AGROCAMPUS OUEST

☑ **CFR Angers**

☐ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2014-2015

Spécialité : Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'Œuvre et Ingénierie (MOI)

Mémoire de fin d'études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

État de l'art du filtre planté de macrophytes pour la gestion et le traitement des eaux pluviales urbaines. Bases pour une méthode de dimensionnement et de conception.

Par : Valentin ROLAND



Le Crès (34), 09/2015 avant plantation - Phytoserpe

Soutenu à Angers le 3 septembre 2015

Devant le jury composé de :

Président : Damien Rousselière

Maître de stage : Benoît Chancerel

Enseignant référent : Hervé Daniel

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité :

☐ Non ☑ Oui si oui : ☐ 1 an ☑ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible(1).
A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).
Date et signature du maître de stage(2) : 03/09/15

Droits d'auteur :

L'auteur(3) autorise la diffusion de son travail

☑ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☑ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur : 15/09/2015

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.
Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

CONTEXTE

Ce mémoire a été rédigé lors d'un stage de fin d'études de six mois au sein de Phytoserpe, entreprise spécialisée dans la phytoépuration et basée près de Montpellier (34).

La SERPE (Société d'Entretien et de Restauration du Patrimoine et de l'Environnement) a été créée en 1988 par Paul Rensch. L'entreprise, d'abord spécialisée dans les travaux d'entretien de rivière, a ensuite développé des activités de protection de berges, d'élagage et de débroussaillage. En 2009, Armand Wiedemann-Goirand reprend la société et la développe à l'échelle nationale, il ouvre la même année le pôle Phytoserpe : bureau d'études positionné sur l'épuration par les plantes.

Phytoserpe propose la conception-réalisation de stations d'épuration par filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux domestiques, et également de ZRV (Zones de Rejet Végétalisés) pour l'affinement des traitements des eaux en sortie de stations d'épuration classiques ou alternatives.

Fort de cette expérience de six ans dans la phytoépuration, Phytoserpe cherche à développer cette technique (de plus en plus employée) pour la gestion et le traitement des eaux pluviales.

C'est dans ce contexte qu'en 2012, l'entreprise réalise un état de l'art des filtres plantés adaptés aux eaux pluviales. Mon travail vise à compléter cet état de l'art jusqu'en 2015 et d'élaborer une méthode de conception et de dimensionnement de tels systèmes. L'état de l'art posera les bases nécessaires à l'élaboration d'une méthode de dimensionnement et de conception, et d'autres outils (exemple d'étude, réalisations existantes, outils réglementaires…) seront mis à disposition de l'entreprise pour la guider tout au long de son cheminement de projet.

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord l'équipe pédagogique d'Agrocampus-Ouest pour la formation dispensée qui a correspondu à mes attentes, notamment Christophe Migeon pour sa présence et son implication tout au long de cette dernière année d'études, Hervé Daniel pour ses bons conseils et sa bonne humeur.

Merci également à tous mes camarades (plus particulièrement la promo MOI 2014-2015) pour ces six riches années passées à Angers ou ailleurs.

Bien sûr, je remercie toute l'équipe de Phytoserpe et Serpe pour son accueil chaleureux ainsi que Benoît Chancerel pour son professionnalisme et la confiance qu'il m'a témoignée.

Enfin je tiens à remercier ma famille, mes amis et mes colocataires pour leur disponibilité et leur soutien lors de cette dernière ligne droite !

TABLE DES MATIÈRES

I. Contexte 2
A) Impacts de l'urbanisation croissante 2
B) Les trois principales sources de pollution des eaux, notion de RUTP 3
1) Les retombées atmosphériques humides : 3
2) Le lessivage des surfaces urbaines : 3
3) La contribution des eaux usées des réseaux unitaires 3
II. RUTP (Rejets Urbains de Temps de Pluie) 4
A) Caractéristiques des RUTP 4
1) Caractéristiques de la pollution 4
2) Caractéristiques hydrauliques 5
B) Variabilités des RUTP 6
1) Variabilités de la pollution 6
2) Variabilités de l'hydraulique 7
C) Impacts sur le milieu récepteur et conclusion 8
III. Réglementation et outils de planification 10
A) Réglementation 10
1) La loi sur l'eau (3 janvier 1992) : 10
2) Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE (20 octobre 2000) 11
3) La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (la LEMA du 30 décembre 2006) 11
4) L'arrêté du 22 juin 2007 11
B) Les outils de planification 12
1) Le SCOT 12
2) Le PLU 12
3) Le règlement d'assainissement 12
4) Le zonage d'assainissement pluvial 12
5) Le code des collectivités territoriales : la taxe pluviale 13
6) Le PPRI 13
IV. Comment limiter la pollution ? 14
A) Prévention 15
1) Réduire les émissions à la source 15
2) Privilégier une gestion très en amont des eaux pluviales 15
3) Éviter les transports ou le stockage dans des infrastructures souterraines 16
4) Déconcentrer les eaux et limiter les distances de ruissellement 16
B) Concevoir des ouvrages alternatifs pour la gestion et le traitement 17

1) « La chaîne des pluies d'orage » 17
2) Le principe de surverse 17
3) L'adaptation de la technique de biorétention 18
4) Les différents types d'ouvrages 18
V. Les filtres plantés de macrophytes 19
A) Le FPM intégré à un système de traitement végétalisé 19
1) Les grands types de systèmes de traitement végétalisés par filtre planté en France. 19
2) Le rôle de l'ouvrage de prétraitement 22
3) Le rôle du bassin tampon 22
B) Zoom sur le FPM 22
1) Un filtre planté adapté d'un système déjà existant 22
2) Profil-type et principe de fonctionnement 24
3) L'hydraulique du filtre 25
4) Processus de traitement 27
5) Rôle des végétaux 30
C) Performances 32
1) Performances épuratoires 32
2) Aspects écologiques et socio-économiques 34
D) Entretien et suivi 36
1) Entretien 36
2) Suivi 37
VI. BIBLIOGRAPHIE 39
VII. SITOGRAPHIE 41

GLOSSAIRE

ADEPTE : Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensifs.

By-pass : système de dérivation.

CET : Centre de Stockage ou Centre d'Enfouissement Technique.

Conchyliculture : élevage des mollusques conchifères.

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène au bout de 5 jours (à 20degrés dans le noir). Cela représente la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour oxyder les matières organiques. Elle est utilisée pour évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée.

DCE : Directive Cadre sur l'Eau.

DCO : Demande Chimique en Oxygène. Elle représente quasiment tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau, par exemple les sels minéraux et les composés organiques.

Dénitrification : réduction des nitrates, processus de transformation de composés azotés.

DO : Déversoir d'Orage.

EP : Eaux Pluviales.

ETM : Eléments Traces Métalliques, cela correspond aux métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Plomb, Zinc, Fer…).

EU : Eaux Usées.

Extensive : se dit d'une pratique agricole qui ne recherche pas l'obtention de hauts rendements dans la production.

Faucardage : action visant à éliminer par fauchage aquatique les herbes des étangs, rivières et marais.

FAWB : Facility for Advancing Water Biofiltration.

FPM : Filtres Plantés de Macrophytes.

FPR : Filtres Plantés de Roseaux.

Génie écologique : préservation et développement de la biodiversité par des actions adaptées sur les écosystèmes (entretien, restauration, réhabilitation, etc…) prenant en compte leurs fonctionnalités, la diversité des habitats et l'ensemble des interactions qui les sous-tendent.

Génie végétal : ensemble des techniques concernant la conception, la mise en œuvre et les applications dans l'utilisation des plantes ou des parties de celles-ci, en vue de réaliser un aménagement de protection contre l'érosion, de renforcement, et de régénération des sols ou de stabilisation des berges.

GRAIE : Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

IRSTEA (ex CEMAGREF) : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies de l'Environnement et de l'Agriculture.

LEMA : Loi sur l'Environnement et les Milieux Aquatiques.

Macrophytes : plantes aquatiques visibles à l'œil nu.

Masse d'eau : une masse d'eau est un tronçon de cours d'eau, un lac, un étang, une portion d'eau côtière ou tout ou partie d'un ou plusieurs aquifères d'une taille suffisante, présentant des caractéristiques physiques, biologiques et/ou physico-chimiques homogènes.

MES : Matières En Suspension.

MO : Matière Organique.

Phytoremédiation : ensemble des technologies qui utilisent les plantes comme principale agent de traitement des pollutions. La phytoremédiation vise à préserver les ressources essentielles que sont l'eau, les sols et l'air mais aussi la valeur sociale, économique, écologique et paysagère des sites traités.

PLU : Plan Local d'Urbanisme.

PPRNI : Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation.

RUTP : Rejets Urbains de Temps de Pluie.

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, qui correspond à une unité hydrographique plus restreinte que les SDAGE.

SCOT : Schéma de COhérence Territoriale. Le SCOT présente l'ensemble des politiques menées au niveau de l'agglomération et de sa périphérie. Il s'inscrit dans une politique de développement durable du territoire.

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, définissant pour chacun des 6 bassins hydrographiques français les orientations fondamentales des 10-15 ans à venir, gérés par les agences des bassins.

SEGTEUP : Systèmes Extensifs pour la Gestion et le Traitement des Eaux Urbaines de temps de Pluie.

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : répartition de l'eau de pluie (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007)..... 2
Figure 2 : effets de l'urbanisation sur l'environnement (Roland, V. 2012) 2
Figure 3 : sources de contaminants des eaux de ruissellement (Eau Seine Normandie. 2013) 4
Figure 4 : résumé de la problématique de pollution des RUTP (Valentin Roland).....10
Figure 5 : les 12 bassins français [4] 10
Figure 6 : la traduction de la réglementation sur les eaux pluviales dans le PLU [2] 12
Figure 7 : liens entre les documents réglementaires et les documents d'aménagement pour l'élaboration d'un projet territorial en rapport avec l'eau [4].....14
Figure 8 : où et sur quoi intervenir pour limiter la pollution des RUTP ? (Valentin Roland) ...14
Figure 9 : les différentes variables hydrologiques dans le concept d'aménagement paysager absorbant (Eau Seine Normandie. 2013).....15
Figure 10 : tranchée drainante et réservoir paysager (Roland, V. 2012).....16
Figure 11 : cheminement des eaux pluviales du parc Ouagadougou de Grenoble (Roland, V. 2012).....16
Figure 12 : la chaîne des pluies d'orage (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007).....17
Figure 13 : différents types d'ouvrages de gestion et de traitements alternatifs des eaux pluviales et leur fonction (Valentin Roland).....18
Figure 14 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 1 (Valentin Roland) 19
Figure 15 : cheminement des eaux pluviales récoltées à travers le FPM de Geispolsheim [7] 20
Figure 16 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 2 (Valentin Roland) 20
Figure 17 : plan masse du dispositif de traitement végétalisé de Saint-Germain-lès-Arpajon [7].....20
Figure 18 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 3 (Valentin Roland) 21
Figure 19 : Dispositif gabions anti-affouillement pour les gros débits et filtre à deux bassins avec une grande capacité de stockage (SEGTEUP. 2013) 21
Figure 20 : photos du parc technologique de la Porte des Alpes, 69 (Valentin Roland) 22
Figure 21 : classification des marais artificiels selon (Vymazal. 2007).....23
Figure 22 : coupe type d'un FPM adapté aux RUTP (SEGTEUP. 2013).....24
Figure 23 : évolution de la conductivité hydraulique d'un filtre à sable végétalisé au cours des 20 premiers mois de fonctionnement (FAWB. 2009).....26
Figure 24 : l'exemple du FPM de Saint Germain les Arpajon avec sa zone humide [8].....35
Figure 25 : panneaux pédagogiques mis en place à proximité de divers FPM pour le traitement des RUTP (SEGTEUP. 2013).....35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : types de polluants présents dans les RUTP en fonction de leur source (inspiré de Ferro. 2013) 5
Tableau 2 : valeurs des coefficients de ruissellement en fonction du type de surface [3]..... 6
Tableau 3 : comparaison selon différents auteurs du pourcentage de pollution totale que représentent les dépôts du réseau par rapport aux autres sources de contaminants des eaux de ruissellement (Ferro. 2013)..... 7
Tableau 4 : effets possibles des principaux polluants sur l'environnement (Ferro. 2013)..... 9
Tableau 5 : ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (Ecopluie. 2009).....26
Tableau 6 : matériaux mis en œuvre dans deux applications de programmes de recherche. Inspiré de (SEGTEUP. 2013) et (Duclos et al. 2007). 28
Tableau 7 : mécanismes épuratoires liés aux différents polluants dans un FPM (Fournel. 2012).....29
Tableau 8 : macrophytes utilisées pour les techniques de génie végétal (Aquaterra-solutions. 2008).....31
Tableau 9 : performances du filtre numéro un de Neydens après 2 ans de fonctionnement [7]. 32
Tableau 10 : performances épuratoires des sites-pilotes de Craponne (Fournel. 2012) 32
Tableau 11 : impact de la filtration sur l'abattement des polluants pour les sites-pilotes de Craponne (Fournel. 2012) 33
Tableau 12 : tableau des abattements moyens des techniques alternatives des eaux pluviales (Lutz. 2010) 33

INTRODUCTION

L'aménagement urbain doit répondre à divers enjeux, la gestion des eaux (potables, usées, pluviales) en est un. Les dispositifs de gestion des eaux ont évolués à travers le temps : d'abord organisés en réseaux unitaires au début du XX^{ème} siècle, l'urbanisation d'après-guerre a poussé les gestionnaires à s'orienter vers des réseaux séparatifs pour mieux contrôler les flux.

Depuis la fin du XX^{ème} siècle en France, on a commencé à ressentir les impacts de l'urbanisation croissante sur l'environnement urbain et rural : obstruction des réseaux, inondation, érosion, baisse du niveau des nappes phréatiques, pollution des cours d'eau... De plus, dans un contexte de réchauffement climatique, l'eau est devenue un bien rare ; or avec le système classique d'un réseau majoritairement souterrain se pose un double problème : en période de précipitations, il est difficile de gérer l'eau pluviale excédentaire et en période de pénurie, la stocker et l'infiltrer devient compliqué.

Aujourd'hui, une évolution profonde se fait ressentir au niveau du mode de gestion mais aussi au niveau de la façon de penser la gestion : la gestion des eaux pluviales est maintenant souvent intégrée dès la conception de nouveaux espaces et est considérée à l'échelle du bassin versant hydrologique et de la parcelle. Le fait que l'assainissement pluvial classique présente un coût élevé pour les collectivités a également été un moteur de ce changement dans le contexte actuel de crise économique.

La gestion alternative des eaux pluviales permet de collecter, transporter, stocker et libérer l'eau de manière durable en préservant le milieu récepteur, tout en l'intégrant avec des espaces verts dans la ville. Les bénéfices d'une telle organisation sont donc économiques, sociaux et environnementaux.

Dans cette démarche, il est apparu progressivement que ces nouveaux systèmes végétalisés, outre leur qualité de stockage des eaux pluviales, avaient des propriétés dépolluantes. Ce phénomène est étudié et exploité aujourd'hui afin de proposer une filière de traitement extensif plus performante pour rendre au milieu récepteur une eau dépolluée plus saine pour le bon fonctionnement des écosystèmes.

Parmi cette filière de traitement extensif, le filtre planté de macrophytes pour la gestion et le traitement des eaux pluviales est en plein essor au niveau mondial (États-Unis, Australie, Allemagne…) et compte plusieurs réalisations en France. La technique, déjà utilisée pour le traitement des eaux usées, a été adaptée pour celui des eaux pluviales et plus globalement des RUTP (Rejets Urbains de Temps de Pluie) ; qui présentent deux problématiques très variables : la charge des polluants et le flux d'eau entrant.

Ce mémoire présente l'état de l'art du filtre planté de macrophytes pour l'assainissement pluvial. Cette bibliographie synthétise et fixe les règles de base d'une méthode de conception et dimensionnement développée dans la partie annexe avec d'autres outils.

Le contenu du mémoire se déroule de la manière suivante : contexte de la pollution des eaux pluviales, caractéristiques des rejets urbains, réglementation et outils de planification, démarche alternative de gestion, systèmes de traitement végétalisés et filtre planté de macrophytes (FPM).

I. Contexte

L'urbanisation, causée par l'exode rurale, augmente de manière exponentielle. À titre de comparaison, 15 % de la population habitait en ville en 1900, 30 % en 1950 et 50 % en 2000 [1]. Quels sont les effets de l'urbanisation sur l'environnement ?

A) Impacts de l'urbanisation croissante

Le cycle de l'eau est théoriquement équilibré mais l'activité anthropique le modifie sensiblement.

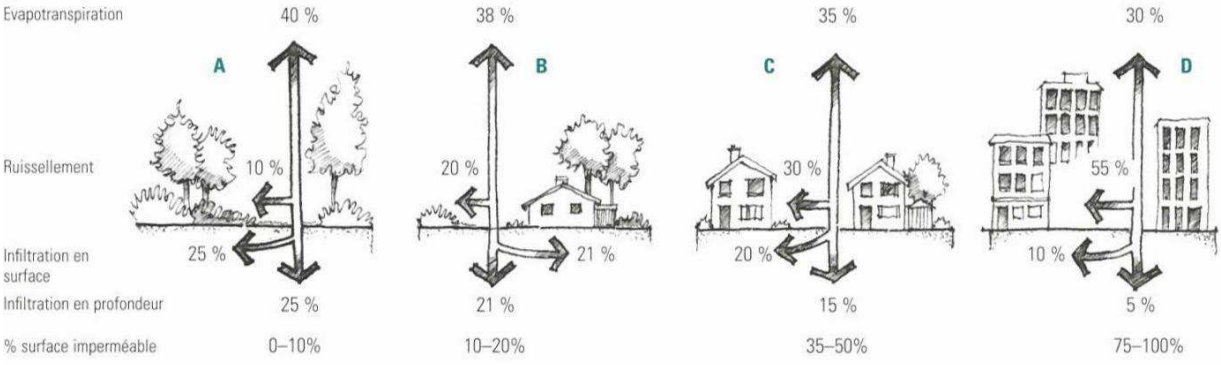


Figure 1 : répartition de l'eau de pluie (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007)

Plus un milieu est urbanisé, plus on constate une diminution de l'infiltration de l'eau en surface et en profondeur et une diminution de l'évapotranspiration. En revanche le ruissellement augmente de manière considérable (Fig 1).

L'urbanisation croissante est à la source d'un système en cascade complexe d'événements qui va modifier voire perturber notre environnement (Fig 2).

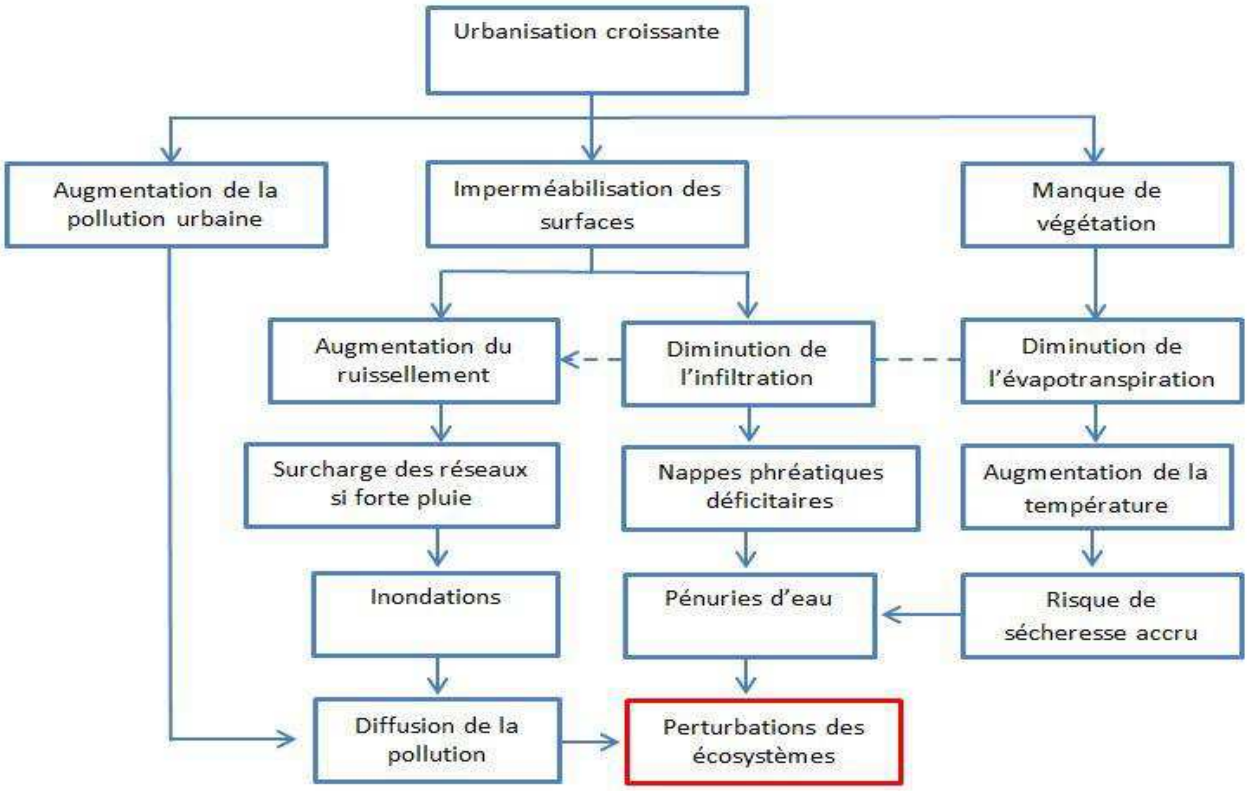


Figure 2 : effets de l'urbanisation sur l'environnement (Roland, V. 2012)

Dans ce travail, nous expliquerons comment se comporte la pollution urbaine et le ruissellement des eaux pluviales, tous deux synonymes de perturbations des milieux naturels.

B) Les trois principales sources de pollution des eaux, notion de RUTP

On peut classer la pollution des eaux pluviales en trois parties [2] : les retombées atmosphérique humides, le lessivage des surfaces urbaines et la contribution des eaux usées des réseaux unitaires.

1) Les retombées atmosphériques humides :

Les gouttes d'eau se forment en présence de particules solides dans l'atmosphère (processus de nucléation). La pluie entraîne une partie de ces polluants atmosphériques vers le sol. La concentration en polluants est généralement très faible dans cette eau qui est la plupart du temps de qualité potable. Ces pluies peuvent en revanche avoir un impact sur le pH des eaux de ruissellement (pluies acides).

2) Le lessivage des surfaces urbaines :

L'eau de pluie qui arrive au sol lessive les surfaces d'écoulement (toitures, voiries) et érode les matériaux de surface. Les polluants sont soit dissous dans l'eau soit présents sous forme particulaire. La concentration de la pollution dépend de beaucoup de variables (intensité de la pollution, intensité et fréquence de la pluie, taille du bassin versant etc.). Ces eaux de ruissellement peuvent également se charger avec les retombées atmosphériques sèches et les polluants accumulés dans les réseaux d'assainissement par temps sec.

3) La contribution des eaux usées des réseaux unitaires

Les déversoirs d'orage (DO) permettent de guider les eaux des réseaux unitaires vers les stations d'épuration par temps sec ou par temps de petite pluie. Lorsque le débit de temps de pluie est supérieur au débit de référence fixé qui conduirait à la saturation du réseau voire une inondation, une partie des eaux usées rejoint directement le milieu récepteur par surverse. Ces eaux issues du mélange eaux domestiques et eaux pluviales peuvent constituer une part importante de la pollution.

L'ensemble des eaux rejetées soit aux exutoires des réseaux séparatifs pluviaux, soit aux surverses des réseaux unitaires ainsi qu'aux by-pass des stations d'épuration, rejoint le milieu naturel et est appelé Rejets Urbains de Temps de Pluie (RUTP).

II. RUTP (Rejets Urbains de Temps de Pluie)

La pollution des eaux pluviales, qu'elles proviennent de l'air, du sol ou de l'eau, ainsi que le ruissellement entraînant celle pollution, augmente avec l'urbanisation, formant des Rejets Urbains de Temps de Pluie. Quelles sont les caractéristiques de ces RUTP ?

A) Caractéristiques des RUTP

1) Caractéristiques de la pollution

a) Type de polluants

Il existe une grande diversité de polluants qu'on peut regrouper sous trois types (Fournel, J. 2012) :

Les matières en suspension (MES) : majoritaires, ce sont les matières polluantes particulaires.

Les polluants organiques : on retrouve ici les molécules contenant carbone, hydrogène, oxygène, azote. Ces molécules sont dégradables en nutriments et sont estimées par le ratio DBO5 (Demande Biologique en Oxygène après 5 jours) / DCO (Demande chimique en Oxygène). On retrouve aussi les molécules de synthèse : hydrocarbures et pesticides. Parmi les hydrocarbures, les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) sont particulièrement toxiques.

Les polluants inorganiques : ce sont principalement les nutriments issus entre autres de la dégradation de la matière organique (ammonium, phosphate, nitrates…). Cette classe est également représentée par les métaux lourds (Cu, Cd, Pb, Zn…) aussi appelés ETM (Eléments Traces Métalliques). On peut aussi retrouver des sels minéraux provenant de l'entretien des routes (NaCl, CaCl2, KCl…).

Tous ces polluants, suivant leur concentration, vont avoir un impact sur la qualité de l'eau.

b) Sources de polluants

Les sources de polluants des RUTP sont très nombreuses, elles peuvent être exogènes ou endogènes au bassin versant (Fig3).

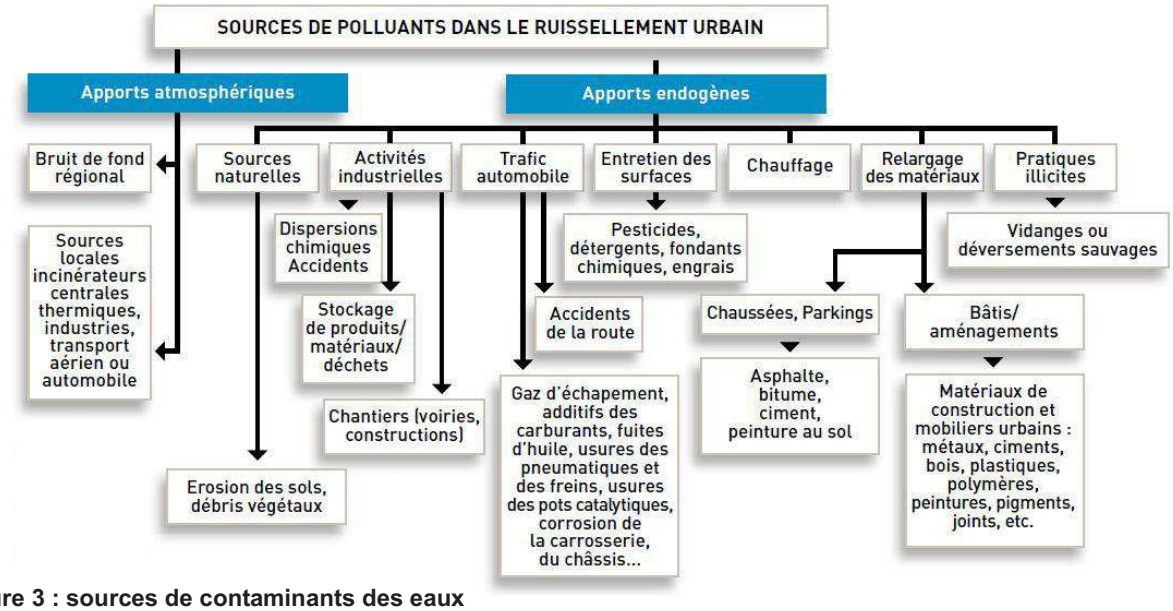


Figure 3 : sources de contaminants des eaux de ruissellement (Eau Seine Normandie. 2013)

On retiendra six sources principales de pollution générées par les activités humaines (Chocat, B. 1997): le transport routier, l'industrie, les animaux, les déchets solides, les chantiers et l'érosion des sols, la végétation.

Le tableau suivant (Tab 1) compare les types de polluants en fonction des sources de pollution :

Tableau 1 : types de polluants présents dans les RUTP en fonction de leur source (inspiré de Ferro. 2013)

Polluants	Transport routier	Industrie	Animaux	Déchets solides	Chantiers et érosion	Végétation
Hydrocarbures	X	X				
Métaux divers	X	X		X		
MES					X	
Matière organique	X		X	X		X
Matière minérale	X					
Micropolluants organiques (solvants…)	X	X				
Bactéries et pathogènes			X			
Matières plastiques				X		
Nutriments (N, P, K…)	X					X
Produits organochlorés (pesticides)	X					X

On remarque que les routes peuvent générer de nombreux polluants dont les HAP et les ETM qui sont les plus toxiques. Les zones industrielles et les espaces urbains denses sont aussi impliqués.

Les polluants des RUTP sont donc complexes par la diversité de leur nature et de leurs origines. On retiendra que la majorité des polluants se trouvent sur les voiries et parkings les plus fréquentés ainsi que dans les quartiers résidentiels denses.

2) Caractéristiques hydrauliques

a) Pluviométrie

La pluie va permettre de créer des flaques puis des lames d'eau au sol induisant le phénomène de ruissellement, responsable du transport des polluants. La pluviométrie caractérisée par son intensité et sa fréquence, est aussi variable en fonction de la région et de la saison *[voir '**ANNEXE I** : l'importance de la zone géographique sur le comportement de la pluviométrie', p 45].*

Le comportement de la pluviométrie en un point donné va fortement influencer la façon de gérer les eaux pluviales et donc leur traitement.

b) Mobilisation des polluants

Tableau 2 : valeurs des coefficients de ruissellement en fonction du type de surface [3]

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires	
centres villes	0,70 / 0,95
autres	0,50 / 0,70
Zone résidentielle	
pour 1 pavillon	0,30 / 0,50
ensemble de pavillons détachés	0,40 / 0,60
ensemble de pavillons attachés	0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières - Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux	0,25 / 0,35
Rue et trottoirs	
asphalte	0,95
béton	0,95
pavé	0,85
Pelouse (sol sablonneux)	
pente < 2 %	0,05 / 0,10
2 % < pente < 7 %	0,10 / 0,15
pente > 7 %	0,15 / 0,25
Pelouse (sol terreux)	
pente < 2 %	0,13 / 0,17
2 % < pente < 7 %	0,18 / 0,22
pente > 7 %	0,25 / 0,35

Le tableau ci-contre (Tab 2) donne une idée des coefficients d'imperméabilité de plusieurs surfaces. Ce sont ces coefficients qu'il faut multiplier par la surface du bassin versant drainé pour connaître la surface active Sa, à savoir la surface imperméable du bassin versant drainé.

Pour être entraînées par le ruissellement, les particules doivent d'abord être de faible dimension (Ferro 2013) :

· Ø > 2 mm: particules très peu sollicitées par le ruissellement ;
· 200 µm < Ø < 2 mm: particules difficilement transportées par le ruissellement ;
· Ø < 200 µm: particules facilement transportées par le ruissellement.

Ensuite, la pluie doit être d'une intensité maximale sur une courte durée, car c'est majoritairement dans ce cas que les contaminants sont arrachés à leur surface de dépôt par les grosses gouttes.

Pour finir, le transfert des polluants est conditionné par une hauteur d'eau suffisante précipitée pendant la pluie.

Globalement, les particules entraînées par le ruissellement sont considérées comme des micropolluants (Ø minimal de 200 µm). Les conditions de mobilisation de ces polluants sont les suivantes : bénéficier d'une pluie d'intensité maximale pour une faible durée et d'une hauteur d'eau suffisante.

B) Variabilités des RUTP

1) Variabilités de la pollution

a) Les différents types de pollution

La charge de pollution présente dans les RUTP peut être variable. On distingue deux types de pollution : la pollution chronique et la pollution ponctuelle (Lutz. 2010).

La pollution chronique correspond aux effets cumulatifs c'est-à-dire à la pollution régulière annuelle (trafic routier sur autoroute par exemple) et aux effets de choc, qui sont induits par une augmentation brutale de pollution (suite à un orage par exemple).

La pollution ponctuelle comprend la pollution accidentelle (accidents, déversements d'hydrocarbure), et la pollution saisonnière qui a plusieurs origines : sablage des chaussées l'hiver (sables, sels) ou application de pesticides au printemps.

Le type de pollution va énormément influencer la concentration des polluants lors d'un rejet urbain de temps de pluie : il faut prendre en compte la pollution chronique et les risques de pollution ponctuelle.

b) Les polluants déjà déposés dans les réseaux d'assainissement

Il existe un dépôt des polluants dans les conduites du réseau d'assainissement. Ce dépôt est stocké petit à petit au fil des événements pluvieux et contribue à diminuer la part directe de la pollution des eaux de ruissellement. Le dépôt se produit pendant les périodes de temps sec et au moment de la décélération du flot à la fin d'un événement pluvieux.

Ce phénomène est à prendre en compte dans les bilans de pollution car il peut être mobilisé et peut fortement impacter la charge polluante.

Comme le montre le tableau suivant (Tab 3), la contribution des dépôts pluvieux précédents correspondrait à 20 à 80 % de la pollution totale des RUTP, selon les auteurs.

Tableau 3 : comparaison selon différents auteurs du pourcentage de pollution totale que représentent les dépôts du réseau par rapport aux autres sources de contaminants des eaux de ruissellement (Ferro. 2013)

	(Chebbo, 1992)	(Bachoc, 1992)	(Krejci et al., 1994)	(Gromaire, 1998)
Contribution des dépôts en réseau	20 %	30-44 %	59 %	30-80 %

La pollution des eaux pluviales, d'amplitude variable, présente de nombreuses sources et est composée d'une grande diversité de polluants. Si l'on parle souvent des eaux pluviales au sens strict, la part de la pollution issue des eaux usées de déversoirs d'orage et les dépôts dans les canalisations sont deux facteurs qui sont à prendre en compte dans une optique de gestion et de traitement.

2) Variabilités de l'hydraulique

a) Variabilité inter-sites

En un point donné, la pluie est variable en intensité et en fréquence. Elle est aussi variable en fonction de la zone étudiée, c'est ce qu'on appelle la variabilité inter-sites (Fournel, J. 2012). Celle-ci dépend des caractéristiques géographiques du bassin versant drainé, à savoir :

- Le climat de la zone étudiée : la France est découpée en trois régions hydrographiques.
- La taille du bassin versant.
- L'occupation du sol et le pourcentage d'imperméabilisation (Tab 2).
- Le type et les caractéristiques du système d'assainissement (longueur, pentes, diamètres tuyaux…).

Les caractéristiques du bassin versant étudié (surface drainée, surface active, climat, pluviométrie…) sont les premiers éléments à connaître pour gérer les RUTP.

b) Variabilité inter-événementielle

Il s'agit de la variabilité dépendant de la durée et de l'intensité de la pluie. Plusieurs phénomènes ont été soulignés par les chercheurs. De manière générale, plus la période entre deux événements pluvieux est importante, plus le dépôt de polluants au sol est élevé (Fournel, J. 2012). Plus la pluie est intense, plus les polluants sont lessivés (Farrell et Scheckenberger 2003). Dans le cas où l'été les pluies sont plus intenses et moins fréquentes et que l'hiver les pluies sont plus fréquentes mais faibles en intensité ; le détachement des particules est plutôt facilité en été tandis que le transport des particules est favorisé en hiver (Dembélé et al. 2009). Lors de fortes pluies précédées par des pluies de faible intensité, la surface mouillée semble plus propice au lessivage (Gnecco et al. 2005).

Globalement on retiendra que le temps sec favorise le dépôt des polluants sur les surfaces imperméables et le temps de pluie entraîne le lessivage des polluants par ruissellement.

c) Variabilité intra-événementielle

Cette variabilité concerne le phénomène de premier flot selon lequel la majorité des polluants est contenue dans la première partie du ruissellement. Ce phénomène est cependant difficile à quantifier, il est variable en fonction des polluants et est surtout observé pour des eaux pluviales strictes.

On estime que les 30 premiers % du volume pourraient contenir jusqu'à 80 % de la masse polluante (Grommaire, M-C. 1998). Ce phénomène est peu observé en sortie des gros bassins versants. En revanche, il est possible sur les sous bassins versants ou les petits bassins versants comprenant beaucoup de surfaces imperméables (Fournel, J. 2012). Ce phénomène dépend aussi beaucoup du type de polluants, du climat, de la fréquence et de l'intensité des pluies.

Concernant le ruissellement provenant des routes, 70 % des événements pluvieux présenteraient le phénomène de premier flot sur les matières en suspension (MES) (Gnecco et al. 2005).

Le phénomène de premier flot signifie que la majorité de la masse polluante entraînée par un événement pluvieux, serait concentrée dans les premiers volumes d'eau récoltés à l'exutoire, d'où l'intérêt de capter prioritairement le premier volume du ruissellement dans le cas d'un traitement.

C) Impacts sur le milieu récepteur et conclusion

Les RUTP peuvent affecter la qualité physico-chimique et écologique des eaux des écosystèmes récepteurs. Selon (Chocat, B. 1997) ils ont six impacts immédiats (Tab 5) :

- apports de **MES** entraînant une augmentation de la turbidité du milieu,

- apports d'eaux fortement voire totalement **désoxygénées** entraînant une chute rapide du taux d'oxygène dissous du milieu récepteur,
- apports de **matière organique biodégradable** qui va entraîner une consommation rapide de l'oxygène dissous du milieu récepteur,
- apports d'**ions ammonium NH4**, éventuellement transformés en ammoniac, forme chimique toxique selon le pH
- apports de **micropolluants**, organiques ou minéraux,
- apports de **bactéries pathogènes**.

Ces RUTP peuvent aussi perturber le milieu récepteur en créant des augmentations brutales de débits des cours d'eau, voire des surcharges hydrauliques. En période d'étiage des cours d'eau, l'effet de la pollution peut être amplifié à cause des concentrations importantes en polluants. Enfin, on peut prendre en compte le risque sanitaire et économique de ces rejets sur le processus de traitement de l'eau potable (traces des micropolluants ? Coût des traitements ?).

Le tableau suivant (Tab 4) propose un résumé des principaux effets induits par les polluants sur le milieu naturel et ses habitants.

Tableau 4 : effets possibles des principaux polluants sur l'environnement (Ferro. 2013)

Polluants	Effets
Nutriments (N, P, K…)	Rôle d'engrais pour la flore mais participent au phénomène d'eutrophisation si présents en trop grande quantité. Provoquent indirectement l'anoxie, dégradent la qualité de l'eau, font chuter la biodiversité et peuvent entraîner la mort des organismes aérobies.
ETM	Présents naturellement, l'homme les introduit massivement dans le milieu naturel. Nocifs à partir d'un certain seuil. S'accumulent dans les êtres vivants par ingestion directe (bioaccumulation) ou indirecte (ingestion d'un animal contaminé : biomagnification).
HAP	Réponses toxicologiques larges pour la faune et l'Homme : immunotoxicité, reprotoxicité, perturbation des systèmes endocriniens, génotoxicité et cancérogénicité (effets mutagènes et cancérigènes).
Pesticides	Manque de sélectivité entraînant des effets nocifs pour la faune et la flore.
Bactéries	Proviennent des réseaux unitaires ou des déjections d'animaux de compagnie. Pollution bactériologique importante sur les zones de baignade et de conchyliculture.

La pollution des eaux pluviales présente un risque pour l'environnement, la faune et la flore, mais aussi pour l'Homme, qui en est la principale cause.

CONCLUSION :

Dans cette partie, on a pu voir que les RUTP se caractérisent par leurs propriétés physico-chimiques et par leur hydraulique. Leur caractère aléatoire provient de leurs nombreuses variabilités : **variabilité inter-sites** (caractéristiques locales du bassin versant drainé), **inter-événementielle** (durée et intensité de pluie) et **intra-événementielle** (phénomène de premier flot) ; mais aussi **variabilité de la charge des polluants** (en fonction du type de surface et du type de pollution).

