



ADEPTE – Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif

**Le traitement des surverses de déversoir d'orage par
filtres plantés de roseaux : retour d'expérience du site
de Marcy-l'Etoile**

T. PALFY, M. GERODOLLE, P. MOLLE

Septembre 2017

Le traitement des surverses de déversoir d'orage par filtres plantés de roseaux : retour d'expérience du site de Marcy-l'Etoile

■ T. PALFY, M. GERODOLLE, P. MOLLE

Irstea, UR Maly – 5, rue de la Doua – CS70077 – 69626 Villeurbanne.

Le projet ADEPTE est un projet issu de l'appel à projets national « stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020 – projets innovants dans le domaine de l'ingénierie écologique ». L'objectif visé est le développement d'un logiciel au dimensionnement des ouvrages de la filière filtre plantés de roseaux pour le traitement des rejets urbains de temps de pluie (eaux pluviales strictes, surverses de déversoir d'orage) (logiciel ORAGE). Le projet repose sur le suivi de 4 installations réparties en fonction des zones climatiques et des objectifs de traitement visés. Cet article concerne les résultats du suivi du site de Marcy l'Etoile (69) exploité par la Métropole de Lyon. Ce travail est financé par l'AFB et les agences de l'eau RMC, SN, RM et AG. Le projet ADEPTE est réalisé par différents partenaires scientifiques, (Irstea – CEREMA), publiques (Syndicat de l'orge, l'UNIMA) et privés (Epur nature, MEGAO). Ce document s'attache à présenter les résultats de performances d'un site de l'agglomération Lyonnaise dédié au traitement des surverses de déversoir d'orage.

1. Le site expérimental

Le filtre de Marcy l'étoile est le premier filtre en France en taille réelle traitant des surverses de déversoir d'orage et alimenté en eaux usées brute. L'objectif du suivi réalisé dans le cadre du était de confirmer l'intérêt de cette filière suite au projet SEGTEUP aussi bien en termes d'hydraulique que des performances épuratoires. Un objectif secondaire était d'évaluer les facteurs impactant les performances épuratoire. Ce dernier point n'est que partiellement développé dans cette note. Le lecteur pourra se référer à Palfy et al (2017a) pour plus de précision. Le site de Marcy l'étoile avait pour vocation de traiter une pluie annuelle (1160 m³/jour) et de garantir des performances de 90 % sur la DBO et les MES, 65 % sur la DCO et 60 % sur le NK.

La Figure 1 présente le cheminement de l'eau sur le site de Marcy l'étoile. Depuis la surverse de déversoir d'orage [1], les eaux traversent un dessableur dégraisseur de 20 m³ (non utilisé dans

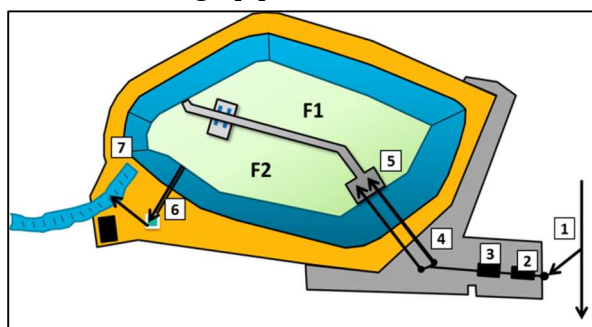


Figure 1. Schéma du filtre de Marcy-l'Etoile

le cas de l'étude) [2] puis un canal venturi [3] pour la mesure des débits d'entrée. Les eaux usées sont envoyées alternativement sur les filtres 1(F1, 253 m²) ou 2 (F2, 245 m²), par l'intermédiaire d'une trappe de distribution [4]. L'énergie cinétique de l'eau est réduite par des gabions d'entrée [5] pour éviter la re-suspension du dépôt. Pour des objectifs expérimentaux, les matériaux des filtres sont différents entre F1 et F2 (mélange de sable et de zéolite ou pouzzolane) (Figure 2).

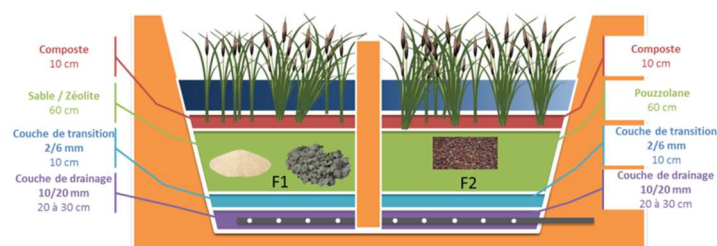


Figure 2. Configuration des matériaux des filtres

L'eau infiltrée est récupérée par un réseau de drain à la base du filtre. Le débit de sortie est régulé afin de garantir un temps de séjour et une vitesse de filtration au travers du milieu. Cela est réalisé par l'intermédiaire d'orifices calibrés sur le tuyau de mise en charge du filtre. Ce débit de fuite est modulable entre 0.029 or 0.042 m³/m²/h [6]. La hauteur des orifices permet une mise en charge partielle des filtres garantissant une saturation à la base pour la survie des roseaux et le maintien de la biomasse épuratrice. Un by-pass des filtres est possible par une surverse [7] située à 2.1 m de la surface des filtres.

Les filtres F1 et F2 sont hydrauliquement séparés jusqu'à une certaine hauteur de connexion hydraulique au-dessus de la couche de filtration. Pour des objectifs de recherche, dans le cadre du site de Marcy l'Etoile, cette hauteur de connexion est variable jusqu'à une hauteur maximale de 80 cm.

2. Suivi expérimental

Le site de Marcy-L'Etoile a été mis en eau en 2012. Les résultats présentés ici concernent les trois premières années de fonctionnement (depuis le printemps 2013 à l'été 2016). Sur l'ensemble des évènements, 31 ont été suivis pour évaluer les performances épuratoires, certains évènements ont été artificiellement réalisés (baisse du seuil du déversoir) pour créer des charges extrêmes largement supérieures à la charge de dimensionnement. La présence d'eaux industrielles permettait de créer des évènements importants. De même, l'alternance des filtres n'a été réalisée que

ponctuellement, à certaine période, pour évaluer l'impact des charges sur le colmatage des filtres (Figure 3).

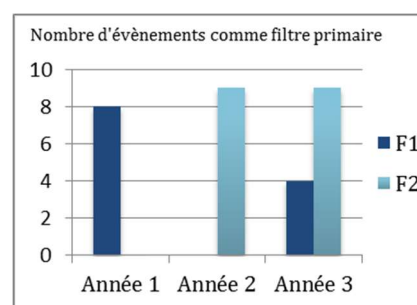


Figure 3. Nombre d'évènement suivis en tant que filtre primaire (F1/F2)

Le filtre primaire est celui recevant les eaux brutes de temps de pluie (fonction de l'alternance) et donc recevant une charge organique (et hydraulique) plus importante que le filtre secondaire. Le filtre secondaire reçoit, si le niveau de saturation du filtre primaire atteint la hauteur de connexion entre les filtres, des eaux décantées issues du filtre primaire.

2.1. Suivi hydraulique

Les débits étaient mesurés en continu par :

- En entrée : une sonde ultra son (Aqualyse AquaVenturi®, 9,5/1000 m³/h) au niveau du canal venturi ;

- En sortie : un débitmètre électromagnétique (Krohne Waterflux 3070®) ainsi que des sondes pression, au niveau de la mise en charge de chaque filtre, calibrées sur les orifices de sortie.
- Dans les filtres : 4 sondes piézométriques étaient installées dans les filtres pour mesurer le niveau de mise en charge des filtres.

Les mesures de débits d'entrée étant très difficiles à réaliser de manière précise (grande amplitude de débit), l'ensemble des mesures hydrauliques permettaient, par des bilans masse, de corriger la valeur de débit d'entrée.

2.2. Performances épuratoires

Trois échantillonneurs réfrigérés ont été installés (entrée et chaque sortie de filtre) pour prélever proportionnellement au débit les eaux. Ces échantillonneurs avaient pour objectif de pouvoir réaliser des échantillons moyens par évènements mais aussi des pollutogrammes au sein d'un évènement pour caler le modèle Orage (Palfy et al., 2017a, b). Des mesures en ligne des formes azotées (WTW Varion) ont été installées en sortie pour suivre la dynamique de rétention ou relargage des formes azotées. Un étalonnage pour chaque campagne était réalisé sur les eaux réelles du site. De même, 18 sondes TDR ont été placées à l'intérieur des filtres pour suivre les teneurs en humidité.

Toutes ces sondes et les débits avaient un temps d'acquisition de la minute.

2.3. Micropolluants

Pour l'évaluation du traitement des micropolluants (Métaux, HAP) les échantillons ont été prélevés de manière similaire en appliquant la méthodologie adaptée suivant CHOUBERT *et al.* (2011). Des matériaux inertes (flacons en verre, tubes téflons), préalablement lavés avant chaque campagne de prélèvements, ont été utilisés. Trois campagnes de deux jours pendant des évènements extrêmes ont été réalisées pour analyse des métaux (ICP-MS) et des HAP (HPLC).

2.4. Campagnes de mesures

2.4.1. Polluants majeurs

31 campagnes de mesures (évènements pluvieux pouvant pour certains se dérouler sur plusieurs jours) ont été analysés en termes de performances. La fréquence d'échantillonnage (proportionnelle au débit) a été déterminée en fonction de l'expérience acquise sur le projet SEGTEUP et ajustée suite aux premières mesures. L'objectif principal était de suivre l'évolution des concentrations au sein d'un évènement pluvieux. La difficulté provient de l'impossibilité de prévoir les débits et la durée de l'évènement pluvieux. Les échantillons ont été analysés au laboratoire d'Irstea, pour les MES, la DCO totale, dissoute, les formes azotées et phosphorée dissoutes. Des mesures moins fréquentes en NK, PT, DBO₅, COT et COD ont également été réalisées pour mieux appréhender les caractéristiques des eaux. L'ensemble des analyses a été réalisé au laboratoire d'Irstea (LAMA) suivant des méthodes normalisées (APHA).

2.4.2. Méthode de calcul des performances des micropolluants

Pour les micropolluants, une précaution a été faite pour le calcul des performances en raison des très faibles concentrations. Les performances épuratoires ont été calculées selon la méthode décrite par CHOUBERT *et al.* (2011). Elle permet de prendre en compte les incertitudes dans l'analyse des résultats. Pour chaque micropolluant, un seuil de 5 fois la limite de quantification a été pris pour déterminer un niveau de confiance de la mesure. En conséquence de quoi, la performance épuratoire n'a pas été calculée lorsque les concentrations étaient inférieures à ce seuil. Lorsqu'une substance n'était pas quantifiée en sortie, la performance épuratoire a été calculée sur la base d'une valeur hypothétique de la moitié de la limite de quantification. Enfin, si la fraction particulaire n'est pas mesurée, les performances épuratoires ne sont pas calculées.

3. Résultats

3.1. Hydraulique

Les charges hydrauliques reçues par filtre et pour l'ensemble sont présentées dans le Tableau 1. La charge de dimensionnement de 1160 m³ (40 m/an) a été dépassée plusieurs jours d'affilée sur certains évènements pour évaluer les limites du système.

Tableau 1 : Charge hydrauliques sur les trois années		Année 1 04/13 - 03/14		Année 2 05/14 - 04/15		Année 3 05/15 - 04/16	
Nbre d'évènements		8		9		14	
filtres		F1	F2	F1	F2	F1	F2
Charge hydraulique (m)	moyenne	1,8	1,3	1,5	2,7	1,4	1,6
	Min	0,6	0,0	0,0	0,5	0,0	0,6
	Max	3,3	3,0	5,4	9,7	5,7	5,9
	ET	1,2	1,2	1,8	3,0	1,4	1,5
Charge totale (m)		24,7		37,9		41,4	

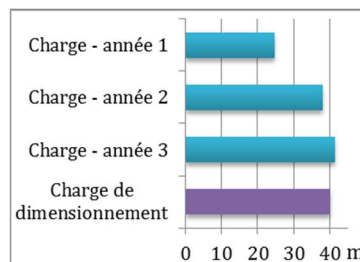


Figure 4. % de charge hydraulique

Les filtres ont reçu 62 % de la charge annuelle de dimensionnement la première année (Figure 4). Sur les années 2 et 3 cette charge a été amenée à la charge nominale. L'ensemble des évènements sont présentés en annexe 1.

D'un point de vue hydraulique, en raison de la limitation du débit de drainage des filtres, ces derniers assurent un rôle de tampon hydraulique de l'évènement pluvial. A titre d'exemple, dans le cadre d'un évènement mettant en charge l'ensemble des deux lits, on observe une atténuation du débit instantané de 85 % (Figure 5).

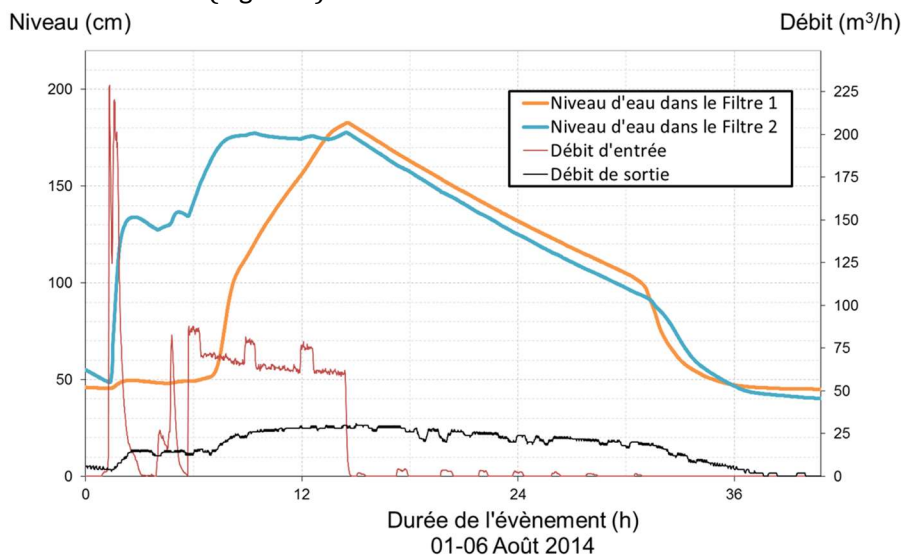


Figure 5 : profils hydrauliques et débits lors d'un évènement pluvial, suivi d'une entrée d'eau industrielle.

Ce rôle de tampon hydraulique est d'autant plus important que le débit d'entrée l'est. La limitation du débit de drainage permet un contrôle efficace de l'impact hydraulique sur le milieu récepteur.

3.2. Polluants majeurs

3.2.1. Performances globales

Les charges hydrauliques et organiques ont été extrêmement variables suivant les évènements. L'ensemble des évènements est répertorié en annexe. Sur la base des performances épuratoires massiques, la Figure 6 permet de visualiser le rôle du filtre sur les polluants majeurs. Les MES (TSS sur la figure), La DCO (COD sur la figure) et l'azote ammoniacale ($\text{NH}_4\text{-N}$), les nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$) et les orthophosphates ($\text{PO}_4\text{-P}$) sont représentés.

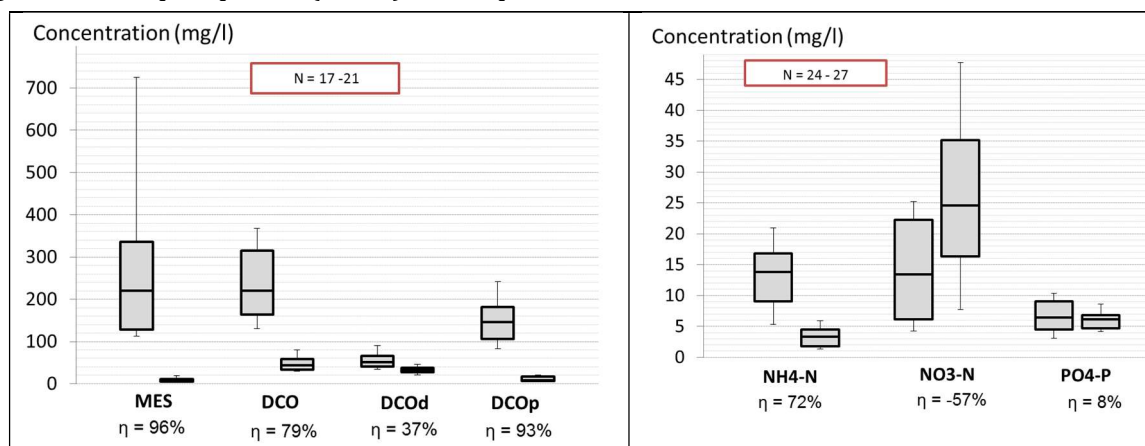


Figure 6. Concentrations d'entrée et de sortie du filtre, et performances, sur les évènements échantillonnés (N: nombre d'évènements)

MES. Les performances épuratoires sur la partie particulaire (MES) sont de 96 % en moyenne avec un écart type (ET : 2.9) relativement faible montrant la bonne stabilité du système en termes de filtration. Les concentrations de sortie sont systématiquement proches de 10 mg MES/l.

DCO. Les performances sur la DCO totale sont de 79%. Elles sont dépendantes de la concentration d'entrée : plus l'effluent est chargé plus les rendements sont importants. La majeure partie des performances est basée sur la partie particulaire (COD_X). La partie dissoute de la DCO (COD_S) est moins bien dégradée (37 % en moyenne) car parfois proche de la DCO résiduelle. La concentration de sortie est systématiquement inférieure à 90 mg/l.

$\text{NH}_4\text{-N}$. Si la concentration d'entrée moyenne en azote ammoniacale est de 13.8 mgN/L, une variation est observée, parfois jusqu'à des valeurs importantes pour des surverses de déversoir d'orage en raison des rejets industriels. Néanmoins, les niveaux de rejet sont inférieurs à 5 mgN/l avec des performances de 72 % en moyenne (seul un rendement est inférieur à 71 % (16%) avec des concentrations d'entrée très faibles, proches de celle de la sortie. Les performances de nitrification sont impactées par des court-circuits hydrauliques, la température ainsi que le temps de régénération entre deux épisodes pluvieux (Palfy et al., 2017a).

$\text{NO}_3\text{-N}$. La dénitrification n'est pas un objectif de traitement. L'augmentation des concentrations en nitrate entre l'entrée et la sortie est le résultat de la nitrification qui a lieu entre deux épisodes pluvieux. Un relargage de nitrate est observable en début de chaque évènement pluvieux.

PO₄-P. Le traitement des orthophosphates est faible (~ 8%) en raison de matériaux non spécifiques vis à vis de ces derniers. Seule la partie particulaire du phosphore est retenue. La partie dissoute se retient de moins en moins bien avec l'âge du système en raison d'une saturation des sites d'adsorption.

3.2.2. Comparaison des filtres

La comparaison des filtres en termes de performances épuratoires sur les paramètres dissous (seuls paramètres pouvant être affectés par la nature des matériaux) peut être visualisée sur la Figure 7. On observe qu'il n'y a pas de différence significative ($p_value = 0.42$, Student test); les deux filtres opèrent de manière similaire. 60 cm de pouzzolane permet d'obtenir les mêmes niveaux de performances que 12 cm de zéolite additionné au sable.

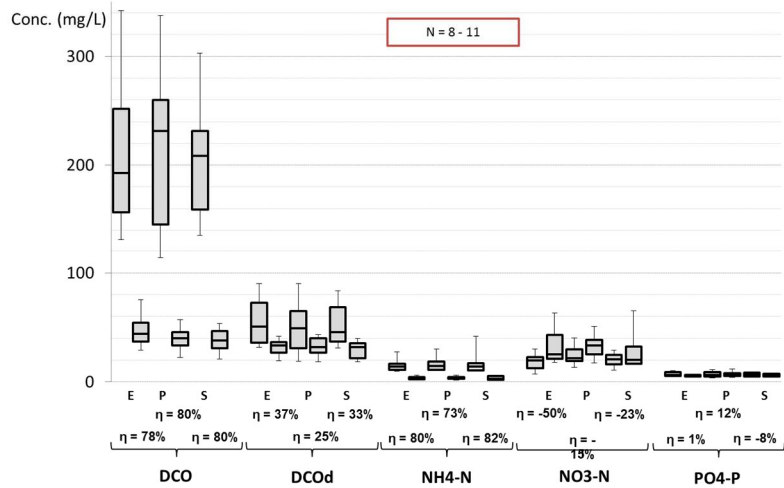


Figure 7. Performances et concentrations d'entrée sortie pour chaque filtre (E: filtre en entier, P: pouzzolane, S: sable et zeolite)

3.2.3. Evènement inférieurs ou supérieurs à la charge de dimensionnement

En ce qui concerne la partie particulaire, si l'analyse visuelle semble indiquer des performances légèrement plus faibles pour des évènements au-dessus de la charge nominale (Figure 8), elles ne sont pas significative d'un point de vue statistique ($p_value : 0.51$). Pour la DCO dissoute on observe une différence, lié à des concentrations supérieures lors d'évènements inférieurs à la charge nominale. La partie dissoute biodégradable est plus importante et peut donc être dégradée dans le système.

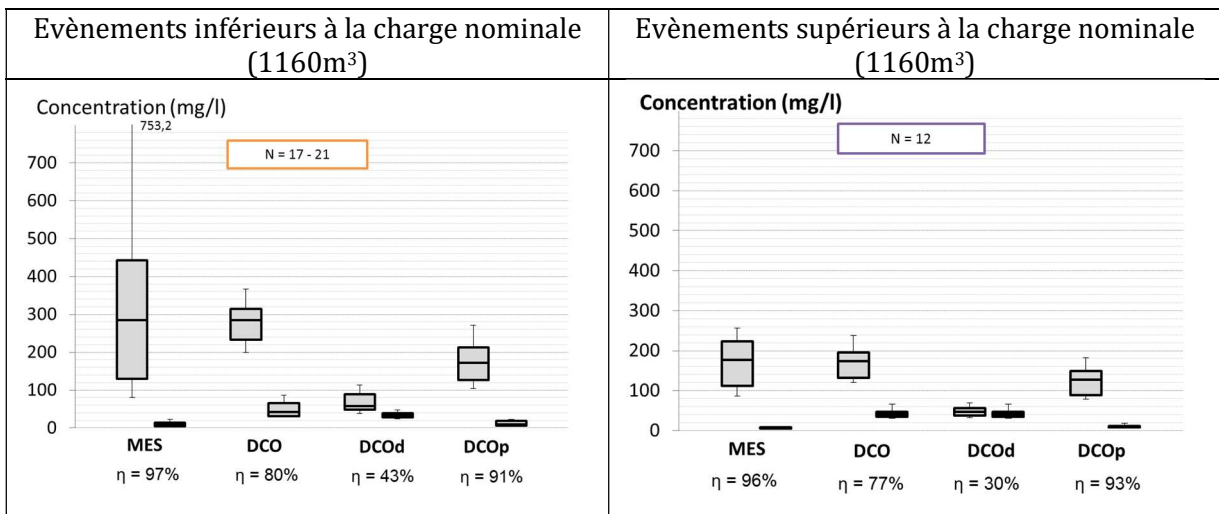


Figure 8. Performances et concentrations en fonction de la charge (inférieure/supérieure à la charge de dimensionnement) pour les paramètres MES (TSS) DCO totale (COD_tot) dissoute (COD_S) et particulaire (COD_X) - (N: Nombre de valeurs)

En revanche on observe bien l'impact sur les performances de rétention de l'azote ammoniacale (Figure 9) et dans une moindre mesure sur les orthophosphates.

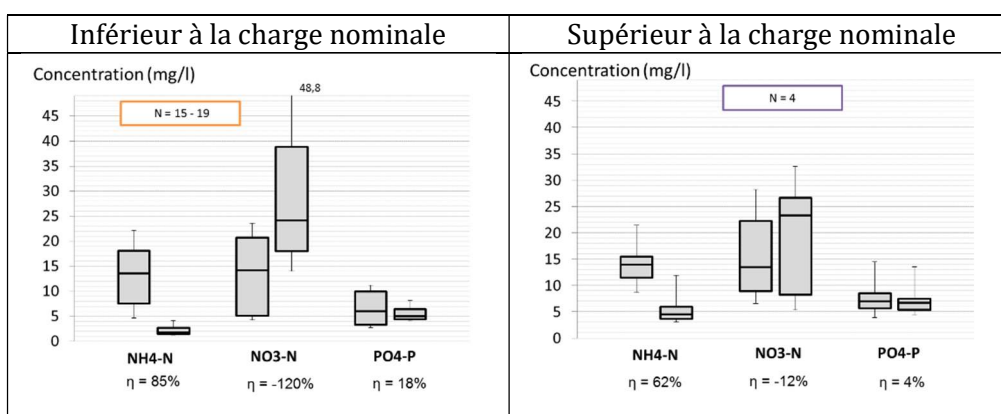


Figure 9. Performances et concentrations d'entrée et de sortie pour des charges inférieures ou supérieures à la charge nominale (N: nbre d'évènement)

3.2.4. Facteurs influençant les performances

Les conditions environnementales précédentes ou lors de l'évènement peuvent affecter la biomasse épuratrice du filtre, et donc affecter les performances des polluants dissous. Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée pour mettre en évidence les facteurs clés impactant les performances sur la DCO dissoute (COD-S). (Figure 10 Erreur ! Source du renvoi introuvable., 24 évènements).

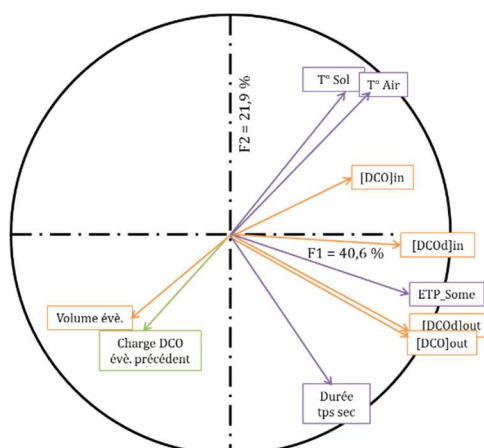


Figure 10 : cercle de corrélation de l'ACP

Les paramètres utilisés pour l'ACP (la charge en DCO de l'évènement précédent, la durée de la période de repos précédente, l'évapotranspiration cumulée de la période de repos précédente, la température du filtre et de l'air (période de repos et évènements), la charge hydraulique de l'évènement et la DCO d'entrée (totale et dissoute) de l'évènement en cours). Il apparaît que la durée de la période de repos précédente, l'évapotranspiration (ETP) cumulée de la période de repos précédente et la DCO dissoute d'entrée (CODd) ont une corrélation positive avec la DCO dissoute de sortie, et donc la DCO totale de sortie. Une régression linéaire multiple a été réalisée pour estimer le niveau de sortie en DCO. Elle est présentée ci-dessous.

$$[DCO]_{\text{sortie}} = 0,19 * \text{Durée période de repos précédente} + 0,21 [CODd]_{\text{entrée}} + 0,10 ETP + 23,56$$

Cette relation comporte un coefficient de corrélation de 0.62. Elle ne permet donc pas de déterminer précisément une concentration de sortie mais une estimation. Elle permet de mettre en évidence les facteurs impactant les performances, facteurs qui ont été pris en compte dans l'élaboration du modèle Orage (Palfy et al., 2017b et c).

3.3. Micropolluants

3.3.1. Métaux

Sur les 25 métaux analysés, seuls trois sont des substances prioritaires (2000/60/EC), le cadmium (Cd), le nickel (Ni) et le plomb (Pb). Les concentrations maximales autorisées pour un rejet dans le milieu sont présentées ci-dessous (Tableau 3).

Tableau 3 : European EQS for priority metals

Métaux	EQS (µg/L)
Cadmium (Cd)	< 0.08-0.25
Nickel (Ni)	< 4
Lead (Pb)	< 1.2

Le Tableau 2 présente les concentrations d'entrée (dissoutes et particulaires) mesurés lors des événements. Cd, Se, Ag, Sn et Tl ont été enlevés du tableau car systématiquement en dessous des limites de quantification.

On observe que la grande majorité des métaux est surtout lié à la phase particulaire.

Tableau 2 : Concentrations d'entrée en métaux

	Dissous (µg/L)		Particulaire (µg/L)	
	Moy	ET	Moy	ET
Li	-	-	8,3	0,7
B	-	-	73,6	8,0
Al	424,7	302,9	12,2	-
Ti	14,3	-	2,0	-
V	-	-	0,9	0,2
Cr	4,2	3,6	0,9	0,1
Mn	14,2	12,9	17,2	6,5
Fe	394,8	247,5	63,6	9,3
Co	-	-	0,4	0,1
Ni	-	-	5,6	5,9
Cu	24,7	19,3	7,8	2,4
Zn	54,4	44,7	54,6	13,0
As	-	-	2,2	0,6
Rb	-	-	7,7	1,9
Sr	94,6	66,4	205,5	12,0
Mo	-	-	1,1	0,2
Sb	-	-	0,3	0,1
Ba	46,2	30,0	15,7	4,3
Pb	2,6	-	0,7	0,1
U	-	-	1,0	0,3

En ce qui concerne les performances épuratoires (Tableau 4), quatre composés apparaissent systématiquement bien retenus (Al, Ti, Cr et Ba).

Tableau 4. Performances épuratoires sur les métaux

	12/04/2016		13/04/2016		26/05/2016		27/05/2016		31/05/2016		01/06/2016				
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2			
Al															< 0 %
Ti															0 à 30 %
Cr															30 à 60 %
Mn															60 à 90 %
Fe															> 90 %
Ni															> 90 %
Cu															> 90 %
Zn															> 90 %
Sr															> 90 %
Ba															> 90 %
Pb															> 90 %

Pour cinq autres (Mn, Fe, Cu, Zn, Sr), des relargages peuvent être observés en début d'évènement. Cependant les performances s'améliorent avec l'enchaînement des évènements pouvant parfois atteindre des niveaux de rétention relativement importants (> 90 %). Enfin, pour les substances prioritaires (Ni et Pb), elles ne sont pas quantifiées sur les débuts d'évènement. En fin d'évènement, malgré de faibles concentrations, elles sont bien retenues sur les filtres. Davantage de mesures seraient nécessaires pour bien évaluer les performances de ces systèmes sur les métaux.

3.3.2. HAP

En ce qui concerne les HAP, les concentrations mesurées sont relativement basses (Tableau 5) et seulement trois composés étaient mesurables en sortie. Les HAP totaux représentent 1.3 µg/l et sont principalement liés au particulaire.

Les performances évaluées sur les molécules mesurables en sortie montrent des rendements élevés malgré de faibles concentrations d'entrée (Figure 11).

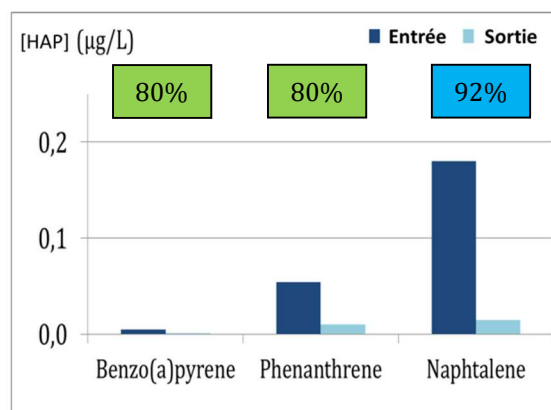


Figure 11. Performances sur les 3 HAP mesurés en sortie

Tableau 5 Concentrations d'entrée moyenne en HAP (µg/L)

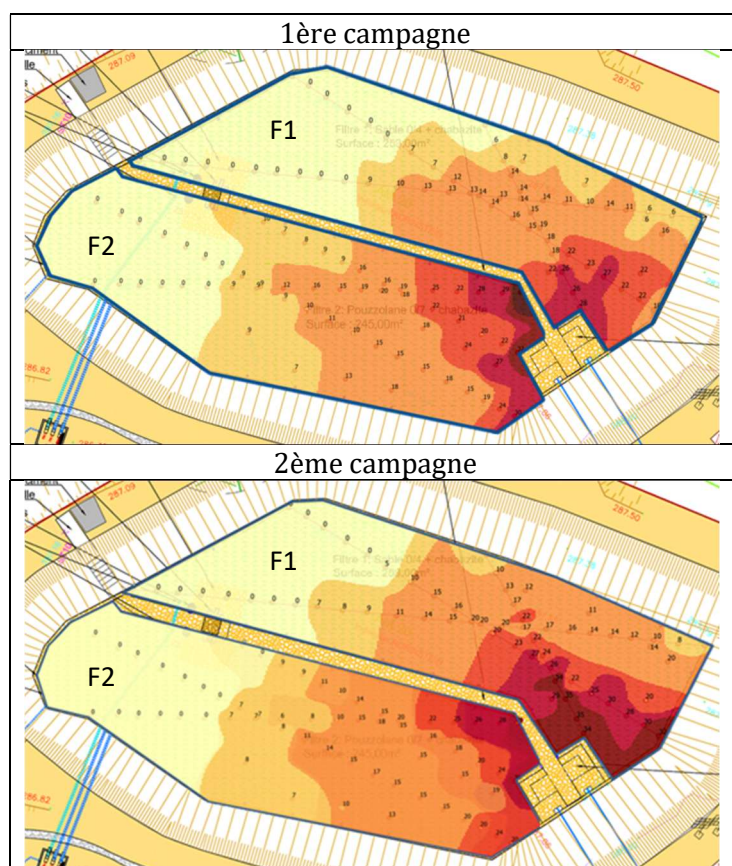
Acenaphtene	Benzo(a)anthracene	Benzo(a)pyrene	Benzo(b)fluoranthene
0,011	0,028	0,002	0,006
Fluoranthene	Fluorene	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Naphthalene
0,013	0,011	0,006	0,034
Benzo(g,h,i)perylene	Chrysene	Phenanthrene	Pyrene
0,006	0,010	0,018	0,013

Aucun des HAP prioritaires (benzo (b) fluoranthene, benzo (a) pyrene, benzo (k) fluoranthene, benzo (g,h,i) perylene, naphthalene, anthracene) ne sont mesurés ou supérieurs à la réglementation européenne pour un rejet milieu en sortie de l'ouvrage de traitement.

3.4. Dépôt organique

3.4.1. Couverture de la couche de dépôt

La distribution et la dynamique d'évolution de la couche de dépôt organique a été étudiée par deux séries de mesures réalisées une semaine après un évènement pluvieux à un mois d'intervalle. Une interpolation spatiale de la hauteur de dépôt a été réalisée avec Q-Gis par la méthode Inverse Distance Weighting (IDW) en utilisant un coefficient de distance P de 6 pour être aussi réaliste que possible (Figure 12).



La première campagne a été réalisée après 3 ans de fonctionnement. Les filtres F1 et F2 avaient alors reçu 82.5 et 102.3 m d'eau respectivement. La distribution du dépôt est hétérogène avec naturellement plus de dépôt proche des points d'alimentation.

Le volume de dépôt accumulé sur cette période était de 24 m³ pour F1 et 26 m³ pour F2. Cela correspond à une accumulation (ramenée à la surface des filtres) de 3.2 et 3.5 cm/an pour F1 et F2 respectivement. Cela correspond à environ 0.35 mm de dépôt par mètre d'eau passant au sein de l'ouvrage.

Figure 12 : répartition du dépôt organique lors des deux campagnes

Entre la première et la deuxième campagne, l'alternance des filtres a été réalisée: le filtre F1 est devenu le filtre primaire. Entre les deux campagnes, un évènement extrême a été réalisé avec 23.3 m d'eau sur le filtre primaire, correspondant à une charge hydraulique de 6 mois environ. Les mesures de dépôt ont permis d'observer une accumulation de 4.8 m³ sur le filtre primaire (F1) alors que le filtre secondaire a perdu 2.1 m³ (Figure 14). Le filtre primaire reçoit les eaux brutes et de l'ordre de 80 % des MES décantent ou sont filtrées sur le filtre primaire. Le filtre secondaire reçoit quant à lui des eaux avec une très faible teneur en MES.

L'augmentation du volume n'est pas non plus homogène. Proche de l'entrée du filtre primaire, la hauteur de dépôt a augmenté de 21 % avec l'évènement extrême réalisé entre les deux campagnes. Le filtre secondaire, malgré un évènement extrême, voit son volume diminuer traduisant l'importance de l'alternance pour gérer l'accumulation du dépôt.

3.4.2. Etat organique du dépôt

Les mesures de matières sèches et de matières volatiles des dépôts accumulés sont présentées sur la Figure 13. On observe que les matières sèches, une semaine après un évènement extrême, sont relativement hautes (19 et 29 %) et que le filtre primaire est moins sec. Ceci peut être mis en relation avec les taux de matières volatiles, plus élevé dans le filtre primaire en raison des matières en suspension organique reçues lors du dernier évènement. Le taux relativement bas de matières volatiles et la bonne siccité dans le filtre secondaire montrent que l'alternance est bénéfique pour d'une part permettre de minéraliser le dépôt (et ce malgré des apports en eaux exemptes de MES) et d'autre part lui conférer une meilleure drainabilité (Molle, 2014).

Figure 14 : Evolution du volume de dépôt entre les deux campagnes

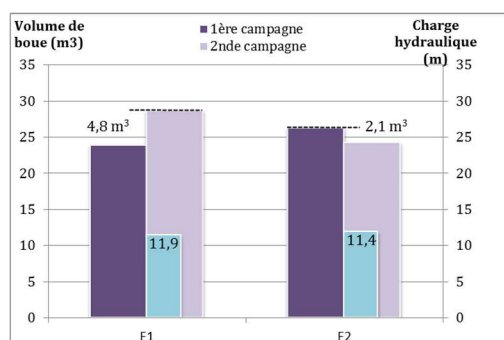
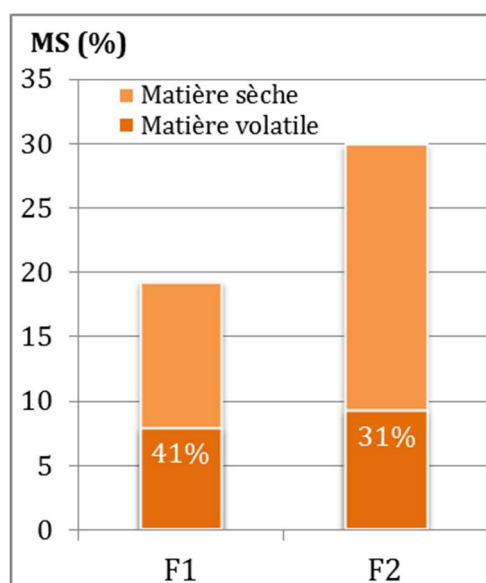


Figure 13 : Matières sèches et volatiles des filtres lors de la deuxième campagne



La matière organique contenue dans les dépôts des filtres plantés de roseaux traitant des eaux usées domestiques varie entre 30 et 50 % MOLLE *et al.* (2004). Les dépôts du site de Marcy sont donc très proches voir similaire en termes de teneur en matière organique (30-40%). Ce dépôt est un élément du système contribuant à améliorer la distribution de l'eau, la filtration, ainsi que l'élimination des polluants dissous. Il devra tout de même *in fine* être évacué pour garantir un bon écoulement au sein de l'ouvrage. La fréquence de curage n'est pas encore déterminée car largement supérieure à la durée de cette étude.

3.4.2. Micropolluants dans le dépôt

Les échantillons moyens représentatifs du dépôt en fin d'étude ont été utilisés pour déterminer leur teneur en métaux et HAP. En ce qui concerne les HAP, 11 des 18 substances ont été détectées (Figure 15). A part le naphthalène, les HAP sont hydrophobes et leur Kow relativement élevé traduisant leur affinité avec les particules solides. Il est donc normal d'en retrouver dans les dépôts. Les légères différences observées, notamment en ce qui concerne le Naphthalène, ne peuvent être expliquées compte tenu de la fréquence d'analyse. Cette dernière ne permet pas, en effet, de faire un bilan masse précis sur les micropolluants.

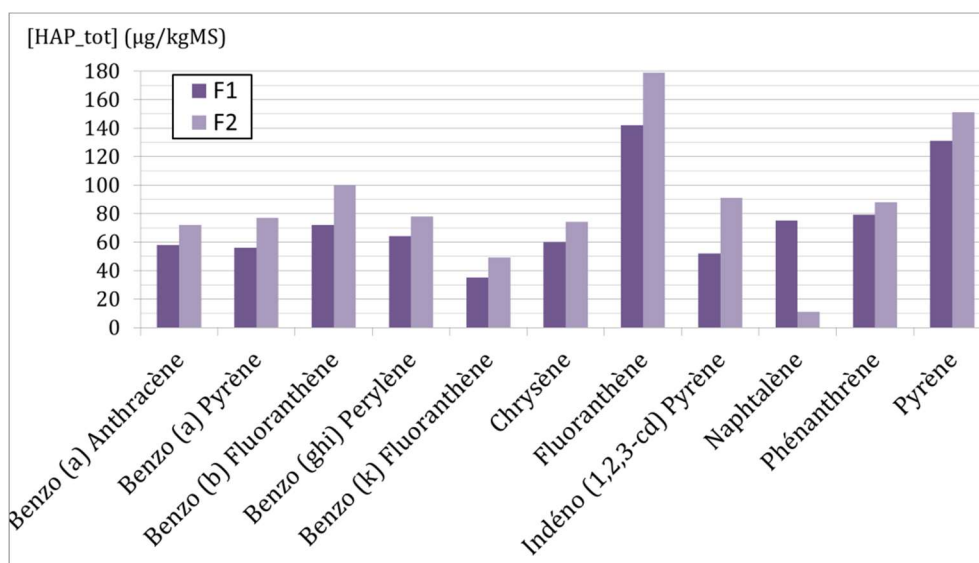


Figure 15 : Teneur en HAP dans les dépôts des filtres

En ce qui concerne les métaux, 25 substances ont été détectées. Rb, Sb, Se, Ti et U sont en dessous des limites de détection. Les teneurs sont similaires entre les dépôts des filtres F1 et F2 (Figure 16).

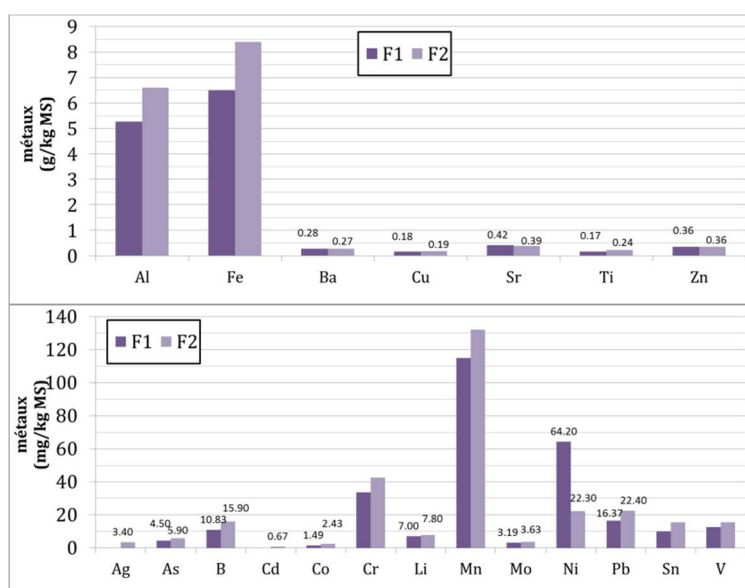


Figure 16 : Teneurs en métaux dans le dépôt organique

La comparaison des mesures de métaux et HAP avec les valeurs réglementaires pour l'épandage des boues, permet de voir qu'à l'âge de vie actuel du filtre, le dépôt ne pose pas de problème sur ces micropolluants vis-à-vis de l'épandage (Tableau 6).

		Valeurs limites (mg/ kg DM)	Valeurs moyennes (mg/ kg DM)
HAP	Fluoranthene	5	0,2
	Benzo(b)fluoranthene	2,5	0,09
	Benzo(a)pyrene	2	0,07
Métaux	Cd	10	0,67
	Cr	1000	38,1
	Cu	1000	181,6
	Ni	200	43,3
	Pb	800	19,4
	Zn	3000	361,5
	Cr + Cu + Ni + Zn	4000	643,9

Tableau 6 : Comparaisons des teneurs limites pour l'épandage et de celles mesurées dans le dépôt après trois ans de fonctionnement.



















4. Conclusion






Les études menées sur le site de Marcy l'étoile ont permis de quantifier, en conditions réelles, les performances et la robustesse de l'ouvrage pour le traitement des surverses de déversoir d'orage. Son rôle de tampon hydraulique, par une limitation des débits de drainage permet d'atténuer les pics hydrauliques jusqu'à des valeurs de 80 %. Les performances sur les paramètres majeurs permettent de garantir un niveau de rejet inférieur à 15 mg MES/l, 90 mg DCO/l et, suivant le matériau mis en place, 5 mg NK/l. Les paramètres environnementaux (longueur de la période sèche avant un épisode pluvieux, teneur en DCO dissoute d'entrée, évapotranspiration) affectent les performances sur la DCO et sont à inclure dans le développement d'un logiciel simplifié pour l'aide au dimensionnement (logiciel Orage non présenté dans ce document). Dans sa configuration actuelle, l'ouvrage ne peut garantir un niveau bas sur l'azote total et le phosphore. Une évolution du dimensionnement serait, pour cela, nécessaire.

Une évaluation des performances de l'ouvrage sur les métaux et les HAP a également été menée. Les micropolluants liés au particulaire sont très bien retenus sur les systèmes, et une disparité de performances est observée sur les paramètres hydrophiles. Ces résultats nécessiteraient d'être confirmés par des études plus fines sur les micropolluants afin de bien mettre en évidence les conditions de fonctionnement permettant une optimisation des performances. Néanmoins, sur les paramètres retenus, aucune accumulation excessive n'est observée sur le dépôt organique de surface, permettant à ce stade d'envisager une valorisation agricole des boues.

Cette technologie apparaît comme une solution pertinente pour le traitement des surverses de déversoir d'orage de par son efficacité, sa robustesse et sa maintenance simple.

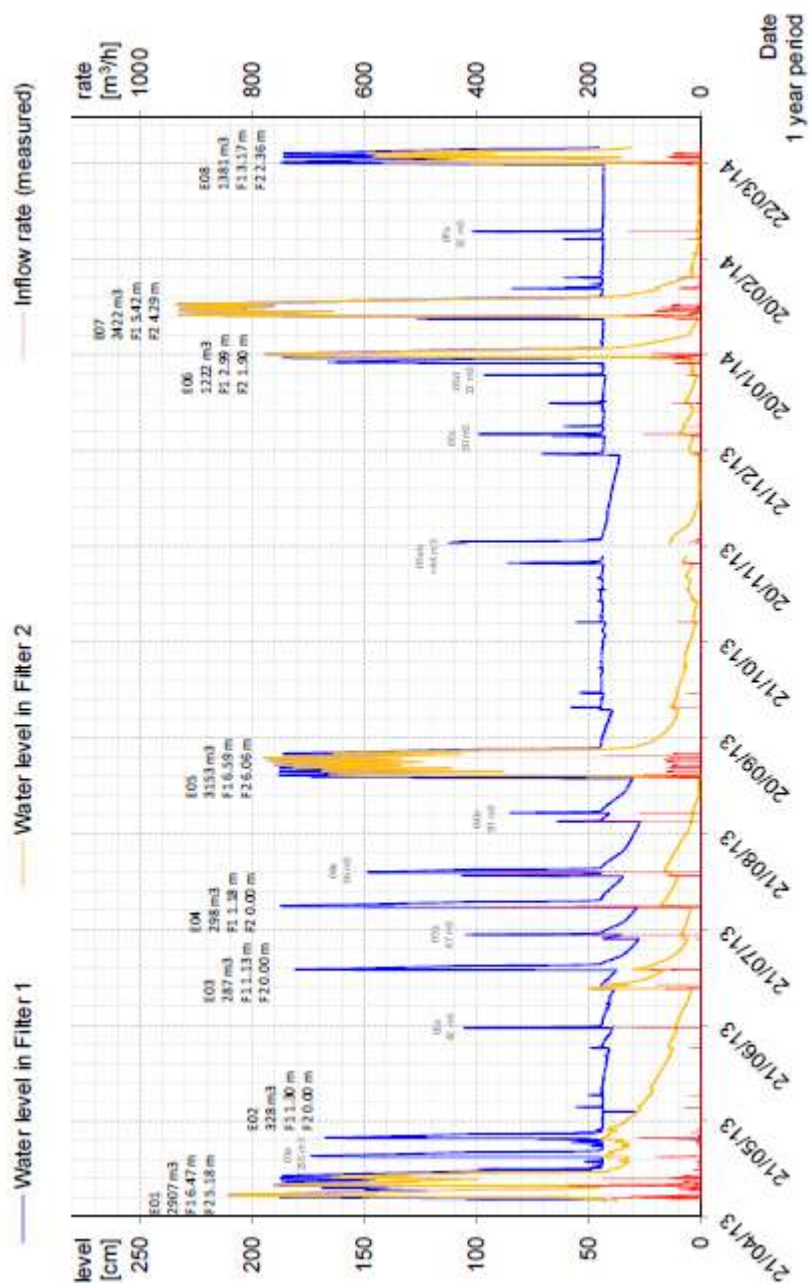
Bibliographie

-  Alaphilippe G., Bois J.S., Carchano T., Chanseau J.P., Chartier A., Hess C., Jauffred L., Liénard A., Luttiau A., Malamaire G., Molle P., Mercoiret L., Philippe R., Ragainie N., Saint Laurent G., Vincent J., Wepierre N., 2011. Protocole de prélèvement pour l'échantillonnage des boues dans les lits de séchage plantés de roseaux en vue de leur qualification agricole. ONEMA report.
-  Amaral R., Ferreira F., Galvao A., Matos J.S., 2013. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment in a Mediterranean country, Portugal. *Water Science and Technology* 67.
-  Angerville R. 2009. Evaluation des risques écotoxicologiques liés au déversement de rejets Urbains de Temps de Pluie 5RUTP dans les cours d'eau : Application à une ville française et une ville haïtienne. INSA of Lyon.
-  Becouze-Lareure C., Dembélé A., Coquery M., Cren-Olivé C., Barillon B., Bertrand-Krajewski J.L. 2016. Source characterization and loads of metals and pesticides in urban wet weather discharges. *Urban Water Journal*.
-  Chocat B., Cathelain M., Mares A., Mouchel J.M., 1994. La pollution due aux rejets urbains par temps de pluie : impacts sur les milieux récepteurs. *La Houille Blanche*.
-  Choubert J.M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Lagarrigue C., Coquery M., 2011. Limiting the emissions of micro-pollutants : what efficiency can we expect from waste water treatment plants. *Water Science and Technology* 63.
-  Dembélé A., Becouze C., Bertrand-Krajewski J.L., Cren-Olivé C., Barillon B. 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 Science et Méthode*, p 60-76.
-  Dittmer U., Schmitt T.G., 2011. Purification processes in biofilter systems for CSO treatment. 12th international conference on urban drainage.
-  Frechen F.B., Schier W., Felmeden J., 2006. The plant-covered retention soil filter (RSF): the mechanical and biological combined sewer overflow (CSO) treatment plant. *Engineering in Life Sciences*
-  Luederitz V., Eckert E., Lange-Weber M., Lange A., Gersberg R.M. 2001. Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 18, p 157–171.
-  Masi F., Rizzo A., Bresciani R., Conte G., 2016. Constructed wetland for combined sewer overflow treatment : ecosystem services at Gorla Maggiore, Italy. *Science Direct*.
-  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.
-  Molle P., Liénard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A., 2005. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French system. *Water Science and Technology* 51, 11–21.
-  Molle P 2014. French vertical flow constructed wetlands: a need of a better understanding of the role of the deposit layer. *Water Science and Technology* 69.1, 106–112.
-  Palfy T.G., Gourdon R., Meyer D., Troesch S., Olivier L., Molle P. 2017a. Filling hydraulics and nitrogen dynamics in constructed wetlands treating combined sewer overflows. *Ecological Engineering* 101, 137–144.
-  Palfy T.G., Gourdon R., Meyer D., Troesch S., Molle P. 2017b. Model-based optimization of constructed wetlands treating combined sewer overflow. *Ecological Engineering* 101, 261–267.
-  Palfy T.G., Gourdon R., Meyer D., Troesch S., Olivier L., Molle P. 2017c. A single-output model for the dynamic design of constructed wetlands treating combined sewer overflow. *Environmental Modelling & Software*, in press.
-  Prabhukumar G., Pagilla K., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban runoff-sources, sinks and treatment. *DRSCW*.

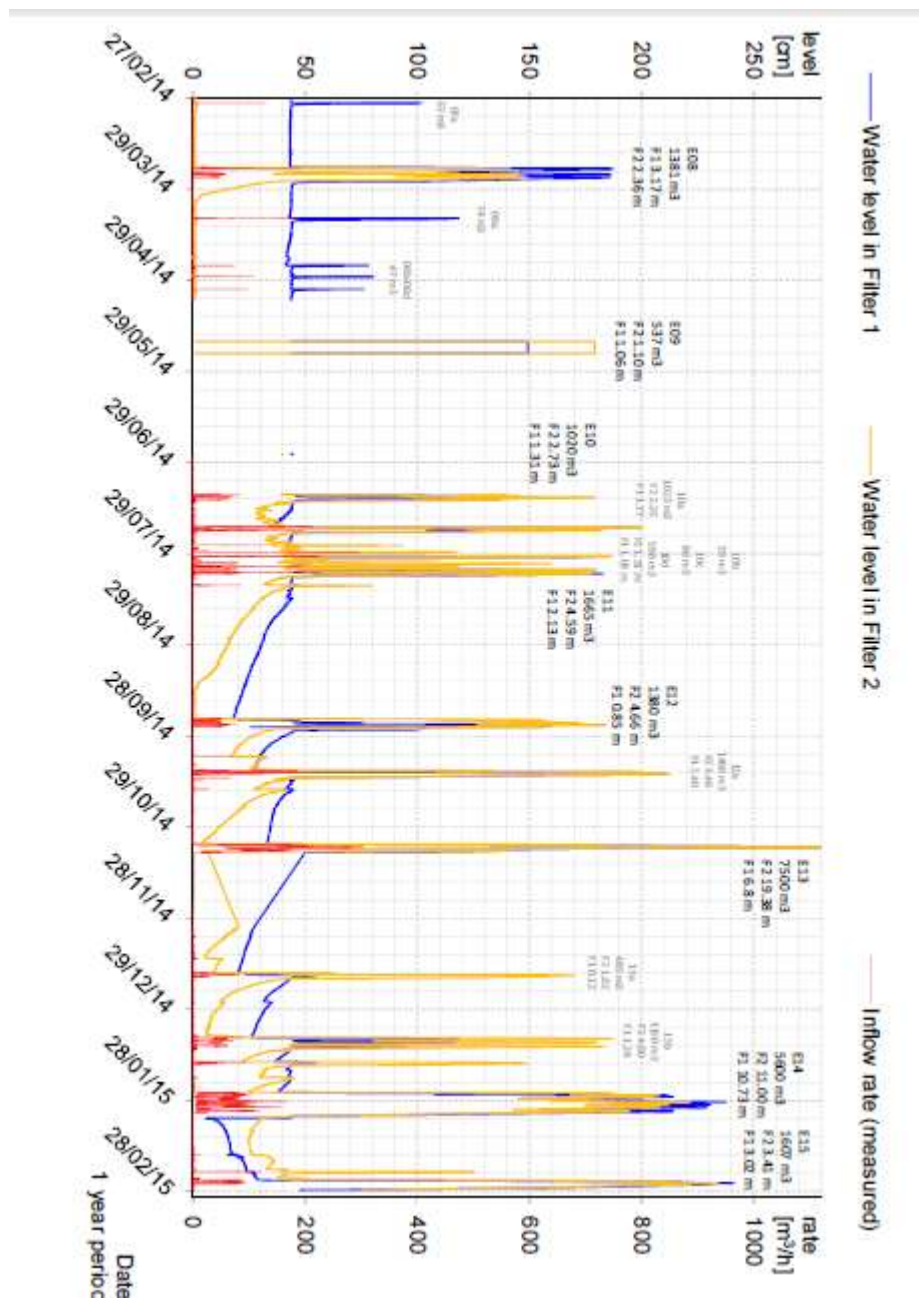
-  Scherrenberg S.M. 2006. Treatment Techniques for Combined Sewer Overflows: A literature study of the available techniques. TU Delf.
-  Smith J.A., Sievers M., Huang S., Yu S.L., 2000. Occurrence and phase distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban storm-water runoff. *Water Science and Technology* 42.
-  Terzakis S., Fountoulakis M.S., Georgaki I., Albantakis D., Sabathianakis I., Karathanasis A.D., Kalogerakis N., Manios T., 2008. Constructed wetland treating highway runoff in the central Mediterranean region. *Science Direct*, 72, 141-149.
-  Uhm M., Dittmer U. 2005. Constructed wetlands for CSO treatment: an overview of practice and research in Germany. *Water Science & Technology* 51-9, p 23-30.
-  Walsh C., Roy A., Feminella J., Cottingham P., Groffman P., Morgan R., 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *The North Benthological Society*.

Annexes

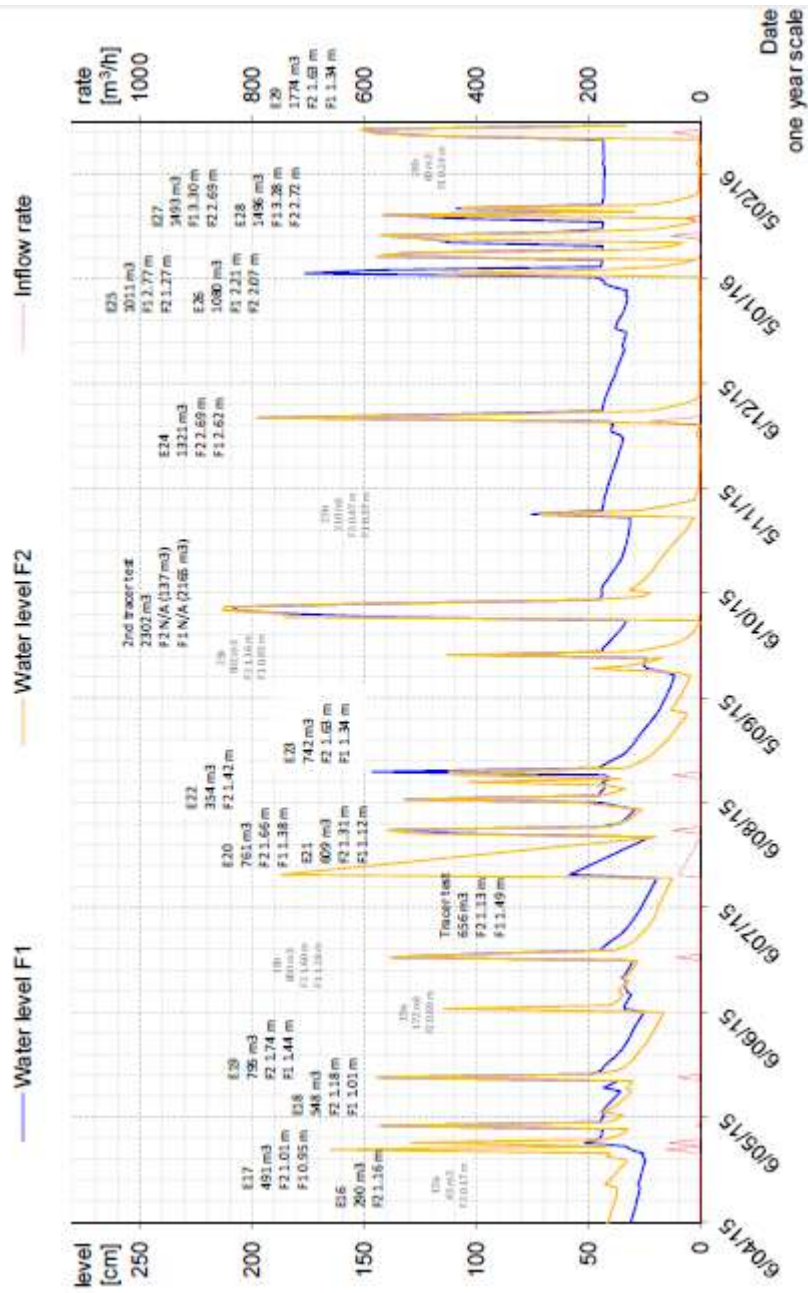
Annexe 1 : diagramme de l'ensemble des évènements pluvieux sur les trois ans de suivis



Performances du filtre de Marcy l'étoile pour le traitement des surverses de déversoir d'orage



Performances du filtre de Marcy l'étoile pour le traitement des surverses de déversoir d'orage



Performances du filtre de Marcy l'étoile pour le traitement des surverses de déversoir d'orage

Annexe 2 : concentrations moyennes de chaque bilan.

date	Volume (m3)	MES		DCO		NK		N-NH4		N-NO3		PT		P-PO4	
		entrée	Sortie	entrée	Sortie	entrée	Sortie	entrée	Sortie	entrée	Sortie	entrée	Sortie	entrée	Sortie
15/05/13	228	340		234				1.4	1.1	5.3	18.1				
06/07/13	268	751	14	310	76			9.2	1.8	4.3	19.8				
30/07/13	265	802	56	384	69			3.2	1.1	1	12				
10/09/13	2896	497	9	410	48			16.9	4.4	3.8	5.2			8.1	4.6
20/01/14	950		6		42			6.7	3.4	5.4	18.1			3	6.7
01/02/14	3014	75	6	107	39			17.7	3.4	6.4	4.8			8	6.6
23/03/14	1283	258	10	144	47			16.9	5.9	11.7	26.6			6.4	6.1
10/07/14	953	127	40	231	85			13.8	1.4	4.3	13.2			9.9	6.8
05/08/14	1665	220	6	208	31			8.5	3.7	7.9	8.8			3.9	3.4
25/09/14	1377	160	19	178	68			13	5	26	27			10	7
05/11/14	7470	195	5	170	35			2.5	2	9.2	9.6			3.6	4.4
25/01/15	5447	113	5	130	38			14.4	7	12.9	6.2			7.1	6.8
23/02/15	1727	236	6	189	34			14	7.7	25	24.6			9	5.6
25/04/15	272		14		62			30	3.3	7	63			10	5
29/04/15	528	221	9	195	47			27.7	4.5	32.1	65.4			11	8
04/05/15	295	247	11	261	47	21.6	5.4	7.7	2.4	16.9	43.4			13	6.8
18/05/15	436		6		32			16	1.6	26	35.6			6	4.6
16/07/15	429	341	21	329	83			30.2	3.4	25	41.2	10	6	6	5.4
27/07/15	691	754	6	631	40			15.5	2.5	23	54.2	18	5	3	5
07/08/15	354		2.5		30			18.1	1.7	17.2	34.7		3.1	2	3.11
14/08/15	742		3		30.8			13	1.3	18	23.7		4.1	3	4.1
25/11/15	658	323	10	255	85			18.1	1.5	19.9	17.9			6	4
07/01/16	1000		5		28			6.2	2	4.6	38				7
12/01/16	1080	131	4	146	29			10.1	1.8	11.5	14.9			5	8
17/01/16	1399	84	7	119	34			12.2	3.7	19.7	29.5			5	14
25/01/16	1597	122	8	133	21			9.6	4.6	14	25.1			6	17
16/02/16	1704	203	7	241	44	21.1	6	15	3	23	33			9	9
12/04/16	4096	112	8	191	44			14	6	22	22			7	10
26/05/16	5798	323	10	296	63	39.7	14.8	16.5	11.1	10.2	9			8	13