



Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation

Tendances d'évolution et technologies en développement

B. Chocat

(assisté de M. Abirached – D. Delage – J.A. Faby)

Office International de l'Eau

Juillet 2008

Convention ONEMA-OIEau 2008

Correspondant ONEMA : S. Garnaud

Travail réalisé par B. Chocat (Laboratoire Génie Civil et Ingénierie Environnementale – INSA de Lyon)
assisté de M. Abirached, de D. Delage et de J.A. Faby (Oieau)

OIEau – CNIDE 15 rue E. Chamberland 87065 Limoges Cedex – www.oieau.fr

ONEMA – Direction de l'Action Scientifique et Technique
S. GARNAUD - stephane.garnaud@onema.fr

Référence : 2008_Onema-OIEau_Gestion valorisation EP.pdf

Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation

B. Chocat (assisté de M. Abirached – D. Delage – J.A. Faby (OIEau))

Convention de partenariat ONEMA-OIEau 2008

RESUME

Ce document fait une synthèse des **pratiques actuelles en matière de technologies disponibles et d'études de cas** pour la gestion des eaux pluviales en milieu urbain, en essayant de dégager les tendances d'évolution.

Il se divise en quatre parties, décrivant tout d'abord les approches dont la finalité principale est la gestion des flux d'eau et de polluants, puis celles qui les traitent comme un élément de valorisation de l'espace urbain, puis celles qui visent à récupérer les eaux de pluie pour les utiliser comme une ressource et enfin les approches climatiques qui utilisent les eaux pluviales urbaines comme un élément de régulation des températures dans l'habitat ou dans la ville. Cette distinction est bien sûr formelle, certaines techniques étant largement plurifonctionnelles.

Le contrôle des flux d'eau et de polluants produits par les espaces urbanisés n'est pas une préoccupation récente. **En France**, cette préoccupation s'est concrétisée dès le début des années 80 par la mise en place de techniques dites "alternatives" ou "compensatoires". L'objectif principal était de compenser la capacité d'évacuation des réseaux d'assainissement qui devenait insuffisante du fait du développement urbain en périphérie et générait des inondations dans les zones basses des villes, souvent associées à des quartiers historiques denses et anciens. **Aux Etats-Unis ou en Europe du Nord** ce sont plutôt des préoccupations environnementales (capacités d'acceptation du milieu récepteur avec des « normes d'immission ») qui ont poussé au développement de "meilleures pratiques de gestion". Dans les deux cas, le paradigme dominant était de retenir l'eau dans des bassins de retenue publics, secs ou en eau, de façon d'une part à piéger une partie de la pollution, majoritairement transportée sous forme particulaire, et d'autre part de réguler les flux d'eau rejetés. Peu à peu les techniques se sont diversifiées et en particulier les échelles auxquelles elles étaient appliquées se sont réduites dans l'objectif de traiter les problèmes, le plus possible, à la source.

C'est ainsi que les techniques classiques dites « en bout de tuyau », ou bien utilisant des stockages provisoires en surface au sein des cités (accompagné d'outils de télégestion sophistiqués pour mieux gouverner l'hydrologie urbaine), une gestion directe à la parcelle ou enfin avec une gestion immédiate « dès que la goutte d'eau tombe », se rencontrent désormais couramment en génie urbain.

Les stratégies de promotion de ces technologies sont encadrées et impulsées par des obligations réglementaires en Europe comme **en Suisse** (infiltration imposée à la parcelle), **en Belgique** (stockage obligatoire à l'échelle domestique), ou des incitations financières comme aux **USA ou certains territoires en France** (Agence de l'eau Artois Picardie par exemple). Il est clair aussi que l'éducation des particuliers et la formation spécifique des techniciens pour l'usage de technologies innovantes et efficaces semblent être déterminantes. Le développement ou tout simplement l'usage des bonnes technologies sont confrontés à un certain nombre de freins liés par exemple à des statuts parfois compliqués des ouvrages de régulation et des aménagements urbains (qui paie ? qui gère ? qui entretient ?) voire à une certaine peur des nouveautés techniques à intégrer par des corps de métiers différents (aménageurs, services techniques des villes, urbanistes, paysagers, et ingénieurs hydrologues en génie urbain souvent dépassés par les premiers d'ailleurs).

Les **axes majeurs du futur** sur ce sujet, largement illustrés par des études de cas dans cette synthèse mondiale, sont la valorisation paysagère et urbaine (« se réapproprier l'eau dans la cité et revivre avec elle »), la valorisation en tant que ressource suivant les sites soumis à une pression forte en cas de manque d'eau en période de sécheresse (cas de **l'Australie, de la Chine, de la Corée**), et enfin la valorisation climatique pour réguler la température en milieu urbain ou à l'échelle d'habitats collectifs comme l'engouement actuel le prouve en **Allemagne** (végétalisation des toits) ou en **Espagne**.

Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation

B. Chocat (assisté de M. Abirached – D. Delage – J.A. Faby (OIEau))

Convention de partenariat ONEMA-OIEau 2008

SOMMAIRE

1.	Introduction	7
2.	Techniques de contrôle des flux d'eau et de polluants.....	8
2.1	Intérêt et historique	8
2.2	Techniques disponibles.....	8
2.2.1	Gestion "au bout du tuyau".....	8
2.2.2	Stockage provisoire en surface	9
2.2.3	Gestion à la parcelle.....	10
2.2.4	Gestion à la source.....	10
2.3	Efficacité en terme de lutte contre la pollution	11
2.4	Aspects réglementaires et socio-économiques	12
2.5	Tendances d'évolution	14
2.5.1	Notion de "chaîne de traitement".....	14
2.5.2	Evolution vers les traitements biologiques	15
2.5.3	Définition de critères de rejets fondés sur la capacité des milieux naturels à les recevoir	15
2.5.4	Lien avec la télégestion.....	16
3.	Valorisation paysagère et urbaine	16
3.1	Intérêt et formes d'utilisation possibles	16
3.2	Techniques disponibles.....	16
3.2.1	Ouvrages secs à double fonction	16
3.2.2	Plans d'eau permanents.....	17
3.2.3	Noues et fossés.....	18
3.2.4	Stockage dans les corps de chaussée.....	18
3.2.5	Lagunes et zones humides artificielles.....	18
3.3	Freins principaux à l'utilisation des techniques alternatives	18
3.4	Tendances d'évolution	19
4.	Valorisation en tant que ressource	19
4.1	Intérêt, quantité disponible et formes d'utilisation possibles.....	20
4.2	Stockage et réutilisation domestique des eaux pluviales	20
4.3	Autres possibilités d'utilisation	23
4.3.1	Jardins d'eau	23
4.3.2	Stockage et réutilisation à l'échelle d'une rue ou d'un quartier.....	24
4.3.3	Ré-infiltration dans la nappe.....	24
4.4	Tendances d'évolution	25
5.	Valorisation climatique	26
5.1	Intérêt et formes d'utilisation possibles	26
5.2	Techniques disponibles.....	27
5.2.1	Stockage sur les toits	27
5.2.2	Stockage souterrain et utilisation de l'évapotranspiration	27
5.2.3	Stockage en surface et utilisation de l'évaporation	28
5.3	Aspects réglementaires, économiques et sociaux.....	28

5.4	Tendances d'évolution	29
6.	Conclusion générale	29
6.1	La prise en compte locale de la capacité du milieu récepteur à recevoir les rejets urbains	29
6.2	La fin du tout à l'égout généralisé	29
6.3	Le développement d'une conception urbaine plus respectueuse de l'eau et de l'environnement.....	30
6.4	Le développement de la récupération des eaux de pluie	30
6.5	La valorisation climatique de l'eau	30
7.	Bibliographie	33

Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation

B. Chocat (assisté de M. Abirached – D. Delage – J.A. Faby (OIEau))

Convention de partenariat ONEMA-OIEau 2008

1. Introduction

Au milieu du XIX^{ème} siècle, lors du début de la mise en place des réseaux d'assainissement urbains, les eaux pluviales sont essentiellement considérées comme une nuisance (la boue est alors l'un des pires ennemis du confort urbain) qu'il faut évacuer au plus vite de la ville. Le mouvement hygiéniste met ainsi en place les équipements correspondant à une vision sanitaire de l'assainissement.

En Europe, à partir du milieu du XX^{ème} siècle la croissance des villes associée à l'exode rural donne aux eaux pluviales un nouveau statut, celui d'une menace susceptible d'inonder la ville de façon brutale. Les techniciens développent alors une approche qualifiée par Desbordes (1987) d'approche hydraulique, consistant à optimiser l'utilisation des réseaux d'évacuation et à les compléter par de grands bassins de retenue permettant l'écrêtement des pointes de débit.

Dans les années 80, la montée en puissance des préoccupations environnementales amène à s'intéresser à la pollution véhiculée par les eaux de ruissellement et plus encore par les eaux unitaires. La directive européenne ERU de 1991 et la loi sur l'eau de 1992 donnent un poids considérable à cette approche et conduisent au développement de nouvelles techniques, dites alternatives, visant à compléter l'approche hydraulique par une approche environnementale.

A la fin du XX^{ème} siècle, les réflexions menées sur l'optimisation de ces techniques, associées aux craintes suscitées par le changement climatique en terme de limitation des ressources en eau vont rapidement compléter cette approche environnementale, d'abord par une réflexion urbaine visant à réintégrer l'eau dans la ville, puis, logiquement en redonnant aux eaux de pluie urbaines le statut de ressource, statut qui leur est de plus en plus reconnu aujourd'hui.

Cette évolution des approches et des pratiques, typique du contexte français, se retrouve en fait dans tous les pays du monde, pauvres ou riches, richement dotés en eau ou non, déjà urbanisés ou en cours d'urbanisation, comme le montre une enquête récente de l'IWA sur un échantillon de plus de 20 pays (Marsalek & Chocat, 2002).

Ce document fait une synthèse des pratiques actuelles dans le monde en essayant de dégager les tendances d'évolution. Il se divise en quatre parties, décrivant tout d'abord les approches dont la finalité principale est la gestion des flux d'eau et de polluants, puis celles qui les traitent comme un élément de valorisation de l'espace urbain, ensuite celles qui visent à récupérer les eaux de pluie pour les utiliser comme une ressource et enfin les approches climatiques qui utilisent les eaux pluviales urbaines comme un élément de régulation des températures dans l'habitat ou dans la ville.

Cette distinction est bien sûr formelle, certaines techniques étant largement plurifonctionnelles.

2. Techniques de contrôle des flux d'eau et de polluants

2.1 Intérêt et historique

Le contrôle des flux d'eau et de polluants produits par les espaces urbanisés n'est pas une préoccupation récente. En France, cette préoccupation s'est concrétisée dès le début des années 80 par la mise en place de techniques dites "alternatives" ou "compensatoires" (Azzout *et al*, 1994). L'objectif principal était de compenser la capacité d'évacuation des réseaux d'assainissement qui devenait insuffisante du fait du développement urbain en périphérie et générait des inondations dans les zones basses des villes, souvent associées à des quartiers historiques denses et anciens. Aux Etats-Unis ou en Europe du Nord ce sont plutôt des préoccupations environnementales qui ont poussé au développement de "meilleures pratiques de gestion" ("*Best Management Practices*" ou "*BMPs*") des eaux pluviales. Dans les deux cas, le paradigme dominant était de retenir l'eau dans des bassins de retenue publics, secs ou en eau, de façon d'une part à piéger une partie de la pollution, majoritairement transportée sous forme particulaire, et d'autre part de réguler les flux d'eau rejetés.

Peu à peu les techniques se sont diversifiées et en particulier les échelles auxquelles elles étaient appliquées se sont réduites dans l'objectif de traiter les problèmes le plus possible à la source. Les actes des conférences Novatech (Brelot *et al*, 1995 ; 1998 ; 2001 ; 2004 et 2007) permettent bien de suivre cette évolution.

2.2 Techniques disponibles

L'idée générale est de stocker provisoirement l'eau avant de l'envoyer vers un exutoire naturel avec un débit compatible avec la capacité de cet exutoire à s'en accommoder. Cet exutoire peut être un exutoire de surface (rivière, lac, mer), un exutoire souterrain ou, plus rarement l'atmosphère (Marsalek *et al*, 2007).