Tous ces éléments impactent le milieu récepteur et influent sur la toxicité (Fig 4).

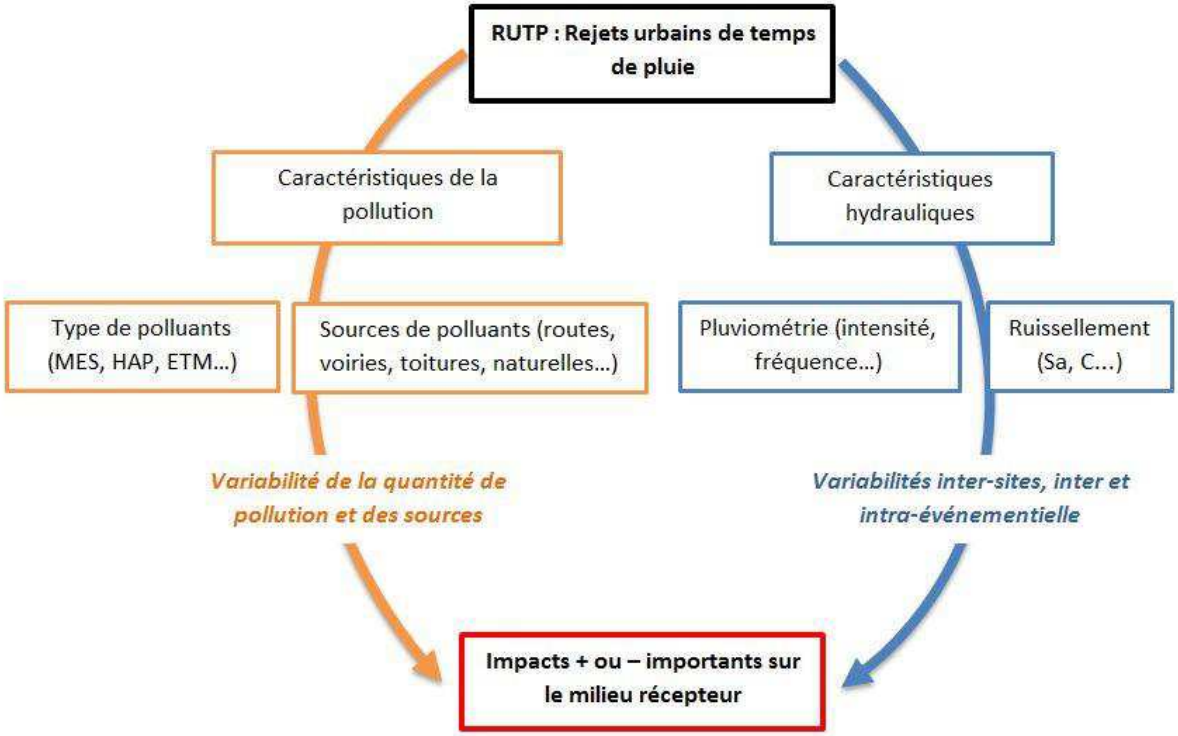


Figure 4 : résumé de la problématique de pollution des RUTP (Valentin Roland)

III. Réglementation et outils de planification

A) Réglementation

La réglementation est motrice dans la protection de l'environnement, bien la connaître est indispensable pour mener à bien un projet de gestion et de traitement des RUTP. La réglementation s'adresse d'abord aux services de l'état intervenant directement dans le domaine de l'eau, aux structures de gestion des bassins versants, à l'agence de l'eau, aux ***différents maîtres d'ouvrage*** *d'aménagements et de projets dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques, aux acteurs et financeurs intervenant hors du domaine de l'eau (urbanistes, conseils généraux…), à la communauté scientifique et aux* ***bureaux d'études*** *[4].*

1) La loi sur l'eau (3 janvier 1992) :

La loi sur l'eau, issue d'une impulsion européenne, intervient sur les principes de gestion de l'eau et de prise en compte des milieux aquatiques. Elle vise à sauvegarder les écosystèmes aquatiques et les masses d'eau contre les pollutions, protéger la ressource en eau et valoriser l'eau comme ressource économique. L'objectif principal de la loi sur l'eau est de préserver les milieux aquatiques et d'optimiser notre utilisation de l'eau. C'est à cette époque que se sont créés les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) qui fixent pour chaque bassin hydrographique ou groupement de bassins les règles d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et les préconisations pour atteindre les objectifs en termes de qualité et de quantité des eaux (Ferro. 2013).



Figure 5 : les 12 bassins français [4]

2) Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE (20 octobre 2000)

La directive cadre sur l'eau détermine un cadre européen pour une politique commune dans le domaine de l'eau. Elle a pour but de préserver et de restaurer les eaux superficielles (eaux douces et côtières) et les eaux souterraines. Deux objectifs principaux sont fixés : atteindre le bon état écologique des eaux en 2015 et réduire progressivement, puis supprimer les rejets des substances prioritaires dangereuses d'ici 2021. La date buttoir pour l'atteinte des objectifs est l'année 2027 [5].

Pour ce faire, la DCE a comme principes une gestion des eaux par bassin versant, la fixation d'objectifs par 'masse d'eau', une planification et une programmation communes, une analyse économique et environnementale ainsi que la consultation du public.

Remarque : l'articulation de la DCE et un exemple de programme de mesures sont présentés en partie annexe de ce mémoire.

3) La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (la LEMA du 30 décembre 2006)

Cette loi propose des outils pour lutter contre les pollutions diffuses et la reconquête de la qualité écologique des cours d'eau (continuité écologique, débit minimum des ouvrages hydrauliques…). Elle renforce la gestion locale et concertée des ressources en eau [6].

4) L'arrêté du 22 juin 2007

Rattaché au code des collectivités territoriales et de l'environnement, l'arrêté du 22 juin 2007 prévoit « des prescriptions techniques qui permettent de garantir l'efficacité de la collecte et du traitement des eaux usées urbaines ».

Entre autres, il interdit le raccordement des eaux pluviales au réseau d'eaux usées (réseau unitaire) (Ferro. 2013).

Quatre grandes lois dictent la réglementation actuelle sur l'eau : la loi sur l'eau, la DCE, la LEMA et l'arrêté du 22 juin 2007.

Ces réglementations mettent en place des structures de gestion, fixent des objectifs à atteindre, proposent des outils et des prescriptions techniques afin de retrouver un bon état écologique des cours d'eau. Elles s'appliquent aux eaux usées comme aux eaux pluviales urbaines. Elles s'adressent à tous les acteurs du domaine de l'assainissement et plus particulièrement aux maîtrises d'ouvrage intervenant dans les phases amont d'un projet d'assainissement.

Le site http://www.gesteau.eaufrance.fr/ permet de retrouver facilement les outils de gestion intégrée de l'eau en fonction de la circonscription de bassin, la région, le département ou la commune.

Le site suivant permet de se tenir informer de la liste des substances prioritaires citées dans la DCE : http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:226:0001:0017:FR:PDF. Une partie de ces 45 substances concernées provient directement des eaux pluviales.

B) Les outils de planification

Pour mettre en pratique des politiques nationales à l'échelle locale au cas par cas, les acteurs locaux disposent de divers plans et programmes, outils du droit français.

1) Le SCOT

Le guide intercommunal Schéma de COhérence Territorial fixe les grandes orientations d'aménagement et de développement durable en définissant une politique publique à mettre en œuvre en matière d'habitat, d'économie, de déplacements, d'environnement et d'organisation spatiale. Concrètement, le SCOT peut « limiter les possibilités d'imperméabilisation des sols et d'occupation des espaces utiles à l'écoulement des eaux ou à l'amortissement des crues, ainsi qu'identifier les secteurs sensibles au ruissellement urbain » (Ferro. 2013).

2) Le PLU

Le Plan Local d'Urbanisme fixe les règles de construction et d'aménagement du territoire au niveau d'une collectivité. Il permet de définir la vocation de toute zone du territoire. Une commune peut instaurer dans son PLU des prescriptions pour imposer aux constructeurs et aménageurs de « favoriser l'infiltration ou le stockage temporaire des eaux pluviales » [2].

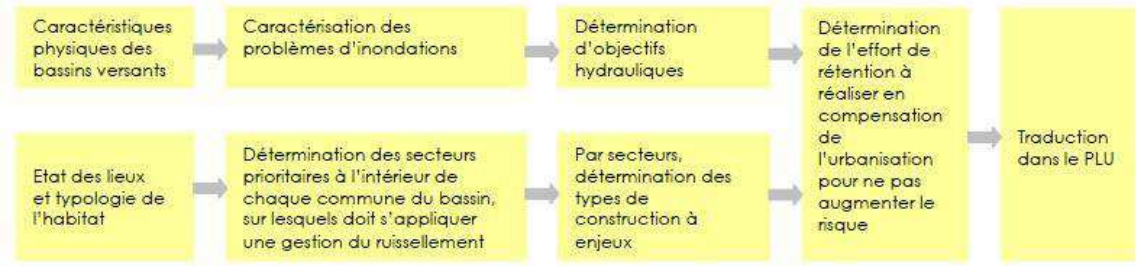


Figure 6 : la traduction de la réglementation sur les eaux pluviales dans le PLU [2]

3) Le règlement d'assainissement

Le règlement d'assainissement définit « les conditions et modalités de déversement des eaux usées et pluviales dans le réseau collectif de la collectivité ». Aujourd'hui, il n'y a pas d'obligation de collecte et de traitement des eaux pluviales issues des parcelles privées, cependant un raccordement peut être « proposé, réglementé voire imposé par le règlement d'assainissement ». Il s'agit d'un choix technique, économique et politique propre à la commune, qui se base également sur le zonage d'assainissement pluviale ainsi que d'autres documents comme le PPRI. Bien souvent, l'intérêt pour la commune est de favoriser une gestion à la source des eaux pluviales pour éviter tout problème d'inondation [2].

4) Le zonage d'assainissement pluvial

Le zonage d'assainissement pluvial programme l'assainissement communal ou intercommunal en donnant des prescriptions (aspects qualitatifs et quantitatifs), telles que :

- Le débit de fuite autorisé (en l/s/ha).
- Le principe technique de gestion des eaux pluviales (infiltration, stockage…).
- Le traitement à mettre en œuvre.

Pour être valide, il doit faire l'objet d'études préalables, d'un projet de zonage cartographique soumis à une enquête publique, d'une approbation communale.

C'est un document à intégrer au PLU pour qu'il ait une valeur réglementaire. Il permet d'intervenir sur les zones déjà desservies par un réseau collectif mais aussi sur les zones à urbaniser (Ferro. 2013).

5) Le code des collectivités territoriales : la taxe pluviale

Les communes ont à leur charge la gestion de leurs eaux pluviales. Le développement des systèmes séparatifs ou l'entretien des systèmes existants sont actuellement pris en charge par les budgets communaux. Ces dépenses sont difficiles à évaluer, leur montant dépasserait le milliard d'euros au niveau national. Dans certaines grandes villes, on en estime même le coût annuel à 100 €/hab.

La taxe pluviale a donc été créée dans cette optique de manière à réduire l'impact des eaux pluviales sur l'environnement mais est devenue effective à partir du 6 juillet 2011.

Cette taxe est attribuée de manière facultative selon le souhait des collectivités aux propriétaires publics ou privés d'un terrain ou d'une voirie dans une zone urbaine ou à urbaniser et porte sur la surface imperméabilisée de la parcelle. Son produit finance les installations de gestion des eaux pluviales urbaines et leur entretien (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie 2012).

6) Le PPRI

Le Plan de Prévention du Risque d'Inondation prévient les inondations en fixant des règles d'occupation des sols et de construction de bâtiments. Il propose un zonage du risque d'inondation et limite, voire interdit la construction de nouveaux bâtiments, oblige les propriétaires à stocker les eaux de pluie sur leur parcelles pour réduire les conséquences de nouvelles urbanisations (Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables 2006).

CONCLUSION :

De nombreux outils existent pour traduire la réglementation et proposer des orientations d'aménagement sur les eaux pluviales. Ces règles d'aménagement et d'assainissement s'appliquent à différentes échelles : de l'intercommunalité à la commune.

Un projet territorial concernant une gestion des eaux pluviales peut être initié en ayant connaissance des documents spécifiques à l'eau ainsi que des documents relatifs à l'aménagement (Fig 7).

Cette dualité renforce le poids de la réglementation sur les eaux pluviales qui étaient auparavant peu prises en considération dans les projets et peu normées. La réglementation est à l'origine d'une bonne impulsion et a su valoriser cette filière d'avenir.

*[Pour plus d'informations sur l'application de la réglementation voir '**ANNEXE II** : Réglementation et programme de mesures', pp 46-49]*

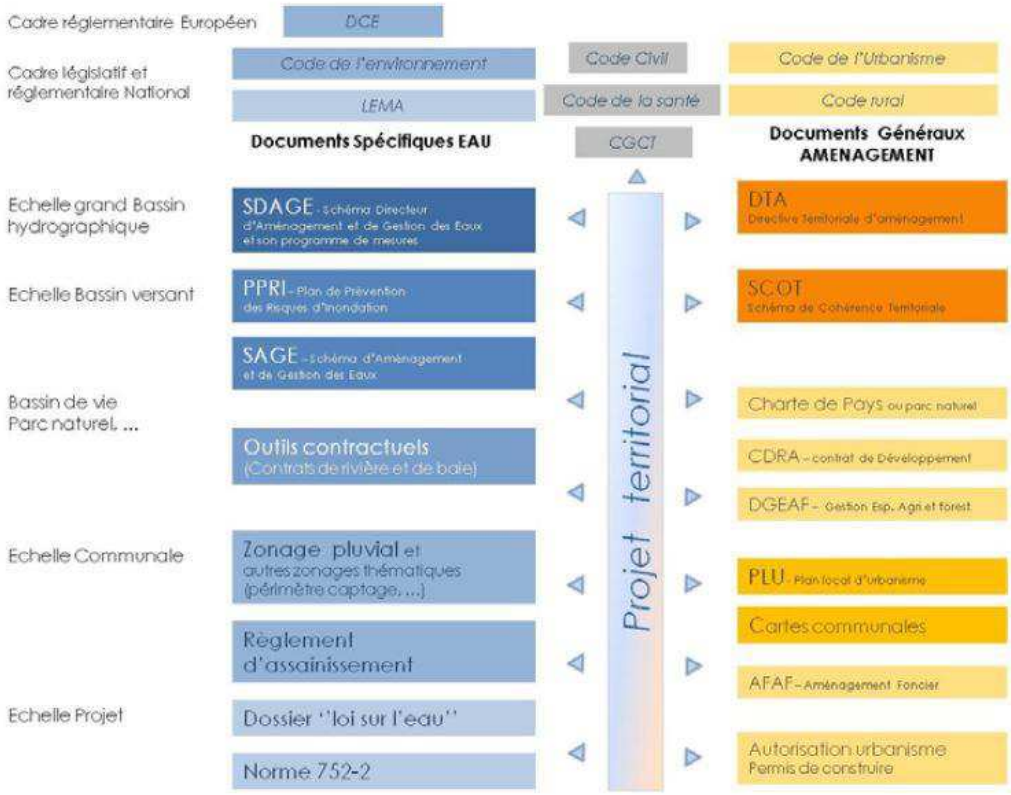


Figure 7 : liens entre les documents réglementaires et les documents d'aménagement pour l'élaboration d'un projet territorial en rapport avec l'eau [4]

IV. Comment limiter la pollution ?

La réglementation et les outils de planification vont impulser cette démarche, la Fig 8 nous indique où intervenir pour diminuer et traiter la pollution pluviale.

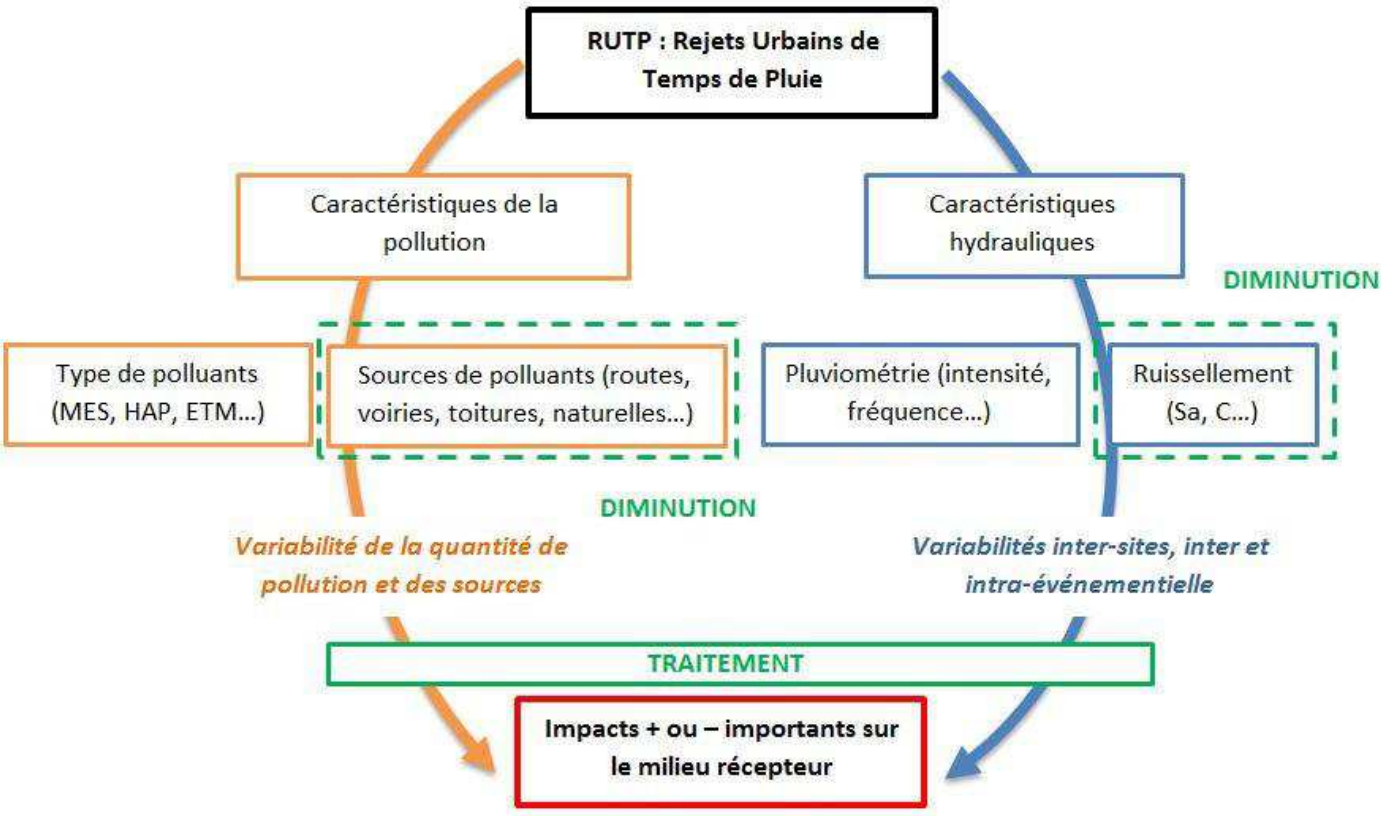


Figure 8 : où et sur quoi intervenir pour limiter la pollution des RUTP ? (Valentin Roland)

Pour limiter la pollution des RUTP, il existe deux possibilités :

A. Prévention : diminution de la source des polluants
B. Curation : traitement des polluants

A) Prévention

1) Réduire les émissions à la source

Il s'agit d'identifier les sources de polluants par zone étudiée et de déterminer comment réduire ces sources. La pollution peut provenir notamment :

• de la construction : matériaux de construction des bâtiments (toitures, matériaux synthétiques…), adjuvants mis en œuvre dans certains matériaux (produits de traitements des bois.), matériaux anciens récupérés et n'étant pas aux normes sanitaires actuelles,

• de l'entretien des voiries : utilisation de pesticides, détergents, produits de déverglaçage,

• des déchets urbains : restes des marchés, poubelles renversées…

Les différents acteurs (constructeurs, aménageurs, services techniques, municipalités etc.) doivent être responsables et proposer des solutions préventives pour lutter contre ces pollutions. Des outils existent pour les assister : fiches de données sécurité FDS et fiches déclaration environnementale et sanitaire FDES des produits.

Ces fiches permettent d'identifier les contaminants listés dans le SDAGE. Toutes ces mesures doivent bien sûr être accompagnées d'un volet éducatif à destination des professionnels comme des citoyens (Eau Seine Normandie. 2013).

2) Privilégier une gestion très en amont des eaux pluviales

Par gestion en amont des eaux pluviales ou bien gestion à la parcelle, on entend respecter le plus possible le cycle hydrologique et donc l'infiltration in situ des eaux pluviales, les objectifs sont de limiter le ruissellement et donc les volumes d'eau en aval de bassin versant, limiter le transport des polluants et une très forte concentration de ceux-ci à l'exutoire, infiltrer la goutte d'eau le plus près de l'endroit où elle tombe pour recharger la nappe phréatique.

Dans l'idéal, chaque parcelle dispose d'un système pour infiltrer la totalité des eaux pluviales (Fig 9). La réalité est autre : dans beaucoup de cas ce genre de système est inexistant lorsqu'il n'y a pas assez de place pour les mettre en œuvre (milieu urbain dense) (Eau Seine Normandie. 2013).

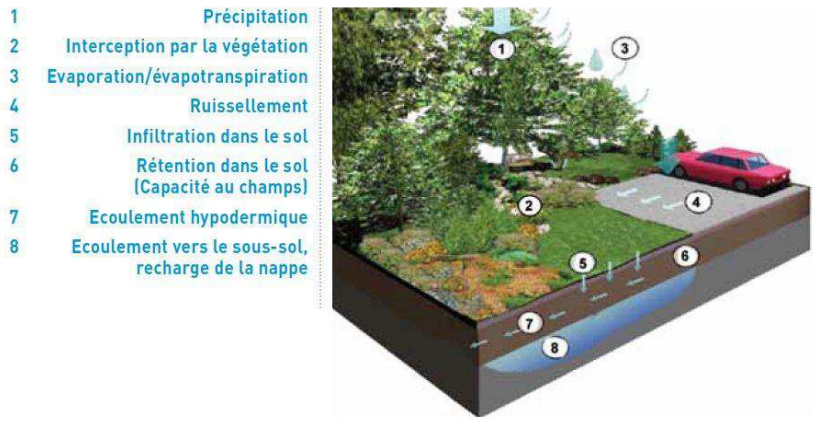


Figure 9 : les différentes variables hydrologiques dans le concept d'aménagement paysager absorbant (Eau Seine Normandie. 2013)

3) Éviter les transports ou le stockage dans des infrastructures souterraines

Lorsque c'est possible, il faut préférentiellement choisir des ouvrages de gestion à ciel ouvert (noues, tranchées drainantes…), (Fig 10) pour mieux contrôler les réseaux (les canalisations souterraines présentent parfois des dysfonctionnements non visibles). Cette action permet aussi d'écrêter les débits de fuite et limiter les inondations.

Globalement, cette orientation permet souvent une économie financière et une plus-value écologique et paysagère (Eau Seine Normandie. 2013).



Figure 10 : tranchée drainante et réservoir paysager (Roland, V. 2012)

4) Déconcentrer les eaux et limiter les distances de ruissellement

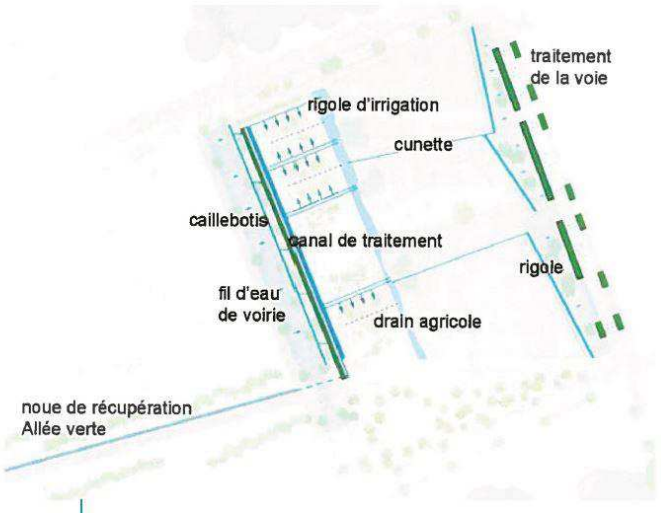


Figure 11 : cheminement des eaux pluviales du parc Ouagadougou de Grenoble (Roland, V. 2012)

Plus on regroupe les eaux pluviales dans le même ouvrage, plus on concentre les polluants et les débits en un point donné. Ici, l'idée est de multiplier les systèmes pour :

• Réduire les surfaces d'apport (surfaces imperméables) et la distance jusqu'à l'ouvrage de collecte.

• Favoriser le ruissellement superficiel (devers de voirie plutôt que grille avaloir).

• Utiliser des organes de transfert plus lent : noues et tranchées drainantes avec des faibles pentes et des obstacles pour casser le débit (Fig 11) (Eau Seine Normandie. 2013).

CONCLUSION :

Nous avons observé que la prévention de la pollution pluviale doit passer par la diminution des polluants en s'attaquant à leur source mais aussi par la mise en place d'une stratégie de gestion alternative des RUTP, de préférence in situ, avec des ouvrages aériens et un cheminement plus lent. Ces principes de base présentent l'avantage de réduire les concentrations de polluants, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol, avoir un accès direct aux ouvrages en cas de contrôle et limiter les débits de ruissellement.

B) Concevoir des ouvrages alternatifs pour la gestion et le traitement

La gestion alternative des eaux pluviales se décompose comme suit : collecte des eaux, transport des eaux, stockage des eaux, infiltration des eaux.

1) « La chaîne des pluies d'orage »

Selon (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007), la chaîne des pluies d'orage (Fig 12) met en relation plusieurs maillons identifiés comme des ouvrages de gestion des eaux pluviales. Ils sont stockants, infiltrants ou mixtes. Ils remplissent chacun un rôle dans le cheminement de l'eau de pluie. Celle-ci peut d'abord être captée par des toitures végétalisées par exemple avant d'être canalisée par des rigoles, des caniveaux ou des canaux. Ensuite, elle est stockée dans des réservoirs paysagers ou des bassins. Parallèlement, elle est infiltrée par des pavés perméables ou poreux, des tranchées drainantes ou des noues. Si cette notion prend tout son sens lors des pluies d'orage, elle est également valable pour toutes les autres pluies.

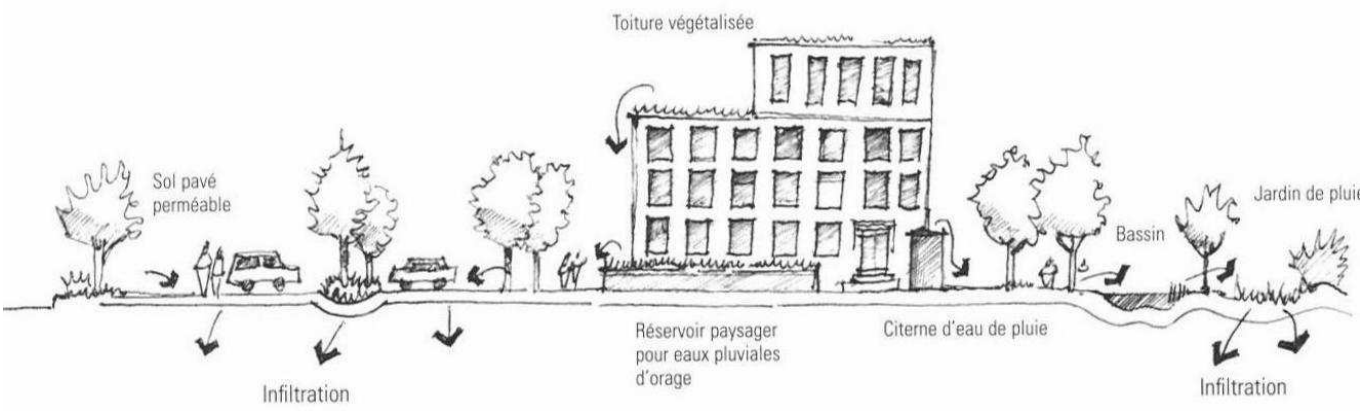


Figure 12 : la chaîne des pluies d'orage (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007)

2) Le principe de surverse

Le principe de surverse est le moteur de la chaîne de pluies d'orage, il consiste à créer des ouvrages en série de manière à assurer le débordement de l'eau d'un ouvrage à l'autre en optimisant ainsi son stockage, ralentissant également son débit.

Ce principe de surverse permet également de différencier certaines zones au sein de la parcelle : bassin constamment en eau, zone humide, espace inondable... et d'optimiser l'espace plutôt que d'avoir un énorme bassin qui est rarement totalement rempli et qui occupe beaucoup d'espace.

Ces fluctuations de niveau d'eau s'intègrent parfaitement dans la démarche environnementale de gestion alternative des eaux pluviales et améliorent la qualité de la biodiversité en fractionnant l'espace à aménager en différentes zones ayant chacune leurs propriétés et leurs spécificités.

3) L'adaptation de la technique de biorétention

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, le cheminement de l'eau a trois objectifs : limiter le débit de ruissellement, stocker un volume d'eau et retenir, voire dégrader les polluants.

Le troisième objectif a été révélé par le second. En effet, en stockant les eaux de ruissellement dans des ouvrages de rétention (bassins par exemple), on a constaté la diminution de la charge polluante en faisant le bilan entre l'entrée et la sortie. Il s'agit du phénomène de biorétention (Dunnett, N. et Clayden, A. 2007) qui consiste à utiliser les propriétés chimiques, biologiques et physiques des plantes et des sols pour contrôler la qualité et la quantité de l'eau dans un espace.

Ce phénomène naturel et vivant a inspiré les aménageurs qui ont progressivement développé et adapté des techniques comme les filtres plantés pour gérer et traiter les RUTP.

4) Les différents types d'ouvrages

Il existe de nombreux ouvrages de gestion alternative des eaux pluviales qui peuvent être classés par fonction (Fig 13) :

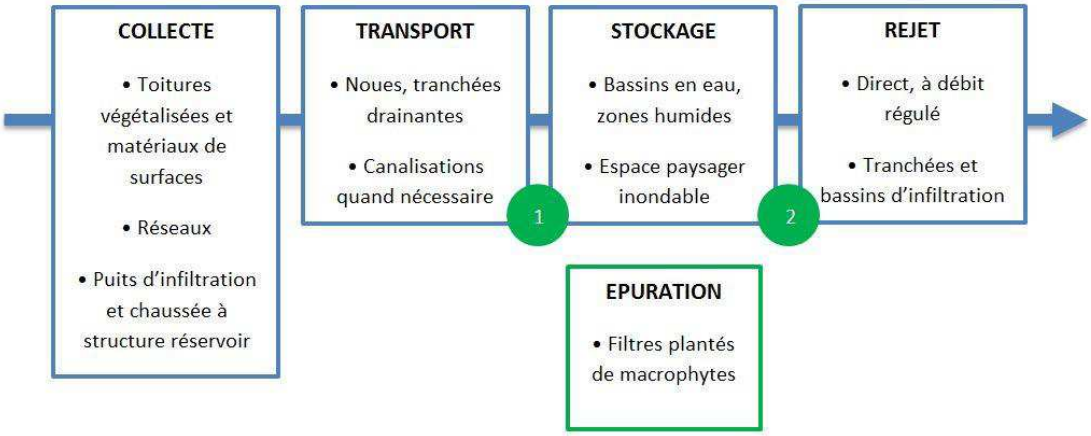


Figure 13 : différents types d'ouvrages de gestion et de traitements alternatifs des eaux pluviales et leur fonction (Valentin Roland)

Il existe également de nombreux autres types d'ouvrages classiques pour lutter contre la pollution des eaux pluviales comme les dessableurs et les dégrilleurs qui effectuent un prétraitement de la pollution en retenant les particules plus grossières (solides et objets flottants) *[voir '**ANNEXE III** : Quelques ouvrages classiques de traitement de eaux pluviales', pp 50-51].*

Les débourbeurs et les déshuileurs ne sont pas adaptés au traitement des eaux pluviales, au moins pour les pollutions chroniques. Les déshuileurs-décanteurs associent une double fonction qui les rend efficaces en termes de rendement.

CONCLUSION :

La gestion alternative des eaux pluviales se base sur un cheminement de l'eau par surverse dans des espaces tampons qui favorisent la dépollution de l'eau. Elle peut être associée à des ouvrages classiques qui peuvent trouver une place complémentaire notamment pour la gestion des pollutions accidentelles mais aussi en tant qu'organes de prétraitement.

V. Les filtres plantés de macrophytes

Bien souvent, il est question de filtres plantés de roseaux (FPR), Phragmites australis ou Phragmites communis, plante qui se distingue pour ses nombreuses qualités. Cependant, dans ce mémoire, nous prenons le parti de les nommer filtres plantés de macrophytes (FPM) dans le sens où il existe des filtres avec des plantations multi-spécifiques et que c'est une thématique qui mérite d'être approfondie.

A) Le FPM intégré à un système de traitement végétalisé

Les filtres plantés de roseaux ou, plus généralement, plantés de macrophytes, constituent un élément de la chaîne des pluies ayant vocation à traiter les eaux tout en gérant l'hydraulique. Ils sont souvent intégrés à un système qu'on appelle **système de traitement végétalisé.**

1) Les grands types de systèmes de traitement végétalisés par filtre planté en France

Comme vu précédemment, le filtre planté pour les RUTP est une filière récente en France, adaptée du filtre planté pour le traitement des eaux usées. On dénombre une bonne quinzaine de réalisations en France *[voir **ANNEXE IV** : Quelques réalisations de filtres plantés de macrophytes français', pp 52-67]* qui sont destinées pour la majorité à des clients publics. Un des premiers filtres, construit en 2000, est celui de Geispolsheim (67) et permet la gestion et le traitement des eaux pluviales strictes d'un centre culturel et sportif.

Globalement, si le design des filtres reste sensiblement le même à travers les projets, on distingue cependant trois grandes combinaisons de systèmes de traitement végétalisé :

a) Pour la majorité des bassins versants

• COMBINAISON 1 :

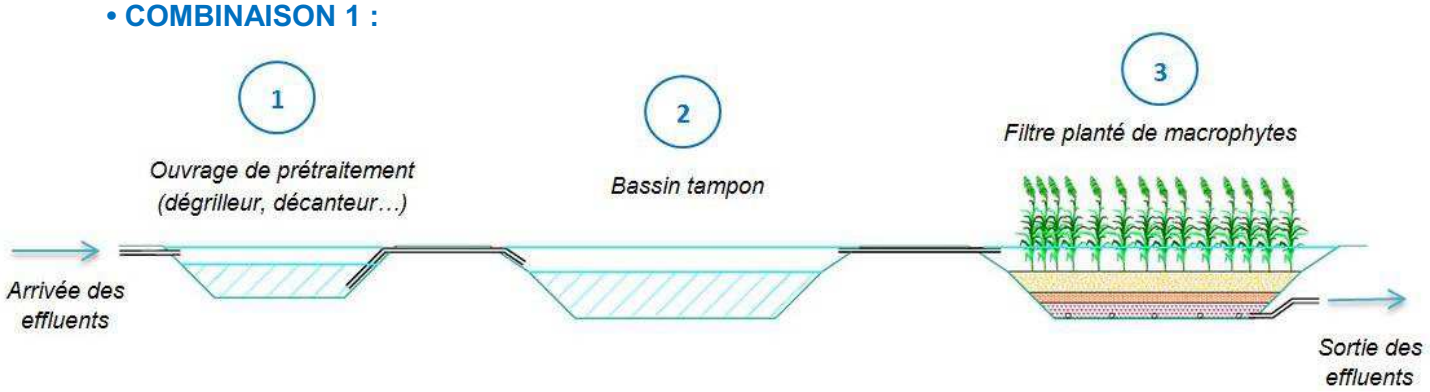


Figure 14 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 1 (Valentin Roland)

Ce système présente l'intérêt d'un stockage des eaux en amont du filtre et par conséquent du traitement des gros événements pluvieux et d'une régulation du débit avant de parvenir au filtre.

Cependant, le bassin tampon peut aussi agir comme un décanteur en retenant une partie des polluants, ce qui questionne alors l'intérêt du filtre. De plus, à moins d'avoir un système de dérivation ou d'avoir bien évalué le dimensionnement, les petites pluies ne parviennent pas au filtre, ce qui pose également un problème d'alimentation en eau et de potentiel stress hydrique pour les plantes.

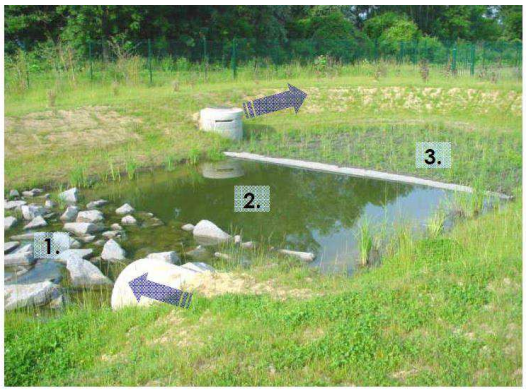


Figure 15 : cheminement des eaux pluviales récoltées à travers le FPM de Geispolsheim [7]

► **Exemple** (p 56)- La conception peut répondre à ces risques en proposant un système compact comme celui de Geispolsheim, qui regroupe les trois zones en une et propose ainsi une alternative intéressante.

1- Plateforme brise jet avec enrochements : casse le débit et retient les gros déchets

2- Bassin de stockage planté : en contact direct avec le filtre planté (3)

• COMBINAISON 2 :

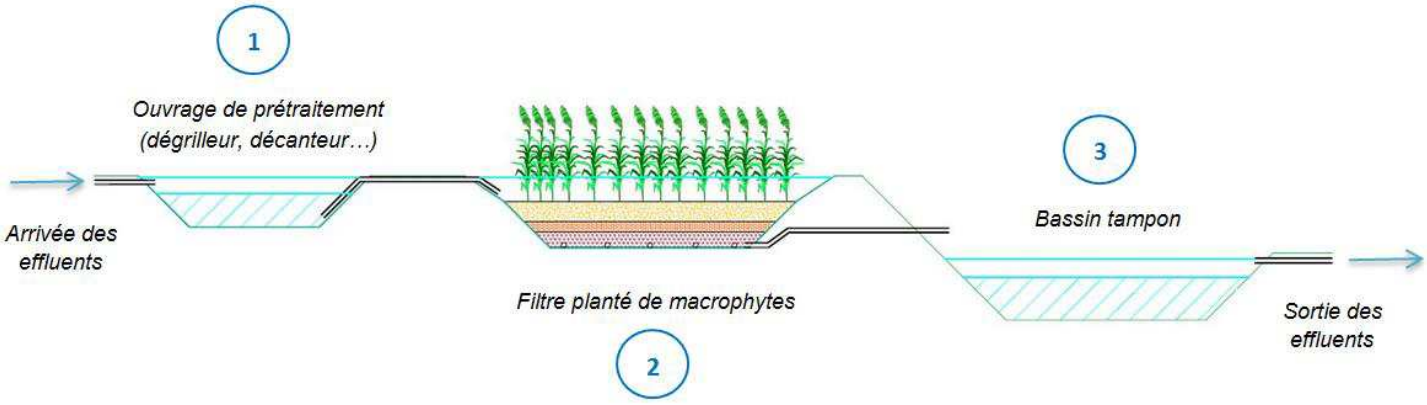


Figure 16 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 2 (Valentin Roland)

Ici, le filtre planté et le bassin tampon sont tout simplement inversés par rapport au premier cas. L'intérêt est de traiter la majorité des pluies et notamment le phénomène de premier flot (pouvant contenir la majorité des polluants, *voir **partie II** RUTP*) et d'affiner le traitement avec un bassin tampon végétalisé qui a également un premier rôle de stockage.

