environnement

Direction de l'Eau et
Délégation aux Risques Majeurs
14, avenue du Général Leclerc
92524 NEUILLY/SEINE

ORGANISMES RÉGIONAUX

EnvirhônAlpes

69, rue de la République - 69002 LYON

Région Rhône-Alpes, Service Environnement

78, route de Paris, B.P. 19
69751 CHARBONNIERES LES BAINS CEDEX

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

31, rue Jules Guesde - 69310 PIERRE BENITE

DIREN (Direction Régionale de l'Environnement)

3, quai Chauveau - 69009 LYON

DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)

146, rue Pierre Corneille - 69426 LYON CEDEX 03

SE FORMER OU CONTACTER UNE EQUIPE DE RECHERCHE

CEMAGREF

(Centre National du Machinisme
Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts)
Division Hydrologie-Hydraulique
3, quai Chauveau - 69336 LYON CEDEX 09

CERGRENE (Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement)

La Courtine - 93167 NOISY LE GRAND CEDEX

CERPE (Centre d'Etude et de Recherche sur les Pratiques de l'Espace)

Richeaume - 13114 PUYLOUBIER

CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipe- ment) Ministère de l'Equipement. Sept centres dont :

• CETE Lyon

109, avenue Salvador Allende - 69672 LYON BRON

• CETE du Sud-Ouest

B.P. 91 - 33165 SAINT MEDARD EN JALLES CEDEX

CIFP (Centres Interrégionaux de Formation Professionnelle) - Ministère de l'Équipement
1, rue Georges Lecomte
71000 MACON

CNFT (Centre National de la Fonction Publique Territoriale)
3, villa Thoréton - 75738 PARIS CEDEX

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)
Cellule Eaux et Déchets
rue Ordonneau
44400 REZE LES NANTES

Ecole Nationale des Mines de Saint Etienne
158 bis, cours Faurie
42023 SAINT ETIENNE CEDEX 2

Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
Laboratoire d'Hydrogéologie mathématique
35, rue Saint-Honoré
77305 FONTENAIBLEAU

ENGES (Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg)
1, quai Koch
67000 STRASBOURG

ENPC (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées)
28, rue des Saints Pères - 75007 PARIS

ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat)
rue Maurice Audin
69120 VAULX EN VELIN

Eurydice 92
4, avenue des Princes
93330 NEUILLY SUR MARNE

GRAIE (Groupe de Recherches Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau)
27, boulevard du 11 novembre 1918
B.P. 2132 - 69621 VILLEURBANNE CEDEX

IDE (Institut du Droit de l'Environnement)
14, avenue Berthelot
69007 LYON

IMFS (Institut de Mécanique des Fluides de Strasbourg)
2, rue Boussingault - 67000 STRASBOURG

IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse)
av. du Professeur Camille Soula
31400 TOULOUSE

IMG (Institut Mécanique de Grenoble)
Groupe Hydrologie
B.P. 53 - 38041 GRENOBLE CEDEX

INGUL (Institut National du Génie Urbain Lyonnais)
21, rue François Garcin - 69003 LYON

INSA (Institut National des Sciences Appliquées)
Laboratoire Méthodes
20, av. Albert Einstein
69621 VILLEURBANNE CEDEX

LABAM (Laboratoire de Bioélectrochimie et d'Analyse du Milieu)
Université de Paris Val de Marne, bât. P1
av. du Général de Gaulle - 94010 CRETEIL CEDEX

LAMP (Laboratoire de Météorologie Physique, CNRS/IPG)
Université Blaise Pascal
12, av. des Landais - 63000 CLERMONT FERRAND

LATTS (Laboratoire Technique, Territoires et Sociétés, ENPC/CNRS)
Central IV
1, avenue Montaigne
93167 NOISY LE GRAND CEDEX

LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)
Division Eau
B.P. 19 - 44340 BOUGUENAI

LHM (Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation)
Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER CEDEX 5

NANCIE (Nancy, Centre International de l'Eau)
149, rue Gabriel Péri
54500 VANDOEUVRE LES NANCY

Office International de l'Eau
Direction de la formation et des études
rue Edouard Chamberland - 87065 LIMOGES

RESEAU (Recherches et Expérimentations Sur l'Eau pour l'Aménagement Urbain) DRE-DERU
21-23, rue Miollis
75732 PARIS CEDEX 15

VERSEAU (Valorisation des Etudes et Recherches dans les Sciences de l'Eau)
Parc Scientifique Agropolis
34980 MONTFERRIER SUR LEZ

Conception et texte : Bernard CHOCAT - INSA DE LYON - Laboratoire Méthodes

Coordination technique : Envirohénalpes - G.R.A.I.E.

Comité de lecture : Yolande AZZOUT, Sylvie BARRAUD, Elodie BRELOT, Georges DESCOURS, Roger FAVIER, Marc JEDICZKA, Didier JOUVE, Philippe LEBRETON, Yannick MASUN-LÉNY, Serge RIVRON, Jean RUILHAT

Graphisme : Gérard DARIT - Nathalie NAVARRE

Impression : Dupli

Credit photo : Agence de l'Eau R.M.C., CETE du Sud Ouest, Communauté Urbaine de Bordeaux, Direction de l'Eau du Grand Lyon, District Urbain de Nancy, EPAREB, GRAIE, Gilles HUBERT, INGETUD, NANCIE, SAUVETERRE, Bernard CHOCAT.

Dépot légal : 1^{er} Trimestre 1994



78, route de Paris - B.P. 19
69751 Charbonnières-les-Bains Cédex
Tél. 72 38 40 00 - Fax 72 38 42 18



GRUPE DE RECHERCHE RHONE-ALPES
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU

27 bd du 11 Novembre 1918 - B.P. 2132
F 69603 Villeurbanne Cedex - France-
Tél. 72 43 83 68 - Fax 72 44 07 32



69 rue de la République - 69002 Lyon
Tél. 78 37 29 14 - Fax 78 37 64 91