

Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales : Notion d'efficacité

The reed bed filters for runoff treatment : Efficiency notion

Valérie Giroud *, Dirk Esser *, Laëtitia Fournet *, Frédéric Davoli **

* SINT, 5 rue Boyd - 73 100 Aix les Bains - France, 73@sint.fr

** EPFL, 1015 Lausanne - Suisse, frederic.davoli@epfl.ch

RESUME

Les filtres plantés de roseaux, largement utilisés pour le traitement des eaux usées, deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement et la rétention des eaux pluviales. Mis en service au printemps 2002, le filtre de Neydens (74), situé près de la frontière franco-suisse, traite les ruissellements issus de la RN201 (18 000 véhicules/jours en moyenne) et de parkings. Une campagne de suivi météorologique du filtre a été réalisée entre mai et septembre 2004. Les paramètres physico-chimiques mesurés conduisent à une grande fluctuation suivant les pluies. L'efficacité moyenne du système est de 95% pour les MES, 69% pour la DCO, 78% pour le zinc, 81% pour le plomb, 21% pour le cadmium et 82% pour les hydrocarbures totaux.

ABSTRACT

Constructed wetlands as reed bed filters, widely used for sewage treatment, have recently become an interesting alternative for runoff treatment and retention. Started up in spring 2002, this filter set up at Neydens, near the border between France and Switzerland, collects runoff from national road n°201 (whit and average daily traffic flow of approx 18 000) and parking. The filter was monitored between May to September 2004. The physical and chemical parameters analysed have shown a large fluctuation following the events. The average removal efficiency of this system for TSS was 95%, 69% for COD, 78% for zinc, 81% for lead, 21% for cadmium and 82% for total hydrocarbons.

MOTS CLES

Efficacité, Filtres plantés de roseaux, Métaux traitement des eaux pluviales.

1 INTRODUCTION

Cet article fait suite aux différentes communications présentées en 2001 et 2004 au congrès Novatech, communications qui exposaient le principe de fonctionnement des filtres plantés de roseaux ainsi que leur domaine d'application avec présentation de réalisations (Esser et al., 2001 et 2004).

En prolongement, cette publication va plus loin en apportant des premières notions d'efficacité sur ce procédé suite au suivi métrologique par temps de pluie qui a été réalisé sur l'un des filtres longeant la RN 201, sur la commune de Neydens (site ayant déjà fait l'objet des communications ci-dessus).

2 METHODE

2.1 Caractéristiques du site

Située à proximité de la frontière franco-suisse, sur la commune de Neydens (74), la zone d'activités des Envignes couvrira à terme 90 ha. De par la mise en place de fortes surfaces imperméabilisées (parking,...), et du trafic important de véhicules sur la RN 201 traversant la ZAC, (18 600 véhicules/jour en moyenne sur 2003), trois filtres plantés de roseaux, associés à des bassins de rétention, ont été réalisés pour traiter les eaux de ruissellement les plus polluées et limiter les débits restitués au ruisseau de Ternier.

La réalisation de ces 2600 m² de filtres et bassins a fait l'objet d'une co-maîtrise d'œuvre entre la Société d'Ingénierie Nature et Technique (SINT), concepteur des filtres, le cabinet Profils Etudes (hydraulique) et le paysagiste Laurent Daune.

Actuellement un seul filtre est en fonctionnement. Sa mise en service a été réalisée au printemps 2002. Ce filtre collecte un bassin versant de 2,8 ha dont 20000 m² de voiries (RN201, rond point du Macumba, voirie de desserte secondaire) avec un coefficient de ruissellement de 0,71.

Les eaux de ruissellement sont tout d'abord dirigées vers un décanteur de 12,5 m² permettant d'éliminer les matières en suspension les plus grossières (dimensionné pour piéger les particules >200 µm selon les valeurs de vitesses de chute attribuées aux MES d'un effluent de temps de pluie) pour protéger le filtre du colmatage et pour réaliser un pré traitement des eaux par sédimentation. Ce décanteur est dimensionné pour un débit décennal entrant de 300 l/s et est équipé de cloisons siphonides pour piéger les flottants.

Après décantation, les eaux sont envoyées sur un filtre, de 440 m², planté de *Phragmites australis* et d'Iris, permettant le traitement et la rétention d'une pluie de période de retour 1an soit 99% du volume précipité sur une décade, ainsi que le « premier flot » (45 % du volume ruisselé environ) d'une pluie 10 ans.

L'eau percole verticalement à travers une couche filtrante composée de sable et de graviers fins surmontant la couche drainante. Des drains situés en fond de filtre permettent de collecter l'eau traitée pour l'acheminer vers un exutoire avec un débit de fuite limité à quelques litres par seconde.

Les eaux traitées, ainsi que la surverse du filtre (en cas de fortes pluies), rejoignent un bassin de rétention en eau, de 885 m² permettant le stockage de la pluie décennale.

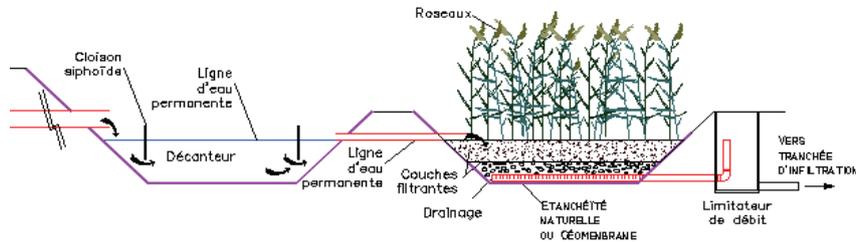


Figure 1 - Coupe du filtre planté de roseaux

2.2 Campagne de mesures

Très peu de résultats, voire aucun, concernant l'efficacité des filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales ne sont disponibles en France à ce jour. La bibliographie porte uniquement sur des dispositifs tels que filtres à sable non plantés, bassins en eau, ou bandes enherbées. Un suivi métrologique par temps de pluie a donc été réalisé sur le filtre de Neydens entre mai et septembre 2004.

Cette campagne a permis de suivre 6 pluies d'été significatives (plus de 24 h de temps sec précédent la pluie, une lame d'eau précipitée supérieure à 10 mm). Pour chaque pluie, les concentrations en MES, DCO, hydrocarbures totaux, Zinc, Plomb et Cadmium ont été mesurées sur un échantillon moyen en entrée de décanteur, et en sortie de filtre.

En entrée, les prélèvements automatiques s'effectuaient en amont du seuil rectangulaire permettant la mesure du débit avec un déclenchement de la séquence de prélèvement lorsque la lame d'eau atteignait 2cm au dessus du seuil. La séquence de prélèvement (fig. 2) s'étalait, quant à elle, sur 4h45.

En sortie, les prélèvements étaient réalisés dans le regard de collecte des drains avec un déclenchement lorsque le niveau d'eau atteignait l'orifice limiteur de débit et que les eaux traitées commençaient à se déverser vers le milieu naturel. La séquence de prélèvement (fig.2) s'étalait sur 7h.

Les échantillons analysés étaient des échantillons moyens reconstitués par prélèvement d'un volume identique sur les 24 flacons du préleveur.

| Entrée du système | |
|---|---------------------|
| Échantillonnage | Temps cumulé [h:mm] |
| 5 échantillons, intervalle de 5 minutes | 0:25 |
| 5 échantillons, intervalle de 10 minutes | 1:15 |
| 14 échantillons, intervalle de 15 minutes | 4:45 |
| Sortie du système | |
| Échantillonnage | Temps cumulé [h:mm] |
| 5 échantillons, intervalle de 5 minutes | 0:25 |
| 5 échantillons, intervalle de 10 minutes | 1:15 |
| 5 échantillons, intervalle de 15 minutes | 2:30 |
| 9 échantillons, intervalle de 30 minutes | 7:00 |

Tableau 1 – Séquence de prélèvement en entrée et sortie du système.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les ruissellements de temps de pluie sont, en terme de charge hydraulique et polluante très hétérogènes d'un événement sur l'autre. Cette hétérogénéité est liée au site (nature des revêtements et des accotements, densité du trafic, petite taille de bassin versant...) et à la nature de la pluie (volume, fréquence, intensité, type de précipitation...).