2.2.1 Gestion "au bout du tuyau"

La solution la plus classique est constituée par les solutions dites "au bout du tuyau" ("*end of pipe systems*"). Elles consistent à installer des ouvrages de grande taille (généralement des bassins de retenue sec ou en eau) qui viennent compléter un réseau d'assainissement existant. Ces ouvrages peuvent être positionnés :

- A l'exutoire d'un bassin versant amont de quelques centaines d'hectares drainé par un réseau classique. Ces bassins peuvent se vidanger dans le réseau d'assainissement aval avec un débit régulé; ils peuvent également disposer d'un exutoire spécifique vers le milieu naturel (c'est en particulier le cas des bassins d'infiltration). Dans ce cas ils peuvent disposer d'une fonction de traitement, soit purement physique (décantation), soit de plus en plus souvent biologique (voir le § 3.2.5).
- En série sur le réseau lui-même. Dans ce cas, leur objectif principal est souvent de limiter les débits de pointe dans les réseaux aval anciens sous dimensionnés ou devenus insuffisants du fait du développement urbain à l'amont. Ces ouvrages étant souvent situés dans des zones déjà denses, ils sont parfois souterrains. Leur exutoire principal est généralement le réseau existant (c'est systématiquement le cas pour les réseaux unitaires). Parfois ils peuvent disposer d'un exutoire secondaire, de type trop plein, dirigeant l'excédent de flux vers un exutoire naturel.
- En parallèle au réseau d'assainissement, souvent alimentés par surverse lorsque le débit dépasse un certain seuil. Il peut s'agir d'ouvrages multi-fonctionnels pour

lesquels on essaie de limiter le nombre et la durée des remplissages (voir le § 2.2.2). Il peut également s'agir de bassins d'orage sur un réseau unitaire. Dans ce cas, leur fonction est de maximiser le volume d'eau envoyé à la station d'épuration. Cette solution est très classique en Allemagne ou en Europe du Nord où elle s'est beaucoup développée depuis la publication de la directive cadre sur les eaux résiduaires urbaines. Elle est également développée dans certaines villes américaines équipées d'un réseau unitaire. L'exemple le plus spectaculaire est celui de Chicago avec un volume de stockage de 3 milliards de m³ (Lanyon in Novotny & Brown, 2007).

Les ouvrages de ce type de première génération étaient généralement monofonctionnels, installés sur des terrains publics et gérés par le service assainissement (STU & Agence de l'Eau, 1994). Depuis quelques dizaines d'années, ils sont de plus en plus souvent plurifonctionnels (voir le § 3) (Département de Seine-Saint-Denis, 2003).

2.2.2 Stockage provisoire en surface

Une autre solution consiste à utiliser des espaces urbains préexistants pour stocker provisoirement l'eau pendant les situations de crise et limiter ainsi les risques d'inondation à l'aval. De nombreux espaces, généralement publics, peuvent être sollicités : parking, places, espaces verts, terrains de sport, voire cours d'école (CERTU, 2000 ; 2006).

Ce mode de gestion est à relier à la notion de réseau mineur et réseau majeur (Clar *et al*, 2004). Le réseau mineur est constitué par le réseau de conduites souterraines. Il est dimensionné pour accepter les crues fréquentes (typiquement de période de retour 1 à 3 ans). Le réseau majeur est constitué par une partie aménagée du réseau de voirie. L'aménagement consiste à construire des voiries de pente régulière (en évitant en particulier les points bas) et suffisamment décaissées par rapport aux immeubles desservis pour éviter les intrusions d'eau dans les rez-de-chaussée ou les sous-sols. Ce réseau majeur guide les flux générés par les événements extrêmes vers les zones de stockage indiquées précédemment.

Une gestion optimum de ce type d'aménagement, qui se développe depuis plusieurs années en Australie (O'Loughlin, 1987), nécessite une très bonne ingénierie des points d'entrée dans le réseau (avaloirs et bouches d'égout). Ces ouvrages doivent en effet se comporter comme des régulateurs et ne laisser rentrer dans le réseau mineur que les flux que ce dernier est capable d'accepter. L'encadré ci-dessous, extrait de O'Loughlin & Anderson (2004), dans Brelot *et al*, 2004, illustre cette démarche.

O'Loughlin & Anderson (2004) présentent une méthode originale de dimensionnement de systèmes d'assainissement pluviaux reposant sur trois principes :

- ne recevoir dans le réseau souterrain (réseau mineur) que les débits d'eau produits par des pluies de période de retour 2 à 5 ans en limitant la capacité d'avalement des avaloirs et des bouches d'égout ;
- adapter le réseau de rues (réseau majeur) pour qu'il puisse véhiculer sans désordres importants les débits générés par des pluies de période de retour 100 ans et les diriger vers des exutoires naturels ou zones de stockage et / ou d'infiltration ;
- Utiliser comme zone de stockage et / ou d'infiltration tout espace urbain vide pouvant recevoir provisoirement de l'eau sans dégâts importants, en particulier les parcs, jardins publics et parkings, mais aussi des places, des cours d'école, etc.

Cette méthode est supportée par un logiciel appelé DRAIN et a été appliquée à plusieurs quartiers de Sydney.

Une évolution actuelle consiste à considérer globalement le système urbain et à concevoir les quartiers pour permettre une gestion intelligente et durable des eaux de ruissellement (voir le § 3.2.1).

2.2.3 Gestion à la parcelle

Si certains grands ouvrages de gestion des flux d'eau "au bout du tuyau" sont encore largement monofonctionnels et construits avec l'objectif exclusif de limiter les risques d'inondation et/ou de diminuer les charges de polluants rejetées au milieu naturel, il n'en est pas de même de la plupart des ouvrages de gestion à la parcelle qui ont en général au moins une deuxième fonction : création d'espaces urbains agréables, récupération de l'eau, abaissement local des températures, etc.. Beaucoup de solutions de ce type (stockage sur les toitures, citernes, ...) sont pour cette raison décrites dans les paragraphes suivants (voir les § 3, 4, et 5). Nous ne présenterons ici que les puits d'infiltration et les tranchées de rétention-infiltration dont la fonction principale est la gestion des eaux pluviales, même si ces ouvrages peuvent facilement être intégrés à la ville.

Les puits d'infiltration ont pour fonction l'évacuation directe des eaux pluviales dans le sol. Ils drainent généralement des surfaces de l'ordre du millier de mètres carrés. Cette technique a l'avantage de pouvoir être appliquée dans des zones où la couche de sol superficielle est peu perméable (forte urbanisation, terrain superficiel imperméable) mais qui ont des capacités importantes d'infiltration dans les couches profondes. On distingue habituellement deux types de puits : les puits d'infiltration et les puits d'injection. Dans le premier cas, les eaux sont infiltrées dans le sol en passant au travers d'une couche de sol non saturée. Dans le deuxième cas, les eaux pluviales sont directement injectées dans une nappe et le risque de pollution des eaux souterraines est très important. Cette solution, longtemps utilisée en particulier aux Etats-Unis et maintenant interdite dans presque tous les pays. La règle générale consiste à préserver une zone non saturée de 1 mètre entre le niveau maximum de la nappe et le fond du puits (Chocat *et al*, 1997), voire davantage (par exemple le Grand Lyon exige 2 mètres dans les zones où la nappe doit être protégée).

Les tranchées de rétention/infiltration sont des ouvrages linéaires et superficiels (d'une profondeur généralement inférieure au mètre) qui peuvent recueillir les eaux de ruissellement de différentes manières et qui les évacuent ensuite soit directement par infiltration vers le sol profond, soit vers un exutoire (réseau, puits, etc.).

Les tranchées sont utilisées depuis de nombreuses années dans beaucoup de pays comme l'Allemagne, l'Australie, le Danemark, les Etats-Unis, la Grande-Bretagne, le Japon, la Scandinavie, la Suède, etc. (voir Brelot *et al*, 2001 ; 2004 ou 2007). En France, cette technique est aussi largement répandue. La mise en œuvre relativement facile des tranchées, leur faible emprise au sol et la possibilité de les intégrer dans presque n'importe quel type de forme urbaine (le long d'une voirie ou d'un immeuble, au milieu d'un parking ou d'un espace vert) expliquent probablement leur succès.

2.2.4 Gestion à la source

Il s'agit dans ce cas de gérer la goutte d'eau de pluie au plus près de son point d'arrivée sur le sol, idéalement là où elle tombe. Nous ne décrivons ici que deux familles d'ouvrages :

Les bandes enherbées ont des applications importantes en agriculture pour fixer les produits phytosanitaires et les engrais. Une bande non cultivée et plantée d'herbes permet par exemple de diviser par 4 ou 5 la quantité de pesticides apportée à une rivière (MEDD, 2005). L'utilisation de cette technique s'est également développée dans différents pays pour lutter contre la pollution des eaux de ruissellement urbain, que ce soit en bordure d'autoroutes ou de routes très circulées ou en bordure des voiries urbaines (Field *et al*, 2006 ; Ellis *et al*, 2005). L'utilisation de noues en bordure de voirie permet de fait la mise en place de bandes enherbées.

Les chaussées à structure réservoir sont une technique plus urbaine. Elles permettent de stocker dans le corps de chaussée des quantités importantes d'eau pour les restituer ensuite à débit contrôlé soit à un réseau traditionnel, soit au milieu naturel par infiltration ou par un exutoire régulé. L'alimentation du corps de chaussée peut se faire soit par infiltration dans la

couche de roulement (chaussées poreuses), soit par des drains si la couche de roulement est imperméable. Au-delà de leur finalité principale de gestion de l'eau, les chaussées à structure réservoir présentent des avantages complémentaires, comme par exemple l'amélioration de la tenue au gel qui fait qu'elles sont beaucoup utilisées dans les pays nordiques (Marsalek *et al*, 2004), ou encore, dans le cas des chaussées poreuses en évitant les projections d'eau.

2.3 Efficacité en terme de lutte contre la pollution

Les solutions techniques de ce type présentent cinq intérêts majeurs vis à vis de la limitation des rejets polluants de temps de pluie (Ellis *et al*, 2005) :

- En ralentissant l'écoulement et en stockant provisoirement l'eau, elles offrent la possibilité d'une décantation importante des effluents et de piégeage des polluants. Une chaussée à structure réservoir, par exemple, présente des valeurs moyennes d'abattement événementiel de l'ordre 50 à 70 % pour les MES, de 50 à 90 % pour la DCO et de 80 à 90 % pour le plomb ;
- En infiltrant une partie de l'eau, elles diminuent le volume total rejeté. La pollution est majoritairement retenue dans le premier mètre du sol ; en outre, si l'on entretient périodiquement ces dispositifs, les polluants sont interceptés très près de la surface, dans les dix premiers centimètres du sol. Le sol se comporte comme un piège qu'il faut naturellement traiter ultérieurement. Les polluants retenus, principalement hydrocarbures et métaux lourds, n'atteindront ainsi ni la nappe, ni un milieu aquatique de surface ;
- En agissant très en amont, les masses de polluants apportées à ces ouvrages sont réduites et donc plus faciles à gérer et traiter ;
- En rendant visible l'eau et plurifonctionnelle son utilisation, une mauvaise qualité d'eau sera plus vite détectée, notamment par les usagers. Si un bassin sec servant de terrain de football, par exemple, apparaît sale, il sera très vite signalé alors que les mêmes polluants dans une conduite ne seraient même pas décelés ;
- Enfin, en permettant la mise en place de communautés bactériennes et végétales, elles permettent la dégradation d'une grande partie de la pollution organique biodégradable, des nutriments et même d'une partie de la pollution toxique.

L'exemple ci-dessous illustre cette capacité de dépollution (Tableau 1).

Tableau 1 : Efficacité des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à diminuer les flux de nutriments rejetés au milieu naturel d'après Hirschman *et al*, 2008. Les valeurs indiquées ici pour le phosphore sont voisines pour l'azote.

Technique	% réduction du volume ruisselé	% réduction concentration en phosphore	% réduction masse phosphore
Toitures végétalisées	45 à 60	0	45 à 60
Infiltration des eaux de toitures	25 à 50	0	25 à 50
Stockage des eaux de toitures dans des citernes	40	0	40
Revêtement perméable	45 à 75	25	59 à 81
Fossés engazonnés	10 à 20	15	23 à 32
Noues engazonnées	40 à 60	20 à 40	52 à 76
Noues ou fossés en eau	0	20 à 40	20 à 40
Zones humides artificielles	0	50 à 75	50 à 75
Lagune	0	50 à 75	50 à 75

2.4 Aspects réglementaires et socio-économiques

L'idée originelle du "tout à l'égout", émerge en Europe au début du XIX^{ème} siècle et peut clairement être associée au mouvement hygiéniste. Son fondement scientifique repose sur une analogie entre le fonctionnement de la ville et celui d'un organisme vivant. L'eau doit ainsi être "apportée dans la ville par un système artériel et évacuée par un système veineux, les deux actionnés par un même cœur central" (Ward, cité par Chocat *et al*, 1997). Citernes et fosses, qui étaient jusqu'à cette époque les systèmes de base de la gestion des eaux pluviales et des eaux usées, deviennent "deux formes de stagnation pestilentielle" qu'il convient d'éradiquer. Pendant très longtemps la réglementation va aller dans le sens exclusif du tuyau visant à l'évacuation rapide des eaux de toutes natures. En Europe de l'ouest, les énormes besoins de reconstruction rapide des villes après la seconde guerre mondiale amènent les techniciens à utiliser de grands bassins de retenue à ciel ouvert. Ces ouvrages ne sont cependant considérés que comme une solution d'attente et sont progressivement remplacés dès les années 50 par des tuyaux. Ce n'est que depuis une quarantaine d'années que les réglementations commencent à évoluer, souvent pour s'adapter à des pratiques qui se diversifient.

En France, la parution en 1977 de la nouvelle Directive sur l'assainissement, propose des règles de dimensionnement des bassins de retenue et promeut ainsi leur usage. En fait elle ne fait qu'adapter la réglementation à une technique qui s'est beaucoup développée, en particulier dans le cadre de la construction de villes nouvelles (par exemple Marne la Vallée ou l'Isle d'Abeau), dans des zones sans exutoire naturel simple pour les eaux de ruissellement. L'objectif essentiel reste la lutte contre les inondations.

Aux Etats-Unis, dans les années 70, le "*clean water act*" donne le signal du développement de "meilleures pratiques de gestion" ("*Best Management Practices*") des eaux pluviales urbaines (Field *et al*, 2006) dans le but d'améliorer la qualité des milieux récepteurs. Cet exemple est peu à peu copié un peu partout en Europe et dans le reste du monde. En France quelques collectivités font office de pionniers (Communauté Urbaine de Bordeaux, Départements de la petite couronne parisienne, Communauté urbaine de Lyon, etc.) ; voir par exemple Azzout *et al* (1994), Chaïb (1997), CERTU (2006). L'objectif de lutte contre les

inondations reste fort mais cède progressivement du terrain vis-à-vis de l'objectif de limitation des rejets polluants.

La Directive cadre européenne "Eaux Résiduaires Urbaines" marque un tournant partout en Europe en imposant le traitement des eaux polluées même pendant les périodes pluvieuses. Depuis le contexte réglementaire n'a cessé de préconiser l'utilisation de stratégies plus durables de gestion des eaux pluviales, du moins dans les pays développés.

Les stratégies utilisées pour promouvoir ces technologies peuvent se diviser en quatre grands groupes :

- l'obligation réglementaire : c'est le cas par exemple en Suisse où l'infiltration des eaux de toitures est imposée (ASPPE, 2006) ou en Belgique où c'est leur stockage qui est obligatoire (Moniteur Belge, 2006).
- l'incitation réglementaire : c'est la situation française où le nouveau guide technique édité par le CERTU (2003), érige en principe la déconnection des zones imperméables des réseaux d'assainissement de toute nature (réseaux unitaires, mais aussi réseaux séparatifs eaux pluviales).
- L'incitation financière, qui peut prendre la forme d'aides financières consenties aux particuliers pour le développement de techniques de gestion des eaux pluviales à la parcelle comme aux Etats-Unis¹ ou sur certains territoires français (Agence de l'eau Artois-Picardie, 2006).
- L'éducation des particuliers ou la formation des techniciens pour leur expliquer l'intérêt des techniques durables².

L'encadré ci-dessous donne l'exemple du fonctionnement du Clean Water State Revolving Fund (CWSRF) qui permet le financement des techniques alternatives aux Etats-Unis.

Pour en savoir plus : voir le site <http://www.epa.gov/water/funding.html>

Le CWSRF a été créé par le congrès en 1989. Il s'agit de fonds gérés par chaque état (chaque état plus Porto Rico en a un), et qui permettent d'obtenir des prêts à des taux inférieurs à ceux du marché (jusqu'à un taux zéro) pour toute action visant à améliorer la qualité des milieux aquatiques. Les projets peuvent être financés à 100 % par le prêt.

Sont éligibles pour les prêts : les collectivités locales, les groupes de citoyens, les entrepreneurs, les agriculteurs, les propriétaires de maisons, les gestionnaires de bassins versants, les associations.

Une condition nécessaire est que le type ou la nature du rejet polluant ait été identifié par l'Etat dans un plan de gestion des pollutions diffuses (Non Point Source Management Plan). Les règles d'éligibilité sont définies au niveau de chaque Etat et peuvent être assez différentes d'un état à l'autre. Les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sont généralement concernés et le CWSRF constitue de fait la source principale de financement des actions de lutte contre la pollution urbaine de temps de pluie.

Le montant moyen annuel des prêts accordés a été de 4 milliards de dollars au cours des 3 dernières années et atteint 42 milliards de dollars depuis 1989. Sur ce montant, 1,6 milliards de dollars ont servi à financer 3 400 projets visant à la réduction de RUTP. Comme il s'agit de prêts, les remboursements permettent de réalimenter la caisse disponible sans nécessiter d'apports budgétaires complémentaires de la part des Etats.

Malgré tout, les freins restent nombreux : transfert de responsabilités financières, statut compliqué des nouveaux ouvrages, (mauvaises) habitudes des techniciens, obligation d'intégrer la problématique de la gestion des eaux beaucoup plus tôt dans la conception des aménagements, manque de formation des professionnels, peur de la nouveauté, etc.. Le résultat est que, dans la plupart des pays, les techniques se développent de façon très

¹ voir par exemple le site <http://www.epa.gov/water/funding.html>

² voir par exemple le site <http://www.stormwatercenter.net/>

rapide sur certains territoires parce que les acteurs sont convaincus de leur intérêt et ne se développent pas du tout ailleurs pour la raison inverse.

En pratique, l'élément le plus favorable au développement de ces techniques est leur coût qui permet souvent des économies substantielles par rapport à la mise en place d'un réseau conventionnel, comme l'illustre le tableau 2 extrait de Chéron & Puzenat (2004).

Tableau 2 : Coûts des différentes techniques compensatoires (hors foncier, 1999) d'après Chéron & Puzenat (2004)

Technique	Coût	Entretien, nettoyage	Observations
Terrasses	0		
Tranchées ou fossés drainants	30,5 à 38€/m ³	0,30 à 0,46 €/m ³ /an	Suivant la structure de la surface
Puits d'infiltration	3€/m ² de surface assainie	1,5 €/m ² de surface assainie	
Noues	3 à 15€/m ³ stocké ou 15 à 30€ par ml	Curage tous les 10 ans, entretien espaces verts	
Dalles béton gazon	15€/m ²		
Chaussées réservoir	33,5 à 67€/m ³	0,15 à 0,75 €/m ³ /an	Durée de vie de l'enrobé 10 à 15 ans
Bassin en eau	9 à 60€/m ³	0,15 à 0,45 €/m ³	6 à 7% des investissements en GC
Bassin en béton couvert	150 à 530€/ m ³		
Bassin en béton non couvert	75 à 150€/m ³ 70% GC, 30% équipements	GC 15 % investissements / an	30 ans
Bassin sec	9 à 90€/m ³ (rural <-> urbain)	0,3 à 1,5 €/m ³	
Structure alvéolaire	150 à 230€/m ³	0,3 à 1,5 €/m ³ / an	

2.5 Tendances d'évolution

Les évolutions sont nombreuses et très rapides (Chocat *et al*, 2007). Trois sont extrêmement importantes et font chacune l'objet d'un paragraphe spécifique :

- l'utilisation des eaux de pluie comme élément de valorisation urbaine,
- l'utilisation des eaux de pluie comme ressource,
- l'utilisation des eaux de pluies comme outil de climatisation urbaine.

Quatre autres sont décrites ci-après.

2.5.1 Notion de "chaîne de traitement"

Les approches actuelles, outre le fait qu'elles essaient de promouvoir des utilisations multiples des ouvrages (voir les paragraphes suivants), reposent de plus en plus sur la notion de chaîne de traitement ("*treatment train*"). L'idée simple est que les ouvrages mobilisables à différentes échelles spatiales ne présentent pas tous ni les mêmes intérêts, ni les mêmes efficacités en terme de traitement de tel ou tel type de pollution ou de protection contre les crues. De plus, leur fonctionnement dépend de la structure temporelle des précipitations et de la forme des hydrogrammes qu'elles génèrent. Utiliser en série des ouvrages présentant des caractéristiques différentes permet d'optimiser l'efficacité globale.

Voir en particulier l'exemple australien (Wong *et al*, 2005) dans lequel cet aspect est érigé en principe.

2.5.2 Evolution vers les traitements biologiques

Une autre tendance lourde est l'évolution des systèmes vers des ouvrages permettant un traitement biologique "extensif" des eaux pluviales. On assiste par exemple dans de très nombreux pays (Australie, Etats-Unis, Allemagne, Suède, France, etc.) au développement de l'utilisation de lagunes ou filtres plantés de roseaux pour la dépollution des eaux pluviales (voir à ce sujet le § 3.2.5). Dans de nombreux pays, en particulier en France, cette évolution doit beaucoup aux solutions développées pour traiter les eaux de plates-formes routières ou autoroutières. Voir par exemple les actes des deux dernières éditions de Novatech (Brelot *et al* 2004 et 2007) ou Wong (2005).

Même si les flux sont comparables, l'environnement dans lequel ces ouvrages sont installés diffère. Plutôt rural dans le cas des routes et autoroutes, il est par nature urbain dans les villes. On assiste ainsi à un curieux paradoxe dans lequel l'assainissement a eu pendant très longtemps une mission d'assèchement des zones humides (pour les rendre plus saines), alors qu'aujourd'hui on considère la zone humide comme un moyen d'épuration et on en construit donc des artificielles au cœur des villes.

2.5.3 Définition de critères de rejets fondés sur la capacité des milieux naturels à les recevoir

Une autre évolution très sensible actuellement est le passage de normes de rejets ("*emission based*") à des normes de capacité d'acceptation du milieu ("*immision based*"), souvent directement traduit par le français "immission". Cette évolution, commencée aux Etats-Unis il y a plus de 30 ans avec le "Clean Water Act" est également ancienne en Europe dans ses principes (voir par exemple Fuchs *et al*, 1997). Elle est en très fort développement, en particulier en Europe depuis la promulgation de la Directive Cadre sur l'Eau (Stahre, 2006 ; Villareal, 2005 ; Novotny & Brown, 2007). Elle se décline de multiples façons selon les pays :

- Développement à faible impact ("*low impact development*") aux Etats-Unis qui vise à développer l'urbanisation en modifiant le moins possible le fonctionnement des milieux naturels³.
- Conception urbaine respectueuse de l'eau ("*water sensitive urban design*") (Wong, 2005) en Australie.
- Système d'assainissement durable ("*Sustainable Urban Drainage Systems ou SUDS*" au Royaume Uni⁴).

Elle se traduit par des évolutions sensibles de la réglementation. L'exemple Suisse est particulièrement intéressant. Le projet "storm", mené au cours des dernières années par l'EAWAG (Rossi *et al*, in Brelot *et al*, 2007), a en effet conduit à généraliser la notion de "norme fondée sur l'immission", déjà présente dans la loi fédérale sur la protection des eaux depuis 1991, au cas des eaux pluviales (ASPPE, 2002).

³ Voir par exemple : <http://www.lowimpactdevelopment.org/> ou <http://www.lid-stormwater.net/>

⁴ Voir par exemple : <http://www.ciria.org.uk/suds/>.

2.5.4 Lien avec la télégestion

Une dernière tendance forte est la prise de conscience que, au-delà du développement de stratégies et de techniques alternatives au "tout tuyau", il est également indispensable de tirer le meilleur parti des infrastructures existantes. Ces dernières (réseaux, stations d'épuration et ouvrages associés) représentent en effet une valeur patrimoniale considérable et constituent encore souvent la meilleure solution de gestion des eaux pluviales pour de nombreux quartiers urbains, en particulier les quartiers denses anciens existants.

Plutôt que de vouloir leur substituer partout des techniques alternatives, il paraît donc plus logique d'optimiser globalement le fonctionnement du système d'assainissement. Les techniques alternatives apparaissent alors comme des outils permettant d'améliorer la capacité d'adaptation des ouvrages existants et d'optimiser leur utilisation en anticipant sur les flux.

3. Valorisation paysagère et urbaine

3.1 Intérêt et formes d'utilisation possibles

La valorisation paysagère et/ou urbaine des ouvrages alternatifs d'assainissement est vite apparue comme une nécessité imposée par le coût très important du foncier nécessaire à la mise en place de ces ouvrages, par ailleurs extrêmement peu sollicités dans le temps. Il était donc logique de promouvoir une double utilisation des espaces mobilisés : stockage et/ou infiltration des eaux pluviales pendant les périodes pluvieuses et autre usage urbain pendant le reste du temps. Cette idée était de plus renforcée par le fait que l'eau constitue un élément majeur de valorisation urbaine et de sociabilisation.

Cette idée a été intégrée par des urbanistes, des aménageurs, des paysagistes, des architectes depuis plus de 30 ans. La diversité des approches et des pratiques a conduit à des formes extrêmement diversifiées.

3.2 Techniques disponibles

3.2.1 Ouvrages secs à double fonction

Une des idées les plus simples consiste à combiner sur le même espace une fonction de stockage des eaux pluviales avec une fonction d'usage collectif. Les usages les plus développés sont ceux de terrains de sport (exemples en France à Vitrolles, Porte des Alpes à l'est de l'agglomération lyonnaise, etc.), de parkings (exemple du stade de France), de squares ou de jardins publics (exemples en France à Lyon ou en Seine-Saint-Denis). De très nombreux exemples sont bien documentés sur des sites web (par exemple celui du GRAIE ou du CERTU) ou dans des ouvrages généraux (CERTU, 1999 ou 2000, STU & Agences de l'eau, 1994).

L'encadré ci-dessous donne l'exemple de la gestion des eaux pluviales au clos Saint-Vincent à Noisy le Grand (Département de Seine-Saint-Denis, 2003) par des ouvrages secs diversifiés.

La ZAC du Clos Saint Vincent a une superficie de 18 hectares et constitue un élément urbain important de Noisy le Grand qui établit une liaison entre la gare RER et le centre ville. La ZAC est organisée autour d'un cheminement piéton nord-sud. L'eau a été utilisée dans cet espace comme un élément de paysage et de valorisation. 1 500 m³ de stockage étaient nécessaires, répartis en 4 ensembles, dont seuls deux sont présentés ici.

Dans le premier sous bassin versant (2,4 ha), on commence par stocker l'eau dans une conduite souterraine surdimensionnée (pluie de période de retour 6 mois). Pour les pluies plus fortes (en moyenne 2 par an), l'eau déborde dans une noue traitée en espace vert. L'ensemble fait 100 m³. Enfin les pluies exceptionnelles sont dirigées vers le parking du centre commercial qui permet de stocker 300 m³.

Dans le second sous bassin versant (2,85 ha), l'idée dominante a été d'utiliser des espaces publics extérieurs comme des zones inondables. Pour bien montrer la nature de ces zones, les traitements de surface ont été différenciés : tout ce qui est inondable est couvert par de la végétation ou des pavés non joints ; tout ce qui n'est pas inondable est couvert par des pavés joints. Les 550 m³ de stockage nécessaires ont été trouvés dans des noues installées le long des cheminements piétons et en acceptant une hauteur d'eau pouvant atteindre 20 centimètres sur une place publique.

La réflexion peut se développer en privilégiant au départ l'un ou l'autre des usages. Par exemple au Japon un recensement des espaces publics existants susceptibles de recevoir et de stocker des eaux de ruissellement a été utilisé pour réduire les risques d'inondation urbaine. Les espaces recensés sont extrêmement variés et comprennent même des cours d'école (Fujita in BreLOT *et al*, 2001). A l'inverse, d'autres expériences partent d'un ouvrage de retenue existant et tentent de lui trouver une utilité sociale. En France, l'un des exemples les mieux réussis est celui de la réhabilitation du bassin de retenue Marcel Audin en Seine-Saint-Denis (Perez *et al*, in BreLOT *et al*, 2001).

Il apparaît cependant préférable que la réflexion soit conduite dès le départ. Ceci nécessite une étroite collaboration entre techniciens de l'assainissement d'une part, aménageurs, architectes, paysagistes et autres acteurs locaux du projet (en particulier usagers potentiels) de l'autre, ceci dès le début des études.

3.2.2 Plans d'eau permanents

L'utilisation de bassins en eau pour stocker les eaux pluviales est également ancienne. En France, cette solution s'est développée au moment de la construction des villes nouvelles dont beaucoup ne disposaient pas d'exutoires naturels faciles à utiliser (on peut en particulier citer Marne la Vallée ou l'Isle d'Abeau). Elle est utilisée dans beaucoup de pays, quel que soit le climat ou le niveau de développement (Marsalek & Chocat, 2001 ; Baptista *et al*, 2005). Elle repose sur le fait que l'eau constitue un élément intéressant de valorisation urbaine et de sociabilisation. Par rapport aux bassins de retenue secs, l'inconvénient majeur est de consommer davantage d'espace, le volume de stockage disponible étant réduit par la lame d'eau présente dans le bassin au début de l'événement.

Les bassins de retenue en eau peuvent également être utilisés comme des outils d'éducation à l'environnement. Des expériences très intéressantes dans ce sens ont par exemple été menées à Malmoë où les plantations de la végétation dans certains ouvrages ont été effectuées par les enfants des écoles dans le cadre d'une grande fête de l'eau (Stahre, 2006).

3.2.3 Noues et fossés

Les fossés, ou de préférence les noues (fossés larges et peu profonds), constituent des espaces verts de proximité qui peuvent être utilisés de multiples façons pour gérer les eaux pluviales (fonction de stockage, de transport, et / ou d'infiltration).

Ce type d'ouvrage est très facile à intégrer dans beaucoup de zones urbaines : zones d'activités, habitat individuel ou collectif, le long des voiries, y compris très circulées. Intégrées dans les espaces verts, elles sont le plus souvent traitées en pelouses, faciles à entretenir par simples tontes. La présence de l'herbe permet de piéger de façon efficace une grande quantité de polluants particulaires, mais aussi dissous (Field *et al*, 2006).

Il est également possible d'utiliser d'aménager les noues de façon plus sophistiquée, par exemple en utilisant une végétation de zone humide pour marquer la présence de l'eau (Stahre, 2006).

3.2.4 Stockage dans les corps de chaussée

Le stockage de l'eau dans les corps de chaussée a déjà été évoqué au § 2.2.4. L'intérêt est d'utiliser un espace public représentant plus de 10 % de la surface totale de la ville et générateur de flux importants d'eau et de polluants.

Au-delà de l'intérêt en terme de réduction de ces flux, l'utilisation de revêtements poreux (bitumineux ou à base de liants hydrauliques) permet de réduire les projections d'eau, source de confort et de sécurité aussi bien pour les piétons que pour les automobilistes.

3.2.5 Lagunes et zones humides artificielles

Les lagunes et les zones humides artificielles constituent à l'origine une méthode de traitement des eaux usées. Différentes expériences aux Etats-Unis, en Australie, en Suède, etc. ont montré l'aptitude de ces techniques à traiter les eaux unitaires et les eaux pluviales malgré l'intermittence de ces rejets et leur caractère peu organique (Clar *et al*, 2004 ; Ellis *et al*, 2005 ; Field *et al*, 2006, Wong, 2005).

3.3 Freins principaux à l'utilisation des techniques alternatives

Un point commun, dans tous les pays et pour presque toutes les formes d'ouvrage est la difficulté de leur gestion (Marsalek & Chocat, 2001). Leur caractère multifonctionnel les place en effet presque toujours sous la responsabilité de plusieurs organismes ou administrations. Par exemple, un parc public utilisé comme ouvrage de stockage voit son financement et son exploitation partagés entre le service en charge de l'assainissement et celui en charge des espaces verts. Or ces services ont des budgets différents et n'appartiennent généralement pas au même organisme.

De plus les conditions "de bonne gestion" ne sont pas nécessairement les mêmes pour toutes les fonctions. Permettre l'accès du public à une zone infiltrante peut par exemple conduire à un tassement des sols et à une diminution de la capacité d'infiltration. La prise en compte des contraintes d'exploitation dès la conception de l'ouvrage (qui fera quoi et dans quel cadre ?) est donc une condition essentielle de réussite.

Cette difficulté est encore plus grande lorsque les ouvrages sont situés sur un domaine privé sur lequel le contrôle que peut exercer la collectivité sur la bonne gestion de l'ouvrage reste nécessairement limité.

Une autre difficulté réside dans la perception du public qui n'accepte pas toujours facilement de voir l'eau revenir en surface. Une crainte souvent manifestée est par exemple celle du risque de noyade pour les bassins de retenue, qu'ils soient secs ou en eau. A l'opposé certains ouvrages sont tellement bien réussis que le deuxième usage prend l'ascendant sur la gestion des eaux pluviales. Un exemple souvent cité est celui de Marne la Vallée où les associations de pêche locales réclament régulièrement l'interdiction des apports d'eau pluviale dans les plans d'eau pourtant initialement conçus essentiellement pour cet usage (Département de Seine-Saint-Denis, 2003).

3.4 Tendances d'évolution

Le traitement architectural des ouvrages peut être très minéral et très urbain (par exemple le bassin de retenue de la gare RER de Torcy ou l'aménagement de Potsdamer Platz à Berlin présenté au § 5.2.3). Cependant, l'une des tendances lourdes associées à cette approche est la réintroduction de la nature dans la ville. L'eau, par son caractère symbolique fort, constitue ainsi souvent une aide précieuse pour changer le statut ou la perception des espaces. Ceci explique sans doute le développement rapide des approches de ce type dans de très nombreux pays ces dernières années (Etats-Unis, Europe du Nord, Allemagne, Australie, Japon, etc.). Voir à ce propos les très nombreux exemples présentés dans Brelot *et al* (1998, 2001, 2004, 2007).

L'une des conséquences un peu inattendues de ce développement est le désintérêt de beaucoup de techniciens de l'assainissement pour ces nouvelles solutions, et, par effet de balancier, leur appropriation par les paysagistes et les aménageurs.

Si le développement de l'intérêt des acteurs de l'aménagement urbain pour la gestion des eaux pluviales est tout à fait positive et est souhaitée et encouragée par beaucoup d'institutions (voir par exemple les journées "Aménagement durable et eaux pluviales" organisées par le GRAIE, l'Agence d'Urbanisme de Lyon et la Communauté urbaine depuis 12 ans⁵), cette tendance actuelle peut cependant constituer un risque à moyen terme. L'hydrologie est en effet une science difficile et les implications des aménagements de l'espace sur le cycle de l'eau ne sont pas toujours faciles à prévoir. Il ne suffit pas de vouloir bien faire pour faire bien. En d'autres termes, ce n'est pas parce que les ouvrages d'assainissement prennent une dimension supplémentaire, urbaine, sociale ou éducative qu'il faut pour autant négliger leur fonction technique.

4. Valorisation en tant que ressource

A l'origine, la récupération des eaux de pluie n'avait aucune fonction de gestion des risques d'inondation ou de diminution des rejets de polluants vers les milieux naturels. Il s'agissait essentiellement de récupérer l'eau au plus près de son point de consommation et de la stocker dans les meilleures conditions. On trouve ainsi des systèmes de collecte et de stockage des eaux de pluie dans presque toutes les civilisations et ce depuis le début de la création des villes (Nordon, 1991).

L'exemple de Venise est illustratif (Nordon, 1991). Le manque d'eau douce souterraine du fait de l'implantation de la ville sur une lagune avait inspiré un système original de récupération et d'exploitation des eaux de pluie. Chaque place était équipée d'un dallage perméable recouvrant une cuve étanchée pour interdire les intrusions d'eau saumâtre, et remplie de sable. Lors des pluies, l'eau filtrée par le sable était stockée dans la cuve puis

⁵ Voir le site <http://www.graie.org/graie/index.htm>

prélevée par un puits central. Les places étaient décaissées par rapport aux voiries qui les desservait de façon à augmenter la surface de l'impluvium.

Si la récupération des eaux de pluie dans des cuves souterraines ou de surface n'a jamais totalement disparu, ces technologies ont cependant vu leur utilisation décliner de façon très importante dans les zones urbaines avec le développement des réseaux de distribution d'eau.

Depuis quelques décennies, cette pratique est en train de se redévelopper avec beaucoup de force, dans les zones géographiques où la ressource est rare (Australie, Chine, Afrique du Nord) mais aussi lorsque les ressources disponibles sont de mauvaise qualité ou simplement lorsque les usagers trouvent le prix de l'eau excessif (Allemagne) (Chéron & Puzenat, 2004 ; Janny, 2006). Elle est inscrite comme une priorité par la Communauté Européenne depuis plus de 10 ans (EAUE, 1997).

L'un des éléments le plus frappant est l'intérêt suscité par le groupe de travail de l'IWA "*Rainwater harvesting and management*" (Han & Murase, 2006), notamment dans les pays d'Asie du Sud-Est.

4.1 Intérêt, quantité disponible et formes d'utilisation possibles

L'eau de pluie constitue par nature une ressource renouvelable. Il est d'ailleurs utile de rappeler que c'est actuellement la ressource principale dans la plupart des pays du monde. Seuls quelques rares pays mobilisent des nappes fossiles (par exemple la Libye) ou de l'eau de fonte de glaciers anciens (par exemple le Pérou).

Lorsque l'on parle de récupération de l'eau de pluie, il s'agit donc d'un abus de langage. On devrait en fait parler de récupération locale de l'eau de pluie. L'enjeu consiste en effet à raccourcir le cycle hydrologique, c'est à dire à stocker l'eau de pluie au plus près de son point de chute et à l'utiliser au plus près de son point de stockage.

L'échelle de travail peut ainsi être la maison ou l'immeuble, le lotissement, le quartier ou la ville. Dans tous les cas, les quantités disponibles sont importantes :

- Si l'on travaille à l'échelle de la maison, une toiture de 150 m², située dans une zone où la pluviométrie moyenne annuelle est de 80 centimètres (situation moyenne en France), permet de collecter environ 120 m³ d'eau par an, ce qui permet de subvenir à la totalité des besoins de 2 personnes environ.
- Si l'on travaille à l'échelle de la ville, un territoire urbanisé d'une densité de 5 000 h/km² (c'est-à-dire une ville moyenne européenne), avec la même hypothèse sur la pluviométrie, reçoit 160 m³ par habitant et par an, soit environ 3 fois la consommation moyenne d'un usager en France.

Les quantités sont donc potentiellement importantes et la qualité de l'eau de pluie est généralement bonne à très bonne. L'eau récupérée peut donc à *priori* être utilisée pour n'importe quel usage domestique (même si sa consommation directe est généralement considérée comme problématique), industriel ou collectif.

Nous distinguerons dans la présentation le cas de la récupération pour des usages collectifs et les autres formes de récupération.

4.2 Stockage et réutilisation domestique des eaux pluviales

La récupération des eaux de toitures et leur stockage dans des citernes constitue bien évidemment la solution la plus basique. Elle nécessite en effet un investissement minimum. De plus, cette ressource est en apparence "gratuite" et directement disponible au point d'utilisation. Sa récupération sur le toit permet en effet de la distribuer directement dans les

maisons ou les immeubles par gravité, c'est-à-dire sans consommer d'énergie. Les eaux de toitures constituent ainsi la ressource principale dans beaucoup de régions (en particulier dans les zones arides comme l'Australie).

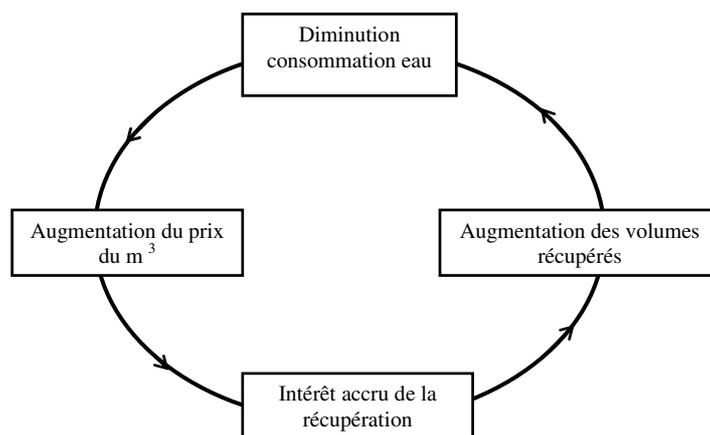
En France, la récupération de l'eau de pluie se développe. Elle a été encouragée par le label HQE qui en fait l'une de ces cibles. De ce fait elle a beaucoup été utilisée dans les bâtiments publics et en particulier dans les lycées (Viguié, 2006). La loi fiscale de 2008 prévoit une déduction fiscale pour les particuliers qui s'équipent et le Ministère de l'Aménagement du territoire préconise son utilisation.

Le marché se développe également de façon très rapide et, à titre d'exemple, la récupération des eaux de pluie a constitué l'un des sujets phares des salons Pollutec des 2 dernières années.

Pourtant de nombreux problèmes existent :

- Les apports sont intermittents et nécessitent un stockage d'autant plus important que la variabilité de la pluviosité est grande. Le volume de stockage disponible limite la quantité mobilisable. De plus, il est généralement peu pratique de stocker l'eau sur (ou immédiatement sous) le toit, ce qui impose le plus souvent l'utilisation de pompes si on souhaite une distribution à l'intérieur de la maison.
- La conservation de l'eau sur des durées longues conduit potentiellement à une altération de sa qualité physico-chimique et bactériologique. Ce risque est en fait assez faible. L'eau, même après quelque semaines de stockage reste au moins de qualité baignade (De Gouvello *et al*, 2004 ; CSTB, 2005). Malgré tout, il impose des contraintes à son utilisation (Janny, 2006 ; Chéron & Puzenat, 2004). En effet, le fait que les quantités récupérées soient, la plupart du temps, insuffisantes pour assurer la totalité des besoins impose de continuer à recevoir l'eau du service public. De ce fait les risques de réinjection d'eau potentiellement polluée sur le réseau public sont réels dès lors que la séparation stricte entre le réseau public et le réseau de distribution de l'eau de pluie récupérée ne peut pas être garantie chez les particuliers (voir par exemple les actes du colloque "eau et santé"⁶).
- La récupération de l'eau de pluie "ressource" n'est pas nécessairement compatible avec la gestion des flux d'eau et de polluants produits par le ruissellement urbain. L'intérêt du particulier qui souhaite recueillir son eau est en effet de maximiser le remplissage de sa citerne, alors que la limitation efficace des flux d'eau et de polluants nécessite que le volume disponible pour le stockage soit maximum au début de la pluie, donc que la citerne soit vide.
- Le développement de la récupération risque de conduire à une dérégulation économique des systèmes de gestion urbaine de l'eau. En effet, si le nombre de particuliers récupérant leur eau de pluie augmente, le risque existe de voir se développer un cercle loin d'être vertueux, comme illustré sur le schéma suivant :

⁶ sur le site <http://www.graie.org/graie/index.htm>



- Enfin se pose la question de la justice sociale. Dans beaucoup de pays, et en particulier en France, les particuliers payent leur redevance assainissement en fonction de l'eau potable qu'ils consomment, et la part assainissement représente un pourcentage en forte croissance de la facture d'eau. Cette approche est justifiée par le fait que les volumes rejetés sont voisins des volumes consommés, plus faciles à mesurer. Si la part de l'eau récupérée augmente dans les rejets (utilisation des eaux de pluie dans les chasses d'eau par exemple), elle devient source d'injustice. Il est à noter que, en France, la récupération des eaux de pluie, comme d'ailleurs celle des eaux d'un puits, doit faire l'objet d'une déclaration en mairie. Cette déclaration est cependant volontaire et, par exemple, les déductions fiscales prévues dans la loi de finance 2008 pour les particuliers investissant dans la récupération des eaux de pluie ne sont pas soumises à l'obligation de présenter le récépissé de déclaration.

Ces considérations expliquent probablement pourquoi la réglementation concernant la récupération des eaux de pluie est très variable selon les pays. Elle est parfois incitative (Australie, Chine, Corée, etc.), voire impérative et parfois très contraignante (cas de la France). L'exemple de la réglementation Belge est détaillé en exemple.

L'article 16 du RRU (Moniteur Belge, 2006), traitant de la collecte des eaux pluviales est ainsi rédigé :

« Les eaux pluviales de ruissellement issues de toutes les surfaces imperméables sont récoltées et conduites vers une citerne, un terrain d'épandage ou à défaut, vers le réseau d'égouts public.

Dans le cas d'une nouvelle construction, la pose d'une citerne est imposée afin notamment d'éviter une surcharge du réseau d'égouts. Cette citerne a des dimensions minimales de 33 litres par m² de surface de toitures en projection horizontale. »

Ce mode de dimensionnement, issu d'une étude hydrologique effectuée par Vaes & Berlamond (2004) est extrêmement innovant dans la mesure où, pour l'une des toutes premières fois, il met en avant la gestion des eaux pluviales (contrôle du ruissellement produit par les surfaces imperméables) et non la récupération de la ressource. La plupart des autres normes de dimensionnement font en effet référence au nombre de personnes habitant dans la maison (Han & Murase, 2006).

La réglementation française reste pour sa part ambiguë et plutôt restrictive. Ainsi en mars 2006, la Direction Générale de la Santé indiquait que la réutilisation des eaux pluviales :

- *« est à proscrire pour toute utilisation d'usage domestique : usages alimentaires comprenant la boisson, la préparation des aliments, le lavage de vaisselle, les usages liés à l'hygiène du corps comme l'alimentation des lavabos, douches, bains et le lavage de linge ;*

- *est autorisée pour des usages "en dehors du bâtiment" : évacuation des excréta, lavage des sols et des véhicules, arrosage des espaces verts et des jardins ;*
- *est tolérée à l'intérieur des bâtiments pour des projets situés dans des zones géographiques connaissant des difficultés d'approvisionnement avérées et pour des bâtiments pour lesquels il existe un service technique certifié compétent pour intervenir sur le réseau d'eau (collèges, lycées, bâtiments à usage professionnel). »*

Malgré ces restrictions, la récupération est encouragée par la loi fiscale de 2008 et préconisée par le Ministère de l'Aménagement du territoire.

4.3 Autres possibilités d'utilisation

4.3.1 Jardins d'eau

Si la récupération dans une marre utilisée aussi bien pour les canards que pour l'élevage des poissons a constitué une réalité dans la plupart des fermes d'Europe jusqu'il y a une cinquantaine d'années, cette pratique était petit à petit tombée en désuétude. Elle est en train de redevenir très à la mode en Amérique du Nord où elle est considérée à la fois comme une technique efficace de réduction des flux d'eau et de polluants par temps de pluie et comme un moyen de sensibiliser le public aux problématiques de gestion durable de l'eau. L'opération "10 000 jardins d'eau"⁷ présentée ci-dessous est à cet égard très significative.

Pour en savoir plus voir le site <http://www.rainkc.com>

L'état du Missouri a lancé une vaste opération de promotion des jardins d'eau intitulée "10 000 jardins d'eau (10,000 Rain Gardens)". L'objectif principal est d'éduquer les citoyens au fait que la protection des milieux aquatiques commence par une gestion intelligente des eaux pluviales au niveau de sa propre habitation et de les inciter à déconnecter leurs eaux pluviales du réseau d'assainissement.

Les arguments avancés pour promouvoir la gestion locale des eaux de pluie sont très variés :

- Réduire les volumes apportés aux stations d'épuration par temps de pluie,
- Diminuer le pourcentage d'eau de ruissellement provenant des toitures,
- Récupérer les eaux de pluie pour les utiliser comme une ressource pendant les périodes sèches,
- Aider à conserver les ruisseaux et les plages propres,
- Récupérer une eau naturellement très douce pour les plantes délicates, le lavage des voitures et des vitres,
- Faire des économies sur la facture d'eau,
- Réduire les impôts en diminuant les dépenses publiques nécessaires au renforcement des réseaux d'assainissement,
- Maintenir la santé des sols en arrosant avec une eau sans chlore,
- Disposer d'un outil éducatif sur la conservation de la ressource en eau.

Les outils utilisés sont extrêmement variés : aides financières, concours du plus beau jardin, conseils techniques, liste de vendeurs de matériels ou produits adaptés, journées de formation pour les professionnels, journées d'information et de promotion pour le grand public, etc..

⁷ Voir le site <http://www.rainkc.com/>

En France la traduction récente de l'ouvrage de Dunnett Nigel and Clayden Andy (Nigel & Andy, 2007) montre l'intérêt croissant pour cette technique, même si pour l'instant elle paraît plus portée par les paysagistes que par les techniciens de l'assainissement.

Cette technique est bien évidemment mieux appropriée pour les zones d'habitat pavillonnaire que pour les quartiers denses. Elle présente la particularité (est-ce un intérêt ou un inconvénient ?), au moins aux Etats-Unis, d'être plus argumentée sur l'intérêt général (limiter les rejets polluants et les risques d'inondation à l'aval) que sur l'intérêt particulier (faire des économies d'eau).

4.3.2 Stockage et réutilisation à l'échelle d'une rue ou d'un quartier

La récupération et le stockage des eaux pluviales urbaines dans les couches superficielles du sol ou dans des réservoirs souterrains immédiatement situés sous, ou à proximité des voiries constituent une solution intéressante pour l'alimentation en eau de la végétation urbaine. Les techniques utilisables sont assez simples et consistent à alimenter les réserves ainsi constituées en permettant à l'eau de s'infiltrer. Le maintien de la capacité d'infiltration des sols se fait de façon classique en conservant une partie du sol non revêtue autour de la végétation (généralement protégée par une grille). Il est également possible d'utiliser des revêtements poreux (pavés par exemple) ou d'injecter l'eau par des drains. Dans les pays tempérés, cette solution est freinée par les risques de pollution par les sels de déneigement auxquels la végétation est très sensible.

L'un des avantages principaux est de permettre à la végétation de disposer d'une quantité d'eau beaucoup plus importante pendant les périodes chaudes, et, par voie de conséquence, d'augmenter l'évapotranspiration. Cet aspect est développé dans le § 5.2.2.

4.3.3 Ré-infiltration dans la nappe

La ré-infiltration des eaux de pluie dans le sol pour alimenter des nappes phréatiques, qu'elles soient naturelles ou artificielles est également une pratique en plein développement. Ce type de méthode présente de très nombreux avantages :

- Augmenter la ressource disponible par pompage et améliorer sa qualité en la diluant. Cet aspect est particulièrement mis en avant dans les grands deltas des fleuves tropicaux (Inde, Pakistan, etc.) où les nappes sont fortement polluées, en particulier par de l'arsenic, du fait de phénomènes géochimiques naturels (voir par exemple Bharat *et al.* dans Brelot *et al.*, 2007). Le stockage souterrain présente en outre l'intérêt de mieux préserver la ressource vis-à-vis des contaminations ou des développements bactériens que le stockage dans des cuves. De plus, le coût d'investissement est moindre et le volume disponible généralement important. En revanche, mais ceci peut aussi être vu comme un avantage, la ressource souterraine est également mobilisable pour des usages non directement anthropiques (alimentation de la végétation, alimentation des sources et des rivières).
- Limiter l'assèchement des sols urbains. L'imperméabilisation des surfaces a bien évidemment pour conséquence directe de limiter la quantité d'eau qui pénètre dans le sous-sol urbain. Cet aspect était relativement compensé dans les villes européennes, jusqu'à une époque récente, par les fuites de réseaux de distribution d'eau. La volonté généralisée, et bien évidemment tout à fait justifiée par des considérations économiques, d'améliorer le rendement des réseaux d'eau et donc de diminuer les fuites réduit cette source de réhumidification. Le résultat est un assèchement du sol des villes, qui, lorsque le sol contient de l'argile se traduit par des tassements différentiels induisant une déstabilisation des structures et l'apparition de fissures, voire de désordres plus graves dans les constructions. En France, les phénomènes

de ce type sont en train de devenir la première cause de déclarations de catastrophes naturelles⁸.

- Permettre une gestion durable et collective de la ressource en eau. Il s'agit sans doute de l'avantage principal, la réalimentation contrôlée des nappes constituant l'une des armes les plus efficaces pour lutter contre les risques de manque d'eau. Une réalimentation contrôlée est également un moyen de lutter contre les risques de pollution de la ressource⁹.

L'exemple ci-dessous illustre la récupération et la réutilisation des eaux pluviales de toitures dans le cas de New Delhi en Inde (Sharma, in BreLOT *et al*, 2007).

Les ressources en eau potable de New Delhi sont soumises à une pression considérable. L'exploitation des nappes phréatiques excède leurs capacités de renouvellement et de ce fait leur niveau baisse à un rythme alarmant. La nappe est profonde de 50 à 70 mètres est séparée du sol par une couche de terrain très peu perméable. Du fait de l'abondance des précipitations (environ 1 mètre par an), il est envisagé de réinfiltrer les eaux de toitures pour recharger les nappes.

Un test a été effectué en 2001 dans le quartier de Kishangarth situé à l'est de la ville. Les eaux d'une toiture de 150 m² sont récupérées dans une première tranchée dont le but est de filtrer les eaux de toitures puis s'écoulent dans une seconde tranchée qui sert de système de stockage. Les dimensions de ces deux tranchées sont identiques (3m x 3m x 4m). La tranchée de stockage peut contenir 90 m³, soit une quantité suffisante pour alimenter 6 personnes pendant 150 jours (100 litres par jour).

L'eau est ensuite injectée dans la nappe, profonde ici de 55 mètres, par un puits équipé d'un tuyau de 10 cm de diamètre. Ce puits est équipé d'une pompe à main et servait auparavant à pomper l'eau de la nappe. Il était devenu inutilisable du fait de la baisse du niveau de la nappe.

L'expérience a été totalement concluante malgré son caractère très local. La tranchée de stockage a permis de fournir environ 28 % des besoins de la famille et le puits a recommencé à être actif dès le mois de septembre à la fin de la mousson.

4.4 Tendances d'évolution

Globalement la récupération des eaux de pluie constitue probablement l'une des tendances les plus lourdes du fait de la limitation de la ressource en eau dans un très grand nombre de zones géographiques. Elle est également souvent encouragée par des mesures fiscales ou des aides diverses.

Il s'agit bien évidemment d'une logique de bon sens. L'eau est une ressource précieuse et il est bien évidemment peu raisonnable que les eaux pluviales ne soient pas valorisées chaque fois que c'est possible.

Il paraît en effet extrêmement peu judicieux de polluer cette ressource précieuse en la collectant sans précaution dans un réseau, puis de la rejeter dans le milieu aquatique en contaminant ce dernier à son tour, et tout ceci en courant le risque d'inonder la ville au passage.

⁸ Voir http://www.ccr.fr/fr/pdf/catnat_2005.pdf

⁹ Voir à ce sujet les résultats de l'OTHU sur le site <http://www.graie.org/graie/index.htm>

Cependant, cette évolution doit être contrôlée car elle porte plusieurs risques qu'il faudra mesurer et maîtriser :

- Risque de dérégulation économique du système de gestion de l'eau dans les pays développés.
- Risques sanitaires pour la population (consommation d'eau polluée, mais aussi allongement des temps de séjour dans les réseaux de distribution moins sollicités).
- Risques de modifications du bilan hydrique des sous-sols urbains.

5. Valorisation climatique

5.1 Intérêt et formes d'utilisation possibles

L'eau est à la fois sur le plan symbolique et sur le plan physique un élément de fraîcheur. Beaucoup de civilisations ont utilisé les bassins et les fontaines pour rafraîchir la ville, ou du moins pour en donner l'impression.

Sur un plan plus physique et factuel, l'évaporation de l'eau absorbe de grandes quantités d'énergie et peut donc conduire à une diminution locale importante des températures. L'évaporation d'un kilogramme d'eau absorbe ainsi environ 2 250 KJ, soit environ 20 % de l'énergie solaire quotidienne moyenne reçue par m² en France.

La végétation est également capable de jouer un rôle bioclimatique important. Elle améliore en effet le climat urbain grâce à plusieurs facteurs : l'ombre qu'elle donne et qui modifie le bilan radiatif des surfaces urbaines, la modification de l'écoulement d'air qui influe sur le transport et la diffusion de l'énergie, et enfin l'évapotranspiration qui transforme l'énergie rayonnée en énergie latente, réduisant ainsi la chaleur sensible qui réchauffe l'atmosphère.

C'est ce dernier effet qui nous intéresse principalement. A titre d'exemple, un arbre moyen, sous nos latitudes, peut évapotranspirer près d'une tonne et demie d'eau par jour, ce qui permet d'absorber 3 440 MJ. Les températures maximales dans les espaces verts peuvent ainsi être de 3°C. plus basses qu'en dehors des espaces verts (Saito, Ishihara & Katayama, 1991).

En pratique, la quantité d'eau réellement évapotranspirée (évapotranspiration réelle ou EPR) est généralement très inférieure à l'évapotranspiration maximum théorique (évapotranspiration potentielle ou EPT), simplement parce que la quantité d'eau mobilisable par les plantes est insuffisante. Augmenter la quantité d'eau disponible pour la végétation en stockant l'eau de pluie permet ainsi d'augmenter l'évapotranspiration, donc de prélever encore plus de chaleur et ainsi d'abaisser davantage les températures urbaines, ceci d'autant plus que la température de l'air est élevée.

L'association de techniques de stockage d'eau à une augmentation de la végétalisation des villes présente donc un grand intérêt sur le plan climatique. Par ailleurs, la capacité d'évapotranspiration de la végétation est suffisante en beaucoup d'endroits pour que l'atmosphère puisse constituer l'exutoire unique pour évacuer les eaux de pluie, à condition bien sûr que la capacité de stockage soit suffisante.

Cette technique peut être mise en œuvre à toutes les échelles spatiales, depuis des échelles très locales (la maison, le bâtiment), jusqu'à celle de la ville.

5.2 Techniques disponibles

5.2.1 Stockage sur les toits

La première solution est à l'échelle du bâti. Elle consiste à climatiser les immeubles ou les maisons, en utilisant des toitures végétalisées permettant de stocker d'importantes quantités d'eau sur les toits. Cette technique est maintenant bien appropriée par les architectes. Dans la plupart des pays développés, les sites web consacrés à l'architecture mettent en effet cette technique en avant (il suffit pour s'en convaincre de faire une recherche sur un moteur de recherche avec les mots clés "toitures végétalisées" ou "green roofs"¹⁰).

Les rôles positifs des toits verts sont nombreux et dépassent largement l'échelle du bâtiment où ils sont installés : Ils peuvent remplir une fonction d'absorbants pour différents polluants urbains et diminuer ainsi la pollution atmosphérique, participer à l'isolation acoustique du bâtiment, protéger l'étanchéité des toitures en limitant les chocs thermiques, contribuer efficacement à la climatisation des maisons ou des immeubles et permettre ainsi des économies d'énergie et bien sur réduire significativement les flux d'eau et de polluants par temps de pluie. Enfin, ils présentent un intérêt paysager indéniable.

Une étude d'Environnement Canada¹¹ estime que la végétalisation de 6 % de toute la surface de toits disponibles pourrait faire baisser la température de Toronto de 1 à 2°C., ce qui permettrait les jours de canicule, une baisse de 5 % de la demande en électricité pour la climatisation et par conséquent une diminution des émissions de gaz à effet de serre.

La toiture végétalisée est une technique largement utilisée en Allemagne où le marché est estimé à 13 millions de mètres carrés par an (Villareal, 2005). Elle commence également à être utilisée de façon significative en Amérique du Nord, dans la plupart des pays d'Europe et au Japon. En France, les progrès sont encore timides, même si la documentation est maintenant facilement disponible (voir par exemple Lasalle, 2006). L'une des explications avancées pour expliquer ce retard est le caractère contraignant des documents d'urbanisme.

Même si le plus simple consiste à stocker l'eau de pluie de façon directe sur la toiture, il est également possible de stocker l'eau dans des citernes en bas d'immeuble puis de la ramener sur la toiture en utilisant un surpresseur. Cette technologie a par exemple été utilisée en Suisse sur l'immeuble Clarins¹².

Enfin une variante consiste à utiliser des façades végétales. Dans ce cas le stockage des eaux de pluie doit se faire dans une citerne, soit sur le toit (ce qui permet une alimentation gravitaire), soit au niveau du sol (dans ce cas l'installation d'un système de pompage est nécessaire).

5.2.2 Stockage souterrain et utilisation de l'évapotranspiration

Une autre utilisation possible consiste à stocker l'eau de pluie dans des réservoirs souterrains susceptibles d'alimenter la végétation urbaine par capillarité selon des principes voisins de ceux mis en œuvre dans les bacs utilisés pour les plantes d'intérieur.

Cette solution a été popularisée par la société Atlantis qui a développé une gamme complète de produits autour d'un système alvéolaire de stockage souterrain¹³. Elle peut en fait être développée à partir de très nombreux dispositifs de stockage, préfabriqués ou non, voir même en utilisant directement le sol comme lieu de stockage (voir le § 4.3.3).

Au-delà de l'intérêt climatique, l'un des avantages potentiels est de ne pas avoir besoin du tout d'exutoire souterrain ou de surface pour évacuer les eaux, le réservoir se vidant

¹⁰ Voir par exemple le site : <http://www.greenroofs.org/>

¹¹ Voir le site <http://www.greenroofs.org/>

¹² Voir le site www.architectes.ch/files/file

¹³ Voir le site http://www.atlantiscorp.com.au/about_atlantis

progressivement du fait de la consommation des plantes pour leurs besoins. Contrairement à ce que l'on peut penser, les volumes nécessaires ne sont pas beaucoup plus importants que ceux nécessaires pour gérer les événements pluvieux violents isolés. Dans beaucoup de zones géographiques, la pluie de projet de période de retour 10 ans apporte en quelques heures entre 10 et 30 % de la pluviométrie moyenne annuelle alors que la période hivernale (l'évapotranspiration étant très faible en hiver, c'est au printemps que le remplissage des réservoirs est maximum) apporte 30 à 40 % de la pluviométrie. Un volume de stockage de l'ordre du double ou du triple de celui généralement pris en compte est donc le plus souvent suffisant. Si les eaux recueillies proviennent des voiries le risque de pollution par les sels de déneigement reste entier, il n'existe pas si les eaux utilisées proviennent des toitures.

5.2.3 Stockage en surface et utilisation de l'évaporation

Pour terminer ce tour d'horizon, on peut citer quelques exemples où l'eau de pluie est mise en scène sans recourir à la végétation et où l'on compte uniquement sur l'évaporation pour absorber de la chaleur et réduire la température.

L'un des exemples les plus souvent cités est celui de Potsdamer Platz à Berlin¹⁴. Sur ce lieu emblématique du renouveau architectural de la capitale allemande, les eaux pluviales de voirie et de toitures sont recueillies à la fois dans des cuves souterraines et dans des bassins à surface libre, traités comme des espaces très minéraux et très dessinés. Les bassins jouent le rôle d'évaporateurs géants et abaissent la température du quartier de plusieurs degrés selon les concepteurs. Les cuves servent de réserve pour l'arrosage des espaces verts, les chasses d'eau de certains immeubles et la réalimentation des bassins paysagers.

Un autre exemple beaucoup cité et plus technique est celui d'une partie des pavillons et des espaces de circulation piétons du site de l'exposition universelle de Séville. Différentes techniques étaient utilisées, certaines, très efficaces mais coûteuses en énergie consistant à vaporiser l'eau de pluie stockée dans des réservoirs souterrains par des sortes de grands brumisateurs.

Enfin on trouvera sur le site http://www.pascalgontier.com/pages/projet/urb_03.html la présentation de différents projets, en particulier celui du quartier Sixin à Wuham en Chine. Les techniques sont bien évidemment très diverses du fait de la taille du projet (17 km², 1 million d'habitants !), mais l'utilisation des eaux pluviales pour réguler la température de la ville est omniprésente.

5.3 Aspects réglementaires, économiques et sociaux

Ces aspects sont bien évidemment dépendants du type de technique utilisé. Ils se manifestent majoritairement par des incitations financières, soit sous la forme de subventions pour les bons élèves, soit, plus rarement sous la forme de punitions pour les mauvais.

En Allemagne par exemple, plus de 40 % des villes proposent des incitations financières pour le développement des toitures végétalisées. Au Japon, cette technique est encouragée par une réduction de taxes. La ville de Baden en Suisse, va jusqu'à prélever une taxe de 40 francs suisses par mètre carré de surface bâtie pour les bâtiments sans végétalisation de toit et sans infiltration de l'eau pluviale (Lasalle, 2006).

En France, le label HQE inclut cet aspect parmi ces cibles mais il n'existe pas d'aide spécifique visant à améliorer spécifiquement le microclimat urbain par une meilleure gestion des eaux pluviales.

¹⁴ Voir le site web : http://www.potsdamerplatz.de/en/architecture/masterplan_by_renzo_piano.html

5.4 Tendances d'évolution

Le développement de cet aspect climatique est très probable dans tous les pays développés. La lutte contre les émissions de gaz à effet de serre va en effet constituer un aiguillon majeur des évolutions technologiques des années à venir. Or les effets réels ou supposés du réchauffement climatique et l'augmentation du besoin de confort incitent plutôt les usagers à s'équiper en dispositifs de climatisation. Notons que le développement de ces dispositifs de climatisation rend leur nécessité encore plus grande en renforçant l'îlot de chaleur urbain et en augmentant les températures locales.

La récupération des eaux de pluie à des fins de gestion "écologique" du micro-climat urbain apparaît donc logiquement comme une solution d'avenir, d'autant qu'elle se conjugue parfaitement avec d'autres aspects environnementaux : réintroduction de la nature en ville, amélioration de la qualité de l'air, diminution des risques d'inondation et des rejets polluants aux milieux aquatiques, etc.. Enfin, elle combine dans beaucoup de cas un intérêt collectif (action au niveau de la rue, du quartier ou de la ville) et un intérêt individuel (réduction de la température intérieure des immeubles).

6. Conclusion générale

Finalement l'analyse précédente fait apparaître cinq tendances principales d'évolution.

6.1 La prise en compte locale de la capacité du milieu récepteur à recevoir les rejets urbains

La plupart des pays sont en train de passer de normes d'émissions (qu'à-t-on le droit de rejeter ?) à des normes "d'immissions" (qu'est-ce que le milieu naturel peut accepter ?). Même si sur le plan réglementaire ce type d'approche est plus difficile à gérer, les obligations imposées par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau pour le retour au bon état écologique des masses d'eau, associées à la difficulté de mobiliser des ressources financières supplémentaires vont rendre cette évolution obligatoire, au moins en Europe.

6.2 La fin du tout à l'égout généralisé

Le modèle du réseau tentaculaire de collecte terminé par une énorme station d'épuration est en train d'exploser. L'utilisation des techniques alternatives pour gérer les eaux pluviales se développe dans toutes les nouvelles opérations d'aménagement. Les ouvrages sont de mieux en mieux intégrés dans la ville. La valeur patrimoniale des ouvrages existants est cependant trop grande pour qu'ils puissent être abandonnés. Le paradigme émergent consiste à optimiser le système global (réseau d'assainissement + station d'épuration + ouvrages complémentaires alternatifs de gestion des eaux usées et pluviales) dans l'optique d'améliorer au meilleur coût la qualité des milieux récepteurs.

6.3 Le développement d'une conception urbaine plus respectueuse de l'eau et de l'environnement

Il ne s'agit plus seulement de construire des systèmes d'assainissement efficaces, mais d'adapter la ville elle-même pour qu'elle modifie le moins possible le fonctionnement des milieux naturels. Les approches de type développement à bas impact ("low impact development") initiées aux Etats-Unis ou de développement urbain respectueux de l'eau ("water sensitive urban design") en Australie constituent des modèles à généraliser. L'exemple de Staten Island, présentée plus bas est tout à fait illustratif de cette approche.

6.4 Le développement de la récupération des eaux de pluie

Il s'agit d'une évolution de bon sens. L'eau est une ressource précieuse et il n'est pas raisonnable que les eaux pluviales ne soient pas valorisées chaque fois que c'est possible. Cependant, cette évolution doit être contrôlée. La récupération de l'eau "ressource" n'est en effet pas nécessairement compatible avec la gestion des flux d'eau et de polluants produits par le ruissellement urbain. L'intérêt du particulier qui souhaite recueillir son eau n'est pas nécessairement le même que celui de la collectivité. Par ailleurs, elle porte plusieurs risques qu'il faudra maîtriser : risque de dérégulation économique du système de gestion de l'eau, risques sanitaires pour la population, risques de modifications du bilan hydrique des sols urbains. Il faut donc dépasser l'idée de la simple récupération de l'eau dans des citernes pour bénéficier d'une ressource réputée gratuite. Cette récupération doit être intégrée dans une vision générale de gestion durable du cycle urbain de l'eau et diversifier les techniques mobilisées (citernes chez les particuliers, mais aussi stockage sous les rues pour alimenter la végétation urbaine, recharge des nappes phréatiques, etc.).

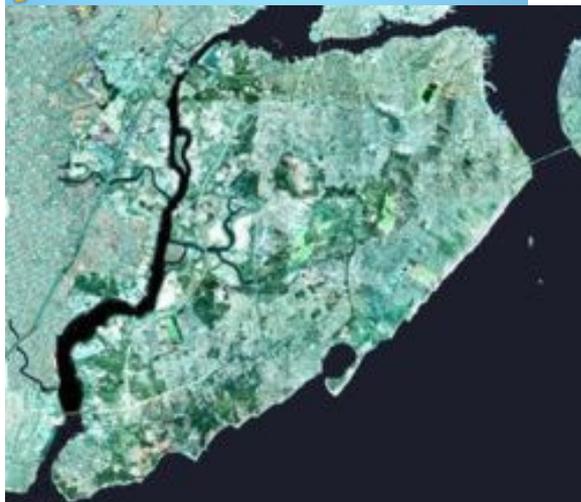
6.5 La valorisation climatique de l'eau

L'utilisation des eaux de pluie pour améliorer le microclimat urbain (abaissement des températures en utilisant l'évaporation et l'évapotranspiration de l'eau) constitue un enjeu majeur. En période de changement climatique et d'économie d'énergie, cette idée ne peut que se développer, d'autant qu'elle se conjugue parfaitement avec d'autres aspects environnementaux : réintroduction de la nature en ville, amélioration de la qualité de l'air. Elle combine dans beaucoup de cas un intérêt collectif (action au niveau de la rue, du quartier ou de la ville) et un intérêt individuel (réduction de la température intérieure des immeubles en utilisant par exemple des toitures terrasses).

L'une des difficultés à surmonter pour que ces évolutions se passent au mieux sera d'éviter le désintérêt des techniciens de l'assainissement pour ces nouvelles solutions, et, par effet de balancier, leur appropriation unique par les urbanistes, les paysagistes ou les aménageurs.

La ceinture bleue ("*bluebelt*") de Staten Island à New York un exemple réussi de conception urbaine respectueuse de l'eau

L'île de Staten Island est située en face de l'extrémité sud de Manhattan, de l'autre côté du bassin principal du port. Elle est reliée au continent (New Jersey), par le pont Bayonne, le pont Goethals et le pont Outerbridge Crossing, et à Brooklyn par le pont Verrazano. Elle compte un peu moins de 500 000 habitants pour une superficie de 151 km². Située dans l'une des plus grandes métropoles du monde et avec une densité de population de plus de 3 000 habitants par km², il s'agit sans aucun doute d'une zone urbaine dense.



Plan et photo de Staten Island, extraits de l'encyclopédie en ligne wikipedia

L'île s'est développée de façon très rapide après l'ouverture du pont Verrazano en 1964 et de nombreux problèmes environnementaux sont apparus : pollution bactériologique des rivières, dégradation de leur qualité écologique, inondations sévères et fréquentes. Dès 1991, le New York City Department of Environmental Protection (NYCDEP) décide de mettre en place une stratégie innovante et multidisciplinaire d'assainissement. L'idée centrale consiste à s'appuyer sur le réseau dense de ruisseaux et de zones humides existant sur l'île pour gérer les eaux pluviales. Le système de "ceinture bleue" repose sur des systèmes traditionnels de collecte par un réseau séparatif dans les zones les plus denses. Ces ouvrages amènent l'eau dans une partie aménagée du réseau hydrographique de surface qui sert de zone tampon avant le système naturel. Trois techniques sont particulièrement utilisées : des bassins de retenue à plan d'eau permanent peu profond, des zones humides, et un reméandrage des rivières. L'ensemble : réseau traditionnel de collecte + ouvrages

semi naturels de gestion + réseau hydrographique naturel, est considéré comme un seul et unique système hydrologique et étudié de façon globale. Cette "ceinture bleue" est complétée par une "ceinture verte" de parcs et de corridors qui assurent la continuité entre les espaces.

Une spécificité intéressante du projet a été la mise en place d'un comité consultatif de citoyens ("*citizen's advisory committee*") d'environ 30 membres, choisis parmi des représentants d'associations de défense de l'environnement, d'associations civiques, d'associations de propriétaires, de représentants des promoteurs, etc.. Ce comité semble avoir joué un rôle très important pour l'adhésion des usagers au projet.

L'opération semble extrêmement bien réussie. A titre d'exemple, la tempête tropicale Tammy qui a touché New York en octobre 2005 n'a provoqué aucune inondation sur l'île.

L'opération "*bluebel*" est listée sur le guide des infrastructures à haute efficacité ("*High performance infrastructure Guidelines*") du NYCDEP.

Cet exemple peut être généralisé à d'autres zones urbaines qui ont conservé un tissu dense de ruisseaux et de zones humides.

Référence : Gumb *et al* in Brelot *et al*, 2007

7. Bibliographie

Agence de l'eau Artois-Picardie (2006). Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie.

ASPPE (Association Suisse des Professionnels de la Protection des Eaux) (2002). Evacuation des eaux pluviales – Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations, *ed. VSA*, Zurich (Suisse), 120p.

Azzout Y., Barraud S., Crès F.N., Alfakih E. (1994). Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien. *Tec & Doc Lavoisier*, Paris, 378 p.

Baptista M., Nascimento N., Barraud S. (2005). Técnicas compensatorias em drenagem urbana, *ed. ABRH*, Porto Allegre (Bresil), 266p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M. (editeurs) (1995). Actes de NOVATECH95. *GRAIE, Lyon* ; 665p. ; ISBN 2-9509337-0-X ; 30 mai au 1er juin 1995.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M. (editeurs) (1998). Actes de NOVATECH98. *GRAIE, Lyon* ; 2 tomes (586 pages chacun) ; ISBN 2-9509337-1-8 et 2-9509337-2-6 ; 4 au 6 mai 1998.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M. (editeurs) (2001). Les nouvelles technologies en assainissement pluvial (Novatech'2001), actes de la 4ème conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 2 tomes, 1119p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M. (editeurs) (2004). Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie (Novatech'2004), actes de la 5ème conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 2 tomes, 1710p.

Brelot E., Chocat B., Desbordes M. (editeurs) (2007). Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie (Novatech'2007), actes de la 6ème conférence Novatech ; *GRAIE, Lyon* (France), 3 tomes, 1790p.

CERTU (1999). Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial : éléments clés pour leur mise en oeuvre, *CERTU, Lyon* (France), 155 p.

CERTU (2000). Organiser les espaces publics pour maîtriser le ruissellement urbain, Dossier Eau et Aménagement n°102, *CERTU, Lyon* (France), 123 p.

CERTU (2003). La ville et son assainissement : Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau. [CD ROM] *CERTU, Lyon ou Ministère de l'écologie et du développement durable*.

CERTU (2006). L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement - Éléments-clés pour le recours aux techniques alternatives, *CERTU, Lyon* (France), 156 p.

Chaïb J. (1997). Les eaux pluviales - Gestion intégrée Guide pratique - Ecologie urbaine, *ed. Sang de la terre*, Paris (France), 175 p.

Chéron J., Puzenat A. (2004). Les eaux pluviales : Récupération, gestion, réutilisation, *ed. Johannet*, Paris (France), 126p.

Chocat B. (coordonnateur) (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. *Tec & Doc, Lavoisier*, Paris (France), 1136 p.

Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W., UrbonAs B. (2007). Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water. *Indoor and Built Environment*, **16** (3) ; 273-275.

- Clar M.L., Barfield B.J., and O'Connor T.P. (2004). Stormwater Best Management Practice Design Guide Volume 2 Vegetative Biofilters. *US EPA*, National Risk Management Research Laboratory.
- CSTB (2005). Le point sur l'eau, *cahiers du CSTB* n° 3535, 62p.
- De Gouvello B., Berthineau B., Croum I., François C. (2004). La récupération et l'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment. Les enseignements de suivis in situ et d'un dispositif expérimental. 5th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management, Novatech 2004, *GRAIE, Lyon* (France), June 6-10, p. 95-102.
- Département de Seine-Saint-Denis (2003). Apprivoiser l'eau pluviale : Une démarche de projet urbain pour une ville durable, *actes de la journée d'échange et de débats du 27 novembre 2003*, 127p.
- Desbordes M. (1987). Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain ; thèse d'état ; *Université de Montpellier* ; France ; 242 p.
- EAUE (European Academy of the Urban Environment) (1997). Water-saving Strategies in Urban Renewal – European approaches, *EAUE, Berlin* (Allemagne), 162p.
- Ellis B., Marsalek J. & Chocat B. (2005). Urban water quality. Encyclopedia of hydrological science. Edited by M G Anderson, *John Wiley & sons*, 1479-1491.
- Field R., Tafuri A.N., Mutukrishnan S., Annmadge A.B., Selvakumar A. (2006). The use of Best management Practices in urban watersheds, *ed. Destech Publications, Lancaster* (USA), 268p.
- Fuchs L., Gerighausen D., Schneider S. (1997). Emission-immission based design of combined sewer overflows and treatment plant - the dresden case study. *Water Science and Technology*, Volume 36, Number 8, pp. 355-359.
- Han M. & Murase M. (ed.) (2006). Rainwater harvesting and management, Actes du 2nd International Workshop, *IWA 5th World Water Congress*, 11 septembre 2006, Pékin (Chine), 292p.
- Hirschman D., Collins K., Schueler T. (2008). Technical memorandum : The runoff reduction method, 25p. , téléchargeable sur <http://www.stormwatercenter.net/>
- Janny P. (2006). Utilisation des eaux pluviales et réutilisation des eaux grises en habitat résidentiel. Synthèse technique *ENGREF / OIEAU* ; 24p.
- Lasalle F. (2006). Végétation extensive des terrasses et toitures, guide technique, *ed. Le moniteur, Paris* (France), 225p.
- Marsalek J, Jimenez-Cisneros B., Karamouz M., Malmquist P.-A., Goldenfum J. & Chocat B. (2007). Urban water cycle processes and interactions, *ed. UNESCO, Paris* (France), 131p
- Marsalek J., Chocat, B. (2002). International report : Stormwater management ; *Water Sciences and Technologies*, 46/6-7, 1-17.
- Marsalek J., Kok S., Colas H. (guest editors) (2004). Managing Urban Wet-weather flows : on the road to sustainability, *N° special de Water Quality Research journal of Canada*, Vol 39, N°4.
- MEDD (2005). Pesticides : Comment réduire des risques associés, actes du colloque des 14, 15 et 16 novembre 2005, *Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable*, Avignon.
- Moniteur Belge (2006). *Règlement Régional d'Urbanisme*, 19 décembre 2006.
- Nigel D., Clayden A. (2007). Les jardins et la pluie. Gestion durable de l'eau de pluie dans les jardins et les espaces verts. *Editions du Rouergue* ; 185 p.

- Nordon M. (1991). Histoire de l'hydraulique. Tome 1 : L'eau conquise - les origines et le monde antique ; Tome 2 : L'eau démontrée - du Moyen-Age à nos jours ; *Ed. Masson, Paris* (France), 181 p et 242 p.
- Novotny V. & Brown P. (ed.) (2007). Cities of the future : Towards integrated sustainable water and landscape management, *ed. IWA, Londres* (UK), 427p.
- O'Loughlin G. (1987). Safety for urban drainage systems ; 4th International conference on urban storm drainage ; Lausanne ; pp 345-350.
- O'Loughlin G., Anderson G. (2004). Improved design methods for pipe drainage ; Novatech 2004, *GRAIE, Lyon* ; pp 499-506.
- Saito, I., Ishihara, O. & Katayama, T. (1991) Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings*, 15-16 : pp 493-498.
- Stahre P. (2006) : Sustainability in urban storm drainage, *ed. Svenskt Vatten*, Stockholm (Suède), 80p
- STU & Agence de l'Eau (1994). Guide technique des bassins de retenue des eaux pluviales, *Collection Tec&Doc, Edition Lavoisier, Paris*, 273 p.
- Thevenot D.R. (editor) (2008). DayWater : an Adaptive Decision Support System for Urban Stormwater Management. *Edition IWA publishing, London* (UK). ISBN : 9781843391609 (voir le site web daywater)
- Vaes G. & Berlamont J. (2004). New Flemish design guidelines for source control measures. 5th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management, *GRAIE, Lyon* (France).
- Viguié C. (2006). Du bon usage des eaux de pluie dans le bâtiment : le cas particulier des établissements scolaires. TFE ENTPE Lyon ; 73p.
- Villareal E.L. (2005). Beneficial use of stormwater : opportunities for urban renewal and water conservation, doctoral thesis, *Lund Institute of technology, Lund University* (Suede).
- Wong Tony H. F. (ed.) (2005). Australian Runoff Quality – a guide to water sensitive urban design, *Engineers Australia*.

Sites web

http://www.pascalgontier.com/pages/projet/urb_03.html

http://www.potsdamerplatz.de/en/architecture/masterplan_by_renzo_piano.html

[http://www.atlantiscorp.com.au/about_atlantis\\$](http://www.atlantiscorp.com.au/about_atlantis$)

http://www.ccr.fr/fr/pdf/catnat_2005.pdf

<http://adopta.free.fr/>

<http://daywater.enpc.fr/www.daywater.org/>

<http://www.ciria.org.uk/suds/>

<http://www.epa.gov/water/funding.html>

<http://www.graie.org/graie/index.htm>

<http://www.greenroofs.org/>

http://www.gruendach-mv.de/en/research_topics.htm

<http://www.lid-stormwater.net/>

<http://www.lowimpactdevelopment.org/>

http://www.occ.ch/products/ch2050/PDF_F/14-infrastructures.pdf

<http://www.rainkc.com>

<http://www.stormwatercenter.net/>

<http://www.certu.fr>