

## **Épuration des eaux de ruissellement dans les noues de voirie : le rôle du sol et des plantes**

Runoff treatment by road-side swales: soil and plants involvements

Marie-Charlotte Leroy<sup>1</sup>, Stéphane Marcotte<sup>3</sup>, Franck Le Derf<sup>2</sup>, Marc Legras<sup>4</sup>, Vincent Moncond'huy<sup>1</sup>, Florence Portet-Koltalo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bureau d'études INFRA Services, 55B rue Gaston Boulet, Bapeaume-lès-Rouen, 76380 Canteleu, France (corresponding author: [mcleroy@infraservices.fr](mailto:mcleroy@infraservices.fr)). <sup>2</sup>UMR CNRS 6014 COBRA, Université de Rouen, IUT D'Evreux, 55 rue Saint Germain, 27000 Evreux, France. <sup>3</sup>UMR CNRS 6014 COBRA, INSA de Rouen, Avenue de l'université, 76800 Saint-Etienne-du-Rouvray, France. <sup>4</sup>Unité AGRITERR, Esitpa – Ecole d'ingénieurs en agriculture, 3 rue du tronquet, 76134 Mont-Saint-Aignan Cedex, France.

### **RÉSUMÉ**

En raison de leurs avantages écologiques et économiques, les infrastructures vertes de gestion des eaux pluviales se sont développées ces dernières années. Cependant, le rôle des plantes et des micro-organismes associés pour la remédiation des polluants des eaux de ruissellement de voirie reste mal connu. L'objectif de cette étude est de comparer le potentiel de remédiation de ces systèmes eau/sol/plantes et l'amélioration de la qualité des eaux selon la couverture végétale. La biomasse végétale, la dissipation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et l'absorption des éléments traces métalliques, (ETM) ont été étudiées pendant deux ans et sur deux sites expérimentaux. Les contaminants ont été suivis dans les eaux d'infiltration, le sol et les plantes et une attention particulière a été attribuée à la structure et aux fonctions des communautés microbiennes du sol et de la rhizosphère. La rhizosphère s'est révélée être une interface clé pour le transfert sol-plantes des ETM et la dissipation des HAP. L'absorption des ETM varie selon la plante. En deux ans, les concentrations en HAP ont été réduites significativement. Les résultats ont aussi prouvé que la noue est une solution alternative aux séparateurs à hydrocarbures dans les zones à trafic modéré.

### **ABSTRACT**

Green water infrastructures have been widely implemented in the past few years due to combined ecological and economic advantages. However, poor is known about the role of plants and their associated microorganisms on remediation of water run-off pollutants. This study aimed to compare the phytoremediation potential and water quality improvement of these water/soil/plant systems as a function of the vegetative cover. Vegetal biomass, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) dissipation and the soil-plant transfer of Trace Elements (TE) were studied during two years on to field sites. Water, soil and plant contamination were quantified and a special attention was paid to soil and rhizosphere microbial communities. Rhizosphere revealed to be a key interface for TE soil-plant transfer and PAHs dissipation. TEs uptake varies with plant species. After two years, PAHs soil concentrations were significantly reduced. The results also showed that grass swales are an alternative solution to hydrocarbons separators in low traffic areas.

### **MOTS CLÉS**

Épuration des eaux de ruissellement, Macrophytes, Micro-organismes, Noues de voiries, Rhizosphère

## 1 CONTEXTE

Les techniques alternatives de gestion des eaux de ruissellement basées sur le stockage et l'infiltration des eaux de ruissellement dans des espaces verts (Figure 1) sont en pleine expansion. Ces techniques ont l'avantage de restituer l'eau au milieu récepteur au plus proche du lieu de précipitation ce qui limite l'impact des villes sur le cycle de l'eau.



Figure 1 : Exemples de noues qui reçoivent les eaux de voirie par ruissellement latéral. (a) dans un quartier d'habitation, (b) dans une zone commerciale, (c) en milieu urbanisé dense. Photos : INFRA Services

Le but est de comprendre le rôle des plantes macrophytes et du sol dans les processus de rétention et de dissipation des éléments traces métalliques (ETM) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) issus des eaux de ruissellement des voiries. Un premier objectif a été de déterminer la qualité des eaux de ruissellement dans les noues de voirie en zone commerciale.

## 2 MATERIEL & METHODES

### 2.1 Deux sites expérimentaux en extérieur et à grande échelle

Une noue de voirie expérimentale a été installée dans la zone commerciale de Barentin (France, 2250 véhicules par jour et par sens) et divisée en trois biefs imperméabilisés qui collectent les eaux de ruissellement (Figure 2). Les eaux de ruissellement brutes sont collectées directement dans le premier bief. Remplis avec une épaisseur de sol de 30 cm, soit l'équivalent de terre végétale apportée lors des aménagements, et munis d'un drain connecté à un regard en fond d'ouvrage, les deux autres biefs permettent de récolter les eaux de ruissellement infiltrées dans le sol enherbé ou planté d'un mélange de macrophytes.

En parallèle, des mésocosmes de grande échelle ( $0,56\text{m}^3$  :  $1,55\text{m} \times 0,9\text{m} \times 0,4\text{m}$ , sol et fourniture similaires à la noue) soumis aux conditions climatiques extérieures ont été co-contaminés en surface au temps  $T_0$  par trois HAP, le phénanthrène, le pyrène et le benzo[a]pyrène pour atteindre une concentration de 30 mg/kg de sol de chaque HAP et par trois ETM, le cadmium, le plomb et le zinc, respectivement à 2, 100 et 300 mg/kg, soit à leur valeur limite réglementaire dans les sols (arrêté du 8 janvier 1998). Contrairement aux conditions dans la noue expérimentale, la contamination entrante est contrôlée, unique et suffisamment élevée pour obtenir des signaux au dessus des limites de quantifications mais reste réaliste pour un sol urbain. La dissipation des contaminants dans le sol et la rhizosphère et leur lessivage dans les eaux ont été suivis pendant 2,5 ans. Trois espèces de plantes, *Juncus effusus*, *Phalaris arundinaceae*, *Iris pseudacorus*, ont été comparées à un mélange de graminées (50% *Lolium perenne* et 50% *Festuca sp.*) pour leur capacité à accumuler les ETM.



Figure 2 : Sites expérimentaux. A gauche : noue de voirie expérimentale. A droite : mésocosmes contaminés.

## 2.2 Prélèvements et analyses

La qualité des eaux de ruissellement a été évaluée sur douze évènements pluvieux d'intensité variée. Les ETM ont été extraits du sol et des plantes par digestion chimique acide sous pression et à haute température, puis dosés par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES) (Legras *et al.*, 2005). Les HAP dans les eaux ont été extraits sur phase solide (SPE) puis dosés par chromatographie en phase liquide couplée à un fluorimètre (HPLC-Fluo). Les HAP ont été extraits du sol par solvants, assisté par micro-ondes suivies d'analyses en chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) (Portet-Koltalo et Machour, 2013). Des analyses de la biomasse microbienne totale (ADN Total), bactérienne (ADN 16S) et fongique (ADN 18S) (Gangneux *et al.*, 2011) ainsi que le dosage d'activités enzymatiques du sol ont été réalisés afin d'appréhender la structure des communautés microbiennes et un lien éventuel avec leurs fonctions (Laval *et al.*, 2009).

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 Gestion intégrée et qualité des eaux de ruissellement

De manière générale, les concentrations en contaminants dans les eaux de ruissellement étaient faibles pour le type de zone et le trafic (moyenne et maxima). Une des hypothèses les plus pertinentes est la réduction des charges polluantes par la gestion à la source (Figure 3). La concentration en hydrocarbures dans les eaux de ruissellement n'a jamais dépassée 1,5 mg/L et était inférieure à 0,5 mg/L dans 67% des cas. L'installation de séparateurs à hydrocarbures dans ce contexte aurait été inappropriée. Il n'a pas été trouvé de corrélation évidente entre la qualité des eaux de ruissellement et le trafic mais plutôt avec la pluviométrie ou la durée du temps sec avant la pluie.

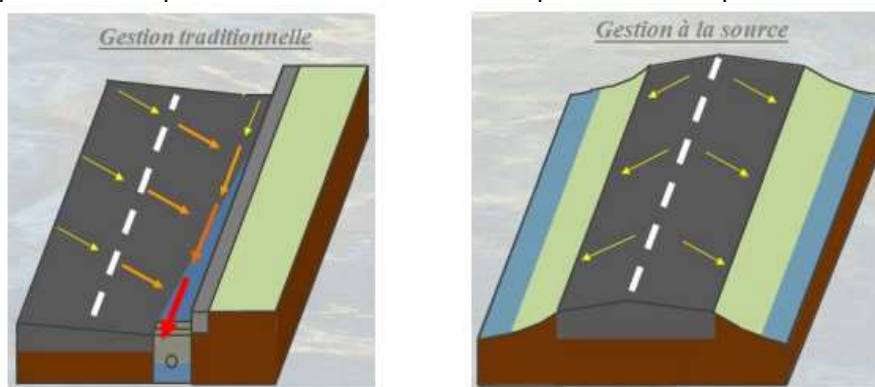


Figure 3 : Débits et hauteur d'eau en gestion traditionnelle et en gestion à la source

### 3.2 Les macrophytes, candidates potentielles pour la remédiation des éléments traces

Les coefficients de transfert des trois ETM ciblés ont été calculés pour les parties aériennes et les parties souterraines des trois espèces de macrophytes et le mélange de graminées. Le jonc est la plante qui a montré les coefficients de migration des ETM vers les parties aériennes les plus importants en 5 mois. Mais au vu de son faible développement spatial, les conséquences sont mitigées au bout de deux ans si l'on s'intéresse à la quantité de métal prélevé par la plante par mètre carré de noue. Ce processus de phytoextraction est un atout dans les noues de voiries car les plantes sont fauchées une fois par an et les déchets verts sont emmenés vers une décharge.

### 3.3 La dissipation des HAP dans les sols

La concentration des trois HAP a drastiquement diminué les 5 premiers mois de l'expérience, même pour le plus lourd des trois HAP testés (Figure 4). Le dosage des HAP dans les eaux d'infiltration a par ailleurs montré qu'elles en contenaient des quantités négligeables par rapport aux quantités totales dissipées (Leroy *et al.*, 2015). La dissipation est donc due essentiellement à des processus biotiques ou abiotiques, et non à un processus de transfert. D'autre part, sur le long terme, des différences significatives sont apparues entre les différentes espèces végétales considérées pour les HAP les plus lourds. La vitesse de dissipation n'est pas constante dans le temps c'est-à-dire que la cinétique de dissipation des HAP ne suit pas une décroissance linéaire. En effet, la dissipation des HAP est fonction d'un grand nombre de paramètres qui ne demeurent pas constants dans le temps comme la teneur en matière organique des sols ou encore de la biodisponibilité des contaminants

dans l'environnement.

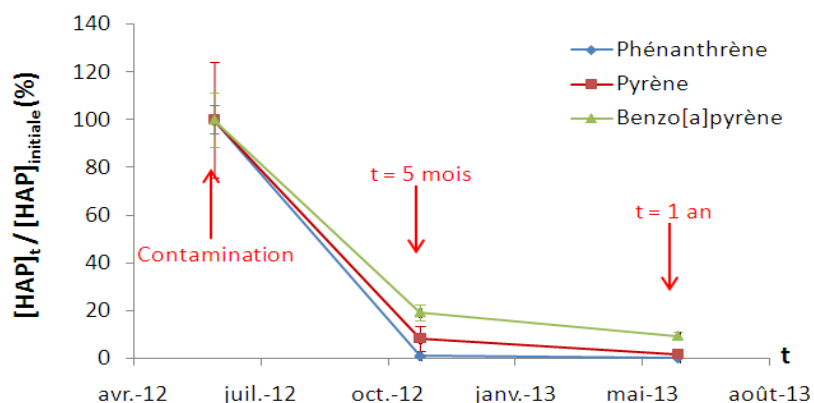


Figure 4 : Comparaison des cinétiques de dissipation des trois HAP dans le mésocosme planté en baldingère faux-roseau.

Les micro-organismes du sol sont impliqués dans un grand nombre de processus de remédiation. En effet, les exsudats racinaires des plantes dans la rhizosphère peuvent servir de source de carbone, entraînant une augmentation de la biomasse totale des micro-organismes, dont ceux directement impliqués dans la remédiation des polluants.

## 4 CONCLUSION, UN INTERET DE LA GESTION INTEGREE EN ESPACES VERTS POUR LA REMEDIATION DANS LES VILLES

Ces travaux ont montré que :

- Sur les routes à trafic faible et lorsque les eaux pluviales sont récoltées dans les noues au plus près du lieu de précipitation de la pluie, les eaux de ruissellement sont très faiblement contaminées. L'installation de séparateurs à hydrocarbures n'est alors pas recommandée ;
- Les sols limono-argileux retiennent très majoritairement (> 95% en masse, mésocosmes) les polluants hydrophobes et peu solubles dans l'eau (HAP) ;
- Certaines espèces de plantes peuvent favoriser la dégradation des polluants organiques et permettent de stabiliser ou d'extraire les métaux contenus dans le sol bien que ce processus reste mineur (jusqu'à 2%). La dégradation des HAP est favorisée (concentration divisée par cinq chez *Iris Pseudacorus*) dans la rhizosphère de certaines plantes ;
- De manière générale, la dépollution est meilleure lorsque le système est vivant, planté et propice au développement de micro-organismes. C'est bien l'association de la plante et des microorganismes du sol qui va dans certains cas avoir un effet de synergie et favoriser le traitement des polluants.

Les résultats ont donc confirmé l'efficacité du concept de gestion intégrée notamment l'épuration naturelle. Certaines plantes associées à des conditions de mise en œuvre sont particulièrement intéressantes. Ces résultats nous permettent d'ores et déjà une application concrète sur les nouveaux projets de conception urbaine.

## BIBLIOGRAPHIE / LIST OF REFERENCES

- Gangneux C., Akpa-Vincelas M., Sauvage H., Desaire S., Houot S., Laval K., (2011). Fungal, bacterial and plant dsDNA contributions to soil total DNA extracted from silty soils under different farming practices: Relationships with chloroform-labile carbon. *Soil biology and biochemistry*, Vol. 43: 431-437.
- Laval K., Mougin C., Akpa M., Barray S., Dur J.-C., Gangneux C., Lebrun J., Legras M., Lepelletier P., Plassart P., Taibi S., Trinsoutrot-Gattin I., (2009). Nouvelles avancées vers la compréhension des données biologiques. *Etude et gestion des sols*, Vol. 16, 3/4, 275-287.
- Legras M., Kharbouch F., Giro F., Bert F. et Llorens J.M. (2003). Contaminated agricultural soil: Trace-elements speciation, their phytoavailability and their uptake by flax plants. *J. Phys. IV France*, 107, p. 765.
- Leroy, M.C., Legras, M., Marcotte, S., Moncond'huy, V., Machour, N., Le Derf, F., Portet-Koltalo F. (2015). Assesment of PAH dissipation processes in large scale mesocosms simulating vegetated road-side swales. *Sci. Total Environ.* 520, 146-153.
- Portet-Koltalo, F., Machour, N., (2013). Analytical methodologies for the control of particle-phase polycyclic aromatic compounds from diesel engine exhaust. In: Bari, S. (Ed.), *Diesel Engine—Combustion, Emissions and Condition Monitoring*.