Les résultats d'efficacité présentés ci-dessous comportent des incertitudes liées à l'hétérogénéité des ruissellements et à la méthode de prélèvement.

| Paramètres | MES mg/l | DCO mg/l | Hydrocarb. totaux mg/l | Zn µg/l | Pb µg/l | Cd µg/l |
|-------------------|-------------|-------------|------------------------------|------------|-------------|------------|
| Entrée | | | | | | |
| <i>Fouchette</i> | 148 - 936 | 103 - 330 | 0,3 - 21 | 160 - 480 | 13,4 - 44,7 | 0,3 - 7,4 |
| <i>Moyenne</i> | 431 | 149 | 5,0 | 258,0 | 22,8 | 2,3 |
| Sortie | | | | | | |
| <i>Fouchette</i> | 5 - 53 | 16 - 59 | non détecté - 3 | 18 - 89 | 1,9 - 7,6 | 0,4 - 2,8 |
| <i>Moyenne</i> | 18 | 42 | 0,8 | 51,0 | 4,1 | 1,1 |
| Abattement | | | | | | |
| <i>Fouchette</i> | 89%- 99% | 52%- 85% | 42%- 97% | 63%- 92% | 67- 90% | -16%- 78% |
| <i>Moyenne</i> | 95% | 69% | 82% | 78% | 81% | 25% |
| Norme | 70% | | < 5 mg/l | | | |

Tableau 2 – Résultats d'analyses entrée/sortie.

3.1 Conductivité

La conductivité moyenne, non reportée dans le tableau 2, varie de 165 µS/cm en entrée à 265µS/cm en sortie. Cette augmentation de conductivité peut être liée à un phénomène très lent de solubilisation du massif filtrant, potentiellement calcaire, lors de la percolation de l'eau. Le suivi futur de la conductivité, après ajout d'un réactif spécifique, permettra de confirmer le temps de rétention du filtre qui a été évalué à 2h environ.

3.2 pH

Le pH, non reportée dans le tableau 2, varie de 7,7 à 7,9 en entrée et de 7,7 à 8,1 en sortie. Il n'y a pas de déviation significative de pH par rapport à la neutralité. Les ruissellements entrant sont tamponnés. La légère basicité du milieu favorise la précipitation des métaux et réduit la potentialité de redissolution de ces deniers dans la phase aqueuse (Yousef et al., 1990).

3.3 Matières en suspension

La concentration en matières en suspension (MES) varie en entrée de 148 mg/l à 936 mg/l, et 5 à 53 mg/L en sortie. La charge en matières en suspension du ruissellement est très hétérogène, et fonction de l'évènement pluvieux et de la densité du trafic. Les concentrations en entrée sont élevées et partiellement dues au fait que le prélèvement a lieu en amont du seuil de mesures de débit, lieu où peut se produire une légère décantation et accumulation de matières.

Le rendement sur les MES s'étale de 89% à 99% avec un abattement moyen de 95%. Ces bons résultats s'expliquent d'une part par la mise en place en tête du filtre d'un décanteur qui piège les particules (> 200 µm) et d'autre part par la filtration à travers le massif de sable. La présence des roseaux empêche le colmatage et améliore nettement la capacité de décantation par rapport à une simple lagune.

Ces abattements sont supérieurs à ceux observés dans les noues (50 à 60%) ou dans les marais artificiels (70%) et sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par les filtres à sable (Silvestre et al, 1997).

En conséquence directe, un bon abattement des MES engendrera un abattement des hydrocarbures (fixées aux MES pour l'essentiel) et des métaux sous forme particulaire. En général, les concentrations en métaux particulaires sont d'autant plus importantes que les particules sont de petites tailles (< 10 µm). La majorité des particules a une taille inférieure à 100 µm avec une taille moyenne de 30 µm pour des ruissellements routiers (Bulc et al., 2003).

3.4 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les concentrations en DCO varient de 103 à 330 mg/l en entrée, et en de 16 à 59 mg/l en sortie. Les concentrations en entrée sont assez élevées. Elles varient généralement autour de quelques dizaines de mg/l (Higgins et al., 2006) L'abattement de ce paramètre fluctue entre 52 et 85 % pour un abattement moyen de 69%.

Une mesure de la demande biologique en oxygène (DBO) aurait permis de déterminer le potentiel de biodégradabilité de l'effluent. Les rendements obtenus sont importants, malgré la fraction inorganique non négligeable des ruissellements.

La partie biodégradable est éliminée par sédimentation dans le décanteur et par oxydation au niveau du filtre. La présence des roseaux favorise le développement de micro-organismes au niveau des racines.

Les rendements observés sur ce paramètre sont légèrement supérieurs à ceux des filtres à sable. Cela peut s'expliquer par la présence des roseaux qui oxygènent le massif filtrant par l'intermédiaire des rhizomes (Silvestre et al, 1997).

3.5 Métaux Lourds

Les concentrations en zinc varient de 150 à 480 µg/l en entrée et de 18 à 89 µg/l en sortie. L'abattement de ce composé fluctue entre 63% et 92% avec un rendement moyen de 78%.

Les concentrations en plomb varient de 13 à 45 µg/l en entrée et de 2 à 8 µg/l en sortie pour un abattement compris entre 67% et 90%. Le rendement épuratoire moyen est lui de 81%.

Les concentrations en cadmium fluctuent de 0,3 à 7,4 µg/l en entrée et entre 0,4 et 2,8 µg/l en sortie. Les rendements épuratoires sont compris entre -16%(relargage) et 78% pour un abattement moyen de 25%.

Les concentrations entrantes sont du même ordre de grandeur que celles observées sur d'autres sites de traitement d'effluents routiers ou autoroutiers à l'étranger (Higgins et al, 2006) (Bulc et al, 2003). Ces concentrations en métaux sont très fluctuantes d'une pluie à l'autre, et dépendent principalement de la densité du trafic. Cette fluctuation explique les grandes variations de rendements observées.

Globalement, les rendements épuratoires sur les métaux sont satisfaisants. Les formes particulaires sont retenues par filtration et les formes solubles sont éliminées par précipitations sous formes d'oxydes, grâce à l'action de bactéries métallo oxydantes ou sulfato réductrices suivant la zone du filtre, ainsi qu'au niveau de l'interface racines/sédiments où les gradients rédox sont élevés (Cooper et al, 1998).

La saturation du massif filtrant liée à ces précipitations n'est pas à envisager avant plusieurs dizaines d'années.

Pour des pluies de faible intensité, peu chargées en pollution, les rendements épuratoires sont moindres (Revitt et al, 2004). Cela est surtout le cas pour le cadmium. En effet, pour des concentrations entrantes en cadmium inférieures à 0,5 µg/l, les rendements épuratoires étaient négatifs avec un relargage parfois supérieur à 100%. Cela est dû au fait que le cadmium est un composé particulièrement soluble dans les effluents routiers avec environ 75% de sa fraction dans la phase dissoute (Revitt et al, 1987). Le filtre planté de roseaux apparaît moins efficace sur le traitement de la pollution dissoute que particulaire. Le plomb étant un composé majoritairement associé à des particules (Revitt et al, 1987), le rendement épuratoire est nettement supérieur.

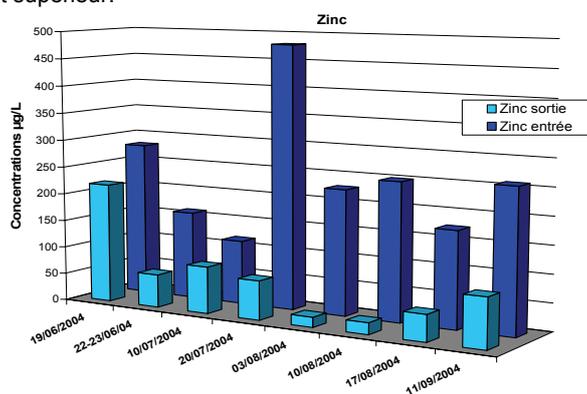


Figure 2 – Concentrations entrée/sortie en Zinc suivant les pluies

Les abattements en métaux observés sur d'autres filtres plantés de roseaux précédés d'une décantation, en Irlande, Slovénie ou Pays Bas confirment les résultats ci-dessus avec des rendements supérieurs à 80% quelque soit le métal. (Van Dijk et al, 1998 ; Revitt et al, 2004). Cela peut s'expliquer par l'importance de la superficie du bassin de sédimentation placé en amont du filtre.

3.6 Hydrocarbures totaux

Les concentrations fluctuent entre 0,3 et 21 mg/l en entrée, et « 0 » (non détecté) à 3 mg/l en sortie. Les rendements épuratoires s'évaluent de 42 à plus de 97% avec un rendement moyen de 82%.

Les hydrocarbures sont majoritairement fixés sur les particules les plus fines, particules qui sont piégées par filtration au niveau du filtre planté. La présence des roseaux favorise le développement de micro-organismes qui participent à la biodégradation des hydrocarbures.

Bien que le site soit fréquenté par 18 600 véhicules/jour en moyenne, les concentrations en entrée étaient rarement supérieures à 5mg/l (norme de rejet exigée). Cependant, le système permet une très bonne élimination des hydrocarbures allant jusqu'à la non détection en sortie.

Ce traitement est beaucoup plus efficace qu'un simple séparateur hydrocarbures, limité à des concentrations en sortie de l'ordre de 5mg/l. Les séparateurs sont bien adaptés pour retenir des pollutions accidentelles ou des apports ponctuels chargés (rejets industriels de temps de pluie, « RITP », aires de service exposées au ruissellement), où les concentrations en hydrocarbures vont être élevées. De plus, en cas de fortes pluies, un relargage de la pollution piégée est possible si l'entretien n'est pas régulier.

Le séparateur hydrocarbures est par conséquent largement reconnu aujourd'hui comme inapproprié voire contre productif pour une pollution chronique routière ou de zone d'activité (Graie, 2004).

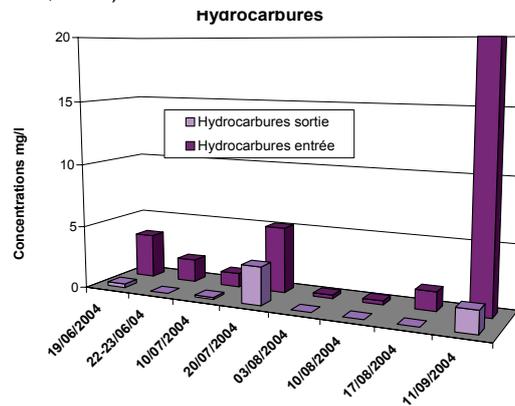


Figure 3 – Concentrations entrée/sortie en hydrocarbures suivant les pluies.

4 CONCLUSION

Cette campagne de mesure a permis de mettre en évidence l'efficacité du filtre planté de roseaux pour le traitement des eaux pluviales (système décanteur + filtre). Malgré la grande variation des concentrations, liée à la nature même des eaux de ruissellements de voiries, et des incertitudes, liées au mode de prélèvement, les abattements de pollution ont toujours été significatifs avec des rendements moyens très satisfaisants, égaux voire supérieurs à ceux observés pour d'autres techniques (marais artificiels, filtres à sable...) et variants, suivant les paramètres de :

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

Efficace pour lutter contre la pollution chronique, le filtre de Neydens a déjà été mis à contribution, à plusieurs reprises, pour stopper de manière passive des pollutions accidentelles avec succès (déversements d'hydrocarbures entre autre) avant que ces dernières atteignent le milieu naturel. Une faible quantité de sable purgé en temps différé a permis de résoudre cette pollution.

Par ailleurs, le rôle de rétention du filtre, combiné à la mise en place de bassins de rétention en aval, a permis de réduire considérablement les risques d'inondation en contrebas de la ZAC.

Le traitement par filtres plantés de roseaux, combiné à une décantation amont apparaît donc comme un système efficace et particulièrement bien adapté pour des ruissellements de voiries ou autoroutiers avec une charge polluante variable.

Des mesures supplémentaires dans le cadre d'un suivi à plus long terme permettraient de mieux caractériser l'efficacité du filtre et sa longévité. De plus des mesures sur les sédiments et sur les végétaux pourraient nous permettre de mieux quantifier le mode d'élimination des métaux.

5 REMERCIEMENTS

A l'Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL) pour le prêt du matériel de mesures, à la Direction Départementale de l'Agriculture et de l'Environnement suisse pour la prise en charge des analyses, et à la mairie de Neydens pour son aide logistique.

BIBLIOGRAPHIE

- Bulc. T. and Slak A.S. (2003). Performances of a constructed wetland for highway runoff treatment. *Water Sciences Technology*, 48: 315-322.
- Copper, P. and Green, B. (1998). Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe. Ed. Vymazal J., Brix H., Cooper P.F, Green M.B, Haberl R.; Backhuys Publishers, Leiden (Netherlands), pp.315-335.
- Ellis, J.B., Revitt, D.M. (1991), Drainage from roads: control and treatment of highway runoff in report NRA 43804/MID.012, Technical Services Administration.
- Esser, D., Jund, S. and Ricard, B. (2001), Les filtres plantés de roseaux: application au traitement d'eaux pluviales, Novatech 2001, volume 2, 4 pages.
- Esser D., Ricard B., Magnouloux T., Daune L., Tregouat P. and Barbier J.M. (2004), Les filtres plantés de roseaux : application au traitement d'eaux pluviales. Novatech 2004, section 1.2, pp 254-262.
- Graie, (2004). Les hydrocarbures dans les eaux pluviales, solutions de traitement et perspectives, compte rendu. Les rendez-vous du Graie, Mercredi 8 Décembre 2004, Anemasse (74)
- Higgins, N.M.P. and Johnston P.J., (2006). The performance of a constructed wetland for treating runoff from a highway in Ireland. 10th International conference on wetland systems for water pollution control, tome 2, p1821 - 1831
- Revitt, D.M. and Morrison, G.M. (1987). Métal speciation variations within separate stormwater systems. *Environ Technol Lett*, 8: 373-80.
- Revitt, D.M. and Schutes, R.B.E (2004). The performances of vegetative treatment systems for highway runoff during dry and wet conditions. *Sci Total Environ*, 335: 261-270.
- Silvestre, P., Gaber, J., Geai, S, (1997). Conception des dispositifs de traitement des eaux pluviales. *L'eau et la route*, volume 7. Ed. SETRA.
- Van Dijk, J.W. and Jacobs, E., (1998). The effectiveness of sedimentation basin in combination with a reed bed for storm water runoff treatment. Novatech 1998, section C2, pp 387-393.
- Youssef, Y., Hvitved-Jacobsen, T., Harper, H. and Lin, L. (1990). Heavy metal accumulation and transport through detention ponds receiving highway runoff. *Sci Total Environ*, 189/190: 349-54.