La difficulté dans ce cas est de réguler le débit en amont de filtre pour éviter tout risque de surcharge hydraulique et d'affouillement des premières couches de filtration. Et bien sûr, le dimensionnement du bassin tampon doit être choisi selon une pluie de période de retour donnée en cohérence avec les objectifs de gestion pour ne pas être toujours en surverse ou à sec.

► **Exemple** (p 55) - Le système de traitement végétalisé de Saint-Germain-lès-Arpajon (2012) est un bon exemple de cette configuration puisqu'il propose un débit entrant régulé dans un bassin-décanteur, un filtre planté puis une mare et une zone humide pour assurer le tamponnement des eaux et créer des habitats avant rejet dans le milieu naturel.

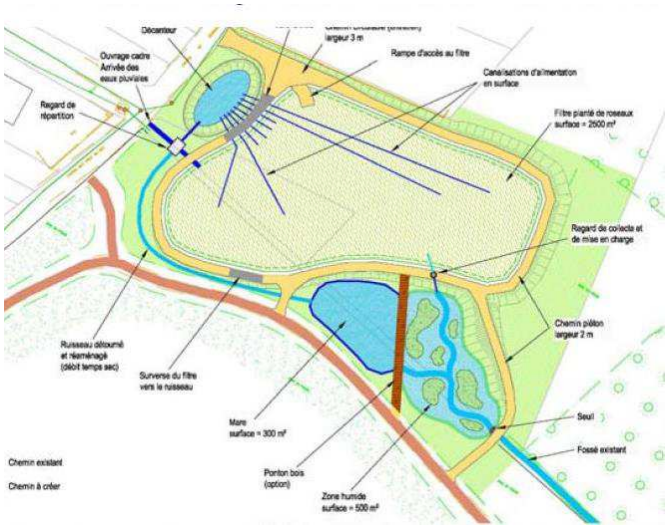


Figure 17 : plan masse du dispositif de traitement végétalisé de Saint-Germain-lès-Arpajon [7].

b) Pour les petits bassins versants ou pour des cas adaptés

• COMBINAISON 3 :

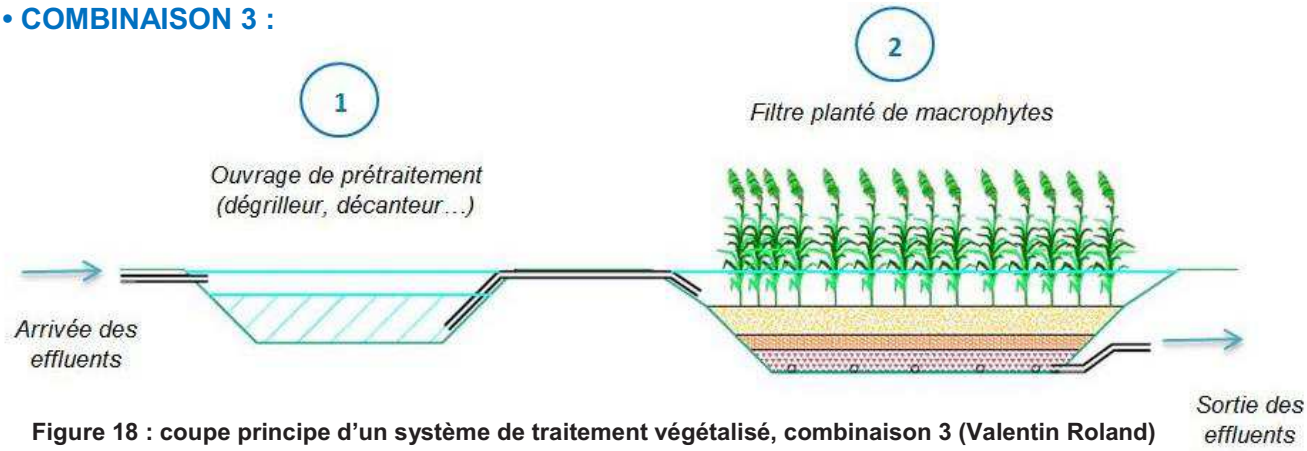


Figure 18 : coupe principe d'un système de traitement végétalisé, combinaison 3 (Valentin Roland)

Cette combinaison s'utilise pour les petits bassins versants ne nécessitant pas forcément une rétention importante avant rejet dans le milieu, ou lorsqu'il n'y a pas de place pour tamponner l'eau par la création d'un bassin. Autre possibilité : si le filtre présente une surface assez importante pour retenir les effluents d'un grand bassin versant (hauteur de revanche suffisante) et les traiter, il joue lui-même le rôle de bassin tampon.

► **Exemple** (p 62) - Le filtre planté de Marcy-l'Étoile (Programme SEGTEUP et ADEPTE) présente cette configuration : dégrilleur et brise jet en gabions, puis filtre planté avec une grande hauteur de revanche pour le stockage des eaux.



Figure 19 : Dispositif gabions anti-affouillement pour les gros débits et filtre à deux bassins avec une grande capacité de stockage (SEGTEUP. 2013)

c) Les parcs utilisant cette technique de phyto-épuration

La gestion alternative des eaux pluviales a développé des techniques de stockage et d'infiltration sur des espaces publics. Les aménageurs ont su intégrer ces eaux dans un contexte urbain, associant souvent fonctionnalité et esthétique, comme le montre la création de parcs paysagers constitués de noues, canaux, bassin de rétention à sec ou en eau, parcs qui plus est ouverts au public. Ces réalisations de plus en plus nombreuses, sont généralement très appréciées des riverains et des habitants. La technicité des concepteurs se manifeste dans l'implantation de plus en plus fréquente de filtres plantés de roseaux ou de roselières au sein de ces zones, dans le but d'améliorer les performances de traitement. C'est dans ce contexte que le FPM pour la gestion et le traitement des RUTP est appelé à

connaître un succès grandissant, dans la mesure où les critères d'intégration paysagère et d'acceptabilité sociale sont davantage pris en compte.

► **Exemple** (p 66) - Le parc technologique de la Porte des Alpes (69) a proposé très tôt (années 90) une gestion des eaux pluviales (EP) par les plantes et l'espace public : noues, bassin à sec, en eau et même une roselière qui joue le rôle de filtre planté.



Figure 20 : photos du parc technologique de la Porte des Alpes, 69 (Valentin Roland)

2) Le rôle de l'ouvrage de prétraitement

Avant le filtre, il est indispensable de disposer d'un ouvrage de prétraitement qui peut avoir différentes formes : dégrilleur (grille, gabion…), décanteur (classique : horizontal/vertical ou simple petit bassin de décantation), débourbeur (séparateur à hydrocarbures).

Son rôle premier est de débarrasser l'effluent à traiter d'éléments gênants solides (gros déchets) et de certaines particules pouvant accélérer le colmatage du filtre. Parallèlement, il assure une fonction de sécurité en cas de pollution accidentelle par exemple.

3) Le rôle du bassin tampon

Le bassin tampon joue bien sûr un rôle majeur dans la régulation hydraulique, qu'il soit placé avant ou après le filtre. Il retient les polluants et peut aussi permettre une infiltration progressive dans le sol (combinaison 2) si les conditions du site le permettent, et donc affiner les performances épuratoires.

Le bassin tampon peut apporter une certaine valeur ajoutée au système de traitement végétalisé grâce au développement de la faune et de la flore.

La solution n'est pas d'adopter UN type de système de traitement végétalisé, mais d'effectuer un travail de conception et de dimensionnement au cas par cas.

La mise en œuvre d'un système de traitement végétalisé par filtre planté de macrophytes doit être pensée au sein de la chaîne de pluie, en tant que maillon de celle-ci, et associée à des ouvrages de gestion complémentaires.

B) Zoom sur le FPM

1) Un filtre planté adapté d'un système déjà existant

Adaptée du filtre planté de roseaux pour le traitement des eaux usées déjà bien implanté en France en tant que 'station d'épuration écologique', la technique est récente pour les eaux pluviales et les RUTP. Elle apparaît progressivement puisque l'on compte une vingtaine de

réalisations seulement dans l'hexagone depuis 2000. Ce type de système de traitement des RUTP s'applique notamment :

- Aux ruissellements des eaux pluviales de zones résidentielles à forte densité de population.
- Aux surverses de DO fréquentes et fortement chargées (matière organique, composés azotés).
- Aux problématiques spécifiques : zone industrielle avec polluants spécifiques, ruissellement routier ou autoroutier avec métaux et micropolluants organiques.

Le procédé se décline au moins sous la forme d'un ouvrage de prétraitement suivi d'un filtre planté à écoulement vertical d'un seul étage (souvent pour les eaux usées, deux étages sont nécessaires) selon la conception allemande (Fournel, J. 2012).

Dans la littérature anglophone, les filtres plantés sont appelés « constructed wetlands », traduit par marais artificiels ou marais construits. (Vymazal 2007) a proposé une classification de ces constructed wetlands :

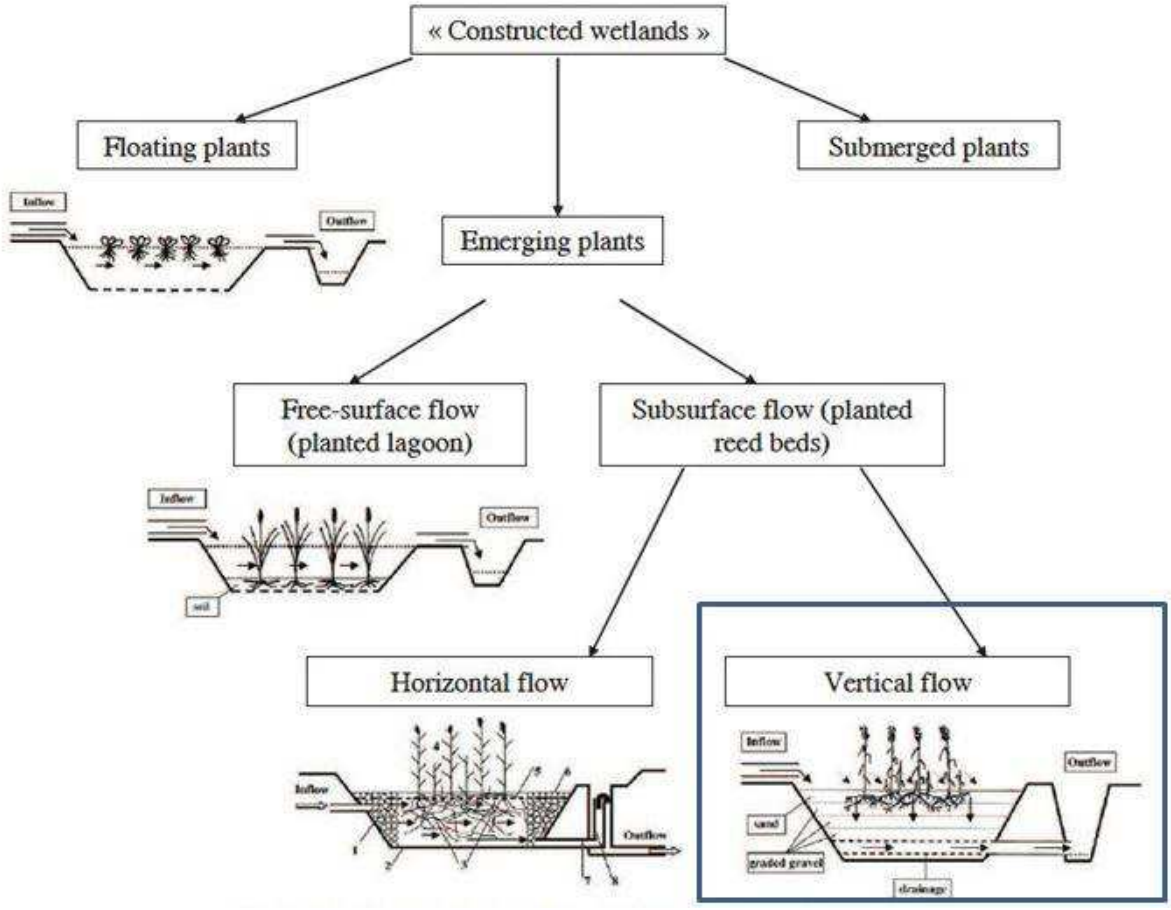


Figure 21 : classification des marais artificiels selon (Vymazal. 2007)

Le type de filtre le plus couramment utilisé pour le traitement des RUTP est donc un massif filtrant à écoulement vertical. Par rapport aux FPR pour le traitement des eaux usées, il est complété par une réserve hydrique.

À ce jour, il existe encore très peu de guides de conception et de dimensionnement de ce genre de systèmes, la technologie étant récente. Le FAWB en Australie (2009) est sûrement le premier du nom.

Afin d'optimiser les performances en fonction des régions concernées, un programme de recherche s'est tenu en France entre 2009 et 2013 : le projet SEGTEUP. La majorité des informations techniques sur ce genre de système a été fourni à l'issu de ce programme sous forme de bases de conception et de dimensionnement. Bien sûr il existe également de nombreuses sources dans d'autres publications scientifiques.

Pour compléter ce travail est né le projet ADEPTE qui vise à rassembler toutes ces connaissances dans un guide technique à l'attention des constructeurs.

En parallèle, certains sites de filtres plantés font l'objet d'un suivi scientifique ayant pour but d'améliorer les performances hydrauliques et épuratoires des FPM comme par exemple le site d'Ostwaldergraben, qui vise notamment à comparer les performances entre le filtre vertical et le filtre horizontal.

*[Voir '**ANNEXE V** : Programmes de recherche français actuels', pp 68-71]*

2) Profil-type et principe de fonctionnement

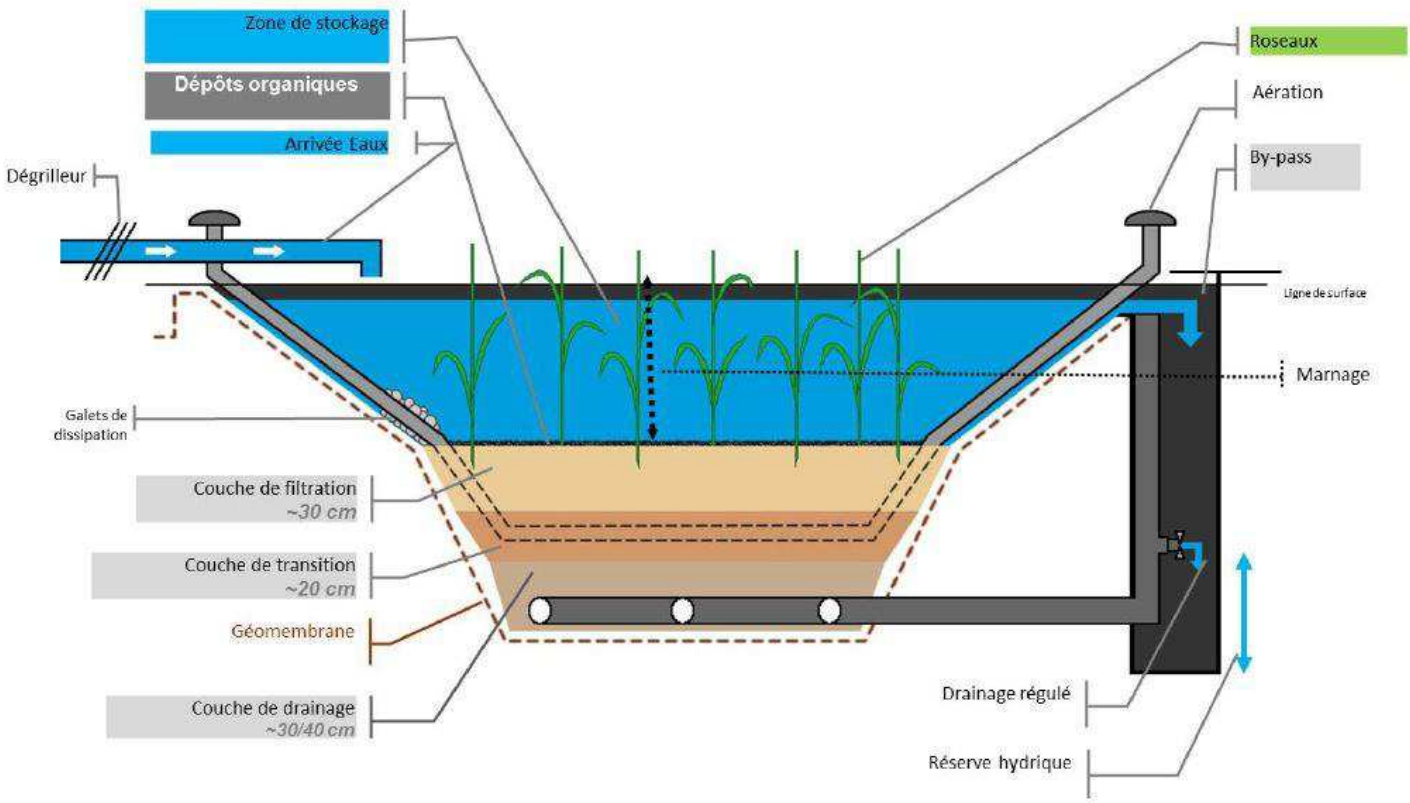


Figure 22 : coupe type d'un FPM adapté aux RUTP (SEGTEUP. 2013)

Voici le profil-type d'un filtre planté de roseaux pour le traitement des RUTP selon (SEGTEUP 2013). Le principe est simple : l'eau arrive de manière gravitaire dans le filtre, traverse les différentes couches de granulats, est collectée par un système de drainage puis rejoint le milieu naturel, épurée de ses polluants.

Plusieurs éléments constitutifs sont indispensables au bon fonctionnement du filtre et doivent être pris en compte :

a) L'entrée du filtre :

L'ouvrage de prétraitement est situé en amont du filtre pour retenir les polluants pouvant colmater le filtre. Cet ouvrage peut être complété par un système de brise-jet qui écrête le débit d'entrée des effluents et évite l'affouillement. Une hauteur de revanche permet de stocker l'eau au-dessus de la surface du massif filtrant pour répartir et contenir les RUTP.

b) Le massif filtrant :

Il se compose de trois couches de granulats aux hauteurs minimales mais variables et à la granulométrie spécifique : la couche filtrante, la couche de transition et la couche drainante. Un dispositif d'aération permet d'oxygéner le filtre planté en surface de végétaux aquatiques (généralement des roseaux) qui vont influer sur l'hydraulique et les performances épuratoires.

c) L'organe de sortie :

La totalité du filtre est contenu dans une géomembrane qui évite toute infiltration avant rejet dans l'environnement. Le dispositif de drainage, situé au fond du filtre, permet de récolter les eaux filtrées et est fermé par des cheminées qui offrent un accès aérien pour déboucher les drains en cas de colmatage. Les effluents sont recueillis dans un collecteur avec un débit de fuite régulé ainsi qu'un système permettant d'ajuster le niveau d'eau de la réserve hydrique nécessaire à la survie des plantes. Le filtre est muni d'un système de by-pass (trop-plein, surverse ou dérivation) pour éviter le débordement du filtre en cas de surcharge hydraulique.

De nombreux processus complexes et interdépendants vont impacter le fonctionnement du filtre, on distinguera trois grands axes à prendre en compte :

- Les processus hydrauliques
- Les processus de rétention et de dégradation des polluants
- Le rôle des plantes

3) L'hydraulique du filtre

Le but du filtre sur l'hydraulique est d'atténuer les pics de débit, de créer une charge d'eau sur un milieu poreux qui soit propice à la filtration et aussi d'assurer un temps de contact de l'eau dans la masse filtrante.

a) Temps de séjour

Le phasage hydraulique lors d'un événement pluvieux peut se résumer de la manière suivante (SEGTEUP 2013) :

- Saturation progressive du milieu.
- Saturation complète et stockage de l'eau en surface.
- Désaturation progressive (débit régulé) et oxygénation du filtre.
- Phase sèche avec une remontée capillaire de l'eau grâce à l'évapotranspiration des plantes qui puisent dans la réserve hydrique.

La difficulté de l'hydraulique est de gérer le caractère stochastique (voir chapitre caractéristiques des RUTP) des RUTP pour pouvoir d'une part stocker de gros volumes d'eau, et d'autre part garantir un temps de séjour suffisant pour traiter l'eau. (Greenway 2004) propose un temps de séjour minimum de 10 à 15 h pour permettre une efficacité de traitement tandis que (SEGTEUP 2013) propose un temps de drainage de 24 h d'un volume de référence à traiter et exceptionnellement 30 h.

Le temps de séjour de l'eau dans le filtre doit être compris entre 10 et 30 h, l'optimal étant 24 h.

La garantie d'un passage de la totalité des eaux stockées en un temps donné passe par deux facteurs principaux : la conductivité hydraulique et le colmatage.

b) Conductivité hydraulique

L'infiltration de l'eau dans la masse filtrante va agir suivant plusieurs paramètres. On l'évalue grâce à la conductivité hydraulique du matériau filtrant.

Tableau 5 : ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (Ecopluie. 2009)

K (m/s)	10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-5}	10^{-6} 10^{-7} 10^{-8}	10^{-9} 10^{-10} 10^{-11}
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins	Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin	Sable très fin Limon grossier à limon argileux	Argile limoneuse à argile homogène
Possibilités d'infiltration	Excellentes	Bonnes	Moyennes à faibles	Faibles à nulles

Dans le cas d'un FPM, on est en présence de matériaux comme du sable très fin et des graviers à faible granulométrie (couche de transition en 2/6 par exemple). La conductivité hydraulique se situe autour de 10^{-5} m/s (Tab 5).

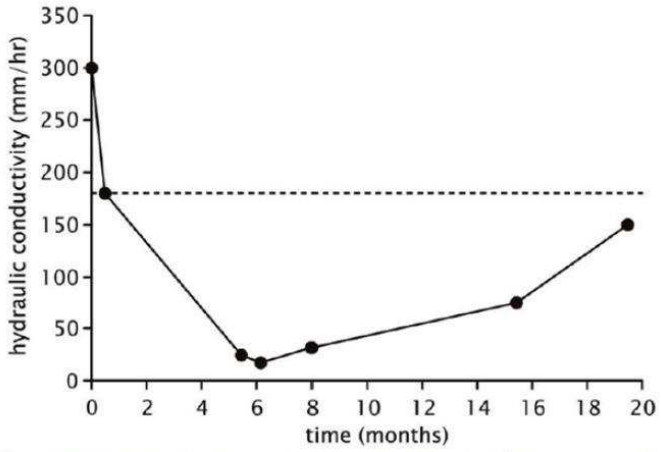


Figure 23 : évolution de la conductivité hydraulique d'un filtre à sable végétalisé au cours des 20 premiers mois de fonctionnement (FAWB. 2009)

Ce graphe (Fig 23) souligne que le filtre se compacte durant les premiers mois de fonctionnement : cela est dû à la charge hydraulique et à la circulation de l'eau au sein du filtre. Passé 6 mois de fonctionnement, la conductivité hydraulique remonte pour atteindre une valeur convenable, c'est le travail de décompactage des plantes qui commence à opérer. Plusieurs auteurs conseillent de choisir une conductivité initiale plus faible que celle souhaitée (d'un facteur 2 ou 3 selon (Le Coustumer, S-M. 2008), ce qui réduirait les risques de colmatage tout en gardant de bonnes performances épuratoires. Nous nous en tiendrons aux préconisations de (Fournel, J. 2012).

(Fournel, J. 2012) recommande une conductivité hydraulique comprise entre 1. 10^{-5} et 3,5. 10^{-5} m/s pour garantir l'efficacité des performances épuratoires.

c) Colmatage

Le colmatage ou la capacité à infiltrer est le facteur influençant le plus directement la durée de vie d'un FPM avec l'état de la végétation et les performances épuratoires (capacité à retenir les polluants).

Le colmatage dépend de plusieurs paramètres :

- La conductivité hydraulique, d'où le choix de granulats adaptés.

- Le type de plantes : plutôt que des plantes à racines traçantes, il faut privilégier les plantes à racines pivotantes (Le Coustumer, S-M. 2008) pour creuser en profondeur et guider l'eau.

  Au début, les radicelles vont boucher les macropores et diminuer la conductivité hydraulique. Cependant, une fois que la végétation se sera développée, les grosses racines auront cet effet de décompactage du sol favorisant l'infiltration (Belinda et al. 2010).

- La surface du filtre : plus elle est importante, moins le risque de colmatage est élevé puisque les particules sont réparties de manière moins dense.

- Les phases périodes sèches/périodes humides : le séchage favorise l'aération du filtre et donc la dégradation de la matière organique de la couche de colmatage. Par contre, le craquellement de la couche de sédimentation causé par une phase de sécheresse peut avoir un contre-effet en créant des chemins préférentiels pouvant ainsi être progressivement obstrués (Belinda et al. 2010).

- La multiplication des points d'alimentation, qui évite les chemins préférentiels, surtout en cas de petites pluies. Il faut également prévoir des systèmes pour casser le débit d'alimentation et éviter l'affouillement au niveau des points d'alimentation.

Pour éviter le colmatage du filtre : choisir une conductivité hydraulique des granulats adaptée, privilégier des plantes adaptées, préférer des filtres aux surfaces plus importantes (on améliore en ce sens la vitesse d'infiltration), avoir une bonne alternance de phase humide/phase sèche et multiplier les points d'alimentation.

4) Processus de traitement

Selon (Fournel, J. 2012), les mécanismes de purification des polluants organiques, des nutriments et des métaux lourds sont les suivants :

- Sédimentation et filtration.
- Adsorption et précipitation chimique.
- Dégradation microbienne, assimilation par les plantes et décomposition naturelle.

a) Sédimentation et filtration

Ces processus interviennent pour la pollution particulaire : les matières solides en suspension (MES). Il s'agit de la grande majorité des polluants présents dans les RUTP. Les MES sont retenues dans le filtre par sédimentation (formation d'une couche de dépôt en surface) et filtration (dans le massif filtrant).

La suppression des MES varie en sortie de filtre en fonction de la concentration des effluents (plus la concentration est élevée, plus la rétention des MES est forte) et de la granulométrie (plus les matériaux filtrants sont fins, plus la rétention est forte).

Le tableau suivant (Tab 6) donne une idée de la hauteur et des types de granulats à mettre en place pour obtenir de bonnes performances épuratoires.

Tableau 6 : matériaux mis en œuvre dans deux applications de programmes de recherche. Inspiré de (SEGTEUP. 2013) et (Duclos et al. 2007).

Sites	9 pilotes Craponne (SEGTEUP)	Ostwaldergraben (filtre 1)	Ostwaldergraben (filtre 2)
Couche de filtration	30-60 cm sable (0.4<d10<0.7)	20 cm de sable 0/4 (d10=0.16 mm et d60=0.45 mm)	30 cm de sable 0/4 (d10=0.16 mm et d60=1.38 mm)
Couche de transition	10 cm de gravier 2/4 à 4/8	25 cm de gravier 4/8	25 cm de gravier 4/8
Couche drainante	30-40 cm de gravier 10/20 à 15/25	20-30 cm de gravier 16/22	20-30 cm de gravier 16/22
Hauteur totale	**De 70 cm à 110 cm**	**De 65 à 75 cm**	**De 75 à 85 cm**
Réserve hydrique	30 cm	Ajustable entre 23 et 70 cm	Ajustable entre 23 et 70 cm

Les micropolluants particulaires ont vocation à se fixer sur les MES, ces derniers sont donc piégés sur la couche de sédiments et dans les 30 premiers centimètres du sol (Fournel, J. 2012).

Le choix des matériaux filtrants dépend des demandes de traitement. Dans le cas de réseaux séparatifs ou de systèmes unitaires peu chargés, peu pollués en nitrates, la mise en œuvre de matériaux classiques (sable fin) est suffisante. Dans le cas inverse en revanche, l'utilisation de matériaux présentant de fortes capacités d'adsorption comme la zéolite peut être bénéfique (Fournel, J. 2012). C'est un matériau comportant plus de surface de stockage, qui permet donc de retenir plus de polluants (particulièrement l'ammonium dans le cas d'un déversoir d'orage). C'est une solution plus chère, mais qui propose des systèmes plus compacts, intéressants en cas de manque de place et adaptés à des zones climatiques où les variations de pluies sont fortes (comme à Montpellier) car les concentrations en polluants peuvent être plus élevées.

La sédimentation et la filtration sont les deux processus associés les plus importants dans le filtre pour assurer un bon taux d'abattement des polluants particulaires (MES, DCO, ETM et HAP notamment) qui sont globalement retenus sur les premiers centimètres du filtre par filtration.

b) Adsorption et précipitation chimique

Ces phénomènes interviennent au sein de la masse filtrante.

L'adsorption est un processus de fixation de la matière sur les surfaces minérales ou organiques grâce à des liaisons physiques (Van der Walls) ou bien des liaisons chimiques (Guittonny-Philippe 2014).

La précipitation est le passage d'une espèce chimique de l'état dissous à l'état solide. La précipitation des micropolluants intervient lorsqu'ils sont présents en forte concentration en phase aqueuse ou lors de variations de pH ou de potentiel redox. Les ETM sont par exemple concernés par cette réaction (Fournel, J. 2012).

Généralement, les micropolluants dissous comme les HAP et les ETM ne sont pas retenus dans le filtre ou du moins en partie négligeable par précipitation et adsorption (SEGTEUP 2013).

L'adsorption des polluants est le phénomène principal qui s'effectue dans la masse filtrante, la précipitation est plus aléatoire et ses mécanismes sont moins connus.

c) Dégradation microbienne et assimilation par les plantes

L'action première des microorganismes est la minéralisation, c'est-à-dire la décomposition d'une molécule organique en composés plus simples inorganiques. Cette dégradation peut intervenir sous l'influence des racines des plantes (rhizodégradation).

Il existe également d'autres mécanismes microbiens comme le cométabolisme, la volatilisation, la solubilisation/dissolution et l'ad/absorption.

La plupart des polluants peuvent être dégradés, sauf les métaux qui sont plutôt accumulés sur la couche de dépôt et la biomasse des plantes.

La dégradation des polluants par les microorganismes est une épuration biologique intervenant après la filtration (processus physique) et l'adsorption (processus physico-chimique). Elle permet ensuite l'assimilation des composés nutritifs par les plantes.

CONCLUSION : le tableau suivant (Tab 7) résume les processus inhérents au FPM ainsi que leurs polluants associés.

Tableau 7 : mécanismes épuratoires liés aux différents polluants dans un FPM (Fournel. 2012)

Mécanismes	Description	Polluants impliqués
Physique		
Sédimentation	MES et polluants associés se déposent par gravité.	MES + polluants associés.
Filtration	Elimination mécanique de particules lorsque l'eau traverse le substrat.	MES + polluants associés.
Chimique		
Précipitation	Précipitation des composés insolubles.	Phosphore, métaux lourds.
Adsorption	Forces d'attraction entre particules (liaisons van der Walls).	Azote, phosphore, métaux lourds, MO.
Biologique		
Métabolisme microbien	Élimination des colloïdes et des composés solubles par les bactéries fixées sur le substrat et les plantes.	MO (DCO, DBO5), azote (nitrification/dénitrification), phosphore, métaux lourds (oxydation).

Assimilation par les plantes	Absorption + consommation des contaminants par les plantes en conditions adéquates.	Métaux lourds, bactéries + virus.
Décomposition naturelle	Décomposition naturelle des microorganismes dans un environnement non favorable.	Bactéries et virus.

5) Rôle des végétaux

a) Les effets sur l'hydraulique

Les plantes ont un rôle important à jouer sur l'hydraulique et notamment sur la conductivité hydraulique et sur le colmatage en maintenant la perméabilité de la couche de dépôt en surface du filtre.

Les racines doivent être bien développées lors de la plantation (de 15 à 40 cm) pour éviter un déracinement lors de la mise en charge hydraulique (Greenway 2004). La densité de plantation doit être importante, d'au moins 4 plants/m² et jusqu'à 8 plants/m² selon (Branchu et al. 2010). Le débit d'entrée doit être de 0,7 m/s au maximum pour éviter le déracinement selon (Branchu et al. 2010) et entre 0,3 et 0,5 m/s pour atteindre une sédimentation optimale selon (Giroud et al. 2007).

En ce qui concerne l'hydraulique, les plantes ont également une fonction à exercer sur l'évapotranspiration. On estime que 42 % du volume d'eau retenu après une pluie est evapotranspiré (Lewis et al. 2008). Cette valeur est valable selon plusieurs paramètres : taille du filtre, volume total stocké, hauteur de la réserve hydrique et évidemment durée entre deux événements pluvieux.

Les filtres doivent être plantés densément de plants robustes capables de résister au flux d'eau entrant et de se développer rapidement afin d'assurer le bon fonctionnement du filtre.

b) Effets sur l'épuration de l'eau

Le second intérêt des plantes réside dans le fait de proposer un habitat (la rhizosphère) aux microorganismes qui retiennent et dégradent les polluants, car comme vu précédemment, les plantes ont un rôle secondaire d'assimilation de nutriments (azote, phosphore…).

Le troisième intérêt est bien sûr le traitement des nitrates et du phosphore produit par la masse microbienne. Pour les eaux pluviales strictes, ces nutriments sont moins présents, ils proviennent des engrais des espaces verts, des déchets des voiries (déjections, feuilles), des résidus de chantier.

Enfin, leurs effets sur l'aération du filtre et sur la phytorémédiation, bien qu'existants, sont considérés comme négligeables en comparaison avec l'aération induite par les cheminées d'aération et l'efficacité d'abattement des polluants par la masse filtrante (SEGTEUP 2013).

Malgré tout, ces mécanismes ont été mis en lumière et pourraient permettre d'améliorer le traitement des RUTP par le biais d'autres techniques, comme par exemple la mise en place de marais flottant au sein de bassin de rétention des eaux pluviales (Zilberman et al. 2013). Ce procédé peut parfaitement être intégré à un système de traitement végétalisé comme un FPM.

À retenir : bien que le rôle des plantes au sein du filtre soit indirect, elles sont indispensables à l'épuration des eaux, qu'elles favorisent.

c) Les plantes aquatiques utilisées pour les FPM

La grande majorité des végétaux utilisés est le roseau (*Phragmites australis*) car il présente une certaine robustesse à la sécheresse, une rapidité de développement, une bonne prise au vent (il bouge sous l'effet du vent et permet un décolmatage de la couche de sédimentation) et un système racinaire adapté.

Les végétaux employés doivent être acceptables écologiquement pour ne pas causer de risques sur l'écosystème et doivent aussi être résistants aux conditions climatiques, aux ravageurs et aux pathologies. Ils doivent être tolérants à la pollution et résistants aux alternances phases sèches/phases humides. Pour finir, ils doivent s'établir et se développer rapidement.

Aujourd'hui, le roseau est le plus utilisé dans les filtres plantés. On peut s'interroger sur une diversité des espèces de macrophytes qui permettrait d'améliorer les performances épuratoires tout en maximisant la biodiversité et l'attrait esthétique des filtres.

Les plantes aquatiques sont de plus en plus utilisées en génie végétal et leurs qualités ont été mises en avant : leur usage permet de résoudre des problèmes écologiques tels que le maintien des berges et la lutte contre l'érosion, ou encore d'élaborer des systèmes de phytoépuration. Ainsi, plusieurs espèces d'hélophytes correspondent aux attentes des filtres plantés et sont d'ailleurs utilisées notamment pour des seconds étages horizontaux de FPR pour le traitement des eaux usées.

Le tableau suivant (Tab 8) présente les plantes susceptibles d'avoir un intérêt pour les techniques de génie végétal.

Tableau 8 : macrophytes utilisées pour les techniques de génie végétal (Aquaterra-solutions. 2008)

Plante	Hauteur	Système racinaire	Propagation	Sol	Exposition	Robustesse
Iris pseudacorus	1,2 m	• forte croissance • racines principales puissantes • jusqu'à 80 cm de profondeur	Lente	De humide à inondé	Soleil à mi-ombre	Supporte à maturité des périodes sèches de 6 semaines
Carex acutiformis	1 m	• forte croissance • nombreuses radicelles •jusqu'à 50 cm de profondeur	Bon développement des rhizones (30 cm par plante et jusqu'à 10 cm sous la surface du sol)	De humide à inondé	Soleil à mi-ombre	Supporte à maturité des périodes sèches de 6 semaines
Carex gracilis	0,8 m	• forte croissance • nombreuses radicelles • jusqu'à 40 cm de profondeur	Bon développement des rhizones (30 cm par plante et jusqu'à 10 cm sous la surface du sol)	Humide	Soleil à mi-ombre	Supporte à maturité des périodes sèches de 6 semaines
Juncus effusus	1 m	• rampant • jusqu'à 50 cm de profondeur		Humide	Soleil	Brise-lame au niveau de la ligne d'eau

De ce paragraphe il ressort qu'une seule espèce, le roseau (*Phragmites*) est principalement utilisé comme support de filtre planté pour ses qualités indiscutables. Cependant, de nombreuses autres plantes hélophytes présentent un potentiel intéressant.

C) Performances

1) Performances épuratoires

a) Retour d'expériences

À propos des performances épuratoires, il existe quelques données sur des réalisations existantes et issues d'expérimentations. Le programme ADEPTE ainsi que le retour sur les mesures réalisées sur le site de l'Ostwaldergraben seront bientôt disponibles (en 2016 pour ADEPTE) et vont permettre de compléter les connaissances sur la filière.

► **Neydens** – (voir annexe réalisations pour plus de détails)

Le tableau 9 nous donne les performances du filtre numéro 1 de Neydens en taux d'abattement en 2004 :

Tableau 9 : performances du filtre numéro un de Neydens après 2 ans de fonctionnement [7].

Polluants	MES	DCO	Zinc	Plomb	Cadmium	Hydrocarbures
Abattements (%)	95	69	78	81	25	82

Ces performances épuratoires sont globalement bonnes, voire très bonnes sur certains paramètres (>75 % pour 4 paramètres sur les 6 étudiés).

Remarque : les paramètres pris en compte pour connaître les taux d'abattements varient en fonction du type de pollution. Ici, il s'agit de traiter les eaux pluviales d'une autoroute et de parkings, la dépollution visée concerne les HAP et métaux lourds.

►**Craponne (SEGTEUP)** – performances épuratoires lors de la phase d'alimentation en eaux pluviales strictes en période de démarrage (Tab 10).

Tableau 10 : performances épuratoires des sites-pilotes de Craponne (Fournel. 2012)

	MES	DCO	NH4
Concentration entrée moyenne (mg/l)	31	28	0,256
Ecart-type concentration entrée (mg/l)	19	8,6	0,13
Concentration de sortie moyenne (mg/l)	9,4	13,8	0,06
Ecart-type concentration sortie (mg/l)	7,3	6,5	0,04
Rendement moyen (%)	77	69	65
Ecart-type (%)	24	28	17

Ici les paramètres étudiés sont les MES, la DCO et le NH4 puisqu'il s'agit d'un FPR traitant les eaux d'un déversoir d'orage contenant des eaux usées. Les rendements sont bons (>50 %).

► **Le rôle quantifié de la filtration**

Le tableau suivant (Tab 11) nous donne une idée de la place de la filtration dans l'abattement total de trois polluants.

Tableau 11 : impact de la filtration sur l'abattement des polluants pour les sites-pilotes de Craponne (Fournel. 2012)

	DCO totale	Métaux	HAP
Part de la filtration dans l'abattement total (%)	60-90%	30-95%	65-96%

(LUTZ 2010) complète cette information : *« En général, les effluents perdent par filtration jusqu'à 90 % de leurs matières en suspension en traversant un massif de granulats adaptés (contre seulement 50 % par décantation classique). »*

► Performances des techniques alternatives

Le tableau suivant donne une idée des performances de dépollution de plusieurs techniques alternatives. On remarque que les rendements sont déjà bons (> 50%) et sont à prendre en compte lors de la composition d'un système de traitement végétalisé qui ne nécessite alors pas forcément la mise en place d'un FPM.

Tableau 12 : tableau des abattements moyens des techniques alternatives des eaux pluviales (Lutz. 2010)

	Nature de la dépollution	Abattements moyens par paramètre (%)					*Moyenne par système*
		MES	DCO	DBO5	Hc	Pb	
Noue et fossés	Phyto. Déc. Filt.	55	50	50	60	70	*57*
Tranchées drainantes	Déc. Filt.	95	66	66	- *	71	*72*
Bassin de rétention	Phyto. Déc.	85	75	75	65	72	*75*
Chaussée réservoir	Déc. Filt.	75	60	50	60	86	*66*
Toitures végétalisées	Phyto. Déc. Filt.	55	50	50	60	70	*57*
Moyenne par paramètre	-	*73*	*60*	*58*	*61*	*74*	*65*

Abréviations : Déc. : Décantation - Filt. : Filtration - Phyto : Phyto-remédiation
** Valeur supposée égale à 60% pour le calcul des moyennes*

Les réalisations existantes soulignent des résultats épuratoires bons et encourageants vis-à-vis des FPM et même d'autres techniques alternatives.

b) Pistes d'améliorations

Si le FPM commence à être rôdé techniquement et a bénéficié souvent de bons retours de la part de ses propriétaires et de ses gestionnaires, il reste encore beaucoup d'adaptations et de recherches à effectuer dans plusieurs domaines.

• La pollution dissoute des micropolluants : on estime que la plupart de la pollution dissoute des micropolluants comme les ETM et les HAP passe à travers le système filtrant et n'est pas traitée.

• La phytoremédiation est encore une technologie récente qui mérite d'être explorée notamment en ce qui concerne les capacités des plantes à traiter les polluants et leurs

performances mais également l'export des polluants : sont-ils réellement dégradés, comment les extraire ?

• La problématique de l'exportation des polluants reste à approfondir du fait du manque de visibilité sur la durée de vie d'un filtre. Les études les plus optimistes disent qu'il faudra curer une couche de dépôt de 10cm après 25 ans de fonctionnement. Que faire des déchets par la suite ? Doit-on les incinérer, les valoriser en les compostant ? Quelle empreinte carbone cela peut-il représenter ?

• Une autre interrogation persiste au niveau de la couche de dépôt des polluants qui présente en théorie une forte concentration de substances toxiques non dégradées au fil des années de fonctionnement. A partir de quel moment ce sol contaminé ne répond-il plus aux normes de santé ? Le problème se pose particulièrement dans le cas d'un projet ouvert au public.

• La question de l'élimination de polluants par adsorption et précipitation mérite d'être creusée : une meilleure connaissance de la CEC permettra d'optimiser les granulats utilisés et donc les performances du filtre.

• On attend bien sûr le résultat des études entreprises sur le dimensionnement hydraulique du filtre : celles-ci prévoient la mise au point d'un logiciel basé sur un modèle hydraulique, à destination des acteurs de l'assainissement. Cet outil sera sûrement indispensable à l'avenir.

• La partie qui reste la moins connue pour l'instant est celle qui base le dimensionnement sur la cinétique des réactions.

Les études ou programmes de recherches en cours (Ostwaldergraben, ADEPTE) vont permettre de fournir des éléments de réponse quant à la connaissance des FPM, leur conception et leur dimensionnement.

2) Aspects écologiques et socio-économiques

Outre les aspects purement techniques, il est important de considérer la mise en place de systèmes de traitement végétalisés et de FPM en tant que projet territorial / projets territoriaux, de mesurer les apports de tels projets sur l'écologie, le social, et de se positionner d'un point de vue économique.

a) Aspects écologiques

Le filtre planté de macrophytes, système rustique naturel et vivant, favorise la biodiversité en offrant un habitat pour différentes espèces. Plus les maillons sont nombreux dans la chaîne du système de traitement végétalisé, plus la biodiversité sera présente.

Par exemple, un dégrilleur en gabions peut accueillir des reptiles, un FPM des oiseaux nicheurs, un bassin tampon en eau, des batraciens.

Dans certains cas comme à Ostwaldergraben, la restauration de l'ensemble du cours d'eau via ce genre de dispositif permet la création de niches écologiques pour la faune aquatique et favorise la reproduction d'une espèce menacée : le crapaud vert (*Bufo viridis*).

D'un point de vue floristique, ces systèmes permettent de maximiser cette biodiversité et proposent des espaces indicateurs de la qualité de rejet dans le milieu (zones humides en sortie de FPM par exemple).



Figure 24 : l'exemple du FPM de Saint Germain les Arpajon avec sa zone humide [8].

L'écologie est la première bénéficiaire de ce genre d'installation puisque cette dernière rend à l'environnement une eau épurée plus saine, mais aussi, offre des habitats à de nombreuses espèces.

b) Acceptation sociale

La mise en place d'un système filtrant planté pour la gestion et le traitement des RUTP permet aussi de créer de l'espace public ou de valoriser une zone laissée à l'abandon ou 'inexploitée'. Cet espace public dessiné et intégré au paysage participe ainsi à l'esthétique d'un site et améliore le cadre de vie.

C'est aussi le moyen de mettre en valeur les eaux pluviales sous forme de jardins aquatiques ouverts au public comme par exemple sur le site d'un parc technologique etc.

De plus la problématique de la pollution peut être abordée de manière éducative et pédagogique par le biais de panneaux d'informations présentant une méthode curative plus respectueuse de l'environnement qu'une gestion classique.



Figure 25 : panneaux pédagogiques mis en place à proximité de divers FPM pour le traitement des RUTP (SEGTEUP. 2013)

Il est important de penser à intégrer le FPM dans son environnement dès sa conception et de mettre en place un suivi pour connaître l'acceptation sociale de tels ouvrages.

c) Aspect économique

Sur le plan économique, la gestion alternative des eaux pluviales apparaît comme intéressante par rapport à une gestion classique.

Il est délicat d'affirmer qu'elle est moins onéreuse (LUTZ 2010) puisque de nombreux paramètres interviennent.

En tout cas elle est rarement plus chère si l'on prend en compte le prix d'investissement, le prix d'entretien et les bénéfices rendus. Il est important de chiffrer différentes techniques dans un projet pour pouvoir faire un choix financier cohérent.

Concernant le FPM, (Uhl et Dittmer 2005) proposent une fourchette de prix ainsi qu'une formule pour estimer le prix d'un filtre planté à fonctionnement vertical pour les eaux pluviales :

< 2000 m^3* : 200-500 €/m^3
> 2000 m^3* : 100-200 €/m^3

** En volume total de massif filtrant*

Coût = 57,400 x $A^{-0,3618}$ avec Coût (€/ha de surface active) et A en ha de surface active.

Pour finir on peut prendre en compte que dans la majorité des cas, le FPM est économe en énergie puisqu'il fonctionne de manière gravitaire.

Un projet rondement mené sera toujours profitable aux finances des collectivités. Il existe des outils d'évaluation des coûts que peuvent induire la mise en place d'un FPM, cependant cela donne uniquement un ordre d'idée, le prix étant vraiment spécifique au projet concerné.

D) Entretien et suivi

1) Entretien

Un entretien régulier et bien réalisé assurera un bon fonctionnement du filtre ainsi que sa durée dans le temps.

Plusieurs tâches sont à réaliser lors d'une visite d'entretien : ramassage des flottants et des débris sur toute l'emprise du système, entretien des talus, nettoyage de l'ouvrage de prétraitement, désherbage manuel des adventices et vérification de l'état des macrophytes.

a) Type de visites :

• La visite de contrôle mensuel.

• Les visites concernant l'entretien et l'état des plantes (surtout les deux premières années).

• L'inspection pendant ou après un événement pluvieux de la période de retour retenue pour le dimensionnement ou bien avant l'événement pour s'assurer que le filtre va fonctionner.

• L'élimination de la couche de dépôt tous les 10 à 20 ans. Les boues sont évacuées en incinération ou en CET de classe 2 (siccité >30%) (Fournel, J. 2012).

A chaque visite il devra être vérifié que l'organe de traitement (dégrilleur) ne soit pas obstrué par des feuilles ou autres déchets. C'est la première cause de dysfonctionnement du filtre.

b) Le suivi de la végétation

La première année, il est particulièrement important de désherber une fois tous les deux mois les adventices pour assurer une bonne implantation des macrophytes. Ensuite, le désherbage se fait deux fois par an : au printemps et à l'automne.

A chaque visite, un contrôle des végétaux s'impose, notamment à cause du risque de stress hydrique rendant les plantes jaunes et flétries (situation pouvant survenir après 3 semaines sans eau) et de carences (insuffisance de nutriments nécessaires à la croissance des plantes).

Il n'est pas conseillé de faucarder les roseaux car, étant souvent exposés aux charges hydrauliques, ils risqueraient de pourrir. Les parties sèches peuvent être laissées à la surface du filtre : cela constituera un apport de matière organique pour les microorganismes et les plantes, jouera le rôle de filtration complémentaire et pourra retenir certains micropolluants par adsorption. De plus, il est important de laisser les parties mortes dans le filtre pour contrôler la pollution (présence éventuelle de polluants stockés dans la partie aérienne des plantes).

Il va de soi qu'une gestion adaptée au cas par cas doit être faite en fonction de la configuration de chaque système.

2) Suivi

Le suivi se fait sur trois éléments : l'hydraulique, l'épuration, les plantes.

Il est important, après la mise en service du filtre, d'effectuer un suivi pour mesurer le fonctionnement du filtre selon différents paramètres afin d'en tirer des conséquences et de proposer des améliorations pour les futurs projets.

L'aménageur peut se rapprocher d'organismes de recherche afin de mettre en place un suivi scientifique adapté. Le caractère innovant de ces systèmes s'intègre parfaitement dans les objectifs des centres de recherches.

L'entretien est indispensable pour permettre une bonne mise en fonctionnement du filtre. On estime que celui-ci commence à être efficace au bout de 6 mois de fonctionnement s'il est bien entretenu. Un suivi scientifique du filtre dans sa globalité peut être intéressant pour faire évoluer la recherche actuelle.

*[Le dimensionnement et la conception de tels systèmes est donné par l' '**ANNEXE VI** : Méthode de conception de de dimensionnement de FPM pour la gestion et le traitement des eaux pluviales', pp 72-85.]*

*[Une étude d'un système de traitement végétalisé comprenant deux FPM est présentée dans l' '**ANNEXE VII** : Première réalisation Phytoserpe (été 2015)', pp 86-95.]*

CONCLUSION, LIMITES ET PERSPECTIVES

L'urbanisation favorise le ruissellement par l'augmentation des surfaces imperméables, ce qui provoque des risques de pollution des milieux et d'inondation. Ces problématiques sont de plus en plus gérées par des systèmes extensifs de gestion et de traitement des RUTP qui présentent de nombreux intérêts dans le contexte actuel.

Toutefois, les RUTP sont des rejets complexes du fait de leurs origines différentes (eaux pluviales strictes, eaux usées) ; ils contiennent une grande diversité de polluants à des concentrations variables et qui se mélangent dans certains cas. A cette difficulté s'ajoute le caractère aléatoire de l'hydraulique et de la pluviométrie qui sont en fait les facteurs limitants pour le dimensionnement des ouvrages.

La réglementation actuelle évolue dans le bon sens et soutient cette démarche alternative de gestion et de traitement. Des outils de planification sont accessibles pour les acteurs de l'assainissement et des financements sont proposés pour ce type de projets.

Le filtre planté de macrophytes apparaît comme une solution intéressante et adaptée en tant que maillon de traitement dans la chaîne de gestion des eaux pluviales. C'est aujourd'hui un système performant si l'on considère les moyens mis en place et les résultats obtenus sur des projets réalisés en France. Bien sûr, il s'agit d'un dispositif innovant encore récent qui reste à améliorer et optimiser pour plus d'efficacité.

De plus, l'emploi de tels systèmes ne doit pas apparaître comme 'la solution miracle' à appliquer à chaque problème. En effet, il est préférable de faire une analyse de la pollution et du ruissellement du bassin à traiter avant de penser au FPM car la variabilité des eaux pluviales est telle que le choix d'un système de traitement et de gestion des flux est spécifique à une problématique locale.

Ces techniques de dépollution de nouvelle génération ont su rassembler des professionnels de diverses branches (assainissement, urbanisme, architecture, paysage…) de manière à créer des espaces multifonctionnels comme des parcs et jardins de pluie répondant aux enjeux et aux attentes d'aujourd'hui et de demain liés à la biodiversité et indissociable de la problématique environnementale.

D'autres applications du FPM appliqué aux RUTP existent et se développent comme par exemple le traitement des eaux polluées provenant des aéroports qui pose aujourd'hui un réel problème environnemental *[Voir '**ANNEXE VIII** : L'exemple de l'aéroport d'Orly', pp 96-97].* Ce genre de structures est construit sur des espaces plats, souvent des marais ou d'autres sites naturels sensibles. Le fait qu'elles bénéficient cependant d'un avantage foncier favorise la mise en place potentielle de dispositifs extensifs.

D'autres ouvrages de gestion et de traitement alternatifs peuvent évoluer pour être plus performants, c'est le cas des bassins de rétention. En effet, la technique du radeau végétalisé pour traiter les polluants apparaît comme prometteuse. Cela peut être une alternative aux FPM voire une complémentarité dans la filière.

Reste aussi en suspens la question de la réutilisation de cette eau traitée. Des pistes mériteraient d'être développées: l'arrosage des parcs ornementaux, l'irrigation des espaces verts, son utilisation à des fins agricoles, sylvicole, voire domestiques (eau de lavage).

VI. BIBLIOGRAPHIE

Aquaterra-Solutions. 2008. Guide AquaTerra des solutions douces pour l'aménagement des lacs et cours d'eau. IMEAF, 26160. 371p.

Belinda, H., Steinel, A., Deletic, A. et Fletcher, T. 2010. Retention of heavy metals by stormwater biofiltration systems: breakthrough analysis. In: 7th international conference on sustainable techniques and strategies for urban water management, NOVATECH 2010, Lyon. 8p.

Branchu, P., Rollin, C. et Michaud, V. 2010. Traitement extensif des surverses de réseaux unitaires par temps de pluie-Retour d'expérimentation par filtre planté de roseaux. In: 7th international conference on sustainable techniques and strategies for urban water management, NOVATECH 2010, Lyon. 9p.

Chocat, B. 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Lavoisier, Paris: Edition Tec&Doc. 1124p.

Dembélé, A., Becouze, C., Bertrand-Krajewski, J.-L., Cren-Olivé, C., Barillon, B. et Coquery, M. 2009. Quantification des polluants prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie: Les premiers résultats du projet de recherche Esprit mené sur deux bassins versants. Techniques Sciences Méthodes, n° 4: 60-76. doi:10.1051/tsm/200904060.

Duclos, N., Molle, P., Laurent, J., Wanko, A. et Mosé, R. 2013. Constructed wetlands to treat micropollutants of urban runoff from three residential watersheds. In: 8th international conference on planning and technologies for sustainable management of water in the city, NOVATECH 2013, Lyon. 9p.

Dunnett, N., et Clayden, A. 2007. Les jardins et la pluie, Gestion durable de l'eau de pluie dans les jardins et les espaces verts. 1ère éd. Editions du Rouergues. 185p.

Eau Seine Normandie. 2013. Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines. Agence Eau Seine Normandie. ISB 978-2-9523536-5-9. 64p.

Farrell, A., et Scheckenberger. R. 2003. An assessment of long-term monitoring data for constructed wetlands for urban highway runoff control. Water quality research journal of Canada 38 (2): 283-315.

FAWB. 2009. Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems. Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University. Version 1. 156p.

Ferro, Y. 2013. Evaluation de l'impact des rejets urbains de temps de pluie sur le compartiment algal des écosystèmes aquatiques: Mise au point d'outils pour la surveillance des milieux récepteurs. Doctorat Chimie, procédés et environnement. INSA, Lyon. 253p.

Fournel, J. 2012. Systèmes extensifs de gestion et de traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Doctorat Génie des Procédés. Montpellier II. 218p.

Giroud, V., Esser, D., Fournet, L. et Davoli, F. 2007. Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales: Notion d'efficacité. In : 6th international conference on

sustainable techniques and strategies for urban water management, NOVATECH 2007, Lyon. 8p.

Gnecco, I., Berretta, C. Lanza, L-G. et La Barbera, P. 2005. Storm Water Pollution in the Urban Environment of Genoa, Italy. Atmospheric Research 77 (1-4): 60-73. doi:10.1016/j.atmosres.2004.10.017.

Greenway, M. 2004. Constructed Wetlands for Water Pollution Control-Processes, Parameters and Performance. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing 12 (5-6): 491-504.

Grommaire, M-C. 1998. La pollution de eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire. Caractéristiques et origines. Doctorat Sciences et Techniques de l'Environnement. Ecole des Ponts ParisTech. 551p.

Guittonny-Philippe, A. 2014. Phytoépuration de mélanges de polluants organiques et métalliques pour la préservation des zones humides méditerranéennes: approche exploratoire vers la mise au point d'outils d'ingénierie écologique. Aix-Marseille. http://www.theses.fr/2014AIXM4722.

Le Coustumer, S-M. 2008. Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales. Doctorat MEGA. Insa de Lyon. 405p.

Lewis, J-F., Belinda, H., Deletic, A. et Fletcher, T. 2008. The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems. In 11nd International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK. 10p.

LUTZ, N. 2010. Etude des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées en aménagement. Mémoire de fin d'études Génie Civil. INSA de Strasbourg. 92p.

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. 2012. Mise en place de la taxe pour la gestion des eaux pluviales urbaines - Guide d'accompagnement. Réf : DICOM-DGALN/COUV/12025. 93p.

Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. 2006. Les collectivités locales et le ruissellement pluvial. Pont de Claix, Claix. 82p.

Programme de recherche ECOPLUIES. 2009. L'infiltration en questions : recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. PRECODD. Version 2. 63p.

Programme de recherche SEGTEUP. 2013. Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Ed nov 2013. EPNAC/IRSTEA. 43p.

Roland, Valentin. 2012. Comment gérer l'eau de pluie autrement dans un projet urbain ? L'exemple de la ZAC. Rapport de stage chargé d'études. Agrocampus-Ouest, Angers. 22p.

Tanner, Chris. 1995. Plants for constructed wetland treatment systems - A Comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species. Ecological Engineering 7 (59-83): 25.

Taylor, M., Hoagland, T., Thurston, H. et Shuster, W. 2005. Application of Market Mechanisms and Incentives to Reduce Stormwater Runoff. Environmental Science & Policy 8 (2): 133-44. doi:10.1016/j.envsci.2005.01.002.

Uhl, M., et Dittmer, U. 2005. Constructed Wetlands for CSO Treatment: An Overview of Practice and Research in Germany. Water Science and Technology. Vol 51 No 9 pp 23-30.

Vymazal, J. 2007. Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands. Science of The Total Environment 380 (1-3): 48-65. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.09.014.

Zilberman, B., Couret, S. et Seidel, V. 2013. Radeaux végétalisés filtrants pour l'aménagement et l'assainissement des bassins de rétention d'eaux pluviales. In: 8th international conference on planning and technologies for sustainable management of water in the city, NOVATECH 2013, Lyon. 9p.

VII. SITOGRAPHIE

[1] Wikipedia. 2015. Urbanisation. https://fr.wikipedia.org/wiki/Urbanisation (consulté le 19/08/2015).

[2] GRAIE. 2014. Les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales - Pollution des eaux pluviales.http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/EauxPluviales-outil-techniquesalternatives-pollution-juin2014.pdf (consulté le 20/08/2015).

[3] Grand Lyon. 2015. Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_00_methode_dimensionnement_ouvrages_stockage.pdf (consulté le 20/08/2015).

[4] Comité de bassin rhône méditerranée. 2009. Schéma Directeur D'Aménagement et de Gestion des Eaux - Bassin Rhône-Méditerranée. http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dce/sdage/docs-officiels/BD/RM_Sdage_BD.pdf (consulté le 20/08/2015).

[5] Bassin Rhône Méditerranée. 2015. « La directive cadre sur l'eau. » http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion/dce/directive.php (consulté le 07/07/2015).

[6] Eau France. 2015. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques. http://www.eaufrance.fr/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/la-loi-sur-l-eau-et-les-milieux (consulté le 07/07/2015)

[7] SINT, Société d'Ingénierie Nature et Technique. 2015. Exemple de réalisations. http://www.sint.fr/gestion_des_eaux_pluviales.html (consulté le 17/07/2015).

[8] Syndicat de l'Orge. 2015. QUALITE EAU systbio. https://www.youtube.com/watch?v=MM-XoBsBx94 (consulté le 15/07/2015). [4mn41].

AGROCAMPUS OUEST

☑ **CFR Angers**

☐ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2014-2015

Spécialité :

PAYSAGE

Spécialisation (et option éventuelle) :

Maîtrise d'Œuvre et Ingénierie

Mémoire de fin d'études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

ANNEXES

Par : Valentin ROLAND

Soutenu à Angers le 3 septembre 2015

Devant le jury composé de :

Président : Damien Rousselière

Maître de stage : Benoît Chancerel

Enseignant référent : Hervé Daniel

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : L'importance de la zone géographique sur le comportement de la pluviométrie

ANNEXE II : Réglementation et programme de mesures

ANNEXE III : Quelques ouvrages classiques de traitement des eaux pluviales

ANNEXE IV : Quelques réalisations de filtres plantés de macrophytes français

ANNEXE V : Programmes de recherche français actuels

ANNEXE VI : Méthode de conception et de dimensionnement de FPM pour la gestion et le traitement des eaux pluviales

ANNEXE VII : Première réalisation Phytoserpe (été 2015)

ANNEXE VIII : L'exemple de l'aéroport d'Orly

ANNEXE I : L'importance de la zone géographique sur le comportement de la pluviométrie

Prenons l'exemple de deux villes françaises géographiquement et climatiquement éloignées : Brest et Montpellier (Fig4).

► **Brest (Fig 5):**

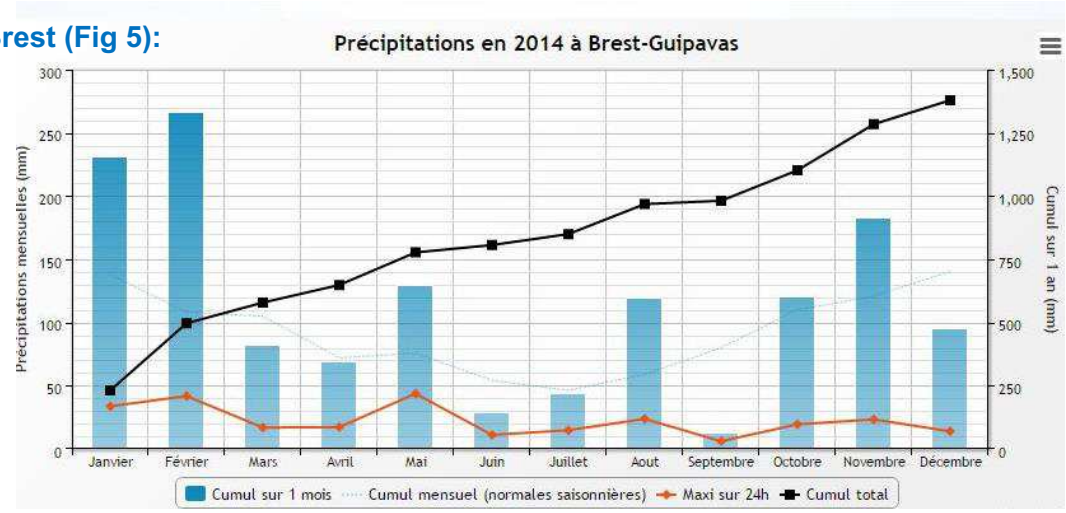


Figure 26 : précipitations en 2014 à Brest-Guipavas (Infoclimat. 2015)

La pluviométrie à Brest en 2014 est caractérisée par un cumul total important : 1375mm, des épisodes pluvieux de longue durée mais de faible intensité avec un maximum sur 24h de 44 mm en mai.

► **Montpellier (Fig 6) :**

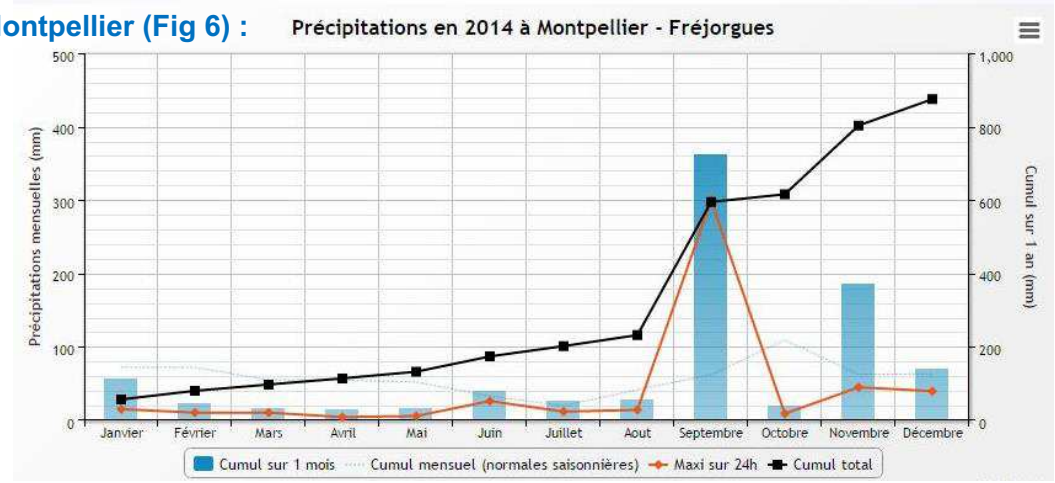


Figure 27 : précipitations en 2014 à Montpellier (Infoclimat. 2015)

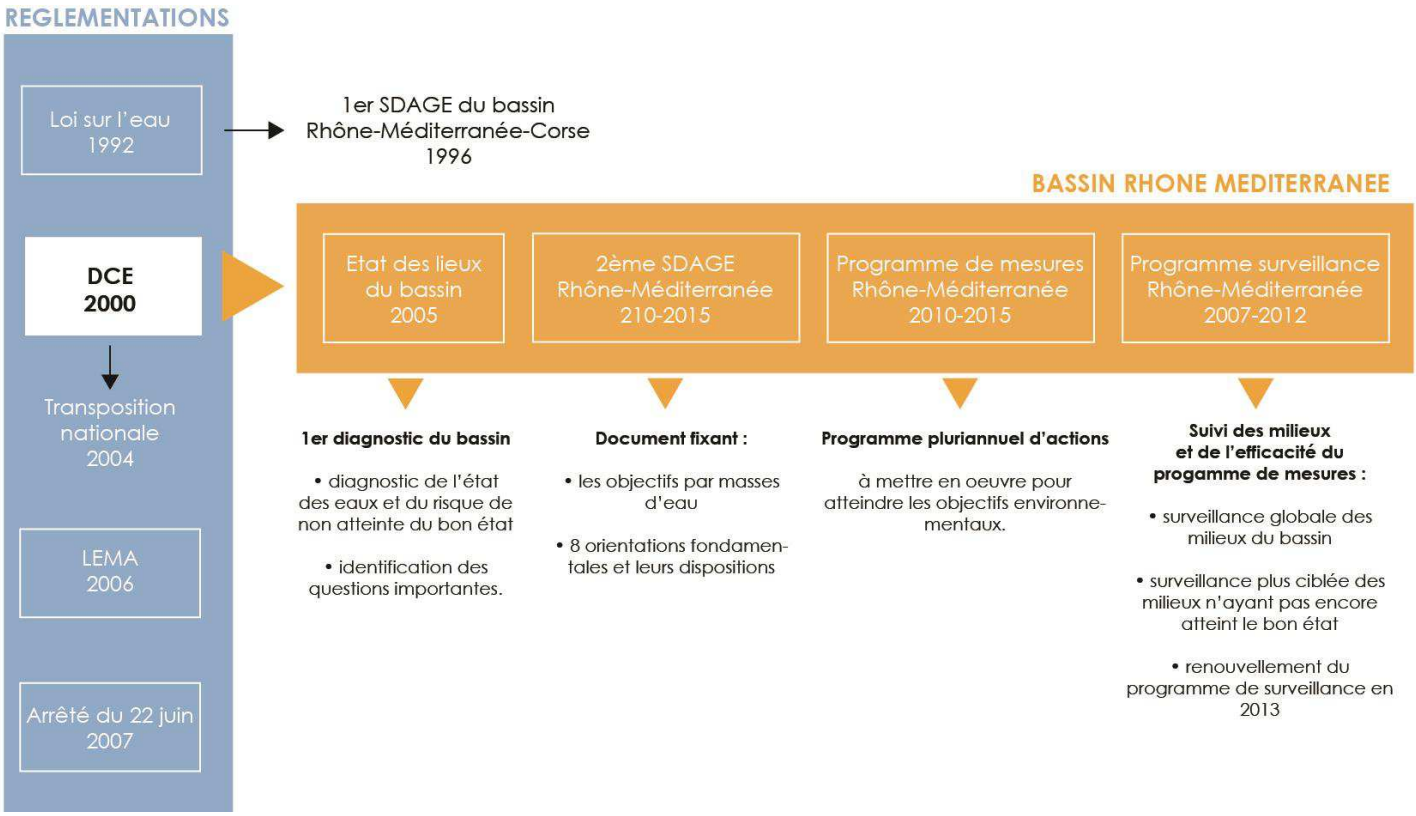
La pluviométrie à Montpellier en 2014 est caractérisée par un cumul total moyen : 900mm, des épisodes de type 'cévenols' de courte durée mais de grande intensité (maximum sur 24h : 300mm en septembre soit 1/3 de la pluie annuelle sur une journée.)

La comparaison de ces deux graphiques souligne l'influence géographique et climatique sur le comportement de la pluviométrie et l'intérêt de résoudre au cas par cas ces questions locales de gestion des eaux pluviales.

Source :

Infoclimat. 2015. Base climatologique / pluviologique.
http://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2014/montpellier-frejorgues/valeurs/07643.html (consulté le 19/08/2015).

ANNEXE II : Réglementation et programme de mesures



Articulation de la DCE (Valentin Roland inspiré de Bassin Rhône Méditerranée. 2015)

⇨ *Le programme de mesures arrêté par le préfet coordonnateur de bassin recense les actions clés dont la mise en œuvre est nécessaire pendant la période 2010-2015 pour atteindre des objectifs environnementaux du SDAGE. Il n'est pas exhaustif mais les mesures relèvent de dispositifs réglementaires, financiers ou contractuels répondant aux problèmes principaux qui se posent à l'échelle des territoires du bassin.*

A) Mesures du programme qui peut concerner directement les filtres plantés de roseaux (mesures 5E04, ZH12, ZH17)

1) ‘Les mesures à mettre en œuvre pour poursuivre les efforts de lutte contre les pollutions d'origine domestique et industrielle, et les substances dangereuses.’

Les mesures liées aux pollutions d'origine domestique et industrielle représentent un montant estimé à 650 millions d'euros (soit 18% du programme de mesures) **dont 85 M€ pour la mesure « mettre en place des traitements spécifiques plus poussés »** et 490 M€ pour la mesure « élaborer et mettre en œuvre un schéma directeur de gestion de eaux pluviales ».

Les mesures liées à la lutte contre les substances dangereuses représentent un montant estimé à plus de 510 millions d'euros (soit 14% du programme de mesures) dont 285 millions d'euros pour la mesure « optimiser ou changer les processus de fabrication pour

limiter la pollution, traiter ou améliorer le traitement de la pollution résiduelle » et **220 M€ pour la mesure « traiter les sites pollués à l'origine de la dégradation des eaux ».**

Code	Mesures	Commentaires – Précisions	Nature	Maîtrise d'ouvrage	Financements potentiels
5E04	Elaborer et mettre en oeuvre un schéma directeur de gestion des eaux pluviales	Pour l'élaboration des schémas comme pour leur mise en œuvre plusieurs modalités techniques sont plus particulièrement signalées comme prioritaires pour le bassin : ■ la définition de zones prioritaires pour la lutte contre la pollution pluviale; ■ l'évaluation du risque de propagation de substances dangereuses ; ■ l'entretien et amélioration du réseau pluvial ; ■ la création ou le redimensionnement de bassins tampons d'orage ou ouvrages de stockage ; ■ la mise en place de systèmes de traitement ou au moins de décantation avant rejet des eaux pluviales collectées.	I	Collectivité locale	Agence de l'eau RM&C Collectivité locale

Nature des mesures : C, contractuelle ; R, réglementaire ; I, investissement

2) <u>Les mesures à mettre en œuvre pour prendre en compte, préserver et restaurer les zones humides</u>

Les mesures de ce volet n'ont pas été territorialisées, sauf exception. Les services en charge de cette politique, en lien avec les acteurs locaux, procéderont à l'identification des mesures les plus pertinentes dans le cadre de la mise en œuvre du SDAGE.

a. Reconquérir les zones humides

Code	Mesures	Commentaires - Précisions	Nature	Maîtrise d'ouvrage	Financements potentiels
ZH12	Restaurer voir recréer des zones humides sous forme d'infrastructures humides artificielles	Pour répondre à certaines fonctionnalités en lien avec l'assainissement, la gestion des eaux pluviales, la rétention de sédiments, il s'agit de : ■ mettre en place des systèmes d'épuration naturels extensifs, de bonne efficacité et plus fiables pour les petites collectivités ; ■ maintenir et/ou implanter des zones tampons judicieusement placées (au-delà des obligations liées à la PAC).	I	Ayant droit Collectivité locale Etablissement public Structure de gestion	Agence de l'eau RM&C Conseil Régional Conseil Général

Nature des mesures : C, contractuelle ; R, réglementaire ; I, investissement

b. Engager une observation pluriannuelle de l'évolution des zones humides en lien avec les masses d'eau en partenariat avec les structures de gestion locales

Code	Mesures	Commentaires - Précisions	Nature	Maîtrise d'ouvrage	Financements potentiels
ZH17	Mettre en place un suivi écologique du système d'assainissement et d'écoulement pluvial	Cela concerne les Infrastructures humides artificielles telles que les filtres plantés de roseaux, les bassins de décantation, les fossés de canalisation des eaux pluviales…	C I	Ayant droit Collectivité locale Etablissement public Structure de gestion	Europe Agence de l'eau RM&C Conseil Régional Conseil Général

Nature des mesures : C, contractuelle ; R, réglementaire ; I, investissement

B) Le cas appliqué du cours d'eau le Salaison (34)

1) État écologique du Salaison

D'après le programme de mesures, voici l'état écologique du Salaison, petit cours d'eau du département 34, traversant Le Crès. D'abord prévu pour 2021, l'objectif de bon état écologique a été repoussé pour 2027 après avoir repéré de nombreux polluants (dont HAP) et autres problèmes structurels comme la morphologie du cours d'eau et la continuité écologique.

Code masse d'eau	Nom masse d'eau	Catégorie	Etat écologique		Etat chimique	Objectif de bon état	Motif d'exemption	Paramètre(s) justifiant l'exemption ou faisant l'objet d'une adaptation (objectif moins strict)
			état	échéance	échéance	échéance		
	Sous bassin versant : CO 17 11 - Or							
FRDR10219	ruisseau le dardaillon-ouest	Cours d'eau	BE	2027	2015	2027	FT	nutriments et/ou pesticides, morphologie
FRDR12121	L'aigues Vives	Cours d'eau	BE	2015	2015	2015		
FRDR12122	Le berbian	Cours d'eau	BE	2015	2015	2015		
FRDR137	Le Dardaillon	Cours d'eau	BE	2021	2015	2021	FT	pesticides, morphologie, continuité
FRDR138	Le Bérange	Cours d'eau	BE	2021	2015	2021	FT	pesticides, morphologie, continuité
FRDR139	La Viredonne	Cours d'eau	BE	2021	2015	2021	FT	pesticides, morphologie, continuité
FRDR140	La Cadoule	Cours d'eau	BE	2021	2015	2021	FT	pesticides, morphologie, continuité
FRDR141	Le Salaison	Cours d'eau	BE	2021	2027	2027	FT/CN	matières organiques et oxydables, nutriments, continuité, morphologie, pesticides, substances prioritaires (HAP seuls)
FRDT11a	Etang de mauguio, Etang de l'Or	Eaux de transition	BE	2021	2021	2021	CN	pesticides, nutriments, morphologie, substances prioritaires

2) Outils de gestion intégrée de l'eau

Le site suivant permet de retrouver les outils de gestion intégrée de l'eau (SDAGE, SAGE, contrats de rivières… et donne des précisions sur les caractéristiques du cours d'eau étudié et de son historique : http://www.gesteau.eaufrance.fr/

En l'occurrence, le Salaison présente les problématiques suivantes : « Urbanisation, inondation à l'aval. Perte d'attrait de la rivière. Nappes karstiques fortement sollicitées par l'AEP. Problème de qualité de l'eau (pollution agricole et rejets de stations d'épuration). »

3) Problèmes et mesures à prendre

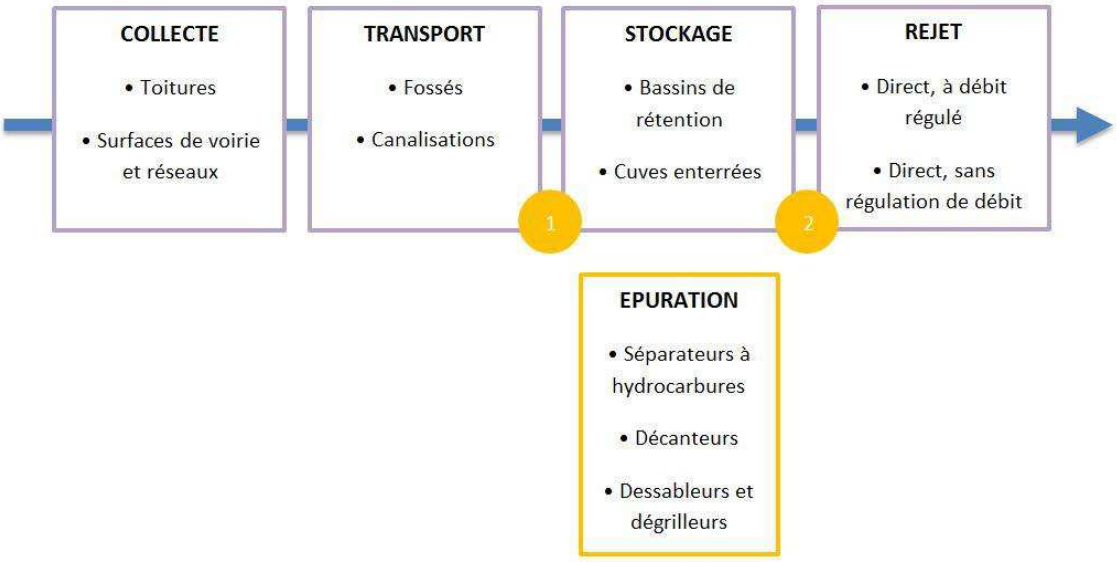
Pour connaître dans le détail les problèmes et les mesures à prendre pour améliorer l'état écologique du Salaison, il faut se rendre sur : http://sierm.eaurmc.fr/geo-sdage/consultation-tableau.php?fiche=CO_17_11&typeFiche=SB&numMasseEau=FRDR141

On retrouve les préconisations de la mesure 5E04 qui portent sur la mise en place d'une gestion alternative de eaux pluviales voire l'utilisation « de systèmes de traitement ou au moins de décantation avant rejet des eaux pluviales collectées ». Préconisations qui peuvent donc concerner la mise en place de filtres plantés de roseaux. D'autres mesures (5B25 et 5A32) renforcent l'idée de la première.

Problèmes et mesures du Programme De Mesures

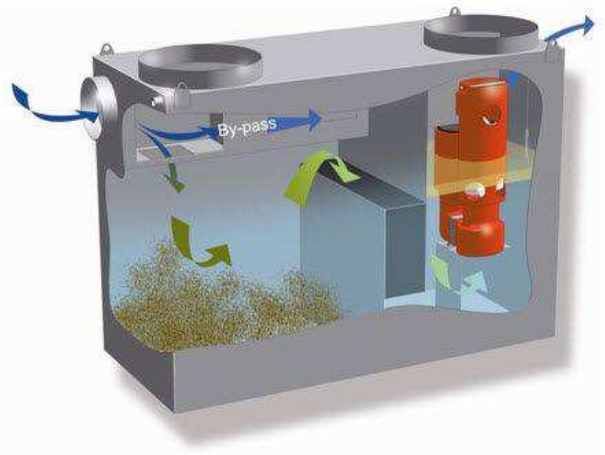
Code problème	Libellé problème	Code mesure	Libellé mesure	Description mesure	Maîtrise d'ouvrage financement mesure
1	Gestion locale à instaurer ou développer	1A10	Mettre en place un dispositif de gestion concertée	La mise en place une démarche de gestion concertée sur le périmètre pertinent est ciblée sur les secteurs identifiés à enjeux, afin d'améliorer l'organisation des acteurs de l'eau, de développer un partenariat local ou supra local voire transfrontalier, de prendre en charge certains transferts de gestion (ex. Domaine Public Maritime). L'efficacité de cette mesure repose sur la mise en place d'une structure de gestion et d'une équipe d'animation, ou le cas échéant, sur des démarches ou structures en place autres que les SAGE et contrats de milieu	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale, EPCI Financements potentiels : Agence de l'eau RM&C, Conseil Régional, Conseil Général
3	Pollution domestique et industrielle hors substances dangereuses	5B25	Déplacer le point de rejet des eaux d'épuration et/ou des réseaux pluviaux	Cette mesure peut concerner dans certains cas la vidange de bassins de décantation des infrastructures de transport.	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale Financements potentiels : Agence de l'eau RM&C, Collectivité locale
3	Pollution domestique et industrielle hors substances dangereuses	5E04	Elaborer et mettre en oeuvre un schéma directeur de gestion des eaux pluviales	Pour l'élaboration des schémas comme pour leur mise en œuvre plusieurs modalités techniques sont plus particulièrement signalées comme prioritaires pour le bassin : • la définition de zones prioritaires pour la lutte contre la pollution pluviale; • l'évaluation du risque de propagation de substances dangereuses ; • l'entretien et amélioration du réseau pluvial ; • la création ou le redimensionnement de bassins tampons d'orage ou ouvrages de stockage ; • la mise en place de systèmes de traitement ou au moins de décantation avant rejet des eaux pluviales collectées.	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale
3	Pollution domestique et industrielle hors substances dangereuses	5E21	Réaliser un diagnostic et améliorer le traitement des pollutions urbaines diffuses et dispersées (hameaux, refuges, activités d'hébergement et de soins, mas conchylicoles)	Cette mesure vise plus particulièrement : • le raccordement des mas conchylicoles au réseau d'eaux usées ; • la gestion des zones cabanisées, sous réserve du respect des règlements d'urbanisme ; • l'amélioration de l'épuration des rejets spécifiques à certaines activités très diffuses ou aux milieux particuliers du bassin (hameaux, refuges, activités d'hébergement et de soins...)	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale Financements potentiels : Agence de l'eau RM&C - Collectivité locale
6	Substances dangereuses hors pesticides	5A32	Contrôler les conventions de raccordement, régulariser les autorisations de rejets	Les pollutions par les micropolluants sont à prendre en compte dans les stratégies de l'épuration urbaine	Maîtrise d'ouvrage : Collectivité locale
7	Pollution par les pesticides	5D01	Réduire les surfaces désherbées et utiliser des techniques alternatives au désherbage chimique en zones agricoles	La mise en œuvre de pratiques alternatives au désherbage chimique peut nécessiter l'acquisition de matériels nouveaux dans les exploitations (bineuses, herses étrilles, désherbineuses, broyeurs et tondeuses...) donc s'accompagner d'opérations d'investissement (plan végétal environnement). Cette mesure peut être envisagée dans le cadre de programmes d'actions spécifiques (plan phyto, programme viti-vini, Quali H2O, opération Agr'eau, plan d'actions CROPP, ...). Dans certains cas, la mise en place de cette mesure devra s'appuyer sur un diagnostic de conversion pour les exploitations concernées.	Maîtrise d'ouvrage: Exploitant agricole, Coopérative d'utilisation du matériel agricole Financements potentiels : Europe, Etat, Agence de l'eau RM&C, Conseil Régional, Conseil Général, Exploitant agricole, CUMA
7	Pollution par les pesticides	5D05	Exploiter des parcelles en agriculture biologique	Cette action désigne soit la conversion de parcelles à l'agriculture biologique soit le soutien d'une pratique déjà existante qui relève des dispositifs agro-environnementaux régionaux	Maîtrise d'ouvrage: Exploitant agricole Financements potentiels : Europe, Etat, Agence de l'eau RM&C, Conseil Régional, Conseil Général, Exploitant agricole
9	Dégradation morphologique	3C14	Restaurer les habitats aquatiques en lit mineur et milieux lagunaires	Pour les cours d'eau, deux options sont possibles : • une restauration du lit mineur et du lit moyen dans l'objectif de donner au cours d'eau l'espace et le débit nécessaire pour retrouver une dynamique naturelle ; • une restauration partielle du lit pour diversifier les écoulements et les habitats aquatiques (pose de blocs, de déflecteurs).	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale, Fédération de pêche, Propriétaire, Gestionaire Financements potentiels : Agence de l'eau RM&C, Conseil Régional, Conseil Général
9	Dégradation morphologique	3C17	Restaurer les berges et/ou la ripisylve	Cette action comprend la définition et la mise en oeuvre de plan pluriannuel d'entretien de la végétation rivulaire. Les techniques de génie végétal peuvent être utilisées pour la restauration des berges bétonnées ou enrochées. En zone agricole elle peut être couplée à des mesures relevant des dispositifs agro-environnementaux régionaux	Maîtrise d'ouvrage: Ayant droit, Collectivité locale, Fédération de pêche, Fédération de chasse Financements potentiels : Agence de l'eau RM&C, Conseil Régional, Conseil Général
9	Dégradation morphologique	3C30	Réaliser un diagnostic du fonctionnement hydromorphologique du milieu et des altérations physiques et secteurs artificialisés	Cette mesure concourra à l'élaboration de l'état des lieux pour le plan de gestion 2016-2021. Elle peut aussi être déployée dans le cadre de l'amélioration de la connaissance sur les très petits cours d'eau	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale, Etat, Etablissement public Financements potentiels : Conseil Régional, Conseil Général, Agence de l'eau RM&C
12	Altération de la continuité biologique	3C13	Définir une stratégie de restauration de la continuité piscicole	Action à mener en préalable lorsque plusieurs masses d'eau ou plusieurs ouvrages sont concernés dans le sous bassins. Dans le cadre de l'étude préliminaire, il est procédé à un recensement des ouvrages, à une analyse de leur impact sur la continuité piscicole et à une détermination de ceux sur lesquels il est pertinent d'intervenir.	Maîtrise d'ouvrage: Collectivité locale, Ayant droit, Gestionnaire et/ou propriétaire d'ouvrage Financements potentiels : Conseil Régional, Conseil Général, Agence de l'eau RM&C

Annexe III : Quelques ouvrages classiques de traitement des eaux pluviales



Différents types d'ouvrages de gestion et de traitement classique des eaux pluviales et leur fonction (Valentin Roland)

Les séparateurs à hydrocarbures ou débourbeurs :



Ce système ne permet pas de piéger les pollutions chroniques puisqu'il garantit 5mg/l en sortie alors qu'il est rare d'observer de telles quantités en entrée (LUTZ. 2010). Il permet uniquement de se prémunir contre les pollutions accidentelles. De plus, il peut y avoir un relargage des polluants décantés en cas de forts événements et ainsi des rendements négatifs.

Principe d'un séparateur à hydrocarbures (ArchiExpo. 2015)

Les décanteurs :

Décanteurs horizontaux :

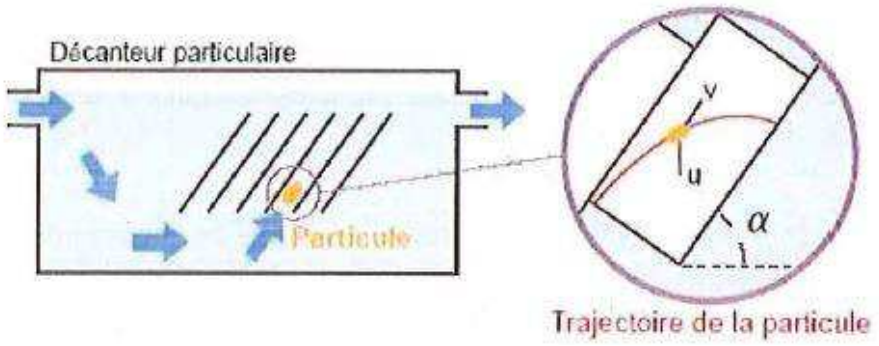


Cette technique fonctionne bien pour les effluents unitaires, cependant comme la majorité de la pollution est fixée sur des particules fines, il faut traiter toutes les MES ce qui demande d'avoir beaucoup d'emprise au sol pour l'installation d'un tel système.

Principe d'un décanteur horizontal (Chambéry Métropole. 2015)

Décanteurs lamellaires :

Efficaces contre la pollution chronique, ils présentent un entretien très régulier (plusieurs fois par an) et rigoureux ; leur coût est également limitant (10 fois plus cher qu'un séparateur à hydrocarbures).



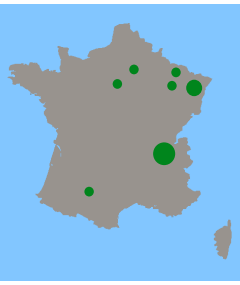
Principe d'un décanteur lamellaire (Chambéry Métropole. 2015)

Les techniques classiques de traitement des eaux pluviales ne sont pas toujours adaptées (rendement, surface disponible, entretien, coût) et doivent être utilisées au cas par cas, quand cela est nécessaire.

Sources :

ArchiExpo. 2015. Techn'eau, séparateur à hydrocarbures. http://www.archiexpo.fr/prod/techneau/product-59198-393645.html (consulté le 28/07/2015).

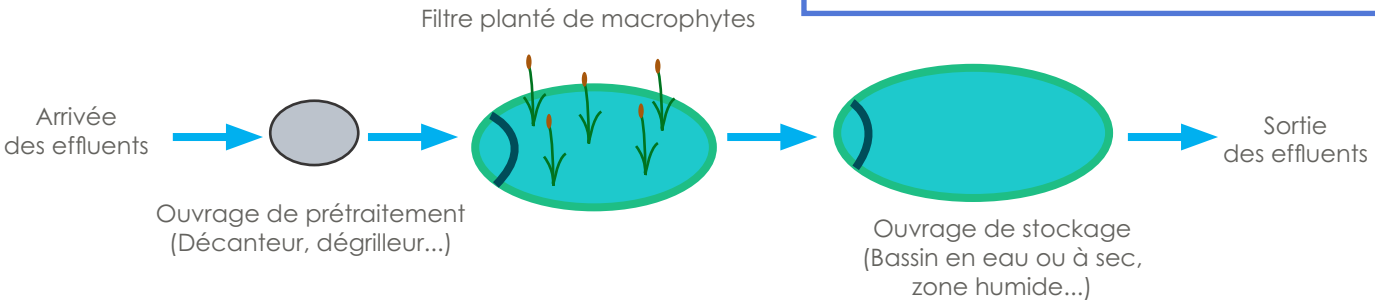
Chambéry Métropole. 2015. Guide sur les décanteurs, technique classique de dépollution des eaux pluviales. Graie, liens utiles. http://www.graie.org/graie/touslesliens.htm (consulté le 28/07/2015).



SOMMAIRE

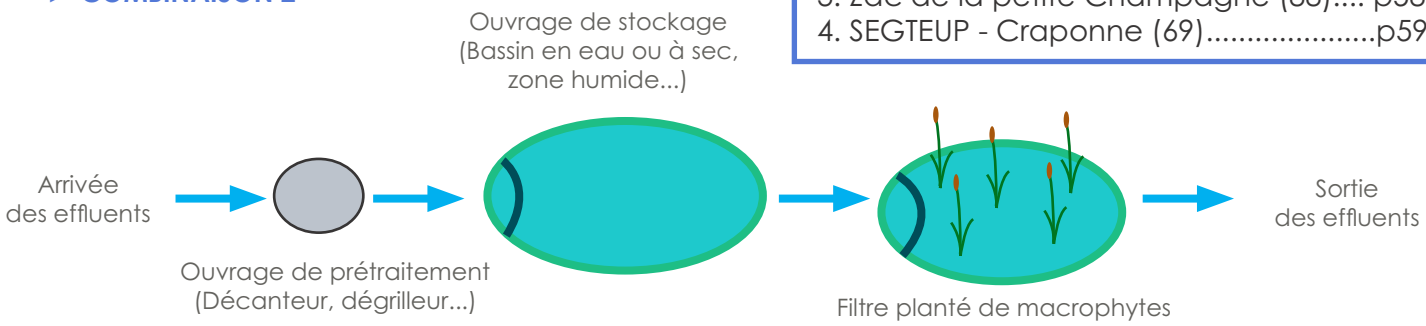
► COMBINAISON 1

1. Zac de la Fouillouse (69)..... p53
2. Zac des Envignes (74)..... p54
3. Saint Germain les Arpajon (91).... p55



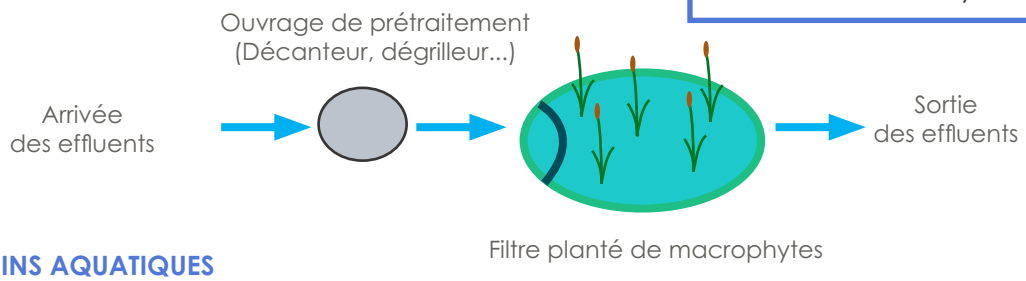
► COMBINAISON 2

1. Centre sportif et culturel (67)..... p56
2. Site de l'Ostwaldergraben (67)..... p57
3. Zac de la petite Champagne (88).... p58
4. SEGTEUP - Craponne (69).....p59

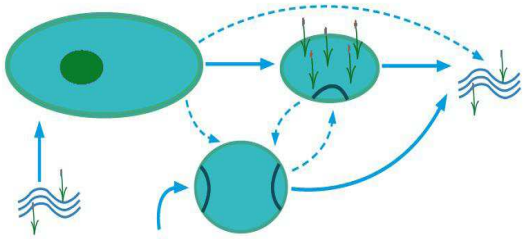


► COMBINAISON 3

1. Zac des bords du lac (73).....p60
2. Parc de la Maourine (81)..... p61
3. SEGTEUP - Marcy l'Etoile (69).... p62



► JARDINS AQUATIQUES



1. Zac de Bezannes (51)..... p63
2. Parc de la Seille (57)..... p64
3. Les bassins de Dardilly (69)..... p65
4. Parc technologique la porte les Alpes (69).... p66



ZAC DE LA FOUILLOUSE (69)

Région : Rhône-Alpes
Département : Rhône
Commune : Saint Priest

Rétention et dépollution des eaux pluviales par filtres plantés de roseaux de la zone d'activités de la Fouillouse (38 ha) avant restitution à la nappe par infiltration.

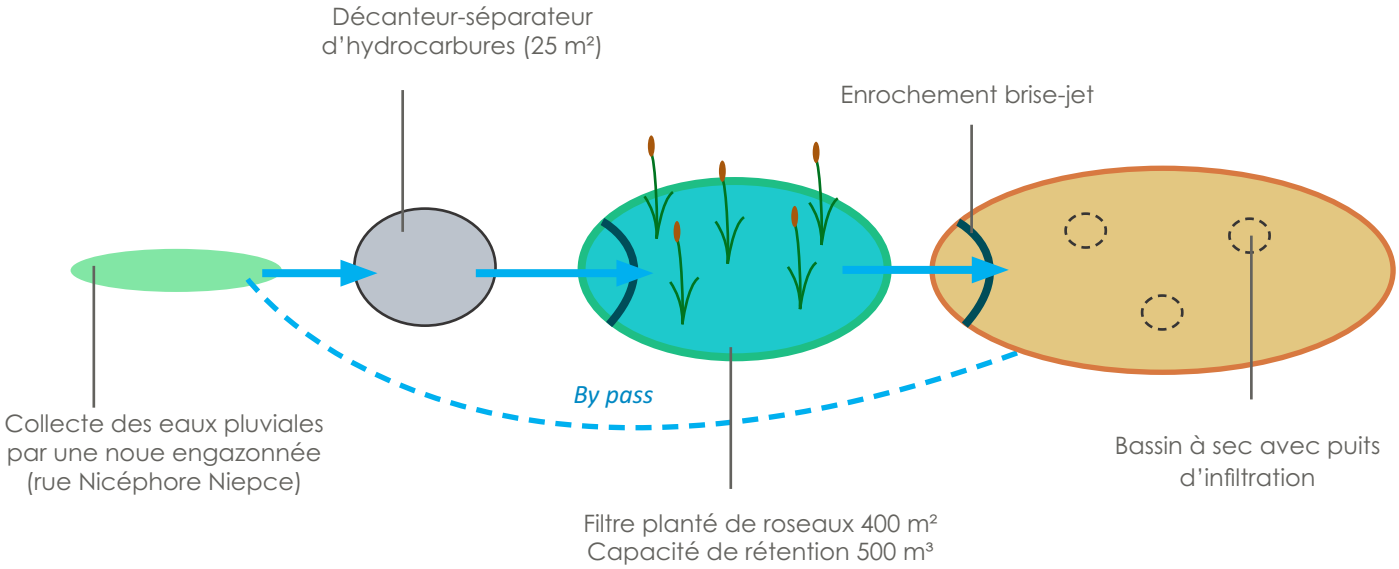
Gouvernance :

MOA : Foncier conseil
MOE : SINT
Date de réalisation : 2005

Objectifs :

Polluants	Concentrations
Hydrocarbures totaux	< 5 mg/l (1mg/l attendu)
PH	Entre 6,5 et 8,5
DCO	< 125 mg/l
DBO5	< 30 mg/l
Azote Kjeldhal	< 10 mg/l

Schéma de l'installation :





Observations (05/2015) :

Peu d'eau dans le séparateur-décanteur à hydrocarbures.
Flore spontanée de climat sec dans le bassin d'infiltration et dans le filtre planté qui présente également quelques phragmites et typhas chétifs.

Le débit d'entrée semble faible (l'eau s'infiltre peut-être en amont via la noue).

Mauvaise intégration paysagère (talus bâchés, ouvrages de traitement en béton très visibles...)







ZAC DES ENVIGNES (74)

Région : Rhône-Alpes
Département : Haute-Savoie
Commune : Neydens

Dispositif de rétention (3720 m³) et de traitement (1200 m²) des eaux pluviales d'une zone d'activités et d'un réseau de voiries qui couvriront à terme 90ha.

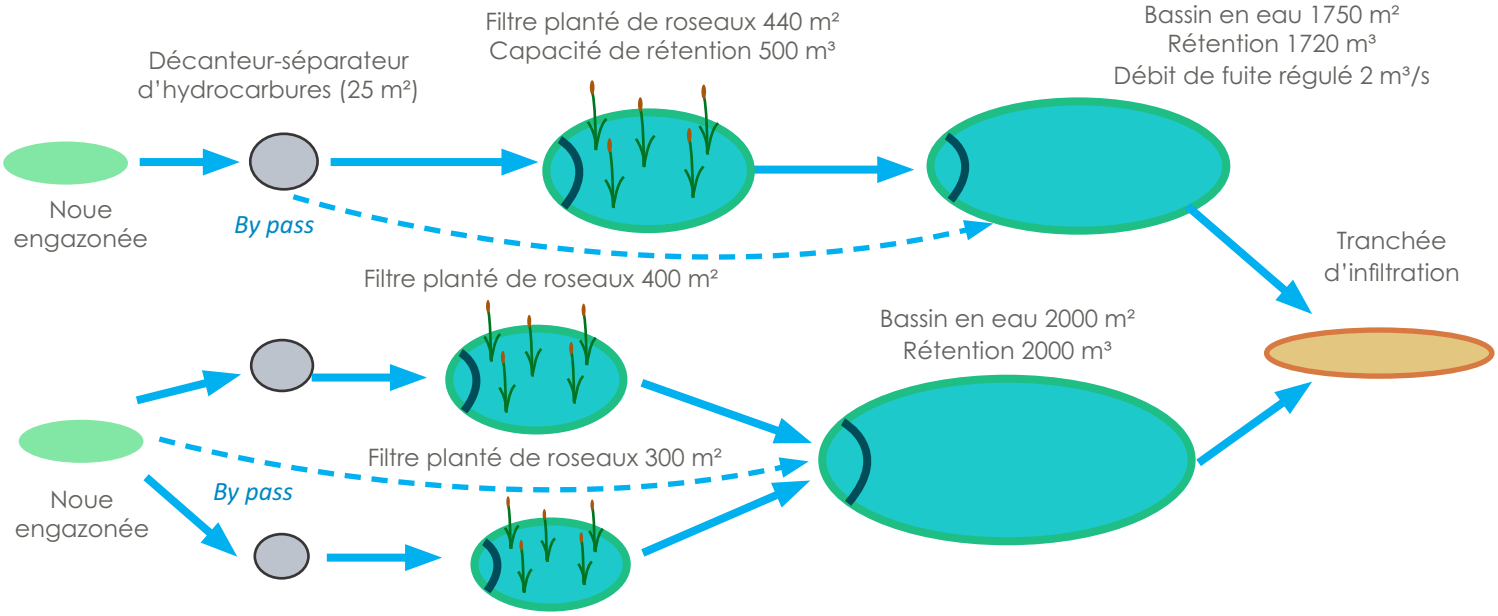
Gouvernance :

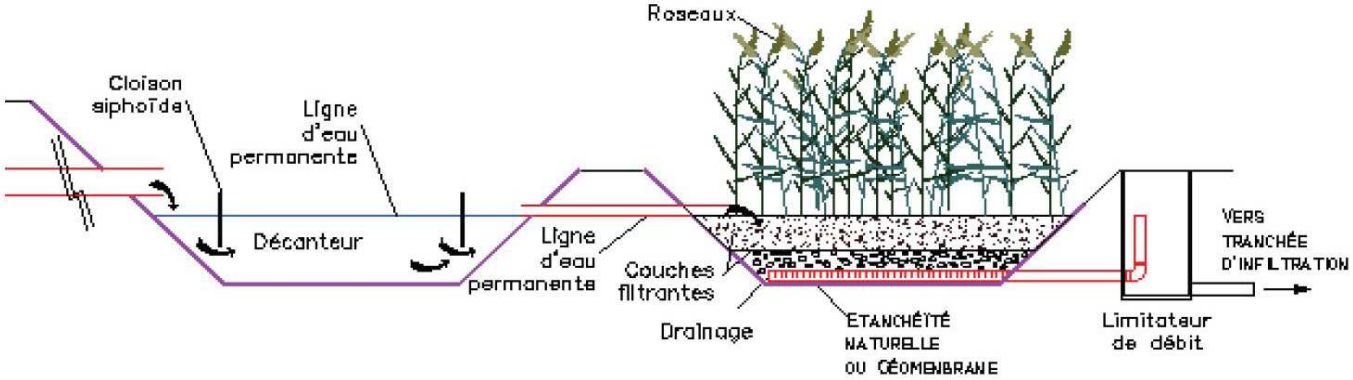
MOA : Mairie de Neydens
MOE : SINT / PROFIL ETUDES / Laurent Daune
Travaux : MEGEVAND / NAVET / BIANCO
Date de réalisation : 2001
Coût : 595 000 € HT

Caractéristiques du filtre 1 mis en service en 2002 :

Il traite les eaux d'une surface active de 2 ha.
Le décanteur piège les particules > 200 µm pour protéger le filtre du colmatage et pour réaliser un pré-traitement par sédimentation.
Le filtre, planté de Phragmites australis et d'Iris est dimensionné pour une pluie annuelle et peut contenir 45 % du volume d'une pluie décennale.
Le temps de rétention du filtre est de 2 h.

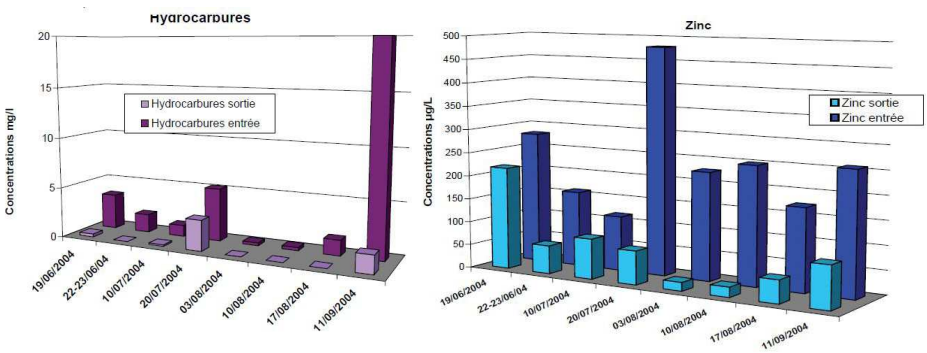
Schéma de l'installation :





Performances du filtre 1 (2004) :

- 95 % pour les MES
- 69 % pour la DCO
- 78 % pour le Zinc
- 81 % pour le Plomb
- 25 % pour le Cadmium
- 82 % pour les hydrocarbures





SAINT GERMAIN LES ARPAJON (91)

Région : Ile de France
Département : Essonne
Commune : St Germain les Arpajon

Système de dépollution biologique par filtre planté de roseaux (2500 m²) des eaux pluviales d'un bassin versant de 125 ha et d'une partie des eaux de ruissellement de la RN20

Gouvernance :

MOA : syndicat mixte de la vallée de l'Orge Aval

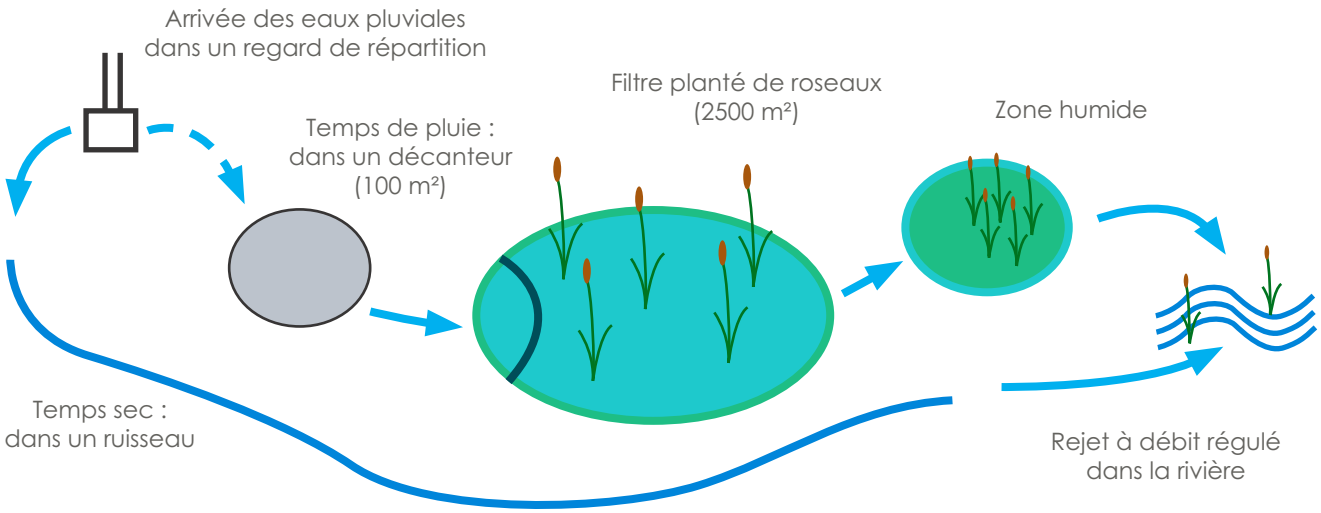
MOE : SINBIO

Date de réalisation : 2012

Objectifs et caractéristiques du système :

- Stockage et traitement d'une pluie de retour de 6 mois
- Création d'une zone humide et d'un ruisseau favorisant la biodiversité
- Programme de 2 ans avec un laboratoire de recherche affiliée au ministère du développement durable pour connaître les performances du filtre

Schéma de l'installation :



Reportage photographique :

Après les travaux (mai 2012)





Après quelques mois de fonctionnement





Fonctionnement hydraulique validé, attentes sur les abbatements des polluants, suivi de la biodiversité de la zone humide déjà positif.



CENTRE SPORTIF ET CULTUREL (67)

Région : Alsace
Département : Bas-Rhin
Commune : Geisploshiem

Complexe composé de 3000 m² de bâtiments, de deux terrain de football associés à un bâtiment tribune (800 m²), d'un parking de 250 places, de voiries et d'espaces verts.

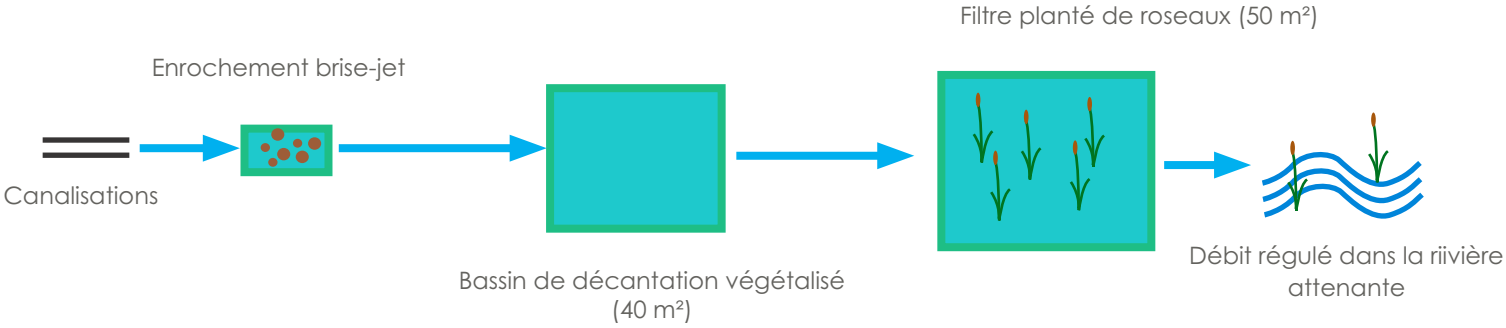
Gouvernance :

MOA : Mairie de Geisploshiem
MOE : SINT / SINBIO
Travaux : ORLY BTP
Date de réalisation : nov 2000

Caractéristiques du système :

- Stockage et traitement d'un orage décennal
- Limitation du débit de fuite vers la rivière
- Végétalisation diversifiée, création d'un milieu écologiquement riche

Schéma de l'installation :





Filière de traitement :

1. Surface enrochée pour briser le flux d'eau
2. Bassin de décantation végétalisé (40 m²)
3. Filtre planté de roseaux
4. Limitation du débit de fuite









Région : Alsace
Département : Bas-Rhin
Commune : Strasbourg

SITE DE L' OSTWALDERGRABEN (67)

Traitement des eaux pluviales de trois zones résidentielles par le moyen de filtres plantés (670 m²) et de mares artificielles.

Gouvernance :

MOA : Communauté urbaine de Strasbourg
MOE : SINBIO
Recherche scientifique : ENGEES/IMFS
Date de réalisation : 2012

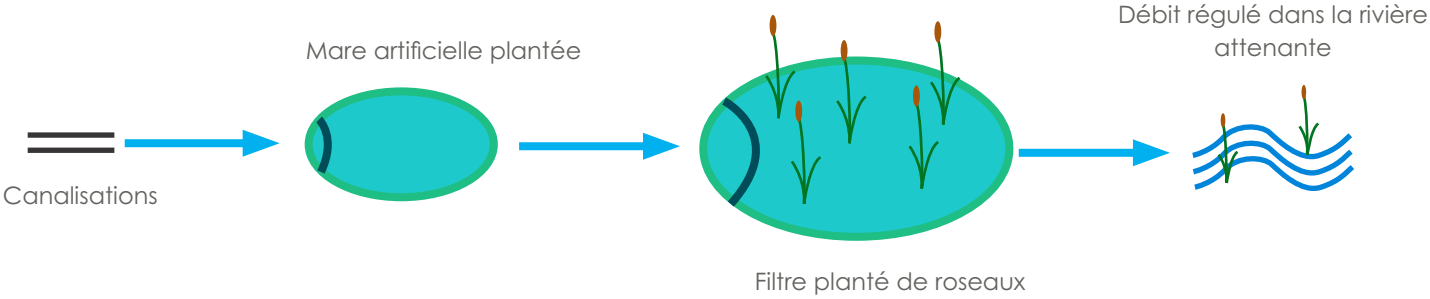
Objectifs du système :

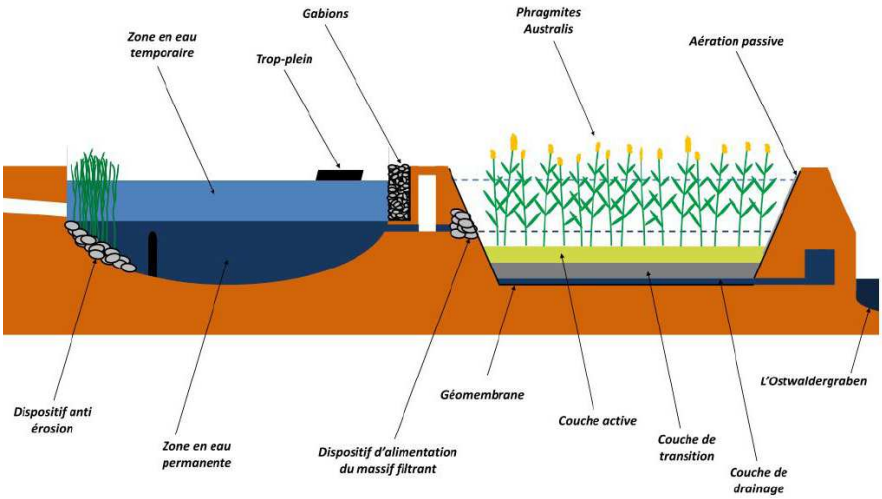
• Traiter les eaux pluviales de trois petits bassins versants (quelques hectares) de zones résidentielles avec une filière extensive

• Atteindre le bon état écologique de l'Ostwaldergraben (2027)

• Recréer un corridor écologique pour le Crapaud Vert (en voie de disparition)

Schéma de l'installation :





Suivi scientifique :

Débuté en 2013, un suivi hydraulique et physico-chimique a permis de comparer l'efficacité des différentes configurations selon les critères suivants :

- mesures physico-chimiques de l'eau
- suivi hydraulique du système
- mesure de l'évapotranspiration des plantes
- mesures d'indices de biodiversité

Les premiers résultats montrent une diminution des MES et de certains métaux.

Deux types de filtres plantés :

Le dispositif comprend deux filtres verticaux ...



... et un filtre horizontal.





ZAC DE LA PETITE CHAMPAGNE (88)

Région : Lorraine
Département : Vosges
Commune : Neufchâteau

Traitement d'une zone d'activités de 30 ha par un système de filtres plantés de roseaux (600 m²)

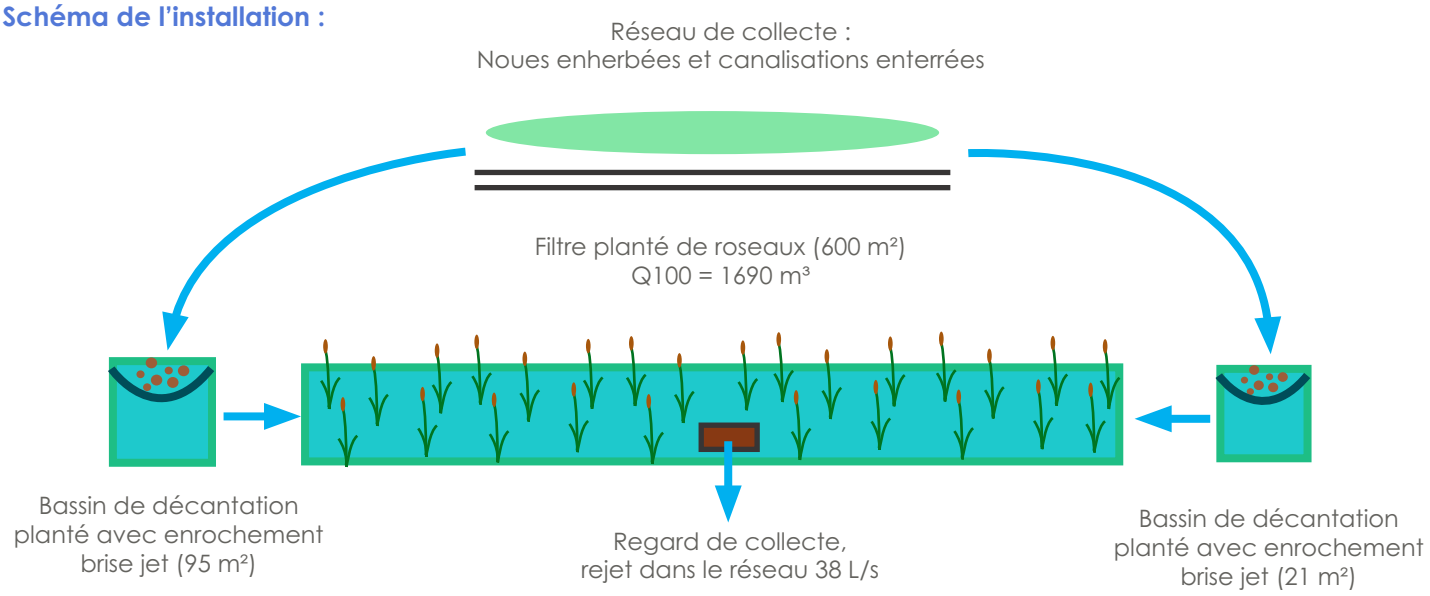
Gouvernance :

MOA : Communauté de communes du pays de Neufchâteau
MOE : SINBIO
Travaux : DDE des Vosges
Date de réalisation : 2006

Objectifs du système :

• Gérer les eaux pluviales de manière durable avec la création de deux réseaux spécifiques, l'un recueillant les eaux de toitures et les rejetant directement dans le lac, l'autre recueillant les eaux de ruissellement des voiries et des parkings de surface qui seront traitées naturellement dans des bassins d'épuration à macrophytes avant d'être rejetées dans le lac

Schéma de l'installation :



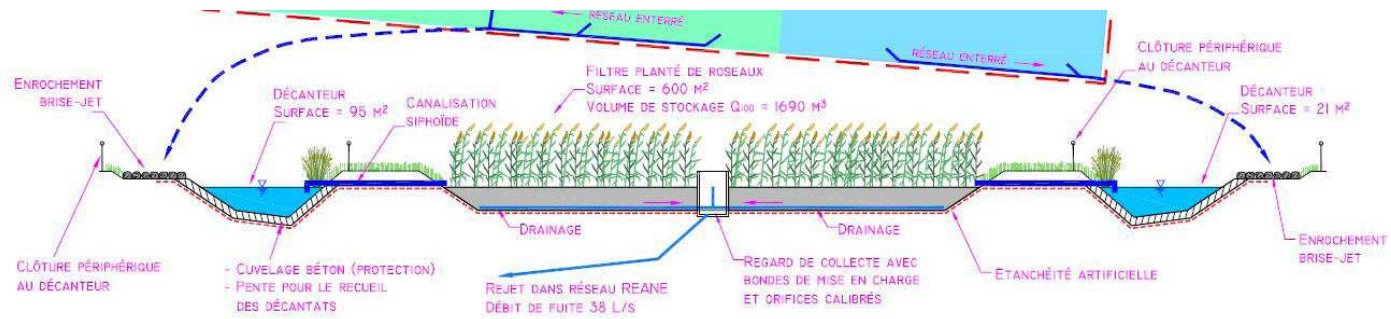
Reportage photographique :



Réalisation du filtre linéaire



Construction des noues et de la voirie





SEGTEUP - CRAPONNE (69)

Région : Rhône-Alpes
Département : Rhône
Commune : Craponne

Mise en place d'un site expérimental avec 9 pilotes pour améliorer les connaissances des filtres plantés pour le traitement des eaux pluviales et poser les bases de conception/dimensionnement

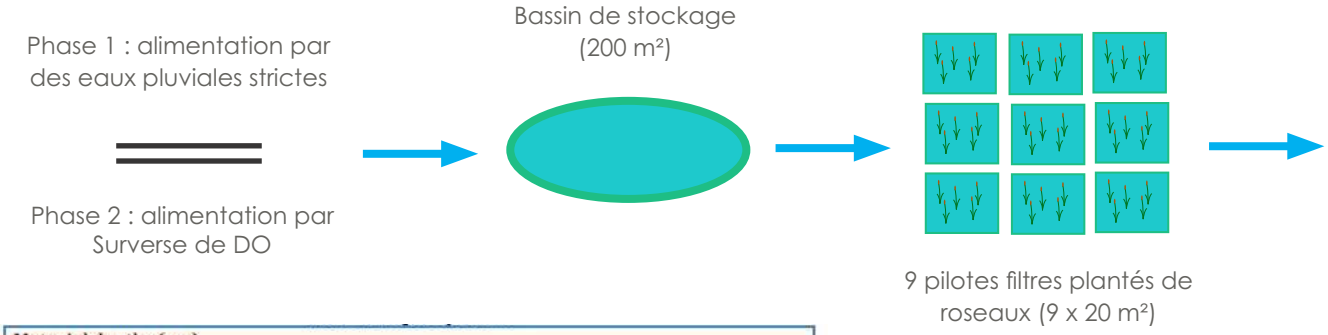
Programme de recherche :

Coordinateur : P.Molle IRSTEA
Partenaires : IRSTEA, GRAND LYON, INSAVALOR, SINT, EPUR NATURE
Durée : 2009-2013

Objectifs :

- Optimiser les matériaux de filtration
- Définir les limites hydrauliques du système
- Optimiser la gestion pour améliorer la performance

Schéma de l'expérimentation :



Material depths (cm)						
n° pilot		Filter layer	2-4mm	10-20mm	20-40mm	TOTAL (cm)
1	Zeolite (FSZ30)	30	40	20	20	110
2	Coarse sand (CS30)	30	40	20	20	110
3	Fine sand (FS30)	30	40	20	20	110
4	Fine sand (FS60)	60	10	20	20	110
5	Gravel 2/4mm (G)	60	10	20	20	110
6	Fine sand‡ (FSS)	30 to 50	40 to 20	20	20	110
7	Coarse sand (CS60)	60	10	20	20	110
8	Coarse sand (CS30)	30	40	20	20	110
9	Zéolite (FSZ60)	60	10	20	20	110

La couche drainante est constituée de 20 cm de graviers 20/40 et de 20 cm de graviers 10/20. La couche de filtration mesure 70 cm.

Bassins plantés avec Phragmites Australis (4 plants/m²). La réserve hydrique varie de 30 à 50 cm.

Reportage photographique :



Bassin de stockage avec agitateur magnétique (homogénéité des effluents)







Drainage PVC Ø 125 et cheminées d'aération

Performances épuratoires :

Performances épuratoires lors de la phase d'alimentation en eaux pluviales strictes en période de démarrage.

	MES	DCO	NH4
Concentration entrée moyenne (mg/l)	**31**	**28**	**0,256**
Ecart-type concentration entrée (mg/l)	*19*	*8,6*	*0,13*
Concentration sortie moyenne (mg/l)	**9,4**	**13,8**	**0,06**
Ecart-type concentration sortie (mg/l)	*7,3*	*6,5*	*0,04*
Rendement moyen (%)	**77,00**	**69,00**	**65,00**
Ecart-type (%)	*24,00*	*28,00*	*17,00*



ZAC DES BORDS DU LAC (73)

Région : Rhône-Alpes
Département : Haute-Savoie
Commune : Aix-les-Bains

Traitement des eaux de voiries et de parkings par filtre planté de roseaux (260 m²)

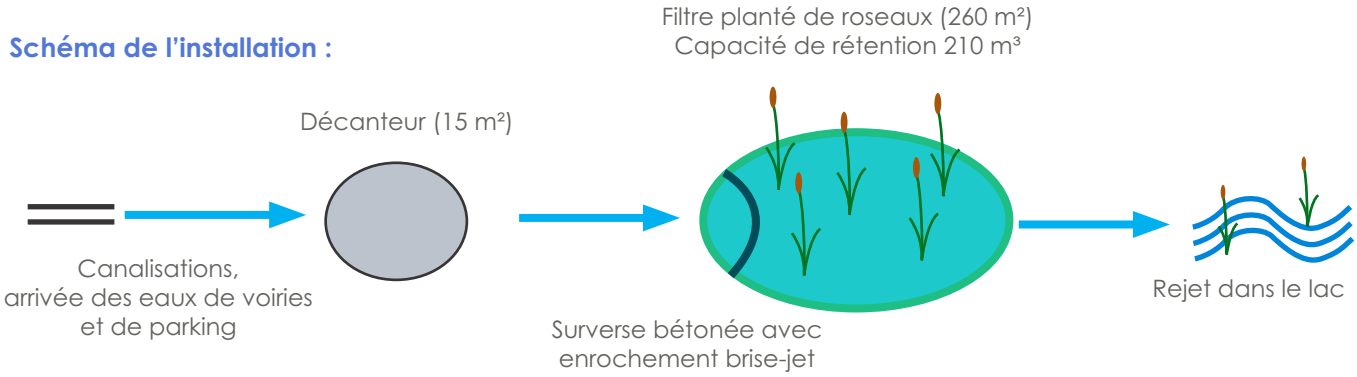
Gouvernance :

MOA : Ville d'Aix-les-Bains
MOE : SINT
Date de réalisation : 2006

Objectifs du système :

• Gérer les eaux pluviales de manière durable avec la création de deux réseaux spécifiques, l'un recueillant les eaux de toitures et les rejetant directement dans le lac, l'autre recueillant les eaux de ruissellement des voiries et des parkings de surface qui seront traitées naturellement dans des bassins d'épuration à macrophytes avant d'être rejetées dans le lac

Schéma de l'installation :



Reportage photographique :



• Le filtre a en plus une capacité de stockage au dessus de la surface de filtration en cas de fort afflux sur deux étages. Chaque talus (interne et externe a un fruit de 1H/1V).

• Un collecteur enterré avec un caillebotis en inox permet de limiter le débit de sortie des eaux traitées vers le lac.

• Le filtre apparaît comme étant bien intégré dans son environnement et bénéficie d'un accès piéton direct



PARC DE LA MAOURINE (31)

Région : Midi-Pyrénées
Département : Haute-Garonne
Commune : Toulouse

Traitement des eaux de surverse du réseau unitaire de la ville de Toulouse par un filtre planté de roseaux de 150 m².

Gouvernance :

MOA : Ville de Toulouse
MOE : SINT
Travaux : La SCAM
Coût : 60 000 € HT
Date de réalisation : 2002

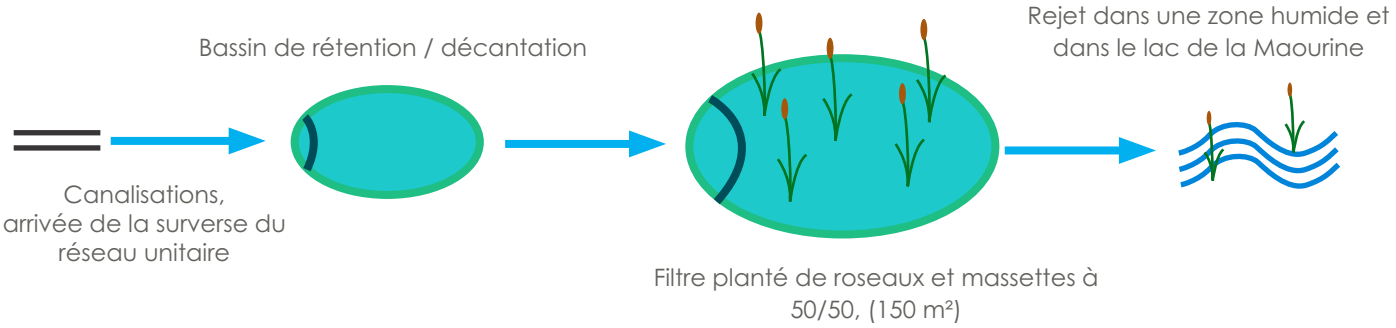
Objectifs du système :

• Assurer la rétention et la dépollution des eaux de surverse du réseau unitaire de la ville de Toulouse, avant restitution à la zone humide de la Maourine

• Intégrer les ouvrages au parc de la Maourine : le filtre planté de roseaux doit être traversé par un chemin piéton

• Utiliser des espèces présentes dans le parc : Phragmites et Typha

Schéma de l'installation :



Reportage photographique :

Système de drainage recouvert de graviers





Le filtre est planté de roseaux sur un demi-lit et de massettes sur l'autre partie

Le filtre planté est intégré au sein d'un parc paysager





SEGTEUP - MARCY L'ETOILE(69)

Région : Rhône-Alpes
Département : Rhône
Commune : Craponne

Mise en place d'un pilote à taille réelle (2 x 265 m²) pour le traitement des eaux de déversoir d'orage pour une pluie de temps de retour annuel

Programme de recherche :

Coordinateur : P.Molle IRSTEA
Partenaires : IRSTEA, GRAND LYON, INSAVALOR, SINT, EPUR NATURE
Durée : 2009-2013

Caractéristiques :

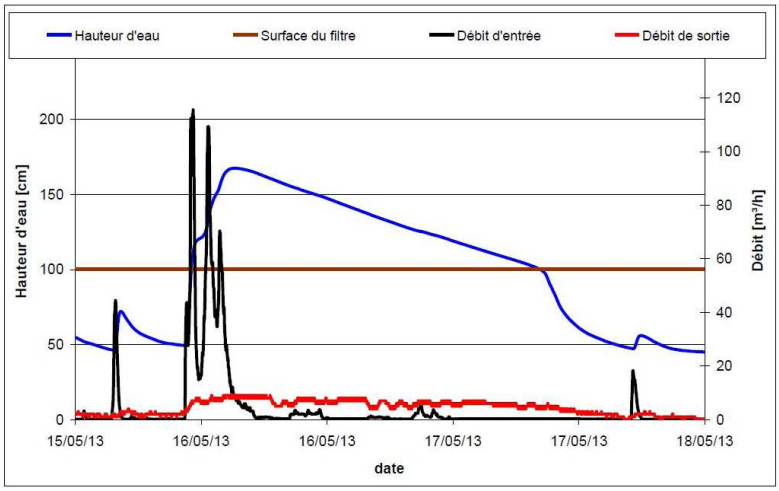
• Débit d'entrée régulé : 500 L/s. Evacuation de l'eau de surverse à 500 L/s.

• Filtres dimensionnés pour une charge maximale hydraulique de 50 m/an.

Reportage photographique :



Travaux : avant la mise en place des granulats



Exemple de l'hydraulique du filtre lors d'un événement pluvieux



avec gabion anti-affouillement







Séparation du filtre et niveaux de connexion hydraulique

Performances épuratoires :

Les performances **attendues** pour ce pilote sont un abattement de :

- 90 % de la DBO5 et des MES,
- 65 % de la DCO,
- 60 % de N ou K



ZAC DE BEZANNES (51)

Région : Champagne-Ardenne
Département : Marne
Commune : Bézannes

Série d'ouvrages de gestion des eaux pluviales (capacité de rétention de 15 000 m³) implanté sur 35 ha, en aval d'un quartier d'activités et d'habitat de 172 ha.

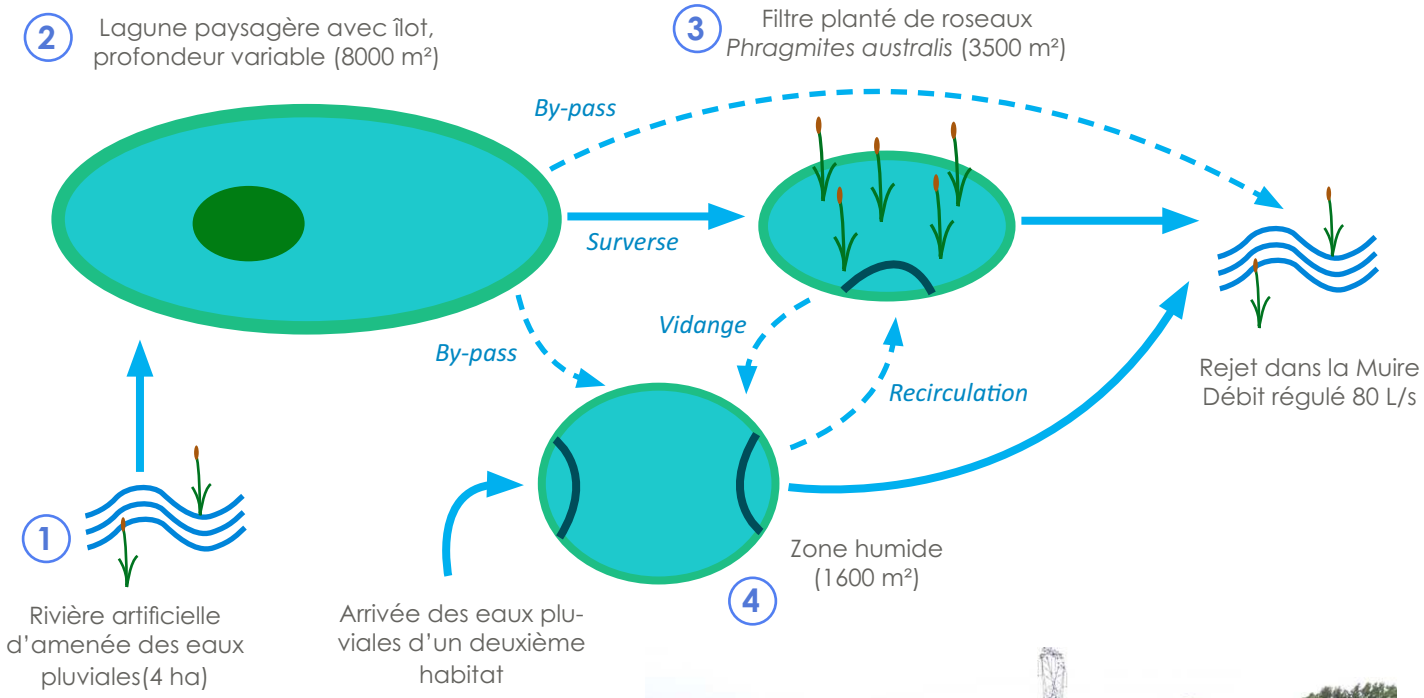
Gouvernance :

MOA : Reims Métropole
MOE : ARRIA (mandataire) / SINBIO / Paysagiste Michel Desvignes
Travaux : ORLY BTP
Date de réalisation : mai 2010

Caractéristiques du système :

- Parc paysager à vocation écologique
- Favorisation des écotones (liens entre terre et eau), porteurs de biodiversité
- Jeu sur la topographie (profondeurs variées)
- Végétation locale adaptée aux contraintes hydriques : +40 cm pour une pluie annuelle, +1,20m pour une pluie centennale, retour au niveau normal sous 12 à 48 h, forte évapotranspiration.

Schéma de l'installation :



Reportage photographique :











PARC DE LA SEILLE (57)

Région : Lorraine
Département : Moselle
Commune : Metz

Intégration urbanistique et écologique des eaux de ruissellement d'un quartier de 45 ha proche du centre ville, traitement par filtres plantés (2000 m²)

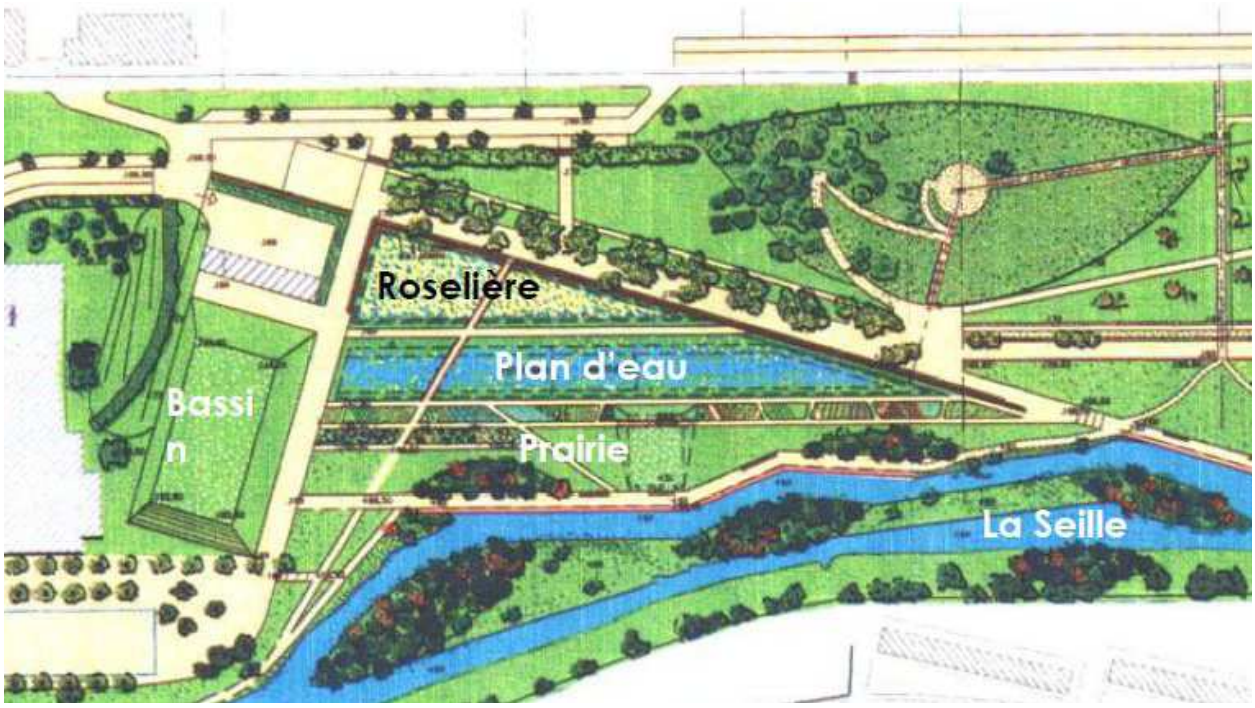
Gouvernance :

MOA : ville de Metz
MOE : Jacques Coulon Paysagiste, SINT/SINBIO...
Coût mission MOE : 107 000 € HT
Coût travaux (tous projets) : 6,5 millions € HT
Date de réalisation : 2001-2002

Objectifs du système :

- Stockage et traitement d'une pluie décennale par une série d'ouvrages : roselière, plan d'eau, prairie humide, bassin sec
- 2000 m² de filtres plantés de roseaux et 8000 m³ d'eau stockée
- Limitation du débit de fuite vers la rivière
- Intégration paysagère au sein du parc

Plan masse de l'installation :



Reportage photographique :



Filtre planté de roseaux



Plan d'eau



BASSINS DE LA BEFFE (69)

Région : Rhône-Alpes
Département : Rhône
Commune : Dardilly

Système de rétention et de traitement des eaux pluviales et d'eaux usées d'assainissements autonomes, sur un bassin versant de 19 ha

Gouvernance :

MOA : Grand Lyon
MOE : SINT et
Pierre Pioncon paysagiste
Montant des travaux :
275 000 € HT
Date de réalisation : 2008-2011

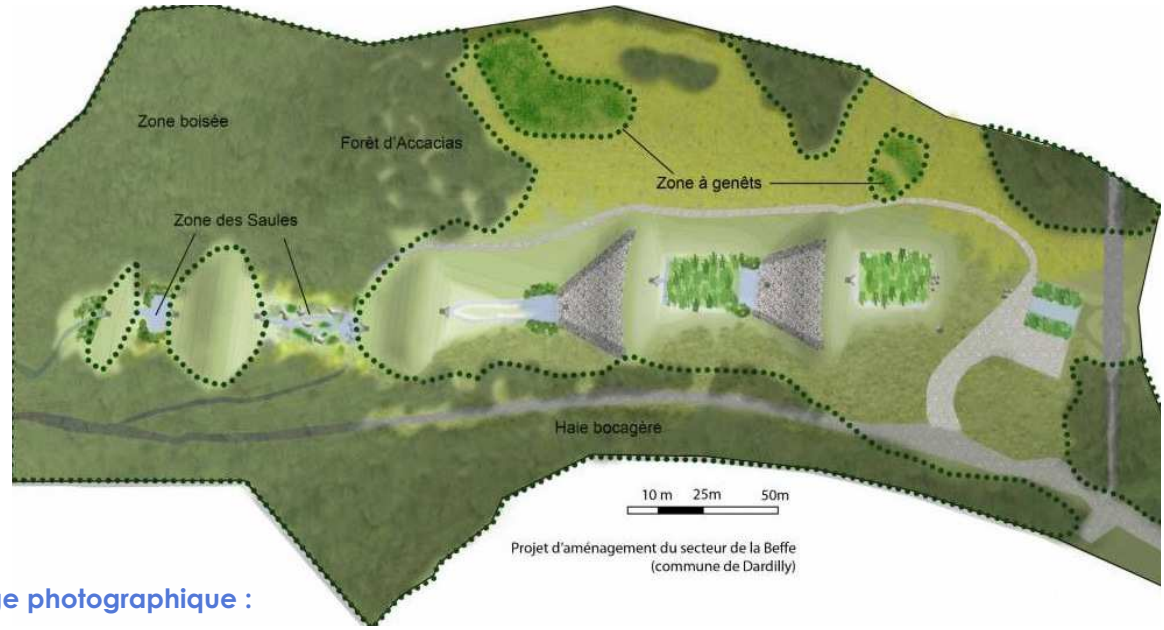
Objectifs et caractéristiques du système :

• Collecter les eaux pluviales et les eaux usées d'assainissements autonomes ne pouvant être infiltrées

• Utilisation de filtres plantés de macrophytes pour affiner le traitement des eaux usées, retenir et filtrer les eaux pluviales

• 2400 m³ de rétention pour une pluie décennale, sur un bassin versant de 19 ha. Flux de pollution organique maximum = 6,2 kg de DBO5/j

Plan masse de l'installation :



Reportage photographique :





Le ruisseau de la Beffe en aval peut désormais retrouver son cours vif et naturel et poursuivre son cours jusqu'à la rivière Yzeron.



L'aménagement des 5 bassins de rétention et de traitement en série a été intégré au paysage et respecte les différents biotopes locaux : landes à genêts, forêt humide et côteau.

Le projet est situé dans un grand parc ouvert accessible au public et permet de valoriser eaux usées et eaux pluviales.





Région : Rhône-Alpes
Département : Rhône
Commune : Saint Priest

PARC TECHNOLOGIQUE DE LA PORTE LES ALPES (69)

Intégration des eaux pluviales d'une zone technologique de 140 ha par divers systèmes extensifs

Gouvernance :

MOA : Grand Lyon et Saint Priest
MOE : Ginger/Sogreah
et Asa/Illex paysagistes
Travaux : SERL
Montant des travaux :
5M € HT
Date de réalisation : 1995

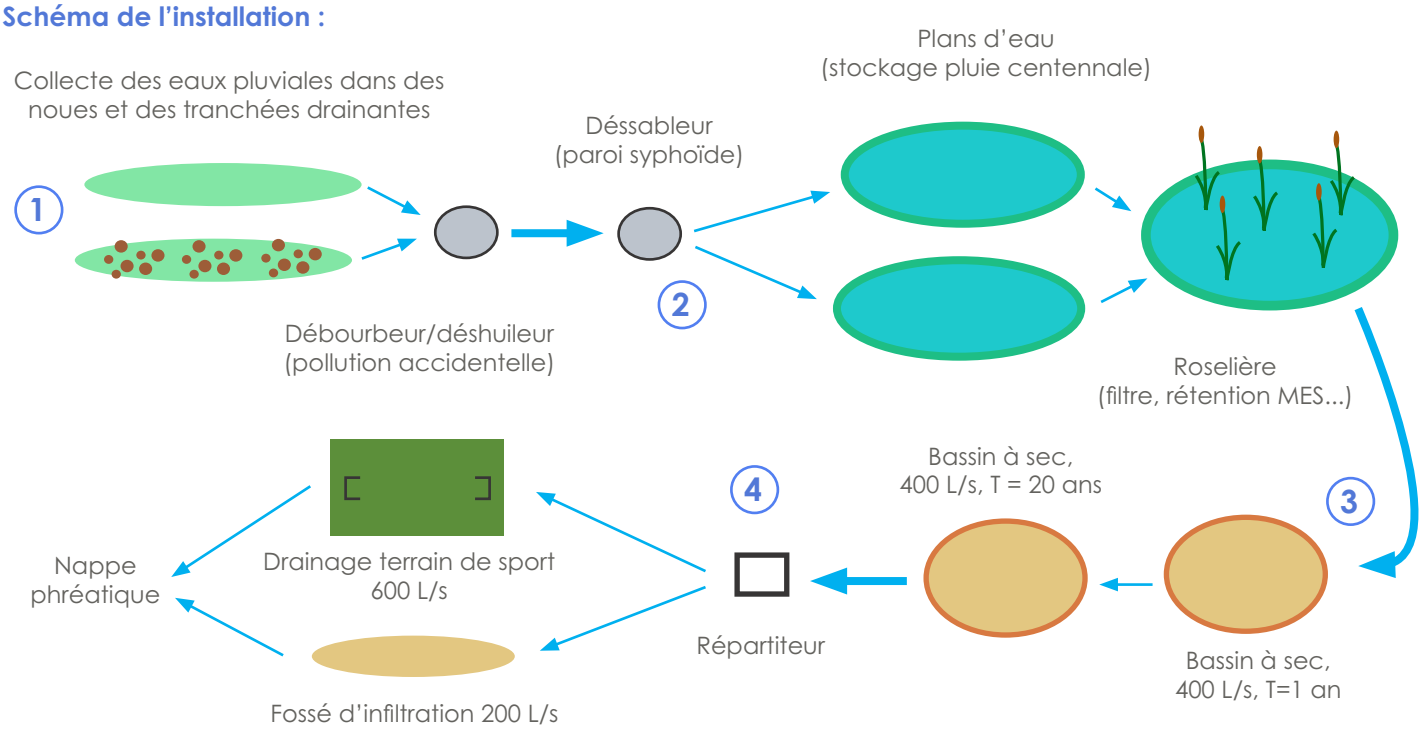
Objectifs et caractéristiques du site :

• 4 objectifs : intégration paysagère, ouverture au public, plurifonctionnalité, qualité

• Mise en scène de l'eau par trois types d'ouvrages : bassins de rétention, ouvrages de prétraitement, bassins d'infiltration

• 4 ha de plan d'eau au total

Schéma de l'installation :



Reportage photographique :






BIBLIOGRAPHIE

• Duclos, N., J. Laurent, A. Wanko, R. Mosé, R. Gentner, M. Malfroy-Camine, Y. Dabrowski, et al. 2013. Restauration d'un cours d'eau urbain associant la création d'un corridor écologique et le traitement des eaux pluviales de trois bassins versants résidentiels urbains. In: 8th international conference on planning and technologies for sustainable management of water in the city, NOVATECH 2013, Lyon. 11p.

• Duclos, N., Molle, P., Laurent, J., Wanko, A. et Mosé, R. 2013. Constructed wetlands to treat micropollutants of urban runoff from three residential watersheds. In: 8th international conference on planning and technologies for sustainable management of water in the city, NOVATECH 2013, Lyon. 9p.

• Giroud, V., Esser, D., Fournet, L. et Davoli, F. 2007. Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales: Notion d'efficacité. In : 6th international conference on sustainable techniques and strategies for urban water management, NOVATECH 2007, Lyon. 8p.

• Jost, G. et al. 2010. Ingénierie écologique : évolution de la biodiversité et entretien d'un milieu aquatique artificiel finalisé en 2010, destiné à la gestion d'eaux pluviales urbaines. In: 8th international conference on planning and technologies for sustainable management of water in the city, NOVATECH 2013, Lyon. 10p.

• Programme de recherche SEGTEUP. 2013. Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Ed nov 2013. EPNAC/IRSTEA. 43p.

• SINT, Société d'Ingénierie Nature et Technique. 2015. Exemple de réalisations. http://www.sint.fr/gestion_des_eaux_pluviales.html (consulté le 17/07/2015).

• Syndicat de l'Orge. 2015. QUALITE EAU systbio. https://www.youtube.com/watch?v=MM-XoBsBx94 (consulté le 15/07/2015). [4mn41].

• Trait d'Union, connecteurs d'espaces. 2015. Dardilly (69) // Ouvrage de rétention et de traitement des eaux de la beffe. http://www.tdu69.com/component/jbcatalog/?view=item&catid=15&id=28 (consulté le 15/09/2015).

• Valentin Roland, 2015. Crédits photos p 53 et p 66.

ANNEXE V : Programmes de recherche français actuels

A) SEGTEUP : Systèmes Extensifs de Gestion et de Traitement des Eaux Urbaines de temps de Pluie

1) Gourvernance

- De 2009 à 2013
- Coordinateur : Pascal Molle, IRSTEA, pascal.molle@irstea.fr
- Partenaires : IRSTEA, GRAND LYON, INSAVALOR, SINT, EPUR NATURE

2) Contexte

Premier programme de recherche français sur le thème. Se base sur l'expérience allemande des filtres plantés de roseaux pour le traitement des RUTP et sur les différentes réalisations françaises pour développer un système adapté au territoire français : un filtre à écoulement vertical ayant une partie stockage et une partie traitement des RUTP.

3) Objectifs

Le programme vise à :

- Faire un état de l'art des pratiques actuelles
- Proposer des adaptations et des optimisations du filtre
- Etablir un modèle du couple réseau-filtre
- Mettre en place une étude d'acceptation sociale
- Fournir les bases des règles de dimensionnement

4) Moyens

Le projet s'articule autour d'une expérimentation sur 9 pilotes de 20m² (Craponne).

Le système possède les caractéristiques suivantes :

- 1bassin de stockage des eaux pluviales de 200m3
- 9 FPR 9x20m² avec une hauteur de matériaux de 110cm. Couche filtrante (30-60cm) couche transition (10-40cm) couche drainante (40cm)
- Entrées : séparatif EP et/ou réseau unitaire
- Drainage par canalisations Ø125mm
- Hauteur de réserve hydrique de 30cm
- Débit de fuite compris entre $3{,}29 \times 10^{-5}$ et $7{,}76 \times 10^{-5}$ m/s
- Suivi hydraulique avec débitmètre
- Suivi des performances par échantillonnage

5) Expérimentation

Les filtres pilotes ont été adaptés du système allemand sur les points suivants :

- Débit de fuite calibré pour assurer un temps de rétention minimum au sein du massif.
- Réserve hydrique en fond de filtre.
- Aération intermédiaire pour ré-oxygénation du filtre en phase de drainage.
- Modélisation : couplage d'un modèle d'écoulement en milieu poreux avec des équations de transport et dégradation des polluants.

Les retours d'expérimentation ont permis de :

- Optimiser les matériaux de filtration.
- Définir les limites hydrauliques du système.
- Optimiser la gestion pour améliorer la performance.

Pour permettre la réalisation d'un FPR taille réelle (Marcy l'Étoile) afin de vérifier les hypothèses émises.

⇨ Le programme s'est conclu par la publication en 2013 d'un guide sur les bases de conception et de dimensionnement à destination des acteurs de l'assainissement. (http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/ANRsegteup-GUIDE-Vfin-novembre2013-corrige.pdf)

B) ADEPTE : Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif (http://www.adepte-pluvial.org/)

1) Gouvernance

- De 2013 à 2016
- lancé par le ministère de l'écologie, du DD et de l'énergie
- Coordinateur : Stéphane Troesh (EPUR NATURE), stephane.troesh@epurnature.fr
- Partenaires : Syndicat mixte de la Vallée de l'Orge Aval (SIVOA), Union des Marais de la Charente-Maritime (UNIMA), Centre d'Etudes Techniques (CETE) Ile-de-France, Centre d'Etudes Techniques (CETE) de l'Est, Irstea, Megao

2) Contexte

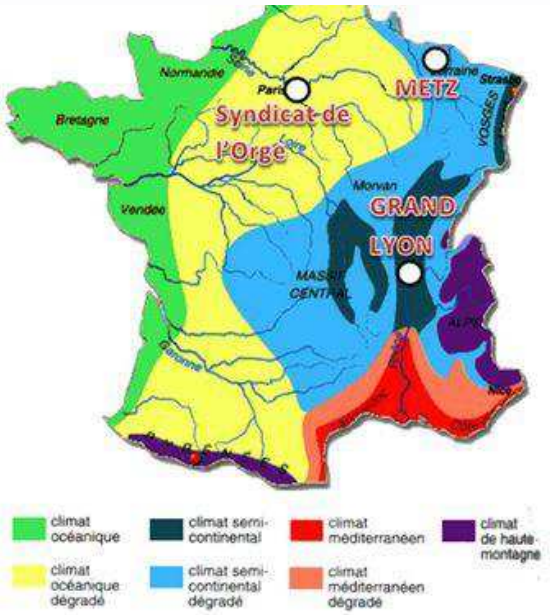
Le programme ADEPTE est en fait la suite logique du programme SEGTEUP mais avec un suivi scientifique de 3 FPR français à taille réelle.

3) Objectifs :

- Donner les règles claires de dimensionnement et de gestion des ouvrages de gestion et de traitement des eaux urbaines par temps de pluies (surverses de réseaux unitaires ou pluvial strict) par filtres plantés de roseaux.
- Proposer un modèle simplifié du fonctionnement hydraulique et épuratoire du système étudié.
- Elaborer et diffuser un logiciel d'aide à la conception des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des rejets urbains de temps de pluie.

4) Moyens

Basé sur 3 filtres déjà réalisés :



site	communauté	Climat	Type d'effluent	Filtre	Mise en service	Substances prioritaires
Marcy l'étoile	Grand Lyon	Semi-continental	Surverse de DO	Vertical non saturé/saturé	2012	Métaux, HAP
Moulins les Metz	Metz Métropole	Semi continental dégradé	Pluvial séparatif	Vertical	2012	Métaux, HAP
Leuville-sur-Orge/Saint Germain les Arpajon	Syndicat de l'Orge	Océanique dégradé	Pluvial séparatif	Vertical	2012	Métaux, HAP, Alkylphénols *, Glyphosates/AMPA

* Les caractéristiques des alkylphénols se font en collaboration avec le programme OPUR.

C) Site de l'OSTWALDERGRABEN

1) Gouvernance

- A partir de 2013
- Partenaires : ENGEES, IMFS, Communauté urbaine de Strasbourg, BUFO, SINBIO
- Coordinateur : Adrien Wanko (ENGEES), 03 68 85 29 72, wanko@unistra.fr

2) Contexte

Projet créé suite à une constatation : qualité médiocre du cours d'eau de l'Ostwaldergraben et difficulté d'atteindre les objectifs fixés par la DCE. Il s'agit donc d'agir par une renaturation de la rivière, la mise en place d'un corridor écologique pour une espèce de crapaud menacée et aussi le traitement des eaux par FPR.

3) Objectifs

Mise en place d'un suivi scientifique des FPR tant sur le plan hydraulique que sur les performances épuratoires pour connaître les performances du système et proposer des règles de dimensionnement.

4) Moyens

Mise en place de :

- Mesures de qualité physico-chimique de l'eau
- Un suivi hydraulique du système
- Mesures de transpiration des plantes
- Mesures d'indices de biodiversité

Pour les trois filtres plantés (2 à écoulement vertical, 1 à écoulement horizontal). Les résultats attendus portent aussi sur 'influence du bassin tampon sur l'hydraulique et l'épuration dans ce genre de système (ici situé en amont) ainsi que sur l'acceptation sociale.

ANNEXE VI : Méthode de conception de de dimensionnement de FPM pour la gestion et le traitement des eaux pluviales urbaines.

AVANT-PROPOS

NOTION DE RUTP

Ce guide présente une méthode de dimensionnement et de conception de filtre plantés de macrophytes pour la gestion et le traitement des RUTP (Rejets Urbains de Temps de Pluie). Par RUTP on entend tous les rejets urbains c'est-à-dire les eaux pluviales strictes et les eaux usées provenant des déversoirs d'orage et des by-pass des stations d'épuration.

APPLICATIONS DU FPM (FILTRE PLANTÉ DE MACROPHYTES)

Cette technique peut s'appliquer :

- Aux ruissellements des eaux pluviales de zones résidentielles à forte densité de population.
- Aux surverses de DO fréquente et fortement chargées (MO, composés azotés).
- Aux problématiques spécifiques : zones industrielle avec polluants spécifiques, ruissellement routier ou autoroutier avec métaux et micropolluants organiques.

Dans d'autres cas comme par exemple un quartier résidentiel peu dense et ne représentant pas des concentrations de polluants significatives, une simple infiltration dans une zone tampon peut suffir à gérer et traiter les effluents (à condition que les caractéristiques du sol et du milieu le permettent).

AVANTAGES DU FPM (FILTRE PLANTÉ DE MACROPHYTES)

Les avantages de la filière filtres plantés de macrophytes sont les suivants :

- Hydraulique et hydrologique : régulation des débits et lutte contre le risque d'inondation.
- Epuratoires : diminution du risque de pollution des milieux naturels.
- Economiques : système rustique et local bon marché, peu énergivore et demandant un entretien limité par rapport aux systèmes classiques.
- Réglementaires : système qui répond à la DCE en proposant des taux de rejet des effluents bas.
- Fonciers : valorisation de terrains du fait de l'attrait paysager et écologique, en plus de leurs fonctions premières.
- Techniques : système innovant valorisable auprès des collectivités territoriales et des entreprises du secteur.

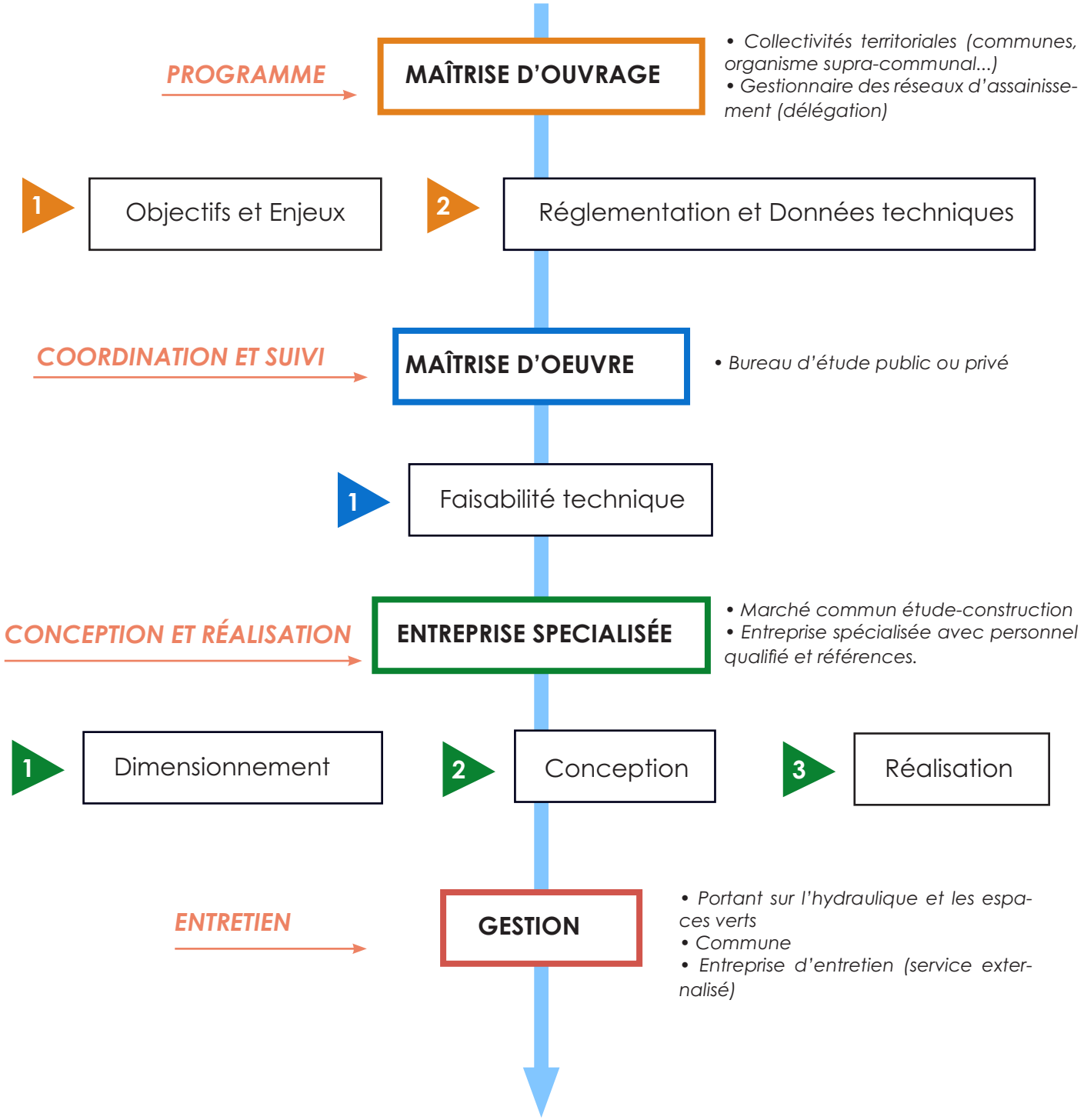
MISE EN GARDE

La conception et le dimensionnement de tels ouvrages doivent être pensés au sein d'une réflexion globale de gestion alternative des eaux pluviales et doivent être intégrés comme maillon au sein de la chaîne de traitement. La mise en place de FPM est propre à chaque site et doit être considérée en fonction des problématiques locales.

LA DÉMARCHE DE PROJET TERRITORIAL

L'organigramme suivant présente l'articulation des différents acteurs pour un projet de filtre planté pour la gestion et le traitement des RUTP.

Cette filière présente la même organisation qu'une filière classique en assainissement pluvial (Maîtrise d'Ouvrage-Maîtrise d'Oeuvre-Entreprise travaux), cependant la maîtrise d'oeuvre fait souvent appel à un bureau d'étude spécialisé pour la conception et à une entreprise de réalisation. Une autre possibilité est la conception et la réalisation effectuées par la même entreprise spécialisé, c'est le cas que nous développerons dans ce guide.



MAÎTRISE D'OUVRAGE

+ OUTIL +
Le site suivant permet de retrouver les outils de gestion intégrés de l'eau (SDAGE, SAGE, contrats de rivières..) et donne des précisions sur les caractéristiques du cours d'eau étudié et de son historique : http://www.gesteau.eaufrance.fr/

Objectifs et Enjeux

Objectifs :

La maîtrise d'ouvrage fixe les objectifs d'un projet de gestion et de traitement des RUTP faisant intervenir un filtre planté de macrophytes suite à une problématique ou des risques environnementaux, économiques ou sociaux (pollution des milieux, inondations...).

Elle propose des stratégies d'actions après avoir défini ces risques. Elle peut ensuite lancer des consultations pour des projets d'aménagement. Cette implusion peut-être donnée par la mise en place d'appel à projets par des organismes financeurs (Agence de l'eau par exemple).

Tableau récapitulatif de la démarche

Phase	Objectif et contenu
Prise de conscience du risque ruissellement (élus)	Identification d'évènements survenus dans le passé, qui ont révélé une sensibilité de la commune au risque ruissellement ou des vulnérabilités particulières (maisons construites dans des secteurs topographiques exposés). Identification d'une sensibilité locale forte à ce risque (par exemple à l'occasion de l'élaboration du PLU).
Analyse du territoire par rapport au ruissellement	Phase technique de type prise de connaissance, qui vise à disposer d'un document de référence pour la commune (au même titre qu'un plan des réseaux). Étude de base mettant en évidence la nature des risques potentiels auxquels la commune est soumise, les facteurs aggravants, les secteurs exposés, les mesures de prévention envisageables.
Stratégie d'action	Phase moins technique de type appropriation qui consiste à porter de façon durable la préoccupation du ruissellement pluvial dans les différentes politiques de la commune. Elle implique l'ensemble des acteurs locaux concernés et intègre la concertation avec la population. Elle débouche sur un programme d'actions.
Prévention et réduction du risque de ruissellement	Phase de type mise en œuvre de réponses opérationnelles dans le cadre de procédures programmées, à différents niveaux : planification de l'urbanisme, projets d'aménagements d'espaces publics, information préventive de la population. Importance d'une communication basée sur la topographie.
Anticipation dynamique et préparation de la gestion de crise	Mise en place d'une organisation communale pour la prévision et pour la préparation de la crise. Plan Communal de Sauvegarde adapté au risque ruissellement, c'est-à-dire organisé autour de la soudaineté de l'événement et donnant une place importante à la transmission de l'information à la population.
Bilan et retour d'expérience	Élaboration systématique d'un bilan suite à un événement, même d'ampleur limitée : circonstances, effets réels, effets potentiels, réponse apportée, problèmes mis en évidence (photographies des évènements, repères de crues, ...).

Ce tableau précise la démarche à suivre en amont d'un projet eau pluviale

Enjeux :

Les enjeux doivent ensuite être définis par les élus, voici les questions à se poser sur la mise en place d'un projet eaux pluviales avec un volet filtre planté :

- Qui est affecté par le projet ?
- Quels sont les services attendus de cet équipement ?
- Quels autres usages donner à l'installation (écologique, paysagère, éducative...)?
- Quelles capacités d'évolution donner au filtre (durée de vie, adaptations futures..) ?
- Comment valoriser le filtre auprès des habitants (concertation/réunion publique) ?

+ OUTIL +
Le site suivant permet de retrouver les outils de gestion intégrés de l'eau (SDAGE, SAGE, contrats de rivières..) et donne des précisions sur les caractéristiques du cours d'eau étudié et de son historique : http://www.gesteau.eaufrance.fr/

2 Réglementation et Données techniques

La démarche de projet territorial :

Une fois que les objectifs et les enjeux du projet ont été fixés, la maîtrise d'ouvrage a pour mission de consulter la réglementation en matière d'eau pluviale (Loi sur l'eau, DCE, LEMA...), ainsi que les différents outils mis à sa disposition pour définir le projet dans un cadre territorial (SCOT, PLU, PPRI...).

Fixer des objectifs techniques :

• débit de fuite admissible (l/s/ha) : c'est le débit de rejet accepté dans le milieu en fonction de sa sensibilité. Celui-ci est variable d'une région à l'autre ; il n'est parfois même pas fixé dans la réglementation. Dans ce cas, c'est à l'aménageur de choisir ce débit en fonction des objectifs fixés.

• le taux d'abattement de polluants (% ou mg/L) : la prise de conscience sur la pollution des eaux pluviales étant récente, il existe très rarement des objectifs fixés en termes de performances épuratoires.

• autres données réglementaires et techniques sur le milieu aquatique : débit d'étiage, présence d'espèces protégées...

Département/ville	Valeur de débit de fuite (l/s/ha)	Période de retour	Émetteur
Cotes d'Armor (22)	5	10 ans	DDAF
Ile et Vilaine (35)	5	10 ans	DDAF
Loire-Atlantique (44)	3	10 ans	DDAF
Deux-Sèvres (79)	3 ou 5 suivant les cas	10 ans	DDAF
Morbihan (56)	5 en général		
Finistère (29)	5 en général		
Calvados (14)	5 en général		DDAF
Bourg la Reine	4		
Lille	2		Communauté urbaine
Département 92	De 2 à 15 (selon communes)		CG
Strasbourg	15, 50 en fonction des unités foncières		
Metz	10 à 20		
31, 30, 34, 48, 66	7	10 ans	MISE (C.E.T.E du sud-ouest)

Le tableau ci-contre donne une idée des débits de fuite utilisés dans différentes régions françaises.

Ce que dit la réglementation en matière de sécurité :



Clôture du dispositif de traitement des RUTP de Marcy l'Étoile.

Concernant la sécurité publique, les dispositifs de gestion des RUTP ne bénéficient pas de réglementation à proprement parler comme pour les stations d'épuration.

Ce sont aux aménageurs de prendre la décision de clôturer ou non les ouvrages.

Pour les eaux pluviales strictes, il n'est pas nécessaire de fermer l'accès au public car le risque de contamination est minime. En revanche, un système traitant les eaux d'un DO peut être rendu inaccessible au public par des clôtures ou bien au moyen de haies végétalisées ou de dénivelés.

MAÎTRISE D'ŒUVRE

[Dans la pratique, il arrive que la faisabilité technique soit vérifiée par l'entreprise de conception-réalisation, la maîtrise d'œuvre assurant uniquement la coordination et le suivi du chantier.]

+ OUTIL +
Le logiciel ODUC (téléchargeable gratuitement) permet de calculer facilement le volume de ruissellement à stocker selon différentes méthodes.

Faisabilité technique

Données du site :

La maîtrise d'œuvre doit d'abord disposer de données complémentaires pour pouvoir effectuer la faisabilité technique d'un système de traitement végétalisé et la validation ou non d'un FPM pour une étude donnée.

- Caractéristiques du bassin versant et du réseau d'assainissement : surface, coefficient d'imperméabilisation, type de surfaces, pente moyenne,...)

- Données pluviométriques (pluviométrie annuelle, intensité maximale en 24h, statistiques, etc...)

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires	
centres villes	0,70 / 0,95
autres	0,50 / 0,70
Zone résidentielle	
pour 1 pavillon	0,30 / 0,50
ensemble de pavillons détachés	0,40 / 0,60
ensemble de pavillons attachés	0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières - Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux	0,25 / 0,35
Rue et trottoirs	
asphalte	0,95
béton	0,95
pavé	0,85
Pelouse (sol sablonneux)	
pente < 2 %	0,05 / 0,10
2 % < pente < 7 %	0,10 / 0,15
pente > 7 %	0,15 / 0,25
Pelouse (sol terreux)	
pente < 2 %	0,13 / 0,17
2 % < pente < 7 %	0,18 / 0,22
pente > 7 %	0,25 / 0,35

Valeurs des coefficients de ruissellement en fonction des types de surfaces.

Faisabilité technique dy système de traitement végétalisé :

Il s'agit tout d'abord de choisir la pluie critique c'est à dire la pluie de période de retour donnée contre laquelle on veut se prémunir. Suivant ce risque hydrologique et le débit de fuite admissible donné par la maîtrise d'ouvrage, on peut estimer le volume de ruissellement correspondant à stocker dans le système de traitement végétalisé (comprenant en fonction des cas un organe de traitement, un filtre et un bassin de stockage).
Pour se faire il existe plusieurs méthodes (des pluies, des volumes,...) et des logiciels d'hydraulique comme 'ODUC'. On utilise en fait ici la même méthode que pour dimensionner des bassins de rétention. Il convient de choisir la méthode en fonction des données récupérées.

L'exemple de la méthode des pluies :

1. **Choix du risque hydrologique** : t = **X** *ans*

2. **Débit de fuite imposé :** Qs = **X** *L/s/ha*

3. **Calcul de la surface active** : **Sa** = **Cr** x **S** *avec Sa (ha), Cr (coefficient de ruissellement) et S (surface totale du bassin versant en ha)*

3. **Débit spécifique** : **qs** = 360 x Qs / Sa *avec qs (mm/h), Qs (m3/s) et Sa (ha)*

4. **Lecture des abaques IT77 (voir annexe) : hmax** (mm/h) *déterminé à partir de qs et de t*

5. **Volume à stocker** : **V** = t x hmax x Sa *avec V (m3)*

MAÎTRISE D'ŒUVRE

+ OUTIL +
La feuille excel 'Faisabilité technique' permet d'effectuer le calcul du volume de stockage par la méthode des pluies afin de déterminer la faisabilité technique du projet.

Faisabilité technique

Si le volume à stocker est trop important vis à vis de la surface du lieu d'implantation choisi pour le projet, il y a plusieurs solutions :

- on augmente le débit de fuite admissible si les conditions du milieu récepteur le permettent où si le site étudié ne représente pas l'exutoire final du bassin versant (l'eau pourra éventuellement être stockée en aval si le foncier le permet).

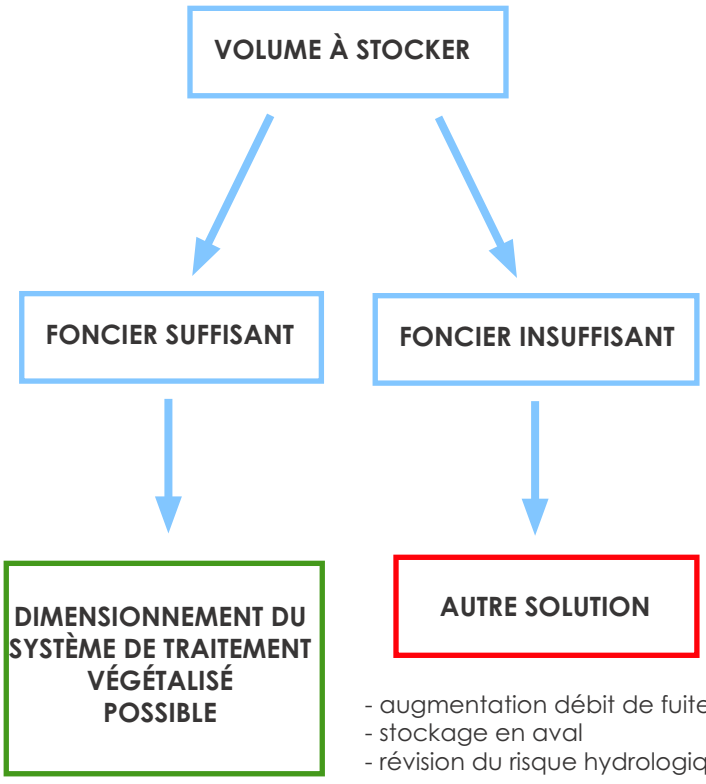
- on réduit le risque hydrologique en acceptant moins de sécurité.

Remarque :

Le volume à stocker est récupéré à l'exutoire suivant la durée de la pluie et le temps nécessaire au ruissellement pour parvenir jusque là. On dimensionne l'ouvrage en fonction d'une pluie d'intensité donnée et de durée donnée. En fonction de ces paramètres est déterminé le débit de pointe d'une pluie. Si ce dernier est supérieur au débit de vidange du filtre, une partie des eaux rejoindra la surverse sans être traitée.

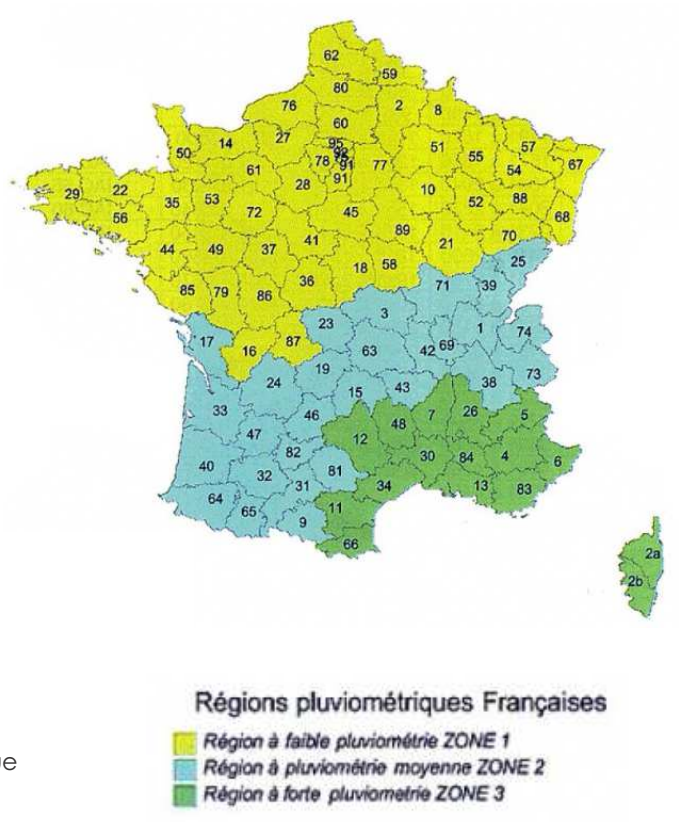
Il est alors nécessaire de fixer des objectifs de traitement (par exemple : le filtre peut traiter 20 % des eaux d'une pluie décennale mais 100 % des eaux d'une pluie annuelle.

Synoptique de la faisabilité technique



- augmentation débit de fuite
- stockage en aval
- révision du risque hydrologique

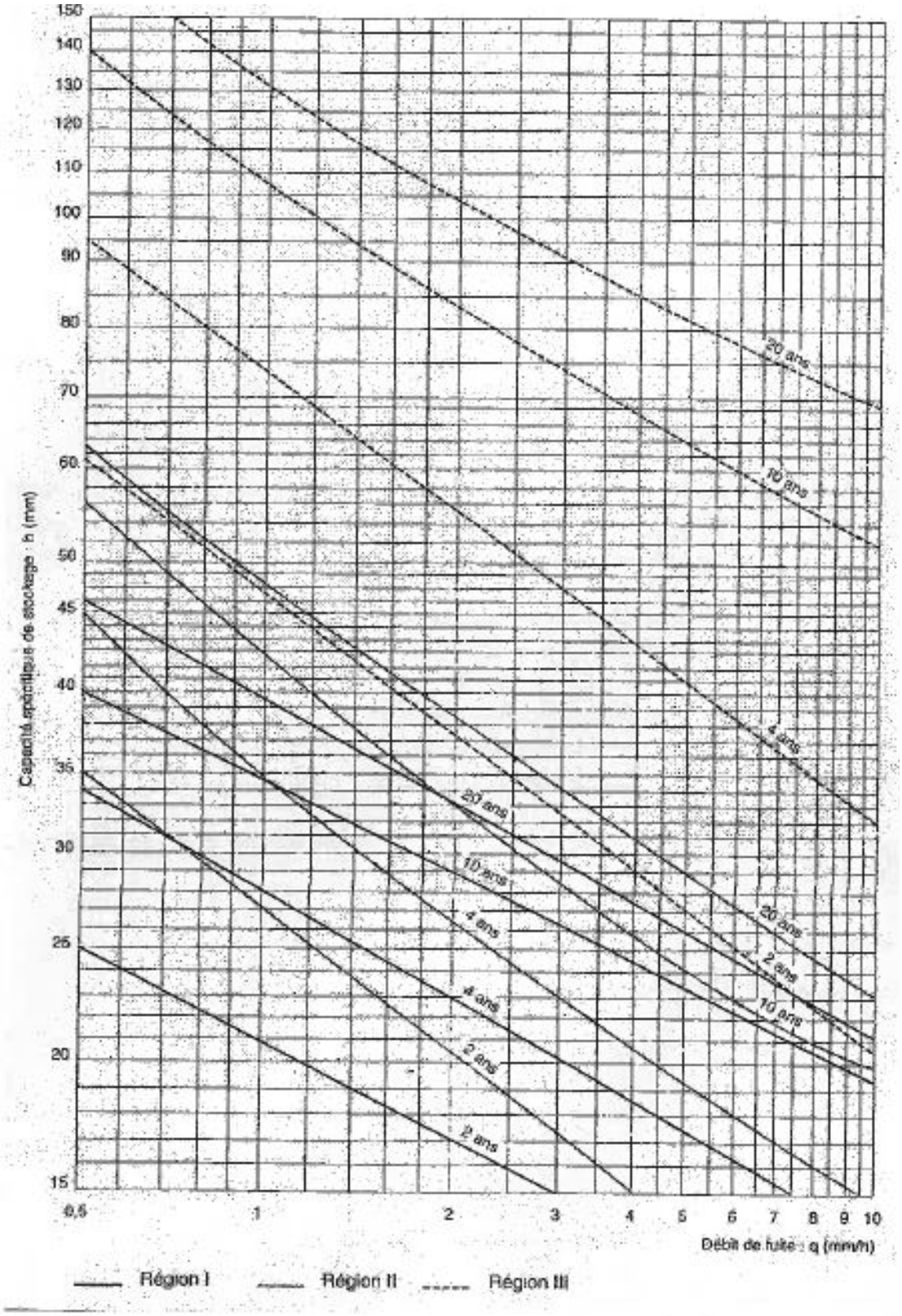
Régions pluviométriques



+ OUTIL +
La feuille excel 'Faisabilité technique' permet d'effectuer le calcul du volume de stockage par la méthode des pluies afin de déterminer la faisabilité technique du projet.

Faisabilité technique

Abaques de l'IT77 : évaluation de la capacité spécifique de stockage des bassins de retenue à débit de fuite constant



ENTREPRISE CONCEPTION-RÉALISATION

Une fois que la faisabilité technique à été réalisée, l'entreprise de conception-réalisation va pouvoir intervenir pour dimensionner et concevoir le filtre planté.

+ OUTIL +
La feuille excel 'Dimensionnement' permet de dimensionner le filtre planté de macrophytes.

1 Dimensionnement

Orientation choisie :

Il y a deux manières pour dimensionner ce genre de système : l'hydraulique et l'élimination des polluants.

Aujourd'hui, il semble compliqué de proposer un modèle de dimensionnement vis-à-vis de la rétention des polluants de nombreux paramètres interviennent et les mécanismes d'épuration sont souvent complexes, cependant des recherches sont en cours.

La méthode qui suit est la plus répandue, elle est basée sur le dimensionnement hydraulique, le stockage de l'eau étant le premier objectif du filtre dans le processus de dépollution. Cette méthode simplifiée a fait ses preuves puisque la majorité des réalisations actuelles en ont bénéficié et relèvent de bons rendements épuratoires.

Méthode de dimensionnement :

1. Surface du filtre

La littérature donne des ratio de 1 à 3 % entre surface du filtre et surface active du bassin versant pour traiter de manière efficace les eaux pluviales.

1 % correspond a des eaux peu chargées (eaux pluviales strictes de quartier résidentiels peu denses ou de routes peu fréquentées) tandis que le ratio de 3 % est plus adapté pour des eaux beaucoup plus chargées (complexes autoroutiers, déversoir d'orage).

L'entreprise doit fixer une valeur qui doit être un bon compromis entre le type d'eau à traiter mais aussi le foncier disponible et le coût correspondant.

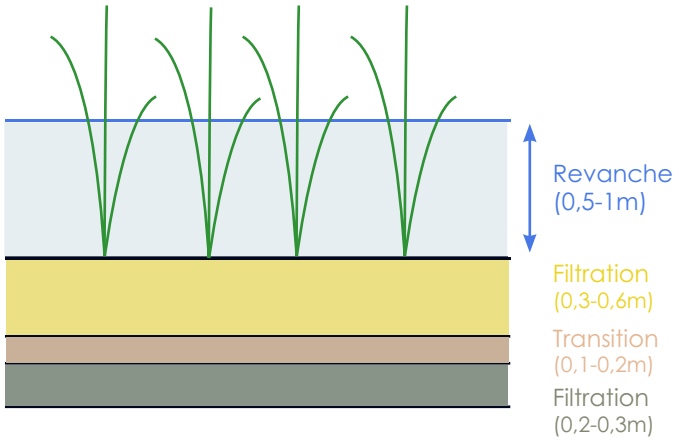
La surface du filtre est donc : **Sf** = Sa x **X** % *(m²)*

2. Volume du filtre

Globalement, les filtres sont conçus pour avoir une hauteur d'environ 80 cm de granulats et d'une hauteur de revanche comprise entre 0,5 m et 1 m (si la dénivelée est suffisante).

Dans cette configuration, sachant que la porosité des matériaux est environ de 0,3 ; et que la hauteur de revanche est d'environ 0,75 cm ; le filtre aura un volume d'1 m³/m².

Donc : **Vf** = Sf



+ OUTIL +
La feuille excel 'Dimensionnement' permet de dimensionner le filtre planté de macrophytes.

1 Dimensionnement

3. Débit régulé

Il convient maintenant de déterminer le débit de fuite du filtre, qu'on appelle le débit régulé.

Ici, trois vitesses d'eau interviennent pour le calculer : le passage de l'eau dans l'organe de traitement, le passage de l'eau à travers la masse filtrante, le passage de l'eau à travers les canalisations de drainage et de sortie.

En fait, la vitesse limitante est la vitesse d'infiltration à travers le filtre puisque les matériaux sont très fins. On l'estime à 3,5.10-5 m/s.

Il suffit alors de multiplier cette vitesse par la surface du filtre pour connaître le débit de fuite du filtre.

Ainsi : **Df** = Sf x 3,5.10-5 en m³/s (à convertir en m³/h)

4. Volume traité

Il s'agit de reprendre ici le volume à stocker déterminé dans la partie faisabilité et de le comparer au débit régulé (= débit de vidange) du filtre pour savoir quel volume d'eau va traiter le filtre et à quel moment il va surverser.

Vt = Vf + Df (en m³ et pour une pluie d'une heure)

Ensuite, on peut estimer le pourcentage du volume à stocker qui passe dans le filtre :

Rdt = (Vt / Vs) x 100 (en %)

L'idée est de traiter en priorité les petites pluies et une partie des grosses pluies. On rappelle le phénomène de premier flot pour lequel la concentration en polluants peut être maximale dans les premiers volumes d'un événement pluvieux.

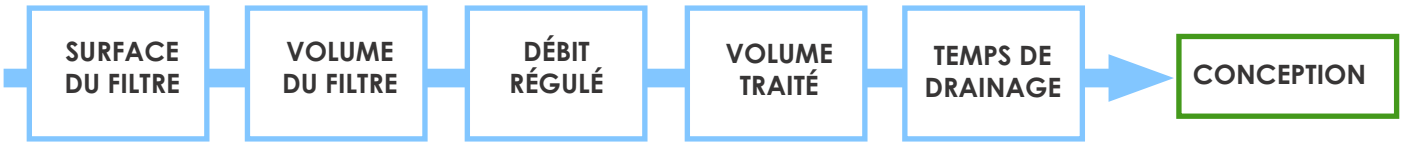
5. Temps de drainage

La vérification du temps de drainage permettra de donner une idée de l'efficacité du traitement.

Td = Vt / Df (en heure)

Normalement, le temps de drainage conseillé doit être compris entre 10 et 30 h.

Synoptique de dimensionnement



+ OUTIL +
La fiche excel 3 permet de guider la conception du filtre planté.

Une fois que les dimensions générales du filtre sont connues, il est possible de passer à la phase de conception.

2 Conception

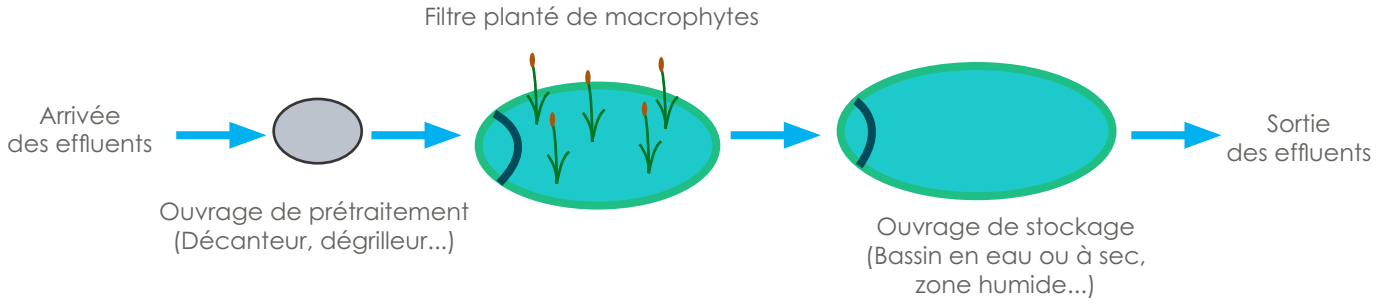
Agencement spatial

1. Accès et limites de propriété

Il est important de garder un accès sur tout le périmètre du filtre pour l'entretien et le curage. Il est fortement déconseillé d'implanter le filtre à moins de 4 m des limites de propriété. Une signalisation de sécurité et d'information doit être mise en place si besoin. Les réseaux doivent être bien localisés notamment les EP, EU et DO.

2. Choix du système de traitement végétalisé

Le système de traitement végétalisé doit être conçu en fonction des caractéristiques du site : présence d'ouvrages de gestion (noues, bassin tampon...), topographie, type de sol, végétation...



	Majorité des bassins versants		Petits bassins versants ou cas adaptés
Combinaison	1 : prétraitement-bassin-filtre	2 : prétraitement-filtre-bassin	3 : prétraitement-filtre
Avantages	Contrôle du débit en entrée de filtre	Traitement des petites pluies et du phénomène de 1er flot. Affinage du traitement voire infiltration via le bassin.	Adapté pour les surfaces réduites (compact en hauteur) et pour rejet direct des effluents.
Inconvénients	Rôle de décantation des polluants dans le bassin. Petites pluies non traitées.	Débit non régulé en entrée de filtre (risque d'affouillement).	Utilisation spécifique.
Améliorations	Système compact 3 en 1 pour limiter les inconvénients.	Créer des systèmes (surverse, bypass...) pour gérer les flux d'eau.	Augmenter la hauteur de stockage pour traiter plus d'eau.

Le système doit comporter au minimum un ouvrage de traitement (dégrilleur, débourbeur...) et un filtre planté. Un bassin de stockage situé en amont ou en aval en fonction du contexte (volume à traiter, débit de fuite admissible, dénivelée) est un plus.

3. Dispositions constructives

Le terrassement sera réalisé autant que faire se peut avec des bilans déblais-remblais équilibrés et pour un fonctionnement gravitaire. Il faudra se prémunir contre les venues d'eau pouvant intervenir sous le filtre.

Les pentes doivent avoir un fruit minimum de 3/1 pour les remblais et de 2/1 pour les déblais ; à moins de mettre en place une construction dure renforcée qui pourra être verticale avec des renforts la soutenant.
Les digues paysagères et les rampes d'accès au filtre peuvent avoir une pente de 6/1.

+ OUTIL +
La fiche excel 'Conception' permet de guider la conception du filtre planté.

2 Conception

La géométrie n'a pas d'influence sur les performances épuratoires, elle est libre et est choisie en fonction de la topographie du site, de l'esthétique voulue et des attentes d'entretien et de gestion souhaités.

Il faut impérativement équiper le système d'un trop plein/surverse ou d'un by pass pour éviter un débordement de l'ouvrage en cas de pluies ayant des périodes de retour supérieures à celles ayant permis de dimensionner l'ouvrage. Cette dérivation est assurée par de simples canalisations ou par des seuils déversoirs.

Conception du filtre

1. Choix d'un organe de prétraitement

Un dégrilleur grossier (4/5cm) est essentiel pour retenir les plus gros déchets. En plus, on peut mettre en place un dessableur, débourbeur en fonction du type de pollution à traiter.



Dégrilleur-gabions (Marcy l'Étoile, 69) ►



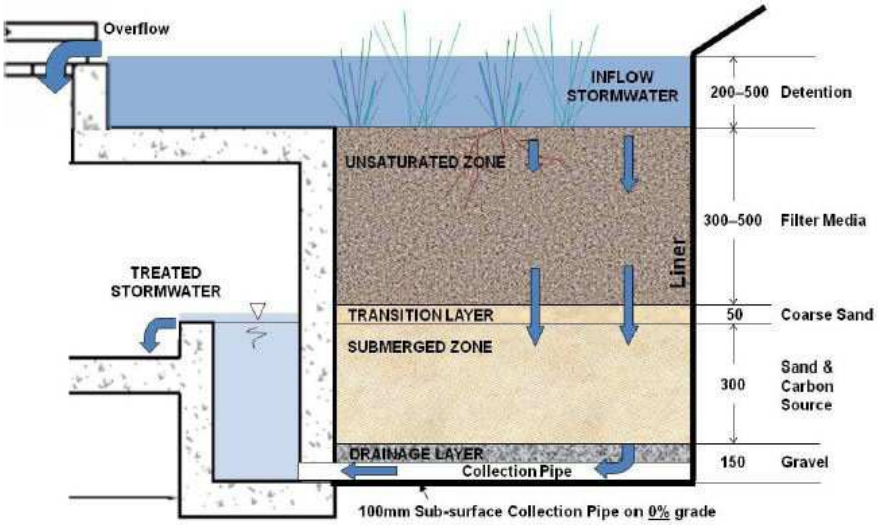
2. Nombre de filtres

Comme pour les eaux usées, le filtre peut être séparé en plusieurs parties. Cette configuration est particulièrement adaptée aux réseaux contenant des eaux résiduelles ou bien lorsque les conditions climatiques offrent peut de phases de repos (l'exemple de Brest).

◄ *Filtre à deux compartiments (Marcy l'Étoile, 69)*

3. Étanchéité

On utilise une géomembrane (épaisseur minimale 1,1mm) pour garantir l'étanchéité. Une attention particulière sera apportée à la réserve hydrique qui nécessite une hauteur minimum de 30cm pour garantir le bon état des plantes aquatiques.



Importance de la réserve hydrique au fond du filtre ►

+ OUTIL +
La fiche excel 'Conception' permet de guider la conception du filtre planté.

2 Conception

4. Drainage

Les drains doivent avoir un diamètre minimal de 150mm, un drain doit mesurer moins de 30 ml et l'espacement entre deux drains doit être de 3 à 5m.

Filtre du Parc de la Maourine à Toulouse ►



	Granulométrie (mm)	Hauteur (cm)
Couche filtrante	d_{10} entre 0.4 et 0.7	40 à 60
Couche de transition	2/4 à 3/8	10
Couche drainante	10/20 à 15/25	20 à 30 plus réserve hydrique

5. Granulats

On utilise du sable (le plus fin possible) pour la couche de filtration et du gravier pour les couches de transition et de drainage

◄ *Préconisations du type et des hauteurs de granulats*

6. Plantes

Voici quelques plantes hélophytes bien adaptées au filtre planté à écoulement vertical pour la gestion et le traitement des RUTP.



Phragmites australis



Typha angustifolia



Carex acutiformis



Lythrum salicaria



Iris pseudacorus

+ OUTIL +
Exemple de réalisation Phytoserpe : le projet de Le Crès (34)

3 Réalisation

Recommandations concernant la réalisation :

- Bien choisir la période de chantier (avant les fortes pluies).
- Prévoir les accès au chantier.
- S'assurer de la justesse des niveaux et de la denivelée (fil d'eau entrant, fil d'eau sortant).
- Contrôler l'étanchéité du système avant de recouvrir de granulats.
- Vérifier la qualité des granultas lors de la livraison (présence de fines, lavage ?).
- Bien recouvrir les mottes lors de la plantation pour éviter la dessication.

Exemple de réalisation : filtres expérimentaux de Craponne (SEGTEUP)


Pose des murs


Pose du géotextile


Pose de la géomembrane


Pose du drainage


Remplissage de fond


Remplissage du sable


Installation des cheminées


Plantation des roseaux

GESTION DU FILTRE

+ OUTIL +
Mettre en place un guide d'entretien à destination du client.

Entretien

Un entretien régulier et bien réalisé assurera un bon fonctionnement du filtre et sa durée dans le temps.

Il y a plusieurs tâches à réaliser lors d'une visite d'entretien : ramassage des flottants et des débris sur toute l'emprise du système, entretien des talus, nettoyage de l'ouvrage de prétraitement, désherbage manuel des adventices et vérification de l'état des macrophytes.

Types de visites

- La visite de contrôle mensuelle.
- Les visites concernant l'entretien et l'état des plantes (surtout les deux premières années).
- L'inspection pendant ou après un événement pluvieux de la période de retour retenue pour le dimensionnement ou bien avant l'évènement pour s'assurer que le filtre va fonctionner.
- L'élimination de la couche de dépôt tous les 10 à 20 ans. Les boues sont évacuées en incinération ou en CET de classe 2 (siccité >30%).

A chaque visite il devra être vérifié que l'organe de traitement (dégrilleur) ne soit pas obstrué par des feuilles ou autres déchets. C'est la première cause de dysfonctionnement du filtre.



◄ Voici un exemple de couche de dépôt, après 6 mois de fonctionnement (Filtre de Saint Germain les Arpajon, 91)

Le contrôle du bon état de la végétation est primordial (Phragmites et Typha au Parc de la Maourine à Toulouse)▼

Végétation

La première année, il est particulièrement important de désherber une fois tous les deux mois les adventices pour assurer une bonne implantation des macrophytes. Ensuite, le désherbage se fait deux fois par an : au printemps et à l'automne.

Le contrôle des végétaux permet de déceler un éventuel stress hydrique rendant les plantes jaunes et flétries (pouvant intervenir après 3 semaines sans eau) et des carrences (pas assez de nutriments pour la croissance des plantes).

Il n'est pas conseillé de faucarder les roseaux, les parties sèches peuvent être laissées sur la surface du filtre.



BIBLIOGRAPHIE

• BEI ERE, 2015. Abaques IT 77. Évaluation de la capacité spécifique de stockage des bassins de retenue à débit de fuite constant. http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD1011/bei/beiere/groupe4/node/71 (consulté le 15/09/2015).

• FAWB. 2009. Adoption Guidelines for Stormwater Biofiltration Systems. Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University. Version 1. 156p.

• Fournel, J. 2012. Systèmes extensifs de gestion et de traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Doctorat Génie des Procédés. Montpellier II. 218p.

• Grand Lyon. 2015. Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_00_methode_dimensionnement_ouvrages_stockage.pdf (consulté le 20/08/2015).

• Guelzim, M. 2007. Limitation des débits d'eaux pluviales en zones urbanisées : quelles valeurs ? Sur la base de quels critères ? Que dit la législation ? Synthèse technique. ENGREF Montpellier. 16 p.

• Idrop2. 2014. Régions pluviométriques françaises. http://idrop2.weebly.com/reacuteseau-assainissement/regions-pluviometriques-francaises (consulté le 15/09/2015).

• Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. 2006. Les collectivités locales et le ruissellement pluvial. Pont de Claix, Claix. 82p.

• Programme de recherche SEGTEUP. 2013. Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Ed nov 2013. EPNAC/IRSTEA. 43p.

• SINT, Société d'Ingénierie Nature et Technique. 2015. Exemple de réalisations. http://www.sint.fr/gestion_des_eaux_pluviales.html (consulté le 17/07/2015).

• Syndicat de l'Orge. 2015. QUALITE EAU systbio. https://www.youtube.com/watch?v=MM-XoBsBx94 (consulté le 15/07/2015). [4mn41].



ANNEXE VII : Première réalisation Phytoserpe (été 2015)

Vauguières le haut - 34130 Mauguio
Interlocuteur sur le dossier : M. ROLAND
Mail : roland@serpe.fr - Tél. : 04 67 15 24 46

PROPOSITION

SYSTÈME DE TRAITEMENT VÉGÉTALISÉ DES EAUX PLUVIALES D'UN BASSIN TAMPON

COMMUNE DE LE CRÈS

Contexte

La commune de Le Cres souhaite augmenter la capacité de stockage des eaux pluviales du bassin tampon Avenue des Baléares. En effet celui-ci apparaît aujourd'hui comme sous-dimensionné pour contrer les événements pluvieux de grande ampleur comme les épisodes cévenols de ces dernières années. Le bassin n'arrive pas toujours à accumuler toutes les eaux pluviales et des inondations ont été constatées à plusieurs reprises dans des habitations de ce quartier résidentiel.

Si l'enjeu est d'abord hydraulique, l'évolution du projet a permis de s'intéresser également à la qualité des eaux entrantes et sortantes du bassin tampon en sachant que les eaux pluviales se chargent par ruissellement de divers polluants déposés sur les surfaces imperméables (toitures, voiries, parkings…) avant d'être relâchées dans le milieu naturel (ici le ruisseau Le Salaison).

Dans ce cadre, le bureau d'études Gaxieu a fait appel à notre société SERPE pour la conception et le dimensionnement d'un système de traitement végétalisé des eaux pluviales intégré à ce bassin tampon.

Contraintes générales :

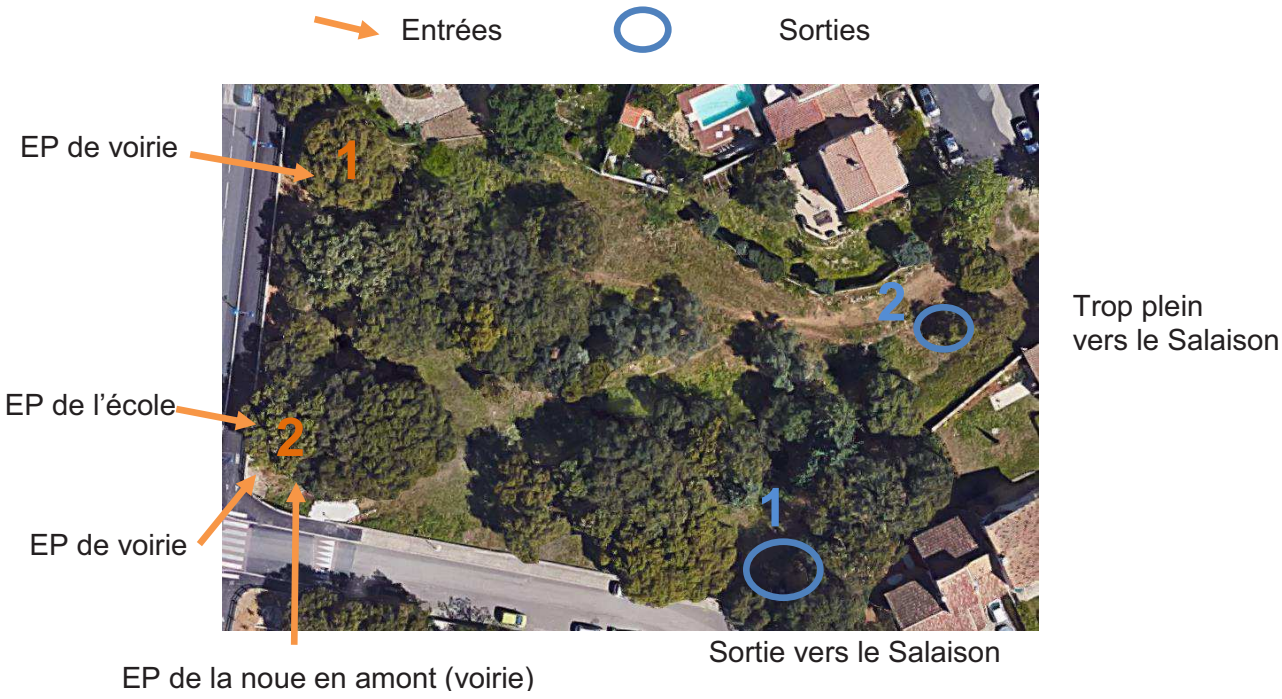
- Traiter une partie minimale des eaux de pluie entrantes.
- Conserver la totalité des arbres excepté un cyprès et une souche près de l'exutoire et un chêne vert mort dans l'ancienne noue.
- Ne pas avoir d'eau stagnante (< 3 jours) pour éviter l'apparition de moustiques.

Il faut également prendre en compte les travaux définis par le bureau d'études Gaxieu pour augmenter la capacité de stockage du bassin tampon :

- Creusage de la partie nord au-dessus du réseau d'eaux usées pour créer une noue de stockage de 60/70 cm de profondeur avec canalisation de vidange et enrochements de surverse.
- Creusage du fond de forme sur environ 20cm avec conservation d'ilots au niveau des arbres pour ne pas contraindre leur développement racinaire.
- Suppression du merlon sud et reprise du mur de soutènement à 38,3 m.
- Suppression du merlon à l'est et création d'un mur de soutènement contre la parcelle privée.
- Reprise de l'organe de sortie.

Caractéristiques du bassin tampon :

Parcours des eaux pluviales



Nature du sol et strates végétales

Le sol est très sec et rocailleux, l'épaisseur de la couche de terre végétale est estimée à une vingtaine de cm avant de trouver l'affleurement rocheux. La terre, de couleur ocre est très compactée. Une végétation spontanée parsème le sol (graminées, plantains, trèfles…) et de nombreux arbres méditerranéens sont présents dans le fond de forme même du bassin tampon (chênes vert, oliviers, cyprès…). Au pied des arbres se développent des touffes de fragon faux houx et parfois des massifs de ronces.

Il s'agit d'une végétation méditerranéenne, qui présente un intérêt paysager. De plus, le bassin tampon est fréquemment traversé par les riverains qui empruntent un chemin menant au bord du ruisseau du Salaison, d'où l'importance de conserver et de valoriser les espèces végétales remarquables de cet espace.

Données hydrauliques :

- Débit d'entrée : débit de pointe = 3,35 m^3/s pour une intensité de pluie de 2,04 mm/min pendant 12 min
- Capacité de stockage bassin : 417 m^3
- Capacité de stockage noue : 80 m^3

Données polluants et normes d'abattement :

Pas de normes d'abattement.

Principe du traitement

Pourquoi traiter ?

Les eaux de pluies rejoignent le milieu récepteur par diverses manières : ruissellement, infiltration, évaporation. En ruisselant, elles se chargent en polluants (matières organiques, sédiments, métaux lourds, hydrocarbures…) provenant de la circulation automobile, des déchets, de la végétation et des animaux.

Cette pollution présente des risques pour l'environnement, même en cas de concentrations faibles en polluants. Il est alors nécessaire de mettre en œuvre des techniques permettant de traiter les eaux pluviales avant de les rejeter dans le milieu naturel.

Performances épuratoires du filtre planté

Le filtre planté est une technique adaptée au traitement des eaux pluviales et présente des résultats intéressants en termes d'abattement des différents polluants par rapport à d'autres techniques.

	Nature de la pollution	Abattements moyens par paramètres (%)					Moyenne par système
		MES	DCO	DBO5	Hc	Pb	
Filtre planté	**Phyto. Déc. Filt.**	**95**	**69**	**90**	**82**	**81**	**83**
Décantation en bassin de rétention	Déc.	86	80	83	88	73	82
Bassin de rétention	Phyto. Déc	85	75	75	65	72	75
Tranchées drainantes	Déc. Filt.	95	66	66	-*	71	72
Chaussé réservoir	Déc. Filt.	75	60	50	60	86	66
Noue et fossé	Phyto.Déc. Filt.	55	50	50	60	70	57
Toitures végétalisées	Phyto. Déc. Filt.	55	50	50	60	70	57
Moyenne par paramètre	-	78	64	66	68	75	70

Source : adapté de LUTZ,N. (2010). « Mémoire de PFE : Etude des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées en aménagement ». INSA Strasbourg

Description des ouvrages

Collecte des eaux de pluie en point bas

La reprise du fond de forme du bassin doit être réalisée **avec des pentes vers l'exutoire** (flèches bleues), sans créer de dépression qui pourraient laisser stagner l'eau collectée. Il s'agit de créer des chemins préférentiels pour guider les eaux pluviales vers la sortie.



- Entrées 1 et 2 : filtres plantés de roseaux (FPR)

Concernant la surface du bassin versant à traiter (15ha), le traitement de la totalité des eaux pluviales nécessiterait des surfaces importantes, de l'ordre de 1 à 2 % de la surface active du bassin versant. Lors d'un événement pluvieux, les premiers 30 % du volume écoulé peuvent véhiculer jusqu'à 80 % de la charge polluante (Gromaire-Mertz, 1998.), c'est le phénomène de premier flot.

Ainsi, l'objectif ici est de filtrer en priorité l'eau des petits événements pluvieux ainsi que les premiers volumes des grosses pluies : l'eau est collectée et dirigée dans un filtre planté à chaque entrée.

Pour des évènements pluvieux plus puissants lorsque les filtres arriveront à saturation, l'eau passera par surverse soit directement dans le bassin tampon pour l'entrée 1, soit dans la noue pour l'entrée 2 puis dans le bassin tampon via une canalisation vidange de la noue.

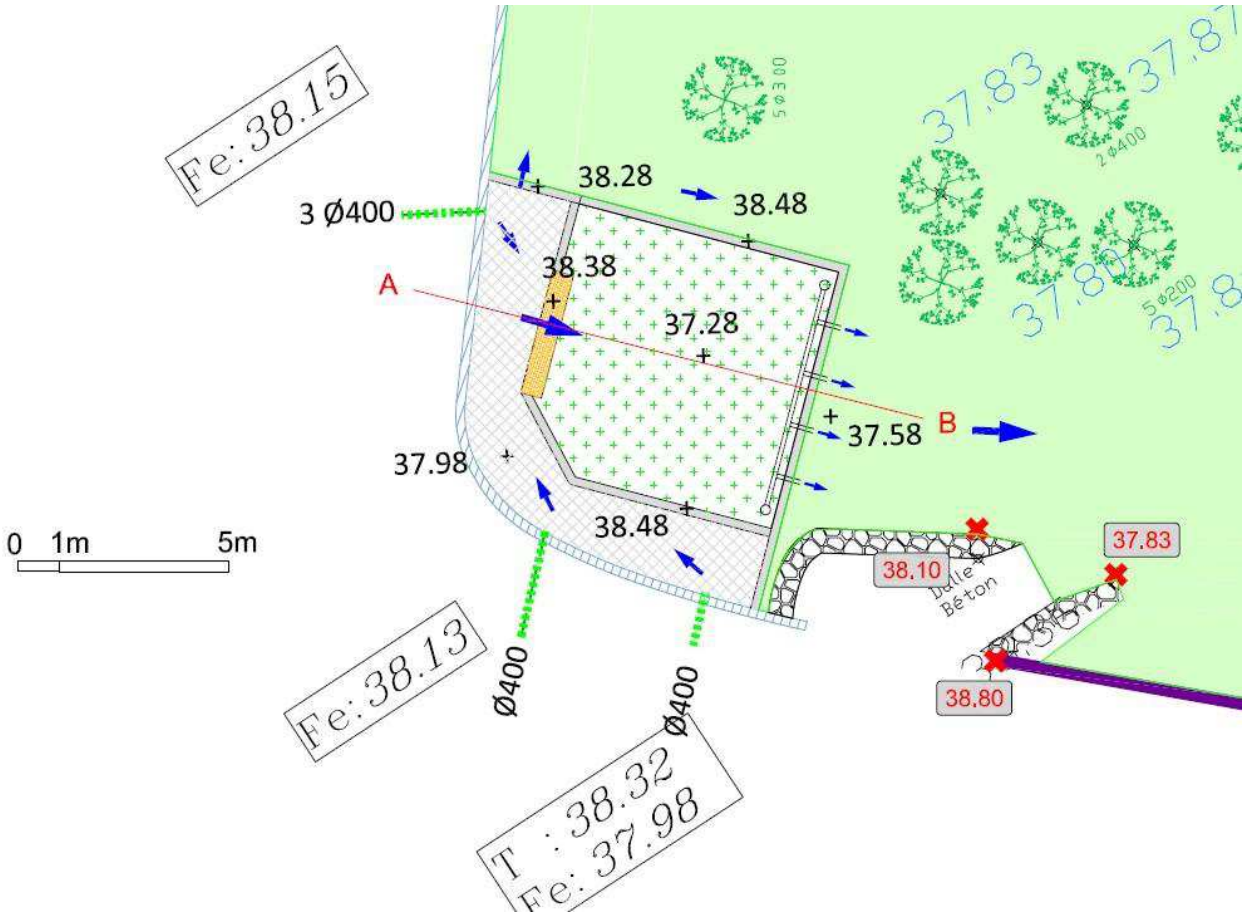
- Sortie 1 : exutoire

L'exutoire sera rénové pour permettre une évacuation efficace des eaux, sans obstruction.

- Sortie 2 : trop plein

Le trop plein (37,62) sera gardé en l'état et permettra uniquement de prendre le relais de l'exutoire en cas de saturation d'eau importante.

Choix de deux systèmes de traitement végétalisé adaptés au site



Il s'agit de canaliser l'eau des différentes arrivées pour la diriger vers le filtre planté en un point : un gabion qui permet de laisser passer l'eau tout en retenant de nombreux déchets et particules.

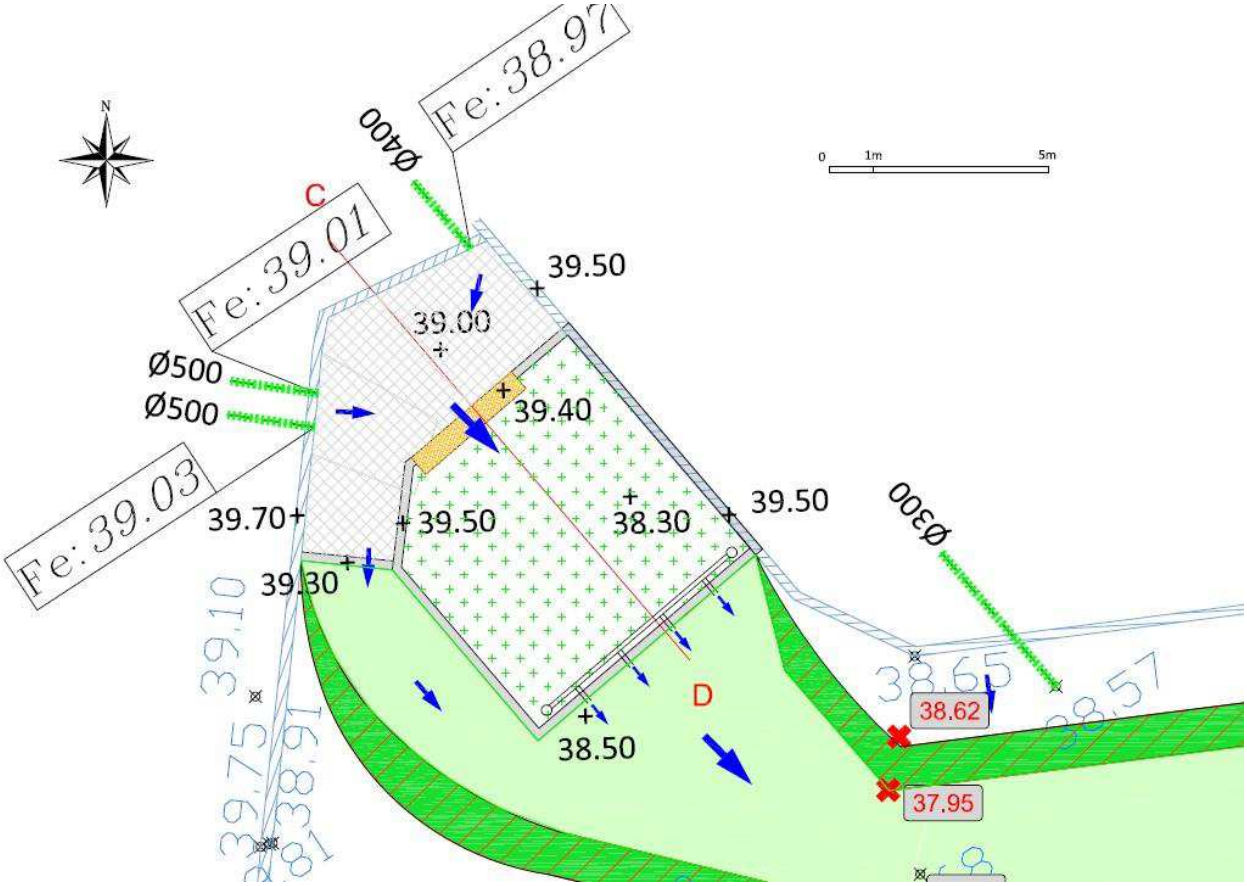
Le débit sera écrêté par des enrochements coulés dans la dalle béton et les murets seront assez hauts pour canaliser l'eau jusqu'à l'entrée de filtre.

Une mise en charge de cette zone de stockage est possible sur 30cm de haut, ensuite, l'eau sera rejetée par surverse.

Les arbres seront conservés, il conviendra d'effectuer un élagage superficiel pour éviter d'avoir trop de branchages au-dessus du filtre.

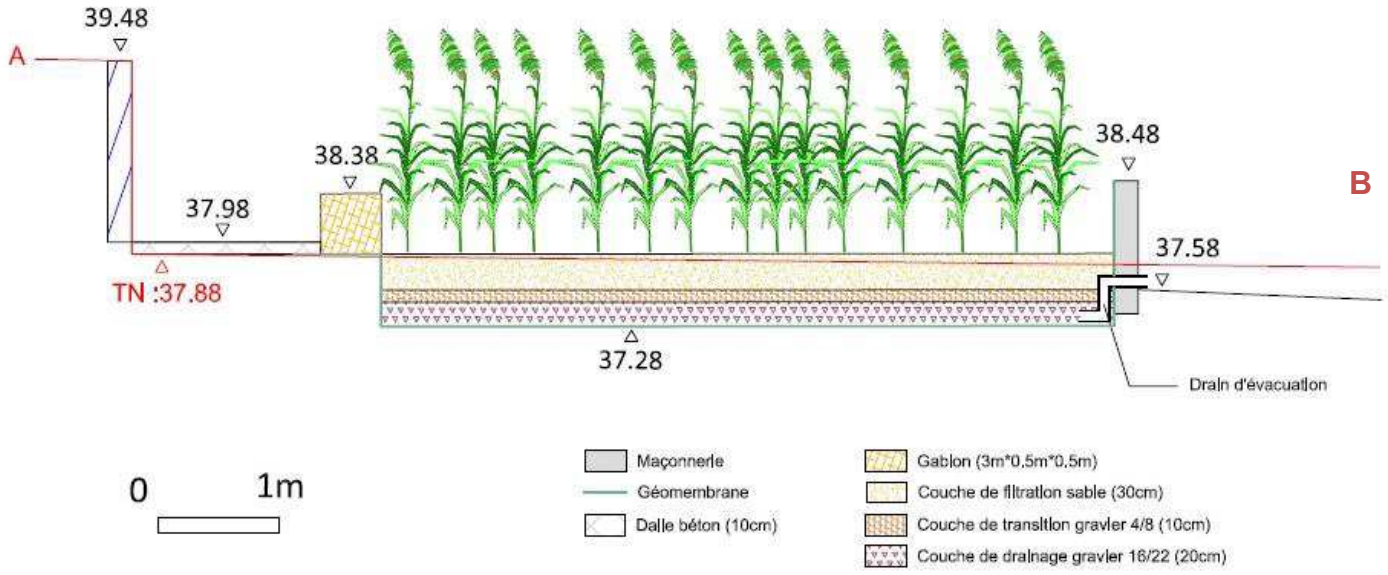
Le filtre sera planté de plantes hélophytes (roseaux, massettes, iris…) aux propriétés épuratrices. Ces plantes dites « de marécage » contrasteront avec la végétation méditerranéenne du bassin, ce qui permettra de valoriser les eaux pluviales in situ.

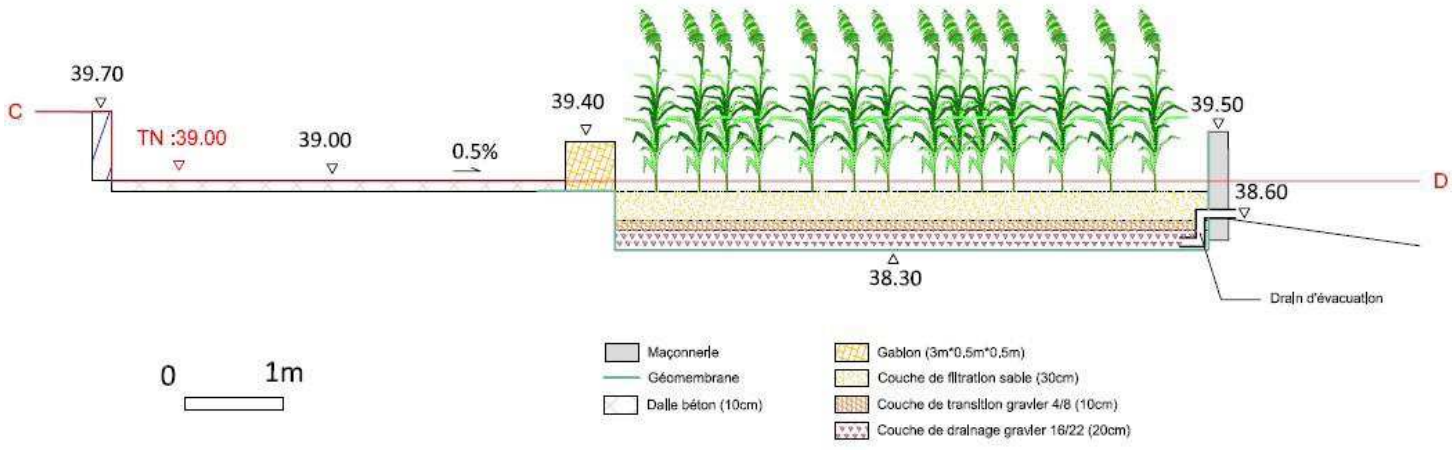
Les deux systèmes de traitement végétalisés possèdent les mêmes dimensions.



Caractéristiques des systèmes de traitement végétalisé

Il a été choisi de dimensionner des filtres à écoulement vertical, bien adaptés au traitement des eaux pluviales.





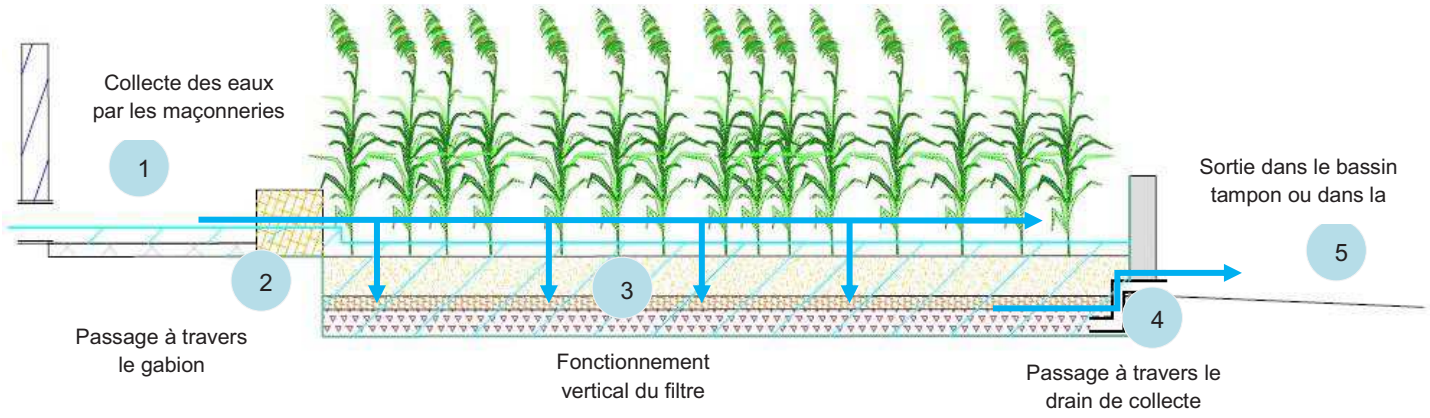
Caractéristiques de chaque filtre :

- *Volume total : 38m3*
- *Volume de matériaux de filtration : 23m3*
- *Volume de stockage d'eau en surface : 15m3*
- *Volume de stockage d'eau dans le filtre : 7m3*

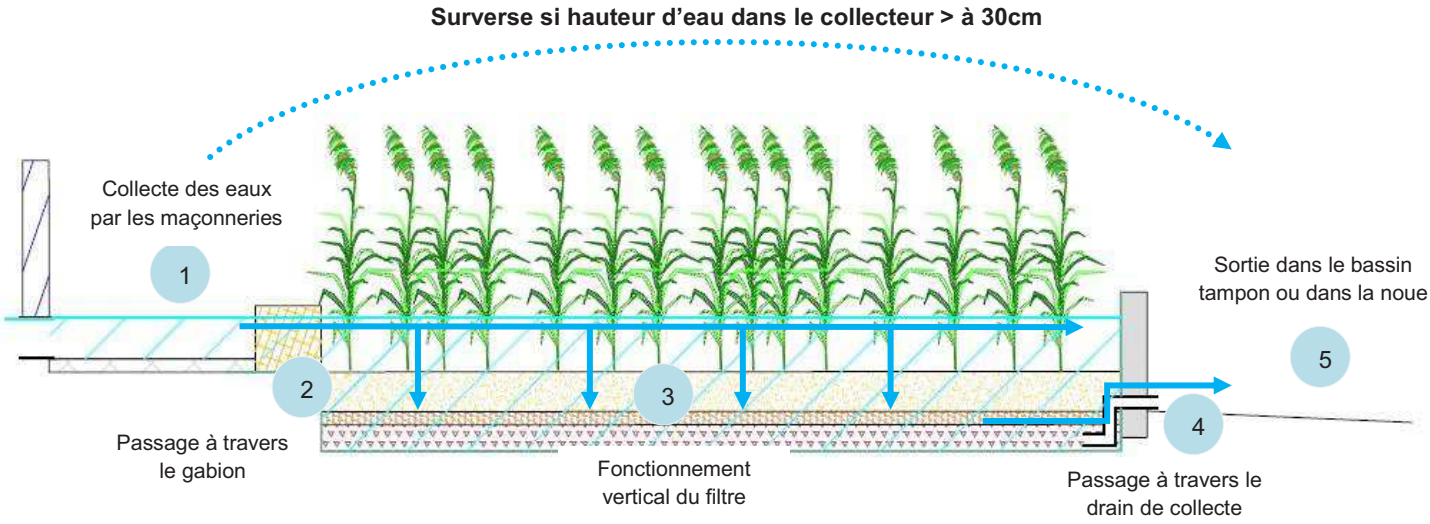
Une réserve hydrique de 30cm de profondeur permet de pallier le besoin en eau des plantes entre deux épisodes pluvieux espacés.

Principe de fonctionnement du filtre planté

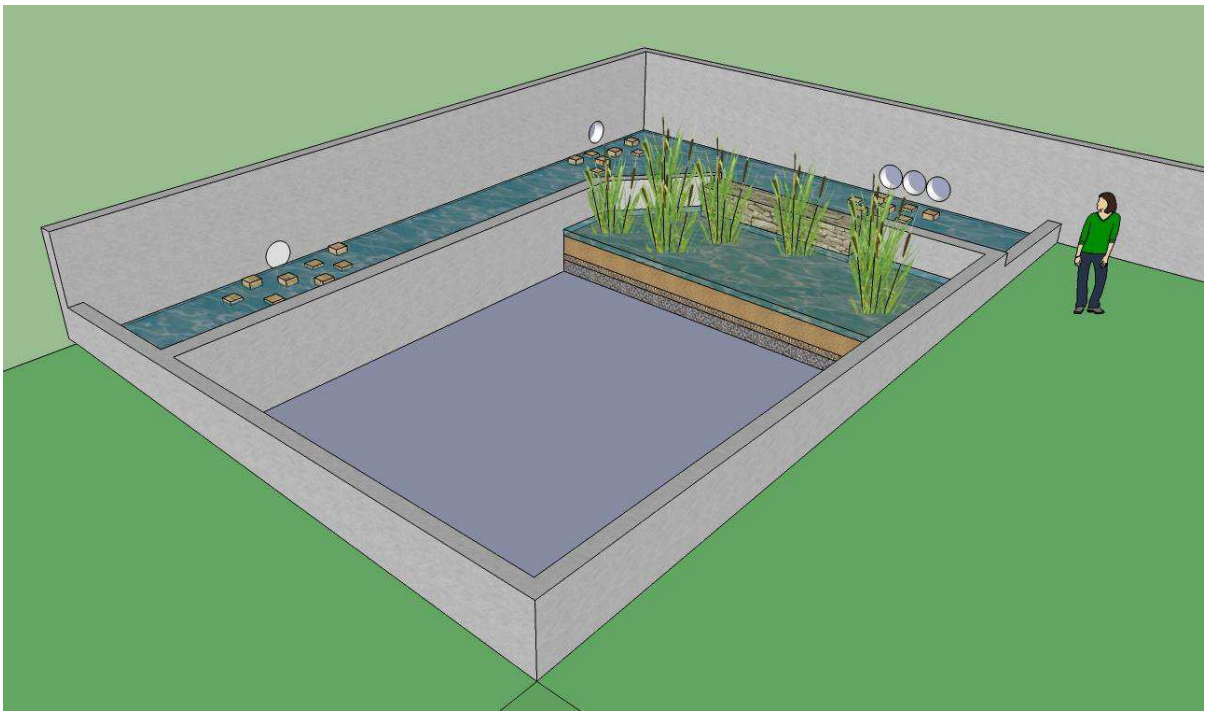
En cas de faible pluie :



En cas de forte pluie :



Projet en 3D



Maintenance et entretien

- Enlever les refus au niveau des gabions après chaque épisode pluvieux (déchets, feuilles, brindilles…) pour éviter tout colmatage du filtre.
- Contrôler visuellement l'installation, lors de la visite mensuelle, afin de s'assurer du bon écoulement des eaux, de la santé des plantes.
- Enlever les adventices présentes dans les filtres plantés une fois tous les deux mois.
- Surveiller la qualité de rejet.
- Faucarder les plantes hélophytes une fois par an.
- Curer la couche de dépôt après 10 ans de fonctionnement.

ANNEXE VIII : L'exemple de l'aéroport d'Orly

AÉROPORTS DE PARIS
Le monde entier est notre invité

Paris, le 8 avril 2014

Communiqué de presse

L'aéroport Paris-Orly inaugure son "marais filtrant" Un procédé innovant pour le traitement des eaux de ruissellement

Aéroports de Paris inaugure le marais filtrant de Paris-Orly. Conçu par ADPI (Aéroports de Paris Ingénierie), filiale à 100 % du Groupe Aéroports de Paris en collaboration avec le bureau d'études Antéagroup et bénéficiant de l'expertise de Lyonnaise des Eaux qui en assure le fonctionnement, ce marais est un système innovant de filtration des eaux de ruissellement. Inédite sur un aéroport, la création d'un bassin et d'un marais planté de roseaux permettra de traiter les produits hivernaux contenus dans les eaux pluviales de l'aéroport.

A Paris-Orly, 3 à 5 millions de m³ d'eaux de ruissellement sont collectés et traités chaque année par le Système de Traitement des Eaux Pluviales (STEP) de l'aéroport. Indispensables en hiver au bon fonctionnement de l'aéroport, les produits hivernaux sont utilisés pour le dégivrage des avions et le déverglaçage des pistes et des voies de circulation des avions. La réalisation d'un marais , grâce à l'expertise d'un groupement d'entreprises, permet à Aéroports de Paris de compléter le traitement physico-chimique du STEP par un procédé naturel de dépollution dédié aux produits hivernaux.



Un traitement bio-épuratoire en deux étapes

L'eau de ruissellement est, dans un premier temps, collectée par le STEP et envoyée en période hivernale dans un nouveau bassin tampon de 13 000 m^3 pour un début de traitement : les produits hivernaux commencent alors à se dégrader sous l'action de la biomasse (les bactéries et les éléments nutritifs) et de l'aération. Ce traitement dure de 24h à 48h, selon la charge de pollution.

Dans un second temps, l'eau est dirigée vers le marais filtrant adjacent de 6500 m^2. Le marais est constitué de matériaux filtrants : des roseaux plantés dans du sable et des granulats. L'épuration est réalisée par le sable, les plantes servant à oxygéner ce filtre minéral. Immédiatement absorbée par le sable, l'eau ne stagne pas dans le "marais". Pour cette seconde étape, un jour de traitement est habituellement suffisant. Grâce à des capteurs, des mesures sont réalisées en permanence à la sortie du marais. Si l'eau est de bonne qualité elle peut rejoindre le milieu naturel après un passage par le STEP ; sinon elle suit un second cycle de traitement dans le marais filtrant.

Aéroports de Paris a investi 4 millions d'euros dans cet équipement souple et innovant, renforcé par une subvention de 20% de l'Agence de l'eau.

Comme toutes les filières d'exploitation actuelles du Système de Traitement des Eaux Pluviales, le marais sera géré par les techniciens de Lyonnaise des Eaux.

" Aéroports de Paris a toujours eu à cœur d'améliorer la maîtrise de ses impacts environnementaux. Ce marais filtrant permet à l'aéroport de Paris-Orly de traiter in-situ les eaux de ruissellement, de façon autonome et respectueuse de l'environnement. Nous avons réalisé cette innovation avec les experts des services techniques de la Direction Générale de l'Aviation Civile et avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, qui nous a apporté son soutien financier." nous précise Franck Mereyde, directeur de l'aéroport Paris-Orly.

Constitué de 12 bassins de 500 m^2 chacun, le marais est en période de réglage pour une durée d'un an. Les 34 000 roseaux qui le composent devront être taillés tous les deux ans et leurs pieds changés tous les 8 à 10 ans.

A propos d'Aéroports de Paris www.aeroportsdeparis.fr

Aéroports de Paris construit, aménage et exploite des plates-formes aéroportuaires parmi lesquelles Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly et Paris-Le Bourget. En 2013, Aéroports de Paris a accueilli plus de 90 millions de passagers sur Paris-Charles de Gaulle et Paris-Orly, 2,2 millions de tonnes de fret et de courrier et 43 millions de passagers au travers d'aéroports gérés à l'étranger. Bénéficiant d'une situation géographique exceptionnelle et d'une forte zone de chalandise, le Groupe poursuit une stratégie de développement de ses capacités d'accueil et d'amélioration de sa qualité de services et entend développer les commerces et l'immobilier. En 2013, le chiffre d'affaires du Groupe s'est élevé à 2754 millions d'euros et le résultat net à 305 millions d'euros.

A propos de Lyonnaise des Eaux www.lyonnaise-des-eaux

Lyonnaise des Eaux, filiale de SUEZ ENVIRONNEMENT, emploie 12 000 collaborateurs, distribue l'eau potable à 12 millions d'habitants, et dépollue les eaux usées de plus de 9,4 millions de personnes en France. La protection de la ressource en eau, en quantité et en qualité, est au centre de ses préoccupations. Pour garantir collectivement l'avenir de l'eau, Lyonnaise des Eaux a lancé en novembre 2011 le Contrat pour la santé de l'eau, un partenariat modernisé avec les collectivités qui porte des propositions innovantes en matière de gouvernance, d'innovation et de modèle économique. L'efficacité de ses engagements est placée sous le contrôle de Vigeo, agence indépendante de notation extra-financière.

A propos de l'Agence de l'eau Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr

L'Agence de l'eau Seine-Normandie est un établissement public du ministère chargé du développement durable. Qualité des milieux aquatiques et protection de la santé sont les priorités majeures de son plan d'interventions. Initiée par l'Agence et en coordination avec tous les acteurs économiques et sociaux du bassin, la politique mise en œuvre pour assurer la qualité des eaux doit permettre l'atteinte du bon état écologique et chimique des milieux aquatiques. Sous forme de subventions ou d'avances, les dispositifs d'aide de l'Agence de l'eau permettent d'accompagner tous les acteurs dans leurs actions de dépollution.

Source :

http://www.aeroportsdeparis.fr/docs/default-source/groupe-fichiers/presse/cp_avril-juin-2014/2014_04_08-presse-adp_inauguration_marais_filtrant_traitement_eaux.pdf (consulté le 22/08/2015)

AGRO CAMPUS OUEST	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Maîtrise d'œuvre et Ingénierie (MOI) Enseignant référent : Hervé DANIEL

Auteur(s) : Valentin ROLAND Date de naissance* : 26/03/1991	Organisme d'accueil : Phytoserpe (SERPE) Adresse : Vauguières le Haut, 34130 MAUGUIO
Nb pages : 41 Annexe(s) : VIII	
Année de soutenance : 2015	Maître de stage : Benoît Chancerel

Titre français : État de l'art du filtre planté de macrophytes pour la gestion et le traitement des eaux pluviales urbaines. Bases pour une méthode de dimensionnement et de conception.

Titre anglais : State of the art of constructed wetland for urban runoff control and treatment. Guidelines for a measurement and design method.

Résumé :

Depuis la fin du XX^{ème} siècle on constate des inondations plus fréquentes et plus intenses en milieu urbain. Cette problématique de gestion des eaux pluviales urbaines a également soulevé la question du traitement de la pollution de ces Rejets Urbains de Temps de Pluie (RUTP). Pour préserver l'environnement et assurer la sécurité publique, la réglementation a progressivement choisi de favoriser une démarche alternative de gestion des eaux pluviales. Cette stratégie a permis de mettre au point des systèmes de traitement végétalisés qui peuvent d'une part gérer les volumes du ruissellement pluvial et d'autre part améliorer la qualité des rejets. Depuis quelques années, les filtres plantés de macrophytes se sont développés pour répondre à cet objectif de traitement, en prenant en compte le caractère stochastique des RUTP (concentrations et débits variables). Ce dispositif, encore novateur, reste à améliorer et à optimiser mais présente déjà, par ses différentes réalisations en France, de bons rendements épuratoires Ce mémoire présente un état de l'art du FPM pour la gestion et le traitement des eaux pluviales urbaines et propose les bases pour une méthode de dimensionnement et de conception.

Abstract:

Since the end of the XXth century, floods are more frequent and intense in urban areas. The difficulty of controlling urban runoff underlines the question of treating the pollution generated. To preserve the environment and ensure public security, regulation has chosen to develop an alternative approach to manage urban storm water. This strategy enables the creation of biofiltration systems, which can on one hand manage the volumes of urban runoff, and on the other hand improve the quality of water rejected. For a few years, constructed wetlands are developing to meet the aim of treatment, by taking into account the random characteristic of runoff (variable concentrations and flows). This system, still pioneer, tends to be optimized, but its various realizations in France already present good purification yields. This report gives the state of the art of constructed wetlands for urban runoff control and treatment and proposes the guidelines for a measurement and design method.

Mots-clés : RUTP, pollution des eaux pluviales, démarche alternative, système de traitement végétalisé, filtre planté de macrophytes, dimensionnement, conception.

Keywords: Urban runoff, storm water pollution, alternative approach, biofiltration systems, constructed wetlands, design.

* *Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires*