

## Filtres plantés de roseaux avec matériaux adsorbants pour le traitement des eaux pluviales urbaines : enseignements, répliquabilité et transférabilité du projet LIFE ADSORB

Treatment wetlands with adsorbent materials for urban rainwater treatment: lessons learned, replicability and transferability of the LIFE ADSORB project

Ania Morvannou<sup>5</sup>, Stéphane TROESCH<sup>5</sup>, Laetitia Routet<sup>1</sup>, Marie-Christine GROMAIRE<sup>2</sup>, Juliette FABURE<sup>4</sup>, Martin SEIDL<sup>2</sup>, Nouredine BOUSSERHINE<sup>2</sup>, José-Frédéric DEROUBAIX<sup>2</sup>, Julie GOBERT<sup>2</sup>, David Ramier<sup>3</sup>, Philippe BRANCHU<sup>3</sup>

1. Service technique de l'Eau et de l'Assainissement de la Ville de Paris
2. LEESU, MA-102, École des Ponts ParisTech, AgroParisTech, UPEC, Université Paris-Est,
3. CEREMA, EPR TEAM, Direction territoriale Ile-de-France
4. Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Ecosys
5. EcoBIRD

### RÉSUMÉ

Le projet LIFE ADSORB (LIFE17 ENV/FR/000398) a évalué l'efficacité des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, intégrant ou non des matériaux adsorbants, pour le traitement des eaux pluviales urbaines, notamment issues du ruissellement routier. Mis en œuvre dans un site urbain dense et sensible, le projet a démontré de bonnes performances épuratoires sur les matières en suspension, la DCO, les hydrocarbures et plusieurs éléments traces métalliques, tout en maintenant une intégration paysagère et écologique satisfaisante.

Les essais sur les filtres ont montré dans les conditions de fonctionnement que l'apport du matériau adsorbant Rainclean® reste limité, suggérant que des filtres plantés conventionnels constituent une alternative pertinente et économiquement optimisée. L'étude en laboratoire de différents matériaux adsorbants (charbon actif, biochar, zéolithe) met néanmoins en évidence des performances différenciées selon les polluants ciblés, ouvrant la voie à des choix adaptés au contexte local. Les travaux ont également permis d'enrichir le logiciel ORAGE d'un module « micropolluants », offrant un outil d'aide à la décision inédit pour le dimensionnement et l'évaluation de la durabilité de ce type d'ouvrage. Les suivis environnementaux n'ont mis en évidence aucun impact négatif sur la biodiversité ou le milieu récepteur.

### ABSTRACT

The LIFE ADSORB project (LIFE17 ENV/FR/000398) assessed the performance of vertical flow constructed wetlands, with or without adsorbing materials, for the treatment of urban stormwater runoff, particularly from road infrastructures. Implemented in a dense urban and environmentally sensitive area, the system achieved high removal efficiencies for suspended solids, COD, hydrocarbons, and several trace metals, while ensuring good ecological and landscape integration. Full-scale results indicate that the added value of the Rainclean® adsorbent layer is limited under the filter's operating conditions, suggesting that conventional constructed wetlands may offer a cost-effective alternative for the specific case studied here. However, laboratory studies of various adsorbent materials (activated carbon, biochar, zeolite) have shown that their performance varies depending on the pollutants targeted, opening the way to choices adapted to local conditions. The project also led to the development of a micropollutant module within the ORAGE software, providing a unique decision-making tool for designing and assessing the sustainability of this type of structure. Environmental monitoring revealed no adverse effects on biodiversity or the receiving water body.

### MOTS CLÉS

Dimensionnement, eaux pluviales urbaines, filtres plantés de roseaux, matériaux adsorbants, micropolluants

## 1 PREAMBULE

Le bon état des masses d'eau de surface est un élément clé parmi les challenges environnementaux qu'ont à relever les métropoles européennes. En particulier, les eaux pluviales issues du ruissellement de voiries à forte circulation contribuent significativement à la pollution par les micropolluants qu'elles contiennent et s'avère difficiles à traiter (particulièrement la fraction dissoute). Centré sur un prototype innovant situé dans le célèbre bois de Boulogne à l'ouest de Paris, le projet LIFE ADSORB (2018-2025) a évalué la dépollution des eaux issues du ruissellement pluvial du périphérique par une filière de traitement végétalisée dotée de matériaux adsorbants pour la rétention des micropolluants en phase dissoute.

Cet article se veut une synthèse opérationnelle des principaux enseignements du projet à destination des acteurs de terrains, collectivités et bureaux d'études, pour une meilleure répliquabilité et transférabilité de ce type de configuration.

Le projet LIFE ADSORB a été retenu dans le cadre du programme européen « LIFE » d'action pour l'environnement et le climat de la commission européenne. Il a fédéré la Ville de Paris et une équipe pluridisciplinaire d'experts composée de partenaires publics académiques (ENPC, INRAE, UPEC, AgroParisTech), et opérationnels (Cerema) et du bureau d'ingénierie EcoBIRD.

## 2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ESSENTIELLES

### 2.1 Choix du site

La réussite d'un filtre planté pour la gestion et le traitement des eaux urbaines de temps de pluie dépend fortement du contexte d'implantation. Les sites les plus propices sont des bassins versants urbains fortement imperméabilisés (voiries, parkings, zones industrielles), générant des volumes importants d'eaux pluviales chargées en polluants (métaux, hydrocarbures, micropolluants organiques).

L'existence d'un réseau pluvial structuré permettant d'acheminer les eaux vers un point unique est indispensable. La maîtrise foncière, l'accessibilité et la faisabilité des opérations d'entretien constituent également des critères déterminants.

### 2.2 Structure et fonctionnement du filtre

Le dimensionnement doit s'appuyer sur la connaissance fine du bassin versant et des volumes à traiter, notamment pour les pluies intenses. Dans le projet LIFE ADSORB, deux filtres verticaux (600 m<sup>2</sup> chacun) plantés de végétaux semi-aquatiques (*Phragmites australis* majoritairement) ont été construits pour traiter les rejets pluviaux du boulevard périphérique (bassin versant de 21 ha) avant restitution gravitaire vers la Seine. Les eaux de ruissellement sont, au préalable, stockées dans l'ancien déversoir d'orage Bugeaud d'une capacité de 3500 m<sup>3</sup> pour ensuite être refoulées par pompage sur les filtres.

Les deux filtres, hydrauliquement indépendants, sont constitués d'une succession de couches dont la composition est similaire, excepté pour la couche de filtration, avec du bas vers le haut :

- Une couche de drainage (50 cm de graviers), dont 30 cm saturés en eau,
- Une couche de transition (10 cm de graviers),
- Une couche filtrante : 40 cm de sable ou, une couche de 20 cm de matériau spécifique adsorbant (Rainclean®) pour la rétention/sorption des micropolluants entre deux couches de sable de 10 cm chacune.

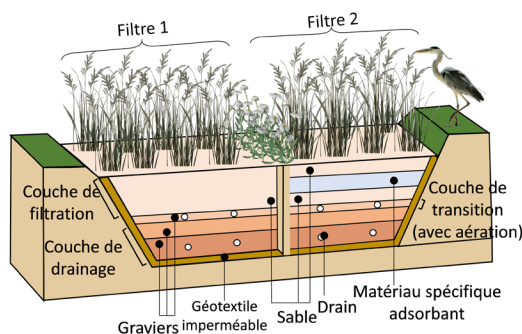


Schéma de principe de la composition des deux filtres étudiés dans le projet LIFE ADSORB



Photo des deux filtres étudiés dans le projet LIFE ADSORB

La répartition de l'eau à la surface doit être la plus homogène possible pour limiter les zones de surcharge de dépôt de sédiments. L'alimentation alternée des deux filtres (chaque mois), préconisée pour des fortes et régulières sollicitations, favorise la minéralisation de la matière organique, améliore la durabilité et limite les risques de colmatage.

### 2.3 Entretien

L'entretien est relativement limité : faucardage annuel (si stockage amont des eaux pluviales), nettoyage des zones d'entrée (accumulation de macro déchets), curage des sédiments accumulés tous les 10-15 ans à effectuer préférentiellement avec le renouvellement des matériaux adsorbants dimensionnés en conséquence, surveillance du couvert végétal, entretien des abords et contrôle de l'écoulement.

## 3 CHOIX DU MATERIAU ADSORBANT

Cinq matériaux ont été testés et évalués en condition de laboratoire : Rainclean®, Urbanclean®, zéolithe, biochar, charbon actif.

Les principales conclusions sont :

- Charbon actif : le plus performant pour les micropolluants organiques, mais le plus coûteux.
- Urbanclean® : compromis intéressant, bonnes performances sur les micropolluants organiques, matériau hétérogène.
- Rainclean® : bon équilibre d'adsorption pour les métaux / micropolluants organiques mais capacité limitée. Les performances du Rainclean® en conditions réelles sont restées modestes, probablement car les concentrations en micropolluants en entrée du filtre concerné étaient faibles et non représentatives des concentrations généralement mesurées dans les eaux pluviales issues du ruissellement de voiries à forte circulation.
- Zéolithe : efficace pour les métaux, faible efficacité pour les micropolluants organiques.
- Biochar : renouvelable, performances moyennes sur les deux types de micropolluants.

En pratique, aucun matériau ne répond à toutes les exigences. Le choix dépend des priorités : type de micropolluant (métaux, micropolluants organiques), coût et facilité d'approvisionnement.

L'étude en laboratoire visait aussi à établir et mettre au point un protocole simplifié d'évaluation des capacités d'adsorption des matériaux adsorbants, mettant en œuvre des tests en batch et colonnes. Si les expériences en batch ont permis une comparaison rapide des matériaux, les expériences en colonne, ont permis de définir les paramètres d'adsorption nécessaires au modèle ORAGE.

## 4 LOGICIEL ORAGE

Développé par INRAE, le logiciel ORAGE est un outil d'aide au dimensionnement des filtres plantés à écoulement vertical pour le traitement des eaux pluviales et capable de modéliser le devenir des polluants majeurs selon des chroniques longues. Dans le cadre du projet LIFE ADSORB, il a été enrichi par EcoBIRD d'un module « Micropolluants » intégrant la simulation du devenir des micropolluants métalliques et organiques dans les filtres plantés de roseaux. Il permet de tester différents scénarios configurations de filtres en renseignant des paramètres tels que la surface de filtre, le type et la hauteur de matériau adsorbant ainsi que les concentrations en micropolluants (formes dissoutes et particulaires) dans l'eau entrante. Les processus simulés – adsorption, désorption, et biodégradation (pour les micropolluants organiques uniquement) – offrent la possibilité d'estimer des indicateurs de performance du filtre planté de roseaux sur plusieurs années tels que les flux de micropolluants stockés et la saturation du(es) matériau(x).

Ce module représente une avancée importante pour le dimensionnement de ce type d'ouvrage vis-à-vis de divers micropolluants.

---

## 5 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

### 5.1 Biodiversité

Les études menées montrent l'absence d'impact négatif du filtre sur l'environnement. Les matrices filtrantes des filtres ont évolué vers un fonctionnement plus naturel, la faune du sol s'y installant progressivement, et les polluants (métaux, HAP) sont en grande partie piégés dans les sédiments. Par ailleurs, aucun impact notable n'a été détecté sur la rivière recevant les eaux de sortie des filtres, celles-ci n'altérant ni la qualité du milieu ni les organismes exposés, ce qui confirme l'intégration durable et l'efficacité du dispositif.

La rivière recevant les eaux traitées ne présente pas de dégradation de qualité, y compris via des tests d'écotoxicité.

### 5.2 Qualité de l'eau

Les filtres présentent des performances élevées au vue des faibles concentrations mesurées dans les eaux d'entrée, avec :

- Jusqu'à 80 % d'abattement sur les métaux (Zn, Cu, Pb),
- Environ 75 % sur les polluants organiques,
- 85 % sur DCO et MES.

### 5.3 Sédiments

Les métaux se concentrent majoritairement dans la couche de sédiments accumulés sur les premiers mètres du filtre. On pointera ici le risque de lixiviation de ces micropolluants et l'intérêt supplémentaire d'une couche adsorbante sous-jacente.

## 6 RETOURS D'EXPERIENCE POUR LA GESTION ET LA VIABILITE ECONOMIQUE

Le filtre ADSORB est globalement perçu très positivement par les élus, techniciens et riverains : intégration paysagère, discrétion, absence d'odeurs, robustesse.

La filière est économique à l'investissement comme à l'exploitation, comparée aux solutions classiques pour une gestion et traitement des eaux de ruissellement (bassin de stockage, floculation, décantation lamellaire). La maintenance est minimale, la production de boues réduite et l'intégration d'une couche adsorbante peu coûteuse.

## 7 CONCLUSION

Le projet LIFE ADSORB (LIFE17 ENV/FR/000398) a sélectionné et financé par le programme de l'Union européenne dédié à l'environnement. Il a évalué l'efficacité des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, intégrant ou non des matériaux adsorbants, pour le traitement des eaux pluviales urbaines issues du ruissellement routier. L'originalité et l'avancée de ce projet résident notamment dans le développement d'un module intégrant le devenir des micropolluants dans le logiciel ORAGE, un outil d'aide au dimensionnement de filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales.