

## **La maîtrise, le traitement et la récupération des eaux pluviales, supports d'une ville bioclimatique : 4 études de cas**

Control, treatment and reuse of stormwater, drivers of a bioclimatic city: 4 case studies

Piel. C.\*, Pire. M.\*, Maytraud. T.\*\*

\* Composante Urbaine, 45 Avenue Trudaine, 75009 Paris  
([cp@composante-urbaine.fr](mailto:cp@composante-urbaine.fr), [mp@composante-urbaine.fr](mailto:mp@composante-urbaine.fr))

\*\* Direction de l'Eau et de l'Assainissement (D.E.A.)  
BP 193 93003 Bobigny Cedex ([tmaytraud@cq93.fr](mailto:tmaytraud@cq93.fr))

### **RÉSUMÉ**

Douce, et inspirée des procédés naturels, la gestion des eaux pluviales par les techniques alternatives en assainissement pluvial génère du vert. A travers quatre exemples concrets, est illustré comment en tant que support d'une végétalisation des milieux urbains denses, les techniques alternatives sont génératrices d'une texture verte aux bienfaits dépassant l'intérêt hydraulique, pour participer à la conception d'une ville bio-climatique.

### **MOTS CLÉS**

Urbanisme, îlot de chaleur, Techniques alternatives Paysage, Végétalisation, Vert, ville bioclimatique, trame bleue trame verte, Grenelle

### **ABSTRACT**

Soft, and inspired from natural processes, the alternative storm water management creates green spaces. Four case studies are used to show how such alternative techniques support vegetation of dense urban environments and how by generating green spaces, more than just hydraulic requirements are satisfied, leading to the design of a bioclimatic city.

### **KEYWORDS**

Urban planning, Urban Heat Island, alternative storm water management, Landscape, Green, Bioclimatic city, Green and Blue Corridor, Grenelle

## 1 INTRODUCTION

La démarche qui consiste à considérer la gestion alternative des eaux pluviales comme génératrice de trames urbaines et de paysage est une approche de l'hydrologie urbaine qui tend à se généraliser.

« Fournir des réponses innovantes et pertinentes aux contraintes hydrologiques d'un site, tout en considérant le paysage dans sa globalité, concilier la dimension sensible et esthétique avec la résolution fiable des problèmes techniques » sont les enjeux de l'hydrologie urbaine identifiés par Da Silva et Larue.

En Australie, le projet « The Water Sensitive Cities », menée par l'équipe multidisciplinaire de la Monash University, voit dans la gestion des eaux pluviales, un outil de mitigation du risque d'inondation, de lutte contre les épisodes de pénuries d'eau, mais aussi un moyen de réduire la température urbaine et d'améliorer le cadre de vie des villes Australiennes.

En France, nombreuses sont les initiatives en matière de gestion des eaux pluviales accompagnées d'une politique volontariste de fonte dans le paysage des ouvrages de rétention d'eaux pluviales.

Dans cet article, deux exemples concrets illustreront comment la maîtrise des eaux pluviales végétalise le paysage en milieu urbain dense et crée des paysages urbains. Enfin, une discussion sur les bienfaits dépassant l'intérêt hydraulique sera illustrée par 2 autres études de cas.

## 2 LA GESTION ALTERNATIVE DES EAUX PLUVIALES : GENESE DE TRAMES URBAINES

### 2.1 L'eau, matériau des villes

Les contraintes liées à la maîtrise de l'eau sont, de plus en plus, utilisées comme matériau urbain, en ce sens qu'elle participe de la texture de la ville, comme un mur, un revêtement. Par le vert, par le relief, par le mouvement, la brillance, la déminéralisation qu'elle induit, son intégration dans la réflexion urbaine conduit à en modifier la surface.

### 2.2 Le stockage, la dépollution et le recyclage génèrent chacun des dispositifs participant à cette logique de végétalisation, même en milieu urbain dense

#### 2.2.1 *Techniques alternatives et dépollution*

Les techniques alternatives de maîtrise des eaux pluviales (à ciel ouvert, évidemment) sont aujourd'hui bien connues, leur potentialité en matière de végétalisation de l'espace également. Celles visant au traitement des eaux de voirie le sont moins.

Ainsi, par l'intermédiaire de matériaux et/ou de végétaux, ces ouvrages utilisent des procédés naturels tels que la décantation, la filtration, et la phytoremédiation pour maîtriser la pollution des eaux pluviales. Ils se traduisent dans le paysage par des espaces mêlant minéral et végétal.

#### 2.2.2 *Techniques alternatives et transport des eaux pluviales*

Il en est de même pour les dispositifs de transport des eaux pluviales. Il existe aujourd'hui sur le marché des caniveaux végétalisés, et nombres de paysagistes et architectes aiment à en faire un objet reflétant l'eau qu'il transporte.

#### 2.2.3 *Techniques alternatives et utilisation des eaux pluviales*

Enfin, pour ce qui est du recyclage, cela peut nécessiter des citernes, mais plus facilement et plus économiquement, le stockage des eaux peut se produire au sein du substrat même, dans la tourbe, la terre végétale, qu'on aura amendée à cet effet. Ainsi, c'est l'ensemble des massifs, des pots de fleurs, des espaces verts qui peuvent bénéficier et se nourrir de l'eau.

## 3 QUAND LES EAUX PLUVIALES VEGETALISENT LE PROJET URBAIN

### 3.1 Le secteur des Tartres : les techniques alternatives combinées verdissent un quartier en milieu urbain dense

Cette opération (Pierrefitte, Stains, Saint-Denis), en cours, menée avec les urbanistes de l'agence Ozone et les paysagistes de l'agence Octa, illustre comment la combinaison de techniques

alternatives façonne un paysage urbain respectueux de l'environnement dans un contexte urbanistique dense (cf. Figure 2).

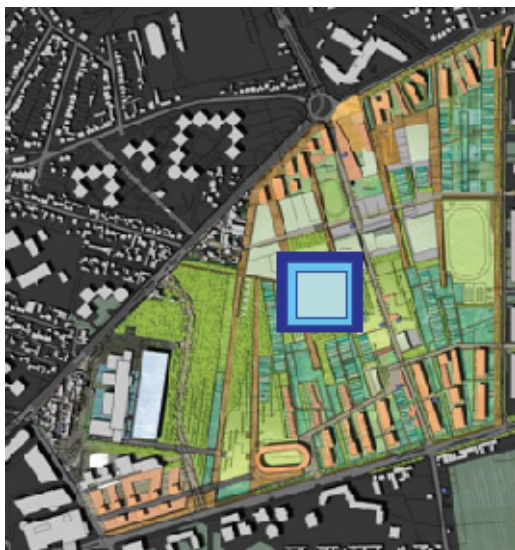


Figure 1 : La gestion classique des eaux pluviales.

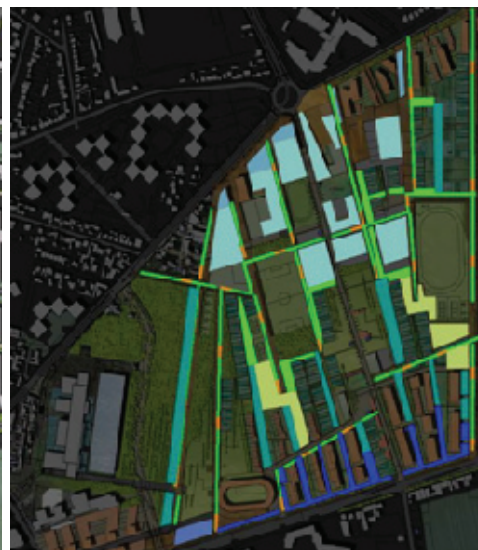


Figure 2 : Approche urbanistique de la gestion des eaux pluviales par la combinaison de techniques alternatives intégrées dans le paysage

Surfaces d'un bassin de stockage selon la période de retour des pluies et les volumes à stocker suivant:

$$V (10 \text{ ans}) = 6\,078 \text{ m}^3$$

$$V (5 \text{ ans}) = 4\,840 \text{ m}^3$$

$$V (1 \text{ an}) = 1\,880 \text{ m}^3$$

- Espace urbain à inondation maîtrisée
- Toitures terrasses végétalisées
- Collecte et transport des eaux pluviales
- Zone semi humide
- Mare, marais, zone humide écologique,
- Canal d'agrément
- Filtre à sable planté

- Espace urbain à inondation maîtrisée - Quartier des terrasses

Dans sa définition stricte, ce type d'espace pourrait englober une bonne partie des techniques alternatives. Cependant, la fonction hydraulique est cette fois-ci reléguée au second plan. C'est l'espace public qui prime. Ces espaces publics, lieux de promenade qui ne sont en eaux que lorsqu'il a plu, permettent d'avoir une gestion 'urbaine' des eaux pluviales alors que leur fonction peut ne pas être perceptible par temps sec.

Le quartier des terrasses fabrique sa propre identité de quartier par l'aménagement des ces étendues où agréments et usages participent à son écosystème.

- Toitures terrasses végétalisées

Toits engazonnés ou bien plantés de mélanges de bulbeuses, graminées et vivaces qui en dehors de leurs intérêts esthétiques, économiques et environnementaux certains, participent à la dimension scénographique du paysage des Tartres depuis sa partie sommitale.

La création dans le paysage de lignes horizontales structurantes peut parfaitement être reprise dans la composition de l'espace public hors bâtiments. Le lien qui existe entre l'architecture d'un bâti et l'aménagement de ses abords peut amener la mise en oeuvre de cette technique à influencer le parti pris de composition de l'espace environnement.

- Dispositifs de collecte et de transport des eaux pluviales

Les noues permettent de tisser un réseau d'eaux pluviales des points hauts au point bas du site. Elles vont rendre lisible la subtile topographie du site et participer à l'écriture des 'mille' lieux des Tartres par les multiples découvertes de cette 'encre' vive et fertile : l'eau.

- Zone semi humide, évocatrice de l'eau, à inondation temporaire maîtrisée

Les lieux de stockage temporaires sont traités de façon linéaire dans le projet des Tartres. Ils constituent pour la plupart des lieux intermédiaires entre les digues et les canaux et participent ainsi à l'armature du projet. Si leur fonction reste identique quelque soit leur situation, leur paysage sera variable et teinté des projets et programmes alentours.

- Mare, marais, zone humide écologique, à niveau d'eau permanent avec marnage

Deux marais agrémentent le site des Tartres et affirment le potentiel écologique du projet. Ces aménagements sont protégés, ludiques et pédagogiques. Lieux de nidification, de protection de la faune et de la flore, ils contribuent à une attitude respectueuse de la nature.

- Canal d'agrément en eau permanente

Le canal et les canaux qui construisent le quartier proche de la Route départementale 29 (RD 29) s'inscrivent dans un projet de grande échelle qui fait échos à la redécouverte du cours d'eau de la Vieille Mer. Inclut dans le projet des Tartres, ce canal permettra la requalification de la RD 29 à l'approche du pôle culturel du quartier.

Le thème de l'eau qui nourrit le projet des Tartres à travers son histoire (les anciens et nombreux rus, la topographie, les citernes, les jardins...) est mis en scène à un point stratégique du projet où l'urbain côtoie le 'projet de nature' des Tartres.

- Filtre à sable planté pour la dépollution des eaux pluviales

Les solutions les plus durables sont volontairement utilisées sur le site des Tartres. Les plantes ont été sélectionnées parmi une liste établie de plantes phytoremédiantes les plus efficaces. En fonction des futurs usages du site (passant et risque de dégradation/pollution), le choix final s'est porté sur les plantes les plus robustes, la fonction primant sur l'efficacité théorique. En plus de leurs fonctions, les plantes participent à la fabrication du paysage qui n'est pas 'un décor urbain' mais une complexe interaction d'usages et d'adaptation au site, dans sa dimension proche ou lointaine.

### **3.2 Le secteur de Préfontaine et du Sud-Bourg de Tonate en Guyanne : genèse d'un paysage urbain**

L'urbanisation du secteur d'étude de Préfontaine et du Sud-Bourg de Tonate en Guyanne, situé entre Cayenne et Karou, a pour objectif de permettre l'intégration de 13 000 habitants supplémentaires.

Le projet d'aménagement, en cours avec l'agence d'urbanisme Vincent Marniquet, concilie la nécessité d'un développement urbain cohérent, la préservation des qualités paysagères et environnementales du site, et le respect des objectifs de prévention du risque d'inondation.

Cette conciliation a conduit à la constitution de noyaux urbains compacts à l'échelle des secteurs de Préfontaine et du Sud-Bourg de Tonate – formes composées par des secteurs clés où des zones réglementaires, à risques et à protéger, sont localement aménagées.

#### **3.2.1 Limiter le ruissellement en limitant l'imperméabilisation des sols**

Dans le cadre de l'aménagement des secteurs de Préfontaine et du sud-bourg de Tonate, l'utilisation de techniques de désimperméabilisation des sols permet de réduire les apports en ruissellement, en limitant les surfaces étanches (cf. Figure 3).

L'aménagement de grandes surfaces enherbées, de cheminements piétons en revêtements poreux, de toitures terrasses, de cheminements de l'eau végétalisés, réduit les apports d'eau pluviale de 5 à 10 %, et diminue en proportion les volumes de stockage à prévoir.

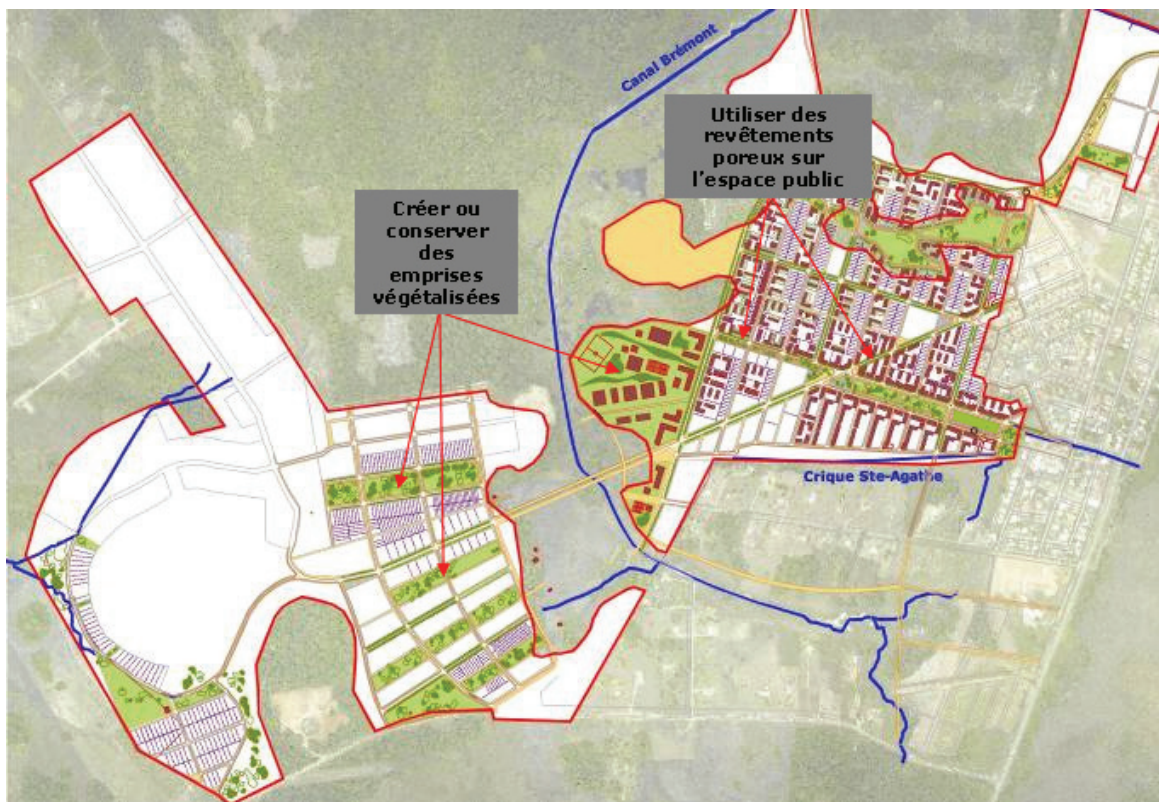


Figure 3 : Limiter l'imperméabilisation des sols par l'usage des techniques alternatives en végétalisant la ville

La collection et l'acheminement des eaux pluviales par écoulement à ciel ouvert deviennent le support d'une trame verte déclinant le canal Brémont. Ils permettent de hiérarchiser les axes d'écoulement selon le dispositif primaire de collecte des eaux pluviales (cf. Figure 4) et le dispositif secondaire de collecte (cf. Figure 5).

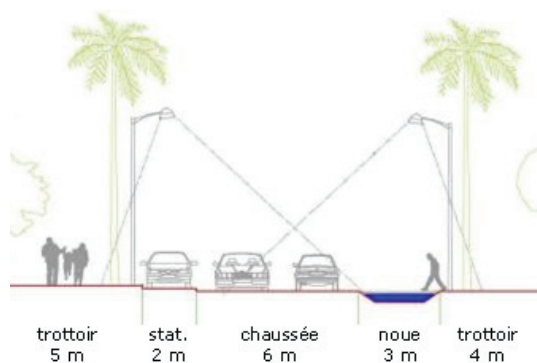
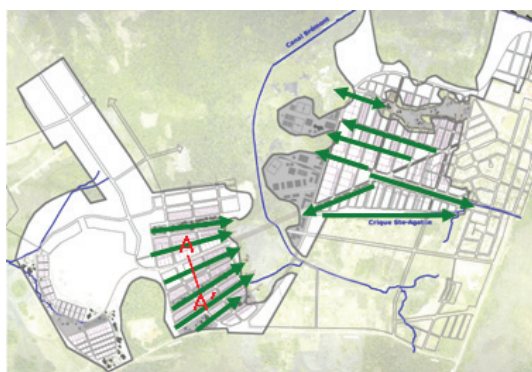


Figure 4 : Principes du dispositif primaire de collecte et de transport des eaux pluviales et coupe AA'

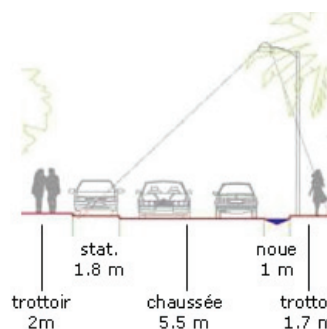


Figure 5 : Principes du dispositif secondaire de collecte et de transport des eaux pluviales et coupe BB'

Ce réseau à ciel ouvert, fondé sur un cheminement gravitaire, a pour avantage d'affirmer la présence

de l'eau dans le site. Il participe également à la lisibilité du quartier, à sa hiérarchie, il vient renforcer sa cohérence puisque chaque îlot est, par la force des choses, rattaché à cette même trame naturelle.

### 3.2.2 Genèse de formes urbaines

A partir de la gestion des eaux pluviales, le projet urbain prend forme (cf. Figure 6):

1. construction de l'habitat en plaine sur des terres émergées,
2. extension urbaine en continuité avec les axes existants afin de relier les quartiers pavillonnaires de Tonate et Préfontaine à l'espace du canal par des promenades piétonnes.

L'objectif étant de favoriser la proximité à la nature jusqu'aux cœurs des futurs quartiers (cf. Figure 7):

3. en préservant les espaces ouverts dans la zone d'expansion des eaux,
4. en créant des liens directs avec les grands espaces naturels (Mornes de Macouria, canal Brémont et Sainte Agathe, bord de mer).



Figure 6 : La proximité de la nature jusqu'au cœur des futurs quartiers



Figure 7 : Genèse de formes urbaines vertes et bleues

### 3.2.3 Dépolluer les eaux pluviales par des filtres plantés

- Etat des connaissances

Le principe de la phytoremédiation réside en un passage et une percolation de l'eau à travers un substrat aux granulométries variables (sable, roche volcanique, ...). Les végétaux présents contribuent à la dépollution (cf. Tableau 1) en favorisant le développement de micro-organismes participant à la dégradation des hydrocarbures et à la précipitation des métaux sous forme oxydée, ils améliorent aussi la capacité de décantation, ainsi qu'un décolmatage du filtre par leur prise au vent et la création des macropores et ainsi des chemins d'écoulement préférentiels.

Rendement épuratoire	Hydrocarbures	Matières totales en suspension	Phosphore	Azote Kjeldahl	Nitrate	Ammoniaque	Plomb, Cuivre, Aluminium
Hsieh et al. 2005a	>96	29 à >96%	70-85 %	60-80%	<20%		
Hsieh et al. 2005b	99%	99%	47-68%		9-20%	2-23%	
Davis et al. 2001			60-80%	55-65%		60-80%	>95%
Davis et al. 2003							90%

Tableau 1 : Rendement épuratoire des filtres plantés

- La traversée du jardin botanique : dépolluer les eaux pluviales par des filtres plantés et végétaliser en milieu urbain (cf. Figures 6 et 7) :

Cet équipement s'intègre parfaitement dans le paysage et se veut être une réalisation écologique, économique et innovante. Les eaux pluviales usées sont d'abord filtrées grossièrement par les plantes de forêt marécageuse, puis décantées dans des bassins avant d'être rejetées vers la bamboueraie qui joue un rôle de dépolluant complémentaire. Cet équipement s'intègre parfaitement dans le paysage et se veut être une réalisation écologique, économique et innovante.



Figure 8 : La traversée du jardin botanique



Figure 9 : Bamboueraie

## 4 AU FIL DE L'EAU, LA NATURE PREND PLACE

### 4.1 Les techniques alternatives : synonyme de confort urbain

Combinées, ces techniques permettent de créer des espaces multifonctionnels impactant ainsi sur le cadre de vie. De plus, elles répondent à la demande sociale actuelle pour le confort des usagers: le respect et la préservation de l'environnement, la prévention du risque d'inondation, ainsi que l'embellissement du cadre de vie.

#### 4.1.1 Renforcement de la biodiversité en milieu urbain

L'image classique de la ville goudronnée et bétonnée disparaît, par la végétalisation des espaces urbains denses. La nature est de nouveau présente en ville avec sa faune et sa flore. Même si cette diversité biologique reste modeste, on peut imaginer qu'en multipliant les opérations de ce type, de nouvelles formes de biodiversité en ville seront introduites, renforçant ainsi le déplacement d'espèces spatialement, et que de véritables chaînes alimentaires vont se créer sur de large territoires.

#### 4.1.2 Amélioration du confort urbain pour les usagers

- Mitigation du risque d'inondation

Réduire le ruissellement en favorisant l'infiltration des eaux pluviales, c'est réduire le risque d'inondation pour les usagers.

- Mitigation locale du phénomène d'îlot de chaleur urbain (I.C.U.)

Les I.C.U. désignent des élévations localisées des températures. Cela se traduit par l'observation de

températures maximales diurnes et nocturnes en milieu urbain plus élevées en comparaison aux zones rurales ou forestières voisines ou par rapport aux températures moyennes régionales.

Au sein d'une même ville, des différences importantes de température peuvent être relevées selon la nature de l'occupation du sol (forêt, banlieue, ville dense...), le relief et l'exposition (versant sud ou nord). environnantes.

Le processus naturel d'évapotranspiration a un pouvoir rafraîchissant qui peut être utilisé à grande échelle pour lutter contre les I.C.U. Des études menées par Stone et Rodgers, ont mis en évidence des écarts de température entre un parc urbain et ses environs de 1°C à 7°C ; la différence la plus importante étant obtenue aux abords de grands parcs arborés « baignés » par une rivière. Climatiseur naturel, la végétation contribue aux équilibres climatiques locaux.

Remplacer les matériaux urbains par des espaces verts et des plans d'eau, c'est réduire localement l'effet albedo. De la même manière, c'est créer des microclimats tempérés, au sein et aux alentours des espaces verts, pour le bien-être des usagers.

#### 4.2 Le parc Faure : les techniques alternatives valorisent et créent des milieux naturels

Le parc Faure, situé à Aulnay-sous-Bois a été réhabilité par l'agence Composante Urbaine. Les travaux de réalisation se sont terminés en 2008. Ils présentent la particularité d'intégrer au paysage un bassin de stockage passant de 1600 m3 avant travaux à 2000 m3 après travaux, se mettant en charge environ 3 fois par an.



Figure 10 : Recréer des milieux à connotations naturelles



Figure 11 : Pré bassin enterré

En gérant les eaux pluviales, la conception s'est attachée à recréer des milieux à connotations naturelles (cf. Figure 10) : valorisation de la forêt, par la protection des arbres existants, l'extension de la forêt jusqu'aux limites du site, et la reconstitution de sous-bois et de lisières, création d'une mare écologique, de deux roselières et d'une saulaie, avec fonction de dépollution, stockage, et recyclage des eaux pluviales, en remplacement du bassin béton existant.

L'ensemble mare roselière saulaie est alimenté par le réseau d'eau pluvial communal, transitant via un pré bassin enterré (cf. Figure 11) Celui-ci permet un dégrillage et une décantation des eaux de ruissellement avant leur débouché dans la roselière à travers un canal de distribution.



Figure 12 : Caniveaux plantés



Figure 13 : Saulaie et roselière

Afin d'assurer une mise en eau maximale de la mare, un système de drains (cf. Figure 12) permet de récupérer l'eau s'infiltrant dans les espaces verts alentours. De plus l'eau de la toiture du seul



bâtiment du parc (maison de l'environnement) y est attachée par un système de caniveaux plantés.

La mise en l'eau de la Saulaie (cf. Figure 13) s'effectue par surverse de la roselière et lors de sa vidange, via des ajutages dans le mur.

Son évacuation est quand à elle assurée par un dispositif de relevage, renvoyant l'eau au réseau existant. La roselière peut aussi déborder vers la mare, à travers des regards disposés régulièrement, dans le platelage permettant de traverser le parc.

### 4.3 La ZAC des guillaumes : une coulée verte gère les eaux pluviales

Dans le cadre de l'aménagement de la ZAC des Guillaumes, d'une surface totale de 14 ha, Composante Urbaine a conçu le parc en 2008, de 5,8 ha, destiné entre autres à recevoir les eaux pluviales de l'opération. Cette contrainte a permis la création d'un lieu très particulier, « le parc rivière » : un parc constitué de deux milieux complémentaires : une rivière verte inondable et des berges urbaines.

- Une rivière verte comme coeur du parc

Le parc évoque une rivière, celle-ci s'écoule d'amont en aval sur tout le linéaire disponible du parc. Suivant la pente du site, la rivière verte, d'abord très pentue, s'adoucit dans la partie centrale jusqu'à déboucher en un point bas au nord.

Plutôt traité comme un milieu sec en amont (présence d'un belvédère minéral, de roches, de pierres, de plantes de milieux secs), l'espace se transforme progressivement avec l'intégration de plantes évoquant les milieux humides, jusqu'à découvrir au point bas du site une roselière.

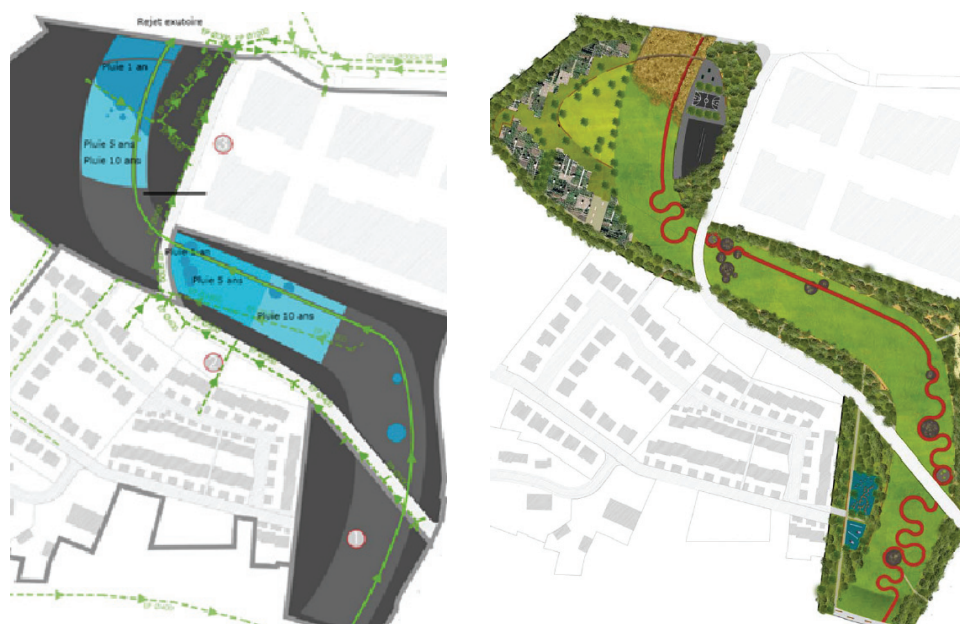


Figure 14 : La ZAC des guillaumes : de la trame « bleue » à la trame « verte » en milieu urbain dense

Cette rivière verte crée dans le parc un espace vert central, long, continu, permettant des usages divers, tels que promenade, pique nique, arrêt pour la lecture, le sport, le jeu (cf. Figure 14).

- Des lisières « équipées »

Les « berges » entourant la rivière verte servent de tampon, de filtre, entre la ville et la rivière verte. Elles accueillent les usages tels que jeux d'enfants, placettes, jardins familiaux, aire de sport, boulodromes, et créent des polarités.

- La rivière verte s'anime à chaque pluie.

Les grands cercles de pierre, éléments forts qui ponctuent la rivière, collectent l'eau pluviale de la ZAC et assurent leur dépollution (filtre à sable planté - phytoremédiation), puis les eaux s'écoulent en talweg de la rivière.

Pour des pluies de forte intensité, les cercles « débordent » dans l'espace vert, qui progressivement se retrouve en eau, sur une hauteur maximum de 40 cm, révélant ainsi la rivière du site.



Figure 15 : La ZAC des Guillaume's : une coulée verte en milieu urbain dense

## 5 CONCLUSION

Les techniques alternatives utilisées en assainissement pluvial s'imposent comme des modes d'aménagement à part entière permettant de conjuguer urbanisation et gestion des eaux pluviales en milieu urbain dense.

A travers ces techniques douces et vertes, les bénéfices de la présence d'une végétalisation dominante dépassent les intérêts hydrauliques. Ces techniques embellissent le cadre urbain, dépolluent les eaux pluviales, rafraîchissent l'atmosphère, contribuant ainsi à l'édifice de nouveaux quartiers, bien que denses, bio climatisés.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allen P. Davis, Hounq Li, and Philip S. Jones (2007). *Piégeage et évolution des composés toxiques dans les systèmes de bio-rétention*. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Maryland
- Azzout. Y., Barraud. S., Cres. FF. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial*, Editions Technique et Documentation – Lavoisier
- Chaib. J. (1997). *Les eaux pluviales – gestion intégrée : guide pratique – Ecologie urbaine*, Edition Sand de le Terre, 175 p
- Davis, A. P., Shokouhian, M., Sharma, H., & Minami, C. (2001). Laboratory Study of Biological. *Retention for Urban Stormwater Management*. Water Environment Research, 73(1), 5-14.
- Davis, Allen P.; Shokouhian, Mohammad; Sharma, Himanshu; Minami, Christie; Winogradoff, Derek (2003). *Water Quality Improvement through Bioretention: Lead, Copper, and Zinc Removal*. Water Environment Research, Volume 75, Number 1, pp. 73-82(10). Water Environment Federation
- EURIDICE (1992). *Réconcilier l'Eau et la Ville par la maîtrise des eaux pluviales*, Edition STU, 65 p
- Hatt, B. E., T. D. Fletcher and A. Deletic (in press). *Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale*. Journal of Hydrology.
- Hatt, B. E., J. Lewis, A. Deletic and T. D. Fletcher (2007). *Insights from the design, construction and operation of an experimental stormwater biofiltration system*. 13th International Rainwater Catchment Systems Conference and 5th International Water Sensitive Urban Design Conference, Sydney, Australia.
- Larue. D., Da Silva. (2008). La complémentarité paysagiste et ingénierie hydraulique, Atelier LD, GRAIE - 7ème conférence Aménagement durable et eaux pluviales
- Lewis, J. F., B. E. Hatt, S. Le Coustumer, A. Deletic and T. D. Fletcher (2008). *The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems*. 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh, UK.
- Oke T.R. (1976). *City size and the urban heat island*, Atmos. Environ., 7, 769-79.
- Oke T.R. (1982), *The energetic basis of an urban heat island*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 108, 1-24
- Pineau. E. (2008). *Quand l'eau devient projet de paysage ou la gestion alternative des eaux pluviales*, Mémoire de fin d'étude. Composante Urbaine.
- Stone, B., and M. O. Rodgers, (2001). *Urban form and thermal efficiency. How the design of cities influences the urban heat island effect*. J. Amer. Plann. Assoc., 67, 186–198