

## Evaluation du fonctionnement épuratoire de filtres plantés de roseaux pour le traitement de rejets urbains par temps de pluie : le projet ADEPTE

Treatment efficiency evaluation of subsurface flow reed beds designed for urban wet weather discharges: ADEPTE project

Branchu Philippe\*, Molle Pascal\*\*, Suaire Rémi\*\*\*, Bernard Emilie\*\*\*\*, Palfy Tamas-Gabor\*\*, Troesch Stéphane \*\*\*\*

\* Cerema/DTer Ile-de-France, Trappes, France - [philippe.branchu@cerema.fr](mailto:philippe.branchu@cerema.fr) ;

\*\* Irstea / Equipe Traitement des eaux résiduaires / Unité Milieux aquatiques, écologie et pollutions, Villeurbanne, France - [pascal.molle@irstea.fr](mailto:pascal.molle@irstea.fr) ;

\*\*\* Cerema/DTer Est, Tomblaine, France – [remi.suaire@cerema.fr](mailto:remi.suaire@cerema.fr) ; \*\*\*\* Unima, Périgny, France - / MALY ; \*\*\*\* Epurnature, Caumont sur Durance, France – [stephane.troesch@epurnature.fr](mailto:stephane.troesch@epurnature.fr)

### RÉSUMÉ

Le projet ADEPTE (Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif) a pour objectif de développer un outil d'aide à la conception de la technique des filtres plantés de roseaux pour le traitement des Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Pour cela, quatre systèmes (3 filtres verticaux, 1 horizontal) situés en milieu urbain ou péri-urbain, mais avec des occupations du sol différentes, sont évalués d'un point de vue technique et environnemental. Ces ouvrages sont situés dans des contextes hydroclimatiques différents (du climat océanique au climat semi-continentale) et répondent à des enjeux locaux différents (zone de captage, zone littorale, protection de cours d'eau, surverse de réseau unitaire). L'outil final est construit autour d'un modèle simplifié du fonctionnement des filtres qui nécessite un jeu de données pour sa validation et son test. L'objectif de la présente communication est ainsi de présenter la méthodologie d'acquisition des jeux de données physico-chimiques et hydrauliques pour les 4 sites et de présenter les résultats acquis à ce jour sur 2 des 4 sites. La première phase du projet focalisée sur la méthodologie de suivi des sites a illustré la difficulté de parvenir à une instrumentation identique et la nécessité de comprendre le fonctionnement hydraulique avant de définir un programme d'échantillonnage. Le suivi permet de mettre en évidence l'existence de différents processus qui s'expriment différemment en fonction de la nature des eaux : réseau unitaire caractérisés par des effluents organiques et une charge en azote réduit, réseau séparatif caractérisé par une charge minérale et moins de composés organiques et azotés. De manière générale on observe une minéralisation de la matière organique, une oxydation des formes réduites de l'azote, une bonne rétention de la fraction particulaire et des polluants qui lui sont associés. Les sollicitations hydrauliques peuvent être très importantes à la surface des filtres avec des périodes de mise en charge de la surface des filtres.

### ABSTRACT

The ADEPTE project aims at developing a design support tool for the treatment of stormwater (combined sewer overflow or separate rain sewer) by subsurface flow constructed wetlands. Four systems (3 vertical flow filters and 1 horizontal) located in urban or peri-urban areas, are evaluated from a technical and environmental point of view. These full scale systems are located in different French climate contexts (ocean to semi-continentale climate) and meet different local issues (drinking water catchment, coastal zone, stream protection). The final design support tool, based on a simplified model of the filter functions, requires homogenous data set for validation and testing. The purpose of this paper is to present the monitoring methodology developed for the 4 experimental sites and present the results obtained until now on 2 sites. The first phase, focused on monitoring methodology, highlighted (i) the difficulty of implementing the same metrological program and (ii) the need to understand well the hydraulic behavior of the filters before setting a sampling program. The monitoring highlights the existence of different processes which are expressed differently according to the water characteristics (combined sewer overflows with organic and nitrogen loads, separate system with a mineral load). Results show that organic matter and ammonia are well mineralized, and a good TSS and associated pollutant removal. Filters can accept very high hydraulic loads producing saturation of the filter media and ponding allowing a peak flow attenuation.

### MOTS CLÉS

Filtre planté de roseaux, Rejet urbains par temps de pluie, efficacité épuratoire

## 1 INTRODUCTION

Dans le cadre des directives européennes dites cadre sur l'eau (DCE) et résiduaire urbaines (DRU) et de leurs textes d'application nationaux, une attention de plus en plus importante est portée aux rejets urbains par temps de pluie, qu'il s'agisse de rejets pluviaux issus de réseaux séparatifs ou de surverses de réseaux unitaires par temps de pluie. Cette attention est en effet justifiée par l'impact que peuvent avoir ces rejets sur le milieu aquatique superficiel récepteur que ce soit sur le plan hydraulique, physico-chimique et biologique (Ferro *et al.*, 2013). Parmi les mesures mise en avant par les pouvoirs publics, notamment dans le cadre des nouveaux projets d'aménagement, est la gestion à la source des eaux pluviales afin de réduire la concentration des flux à l'aval. Il existe cependant un réel besoin de gérer dans les bassins versants urbains ces flux concentrés. Face à cette nécessité de nombreuses collectivités s'intéressent à des techniques rustiques de traitement. Les filtres plantés de roseaux répondent à cette exigence tout en permettant d'intégrer un volet paysager au procédé de traitement. Cette technique fortement développée en France dans le domaine de l'assainissement autonome et des petites collectivités où elle a fait ses preuves (Molle *et al.*, 2015) se développe maintenant dans le domaines des eaux pluviales. Cette filière manque cependant d'un véritable retour d'expériences sur son fonctionnement et son vieillissement ainsi que de bases rigoureuses tant en termes de dimensionnement que de maintenance. Le projet ADEPTE (Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif) a ainsi pour objectif de développer un outil d'aide à la conception de la technique des filtres plantés de roseaux pour le traitement des Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Le travail objet de la présente communication s'y intègre, au sein de la tâche dédiée à l'évaluation technique, environnementale et sociétale des ouvrages suivis dans le projet. Ces jeux de données serviront de plus (i) à construire l'analyse de cycle de vie des ouvrages (cf. Neaud et Foucart, dans cette conférence) et (ii) à valider et tester le modèle simplifié et fonctionnel des filtres plantés (cf Palfy *et al.*, dans cette conférence) qui sera au cœur de l'outil final d'aide à la conception et à l'exploitation de la filière.

## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 Les 4 cas étudiés

Quatre ouvrages sont suivis dans le cadre d'Adepte, chacun est situé dans une zone hydro-climatique particulière, avec un bassin versant de type urbain mais avec des occupations des sols différentes et des enjeux de traitement spécifiques (tableau 1). Le dimensionnement des ouvrages est ainsi lui aussi spécifique. Le site la Tremblade (17) est constitué d'un filtre horizontal alors que les autres (Marcy l'étoile -69-, Leuville sur Orge -91- et Moulins lès Metz -57-) sont des filtres verticaux avec zone saturée à leur base. Le site du Grand Lyon présente la particularité de traiter une surverse de réseau unitaire et a été développé dans le cadre du projet ANR SEGTEUP (Meyer *et al.*, 2013). En terme de dimensionnement on retiendra différents facteurs clefs : principalement hydrauliques pour le traitement du pluvial (rétention, écrêtement) et épuratoires pour la surverse de rejet urbain par temps de pluie (SRUTP). Ces ouvrages ont été mis en œuvre entre 2009 et 2012.

### 2.2 Suivis quantitatif et qualitatif

Afin de garantir la production de jeux de données homogènes, la méthodologie d'instrumentation a été harmonisée entre les sites. Cependant, en raison du fonctionnement propre à l'ouvrage de la Tremblade (lagune + filtre horizontal) une méthodologie spécifique va être mise en place en 2016. A ce jour seuls les 3 filtres verticaux font l'objet d'un suivi opérationnel.

Le suivi *quantitatif* repose sur la mesure de la pluviométrie, du débit entrant, du débit sortant et de la mise en charge du filtre. Le suivi *qualitatif* s'appuie sur l'utilisation de préleveurs réfrigérés asservis au débit en entrée et sortie d'ouvrage. L'objectif est d'avoir une idée du fonctionnement événementiel moyen mais également de travailler autour de pollutogrammes pour s'intéresser aux processus épuratoires et construire/valider le modèle comportemental qui sera produit. Les paramètres suivis concernent les phases particulaires et dissoutes (notamment pour mettre en évidence les paramètres bio-physico-chimiques en jeu) des polluants qui sont analysés selon les normes en vigueur :

- - paramètres globaux : DCO, MES, NGL (NK, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Ptotal, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>,
- paramètres μpolluants: métaux (Pb, Zn, Cu, Cd), HAP, hydrocarbures totaux,
- paramètres microbiens (spécifiquement à la Tremblade).

Par la suite seules les données acquises à Marcy l'Etoile et de Leuville sur Orge sur la période 2013-

2014 sont détaillées.

**Tableau 1** : descriptif des sites suivis.

Site gestionnaire /	Climat	Type d'effluent	Bassin versant	Problématique locale	Type de filtre	Ouvrages complémentaires
Marcy l'Etoile / Grand Lyon (69)	Semi-continental	Surverse de réseau unitaire	Résidentiel 98 ha	Protection milieu récepteur : (μ)polluants ED et ER	Vertical partiellement saturé (498 m <sup>2</sup> 2 lits)	Désableur-deshuileur
Moulins lès Metz / Metz Métropole (57)	Semi-continental dégradé	Réseau pluvial séparatif	Commercial, résidentiel 36,5 ha	Protection champs captant : Polluants ER	Vertical (2050 m <sup>2</sup> )	Bassin de décantation (215 m <sup>2</sup> )
Leuville sur Orge / Syndicat de la Vallée de l'Orge (91)	Océanique dégradé	Réseau pluvial séparatif	Routier, commercial, résidentiel 33 ha	Protection du milieu récepteur : (μ)polluants ER	Vertical (2500 m <sup>2</sup> )	Bassin de décantation (150 m <sup>2</sup> )
La Tremblade / UNIMA (17)	Océanique	Réseau pluvial séparatif	Résidentiel	Protection du milieu récepteur : polluants ER + bactériologie	Horizontal (560 m <sup>2</sup> , 2 lits)	Lagune (7800 m <sup>2</sup> )

ED : eaux domestiques, ER : eaux de ruissellement

### 3 RESULTATS – DISCUSSION

#### 3.1 Instrumentation

L'instrumentation de ces sites et sa validation constitue une étape clef du processus de caractérisation des performances épuratoires. La première difficulté réside dans le fait que la majorité des ouvrages ne sont pas prévus dès leur phase d'étude pour l'instrumentation. Dans la majorité des cas on se situe ainsi dans des conditions de mesures non normalisées, nécessitant une instrumentation en double pour croiser différentes méthodes de mesure et donc valider les données obtenues. De plus un choix de capteur doit être réalisé en fonction des gammes de débits attendus.

La principale difficulté repose également sur l'absence d'alimentation électrique réseau. Il faut ainsi soit utiliser des panneaux solaires (Marcy l'Etoile), soit des batteries (Leuville sur Orge et Moulins Lès Metz). Cette solution s'avère efficace pour le suivi quantitatif mais très contraignante pour le suivi qualitatif (consommation du bloc froid) d'autant plus que les sites sont relativement distants des laboratoires qui en assurent le suivi.

##### 3.1.1 Fonctionnement hydraulique

Suite à la phase d'instrumentation et de validation des mesures, une phase de connaissance du fonctionnement hydraulique s'impose et nécessite une durée de plusieurs mois. Pour ces ouvrages qui ont été dimensionnés en réponse à différents objectifs mais toujours en lien avec le caractère stochastique de l'événement pluvial il est important de vérifier leurs bases de dimensionnement. Le tableau 2 présente ainsi à titre d'exemple pour le site de Leuville sur Orge, la comparaison entre les capacités théoriques et mesurées. Cette phase permet également de définir le programme d'asservissement des prélèvements au débit en fonction de l'objectif : événement moyen événement exceptionnel, .... Pour le site de Marcy l'Etoile pour la première année de suivi la charge hydraulique a été d'environ de 25 m pour un objectif de 40 m/an. Pour Leuville sur Orge cette charge est d'environ 50 m/an ce qui correspond à la valeur limite basée sur l'expérience allemande pour le traitement des SRUTP (Uhl et Dittmer, 2005). Enfin afin de calculer le fonctionnement épuratoire (masse de polluant extraite) il est nécessaire pour ces ouvrages végétalisés avec humidité résiduelle variable de caractériser les débits entrants mais également sortant car le volume des pertes peut représenter jusqu'à 50 % de la charge hydraulique entrante dans le cas de Leuville sur Orge.

**Tableau 2** : Exemple de données de fonctionnement hydraulique de l'ouvrage de Leuville sur Orge.

	Dimensionnement	Fonctionnement réel*
Surface active du bassin versant (ha)	33	24
Débit spécifique maximum de sortie (L/s/m <sup>2</sup> )	0,05	0,028
Débit maximum d'alimentation (L/s)	700	380

\* valeur moyenne

### 3.1.2 Efficacité épuratoire

Les caractéristiques des eaux prélevées en entrée d'ouvrage (16 échantillons recueillis à Leuville et 13 à Marcy) sont proches de celles publiées dans la littérature que ce soit pour les surverses (Segteup, 2013) ou le pluvial séparatif (AESN, 2013).

Pour les MES la gamme de concentration est équivalente à Marcy (SRUTP) et à Leuville (réseau séparatif) et le rendement moyen (rétention massique) supérieur à 95% et peu soumis à variation (tableau 3). La nature des MES semble cependant différer avec une fraction minérale plus élevée à Leuville (65% en moyenne) qu'à Marcy qui présente tout de même une charge minérale plus élevée que celle des eaux usées domestiques. Dans le cas de la DCO (tableau 3) les concentrations sont généralement plus faible pour l'eau issue du réseau séparatif pour lequel les rendements associés sont plus faibles (60% en moyenne) et plus variables que pour la SRUTP (78 % en moyenne). Pour les 2 ouvrages il semble que plus la concentration est forte en entrée plus l'efficacité épuratoire est forte. L'efficacité épuratoire est supérieure pour la DCO particulaire que pour la DCO Dissoute. Pour ce qui est des autres polluants, ceux majoritairement associés aux particules (P<sub>tot</sub>, NK) sont globalement bien retenus. En ce qui concerne les polluants en solution ils permettent de mettre en évidence des phénomènes d'oxydation (réduction de la concentration en ammonium, augmentation de celle en nitrate).

A Leuville (analyses non disponibles à ce jour pour Marcy), en ce qui concerne les métaux (Pb, Zn, Cu) les rendements épuratoires sont essentiellement liés à la rétention de leur fraction particulaire. L'importance de cette fraction dans les eaux en entrée décroît selon l'ordre Pb>Cu, Zn. Il existe d'ailleurs une bonne concordance entre concentrations dans la phase particulaire et concentration dans le dépôt en surface du filtre (cf. Walaszek *et al.*, dans cette conférence).

**Tableau 3** : Concentrations et rendements épuratoires associés aux MES et à la DCO (événements caractérisés en 2013-2014) à Marcy l'Etoile (SRUTP) et à Leuville sur Orge (réseau séparatif).

	Marcy l'Etoile (SRUTP)		Leuville sur Orge (Pluvial strict)	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
MES mg/l	75-800	<1 - 30	32-752	<1 - 30
MES (rendement*) moy (ecart-type)	0,95 (0,04)		0,97 (0,02)	
DCO mg/l	107-410	<30-90	30-255	<30-32
DCO (rendement*) moy (ecart-type)	0,78 (0,1)		0,6 (0,3)	

\* fraction de la masse entrant retenue dans l'ouvrage

## 4 CONCLUSIONS

Les phases d'instrumentations, de sa validation et de connaissance du fonctionnement hydraulique des ouvrages de filtres plantés de roseaux (écoulement vertical et horizontal) sont des préalables indispensables à la caractérisation qualitative de son efficacité. Dans le cadre d'Adept, sur les 4 sites

suivis seuls 2 proposent à l'heure actuel un suivi opérationnel qui permet de mettre en évidence la similarité des processus (filtration des MES et des polluants associés, oxydation de l'azote ammoniacal) même si les charges organiques sont supérieures au niveau de la SRUTP. Il sera donc intéressant de tester le modèle épuratoire d'Adepté sur les autres sites. Pour cela il sera nécessaire de construire le jeu de données au niveau des 2 autres sites. En ce qui concerne la réactivité des micro-polluants nous montrons que c'est le rôle mécanique du filtre qui favorise la rétention des polluants métalliques ; il sera intéressant de caractériser le comportement des polluants organiques et notamment des HAP dans ces ouvrages.

## BIBLIOGRAPHIE

- AESN (2013). Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines. Agence de l'eau Seine-Normandie. 63p.
- Ferro Y., Durieu C., Arambourou H. (2013). Bio-indication et évaluation des impacts écologiques des rejets urbains de temps de pluie. Colloque national « Quelles innovations pour la gestion durable des eaux pluviales en milieux urbain ? », Nantes, 3-5 décembre 2013.
- Meyer D., Molle P., Esser D., Troesch S., Masi F., Dittmer U. (2013). Constructed Wetlands for Combined Sewer Overflow Treatment—Comparison of German, French and Italian Approaches. *Water*, 5(1), 1-12.
- Molle P, Lienard A, Boutin C, Merlin G, Iwema A. (2015). How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Sci Technol* ;51(9):11-21.
- Neaud C. et Foucart T. (2016). Life cycle assessment of a stormwater sanitationn system with vertical flow constructed wetlands (Adepté project). This conference
- Pálfy T.G., Meyer D., Gourdon R., Troesch S., Molle P. (2016) Orage: design-support model of planted detentive filters treating urban stormwater. This conference
- Segteup (2013). Systèmes extensifs pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie. Livrable final, ANR Precodd, 41p.
- Uhl M. et Dittmer U. (2005). Constructed wetlands for CSO treatment: an overview of practice and research in Germany. *Water Sci Technol*. 2005;51(9):23-3.
- Walaszek M., Caner-Chabran A.,; Laurent J.; Branchu Ph. ; Mucig C.; Schwager J.; Bois P.; Wanko A. (2016). Trace metals trapping dynamics in urban stormwater constructed treatment wetlands: Cases study in Strasbourg, Moulins-les-Metz and Leuville-sur-Orge. This conference.