

Projet LIFE ADSORB

LIFE17 ENV/FR/000398 LIFE ADSORB project is supported by the European Union LIFE program

Le projet LIFE17 ENV/FR/000398 LIFE ADSORB bénéficie du soutien financier du programme LIFE de l'Union européenne

LIFE ADSORB

LIFE17 ENV/FR/000398



Deliverable B.4 : *Replicability and transferability plan*

Reporting date

V1	July 2025
V2	January 2026



Table des matières

RESUME	4
ABSTRACT	5
PARTIE I : PLAN DE REPLICABILITE	6
1. QUELLES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES A PRIVILEGIER	6
1.1. Choix du site	6
1.2. Structure du filtre	7
1.3. Gestion hydraulique	8
1.4. Plantes à utiliser	9
1.5. Entretien du système et suivi du filtre	10
1.6. Instrumentation sur site	10
2. QUEL MATERIAU ADSORBANT CHOISIR ?	11
3. LE LOGICIEL ORAGE	12
4. IMPACT DU PROJET SUR LA BIODIVERSITE ET LA QUALITE DE L'EAU	13
4.1. Impact sur la biodiversité	13
4.2. Impact sur la qualité de l'eau	14
Qualité chimique	14
Qualité bactériologique	15
Qualité du sédiment : accumulation des métaux dans le filtre	15
5. COMMENT GERER CE TYPE D'OUVRAGE ?	16
6. CE TYPE DE PROJET EST-IL ECONOMIQUEMENT VIABLE ?	17

PARTIE II : LA TRANSFERABILITE DU PROJET	19
1. LE LOGICIEL ORAGE	19
2. LES INSTANCES D'ECHANGES ET DE PARTAGE	19
3. TRANSFERT DES RESULTATS	20
4. INFRASTRUCTURE INSPIREE DU PROJET ADSORB	20
4.1. <i>Dimensionnement du filtre</i>	21
4.2. <i>Cheminement des eaux</i>	21
4.3. <i>Description du filtre</i>	22
4.4 <i>Mise en service</i>	25
4.5 <i>Coût</i>	26
4.6. <i>Conclusion</i>	26
5. CONCLUSION GENERALE	27

Résumé

Le projet LIFE ADSORB (LIFE17 ENV/FR/000398) démontre la pertinence des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, associés ou non à des matériaux adsorbants, pour le traitement des eaux pluviales urbaines chargées en polluants classiques et en micropolluants. Déployé dans un contexte fortement contraint (bois classé, milieu urbain dense), le projet propose une solution écologique, peu coûteuse, robuste et facilement répliquable.

Le dispositif repose sur une conception technique optimisée, intégrant une gestion hydraulique maîtrisée, une stratification des matériaux filtrants et adsorbants, ainsi qu'une végétalisation adaptée. Plusieurs matériaux adsorbants (Rainclean®, Urbanclean®, zéolithe, biochar, charbon actif) ont été évalués en laboratoire et in situ afin de comparer leurs performances vis-à-vis des éléments traces métalliques et des micropolluants organiques.

Les résultats montrent une amélioration significative de la qualité des eaux traitées, avec des abattements élevés des matières en suspension, de la DCO, des hydrocarbures et de nombreux micropolluants, tout en respectant majoritairement les seuils réglementaires. Les impacts environnementaux sont globalement positifs, avec une bonne intégration paysagère, une préservation de la biodiversité et une forte acceptabilité sociale. Les suivis montrent également une accumulation maîtrisée des polluants dans les couches superficielles du filtre, nécessitant une vigilance lors des opérations futures de curage.

Le projet s'appuie également sur le logiciel ORAGE, enrichi d'un module innovant dédié aux micropolluants, permettant de dimensionner les ouvrages, de simuler le comportement des polluants et d'anticiper la saturation des matériaux adsorbants. Enfin, la viabilité économique de la solution est démontrée, avec des coûts d'investissement et d'exploitation inférieurs à ceux des filières conventionnelles, pour des performances équivalentes.

La transférabilité du concept est illustrée par la réalisation d'un projet inspiré de LIFE ADSORB à Joinville-le-Pont, confirmant l'intérêt de cette filière pour les collectivités souhaitant répondre aux enjeux réglementaires et environnementaux liés à la gestion durable des eaux pluviales.

Abstract

The LIFE ADSORB project (LIFE17 ENV/FR/000398) demonstrates the relevance of vertical flow constructed wetlands planted with reeds, with or without the addition of adsorbing materials, for the treatment of urban stormwater runoff contaminated with conventional pollutants and micropollutants. Implemented in a highly constrained context (protected woodland, dense urban environment), the project offers an ecological, cost-effective, robust, and easily replicable solution.

The system is based on an optimized technical design, combining controlled hydraulic management, a layered structure of filtering and adsorbing materials, and appropriately selected vegetation. Several adsorbent materials (Rainclean®, Urbanclean®, zeolite, biochar, activated carbon) were evaluated both in the laboratory and under real operating conditions to compare their performance in removing trace metals and organic micropollutants.

The results show a significant improvement in treated water quality, with high removal rates for suspended solids (TSS), COD, hydrocarbons, and numerous micropollutants, while largely complying with regulatory thresholds. Environmental impacts are globally positive, with good landscape integration, biodiversity preservation, and high social acceptance. Monitoring also highlights a controlled accumulation of pollutants in the upper layers of the filter, which calls for particular attention during future sediment removal operations.

The project also relies on the ORAGE software, enhanced with an innovative micropollutant module, which enables the dimensioning of treatment systems, simulation of pollutant behaviour, and anticipation of adsorbent material saturation. Finally, the economic viability of the solution has been demonstrated, with lower capital and operating costs than conventional treatment systems for equivalent performance.

The transferability of the concept is illustrated by the implementation of a project inspired by LIFE ADSORB in Joinville-le-Pont, confirming the strong interest of this treatment approach for local authorities seeking to address regulatory and environmental challenges related to sustainable urban stormwater management.

L'objectif de cette action est d'élaborer un plan de répliquabilité et de transfert facilitant d'une part la reproductibilité de ce type d'ouvrage dans un contexte similaire, mais aussi la transférabilité de la solution démontrée à d'autres contextes et territoires. En effet, bien que le projet soit mis en œuvre dans un contexte très spécifique (espace boisé, classé et protégé, densité urbaine forte, traitement des eaux de ruissellement de voirie), il a été conçu de manière à ce que les solutions proposées puissent être répliquables et transposables à d'autres contextes.

PARTIE I : Plan de répliquabilité

1. Quelles caractéristiques techniques à privilégier

Le filtre planté de roseaux est une solution naturelle, écologique et efficace pour le traitement des eaux de ruissellement provenant de surfaces imperméables. Ce système permet à la fois de dépolluer, ralentir et infiltrer l'eau, tout en s'intégrant harmonieusement dans le paysage. Ce dernier point était primordial puisque l'ouvrage à construire durant le projet devait s'intégrer au sein d'un bois classé.

1.1. Choix du site

Le choix du site constitue une étape déterminante dans la réussite de la répliquabilité du dispositif. Il est recommandé de privilégier des bassins versants urbains fortement imperméabilisés, où les surfaces minérales (voiries, parkings, toitures) génèrent d'importants volumes d'eaux de ruissellement. Ces secteurs doivent également présenter une pollution chronique significative, notamment en lien avec le trafic routier dense, les zones industrielles ou les activités urbaines concentrées, afin de garantir une charge polluante suffisante pour justifier l'installation d'un filtre planté.

Par ailleurs, la présence d'un réseau d'eaux pluviales structuré et fonctionnel est indispensable. Ce réseau doit permettre l'acheminement des eaux vers un point unique ou semi-centralisé de traitement, condition préalable à l'intégration optimale du filtre dans le système existant. L'accessibilité technique du site, la maîtrise foncière et les contraintes d'entretien devront également être prises en compte dès les premières étapes de conception.

1.2. Structure du filtre

Il est essentiel, en amont du projet, de bien connaître le bassin versant associé à la surface à traiter. En effet, le dimensionnement du filtre dépend non seulement de l'étendue des surfaces imperméables concernées, mais aussi des volumes de pluie à gérer, en particulier lors des épisodes pluvieux intenses.

Par ailleurs, l'ajout d'un bassin de stockage tampon en amont du filtre peut s'avérer pertinent : il permet de recueillir et décanter les premières eaux de pluie, généralement les plus polluées, et de réguler le débit entrant dans le système de traitement. Cette solution a été choisie pour le projet LIFE ADSORB permettant ainsi de limiter de manière plus importante les déversements en Seine.

Les eaux de pluie peuvent contenir des éléments grossiers tels que des feuilles, des débris plastiques ou autres déchets flottants. Il est donc indispensable d'installer un dégrilleur ou un panier grillagé à l'entrée du système afin de retenir ces matières. Par ailleurs, lorsque les eaux pluviales proviennent de surfaces routières, elles peuvent être contaminées par des hydrocarbures. Dans ce cas, l'intégration de sondes spécifiques est recommandée pour détecter la présence d'hydrocarbures et permettre une gestion différenciée de ces effluents. Cela évite le risque d'introduire dans le filtre des eaux polluées susceptibles de compromettre son bon fonctionnement.

Sur le site pilote, le choix s'est porté sur l'installation de deux filtres plantés de roseaux à écoulement vertical. Ce procédé représente aujourd'hui l'une des solutions les plus répandues, tant pour le traitement des eaux usées domestiques que pour celui des eaux pluviales.

Dans ce type de système, l'eau est distribuée à la surface du filtre, soit par gravité, soit par intermittence à l'aide d'une pompe dans le bassin de stockage tampon, avant de s'infiltrer verticalement à travers un substrat constitué principalement de sable et de gravier. Un écoulement gravitaire présente à la fois des coûts d'exploitation réduits et des besoins de maintenance moindres. Ce système sera donc privilégié, lorsque la configuration du réseau le permet.

Sur le site pilote, le filtre est alimenté en un seul point à l'amont, et son réseau de drains sous la couche filtrante est configuré de manière atypique (fusion de deux branches parallèles en une seule conduite de même diamètre). Cette configuration limite l'homogénéité de la répartition de l'eau dans le média filtrant et favorise des chemins préférentiels.

Par ailleurs, il a été observé une accumulation des matières organiques en amont du filtre. Il est donc préférable d'alimenter le filtre en plusieurs points pour que les charges organiques soient réparties sur l'ensemble du filtre. Ce mode d'alimentation avait été préféré afin de limiter les coûts d'investissement.

Il est fortement recommandé de prévoir un système d'alimentation alternée entre les deux files du filtre planté de roseaux. Ce mode de fonctionnement permet d'imposer un temps

de repos de chaque file de manière régulière, en alternant les phases d'alimentation et de repos hydraulique sur des cycles prédéfinis (par exemple, tous les 29 jours comme dans le projet pilote).

Cette alternance favorise plusieurs mécanismes essentiels à la pérennité et à l'efficacité du système :

- La réoxygénation du filtre et l'activité microbienne accrue en phase de repos, permettant notamment une meilleure durabilité du matériau adsorbant via la biodégradation des polluants organiques adsorbés en phase d'alimentation.
- Une limitation du colmatage par minéralisation de la matière organique accumulée en surface et dans les couches filtrantes en phase de repos.

La mise en œuvre de cette alternance nécessite un pilotage fiable, capable d'assurer une distribution homogène et conforme aux objectifs de traitement. Elle suppose également un suivi régulier pour s'assurer du bon fonctionnement des équipements d'alimentation.

Sur le site étudié, les deux filtres sont séparés physiquement par un merlon central. Toutefois, dès la première année d'exploitation, il a fallu consolider sur environ 3 mètres le merlon situé à l'entrée du filtre. Après l'affaissement d'une nouvelle section, celui-ci a finalement été entièrement réhabilité en 2025. Il est donc essentiel de mettre en place une cloison d'une hauteur suffisante, solide et pérenne afin d'éviter ce type de problématique.

Le filtre est construit sous forme d'un bassin, avec une légère pente pour favoriser l'écoulement de l'eau. Afin d'éviter toutes pollutions du sol ou des nappes, un géosynthétique peut être installé afin d'assurer l'étanchéité.

De plus, le filtre est composé de différentes couches de matériaux :

- Une couche drainante au fond, en graviers de 20 à 40 mm (épaisseur : 20 à 30 cm).
- Une couche filtrante, composée de sable lavé, pouzzolane ou zéolithe (épaisseur : 30 à 40 cm), qui permet la rétention des polluants.

Afin de renforcer le piégeage des éléments traces métalliques il est possible d'ajouter une couche supplémentaire de matériau(x) adsorbant(s). Un panel de ces matériaux est présenté dans le chapitre 2.

1.3. Gestion hydraulique

Le filtre planté de roseaux destiné au traitement des eaux pluviales doit être conçu pour fonctionner de manière efficace tout au long de l'année, quelles que soient les conditions météorologiques.

À l'entrée du système, un dispositif de ralentissement hydraulique permet de canaliser et de répartir uniformément l'eau sur la surface du filtre, évitant ainsi les risques d'érosion localisée ou de surcharge ponctuelle.

En cas de fortes précipitations, un trop-plein de sécurité est indispensable. Il garantit l'évacuation des volumes excédentaires et préserve ainsi l'intégrité du système tout en assurant une continuité de fonctionnement.

En période de sécheresse prolongée, il est important de prévoir une solution alternative d'irrigation afin d'assurer le maintien de la végétation sur le filtre.

1.4. Plantes à utiliser

Le filtre est végétalisé avec des plantes hydrophiles, spécifiquement sélectionnées pour leur résistance aux variations hydriques, notamment aux épisodes de submersion temporaire, fréquents en période de fortes pluies.

Parmi les espèces les plus couramment utilisées se trouvent :

- *Phragmites australis* (roseau commun) : espèce principale du système, elle se distingue par sa robustesse, sa forte capacité d'adaptation et son efficacité dans l'oxygénation du substrat. C'est l'espèce qui a été utilisée sur le projet LIFE ADSORB.
- *Typha latifolia* (massette) : joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du filtre. Si elle ne réalise pas directement le traitement des eaux, qui repose principalement sur l'action du sable et des micro-organismes, elle contribue à maintenir la perméabilité du massif filtrant. En limitant la formation d'une couche de boue compacte, elle favorise la circulation de l'eau et de l'oxygène, conditions indispensables à l'activité épuratrice des micro-organismes et au piégeage des particules fines par le sable.
- *Juncus*, *Scirpus* et *Carex* : ces espèces complètent le couvert végétal en apportant une diversité biologique favorable à la faune et à la résilience écologique du système.

Ces végétaux assurent plusieurs fonctions clés dans le processus de traitement :

- Ils oxygènent naturellement le substrat par le biais de leurs racines, stimulant ainsi l'activité des bactéries épuratrices.
- Ils absorbent certains polluants, notamment des éléments traces métalliques et des nutriments (azote, phosphore).
- Ils stabilisent le substrat, réduisent l'érosion interne et contribuent à la durabilité physique du filtre. Ils permettent de limiter le colmatage et de maintenir la perméabilité du filtre en surface, grâce à l'action mécanique de leurs tiges.

Ces plantes sont robustes et ne nécessitent qu'un entretien limité, consistant principalement en un faucardage annuel. Elles repoussent chaque printemps, ce qui permet de réduire les coûts liés au replantage. Toutefois, il est nécessaire de les contenir à l'intérieur du filtre afin d'éviter qu'elles ne colonisent les zones environnantes.

1.5. Entretien du système et suivi du filtre

Bien que le filtre planté soit un système peu exigeant en maintenance, un suivi régulier est indispensable pour assurer son bon fonctionnement sur le long terme.

Les principales actions d'entretien sont les suivantes :

- Faucardage annuel de la végétation, généralement réalisé en fin d'hiver (février-mars), pour favoriser la reprise de croissance au printemps et maintenir une densité végétale optimale. Afin d'éviter la contamination des tiges par les boues, les roseaux doivent être coupés à environ dix centimètres au-dessus du niveau du lit de boues, sans raclage de ce dernier. Des analyses peuvent être effectuées sur les roseaux coupés pour vérifier leur conformité avec les seuils réglementaires en matière de polluants, condition préalable à leur valorisation par compostage. Pour le site étudié, la valorisation des roseaux coupés par compostage était autorisée et conforme aux exigences réglementaires applicables.
- Nettoyage périodique des zones d'entrée (grilles, fossés, regards pour éviter l'accumulation de débris et de sédiments.
- Surveillance de l'état de la couverture végétale, avec une attention particulière portée à la bonne répartition des plantes et à l'absence de zones dégarnies ou envahies par des plantes invasives.
- Contrôle du bon écoulement de l'eau à travers le filtre et du fonctionnement du trop-plein de sécurité, notamment après de fortes pluies.

Un entretien bien conduit permet de prévenir le colmatage, de prolonger la durée de vie du système et d'en garantir l'efficacité hydraulique et épuratoire.

1.6. Instrumentation sur site

Pour assurer un suivi de la qualité chimique, il est indispensable de mettre en place une instrumentation adaptée afin d'obtenir des données pertinentes et exploitables.

Dans le cadre de ce projet, il a été décidé d'installer de manière permanente des préleveurs au sein du collecteur, mais également en entrée et en sortie du filtre. Tous les appareils étaient asservis au débit afin d'améliorer la représentativité des mesures et étaient pilotés par les automates à distance.

Ce mode de gestion, bien que très pertinent sur le plan de la représentativité, a néanmoins rencontré plusieurs difficultés, notamment en entrée de filtre : la canalisation de prélèvement a été à de nombreuses reprises obstruée par des sédiments, empêchant les prélèvements, et des problèmes de temporisation des automates sont également survenus.

L'ensemble de ces désordres a retardé de manière conséquente l'obtention de données permettant de juger au mieux l'intérêt de ce type d'ouvrage pour le traitement des eaux pluviales.

Ainsi, lors de l'utilisation de préleveur(s), il est essentiel d'étudier attentivement les caractéristiques du site afin de limiter au maximum ce type de dysfonctionnement, et de privilégier des solutions simples à mettre en œuvre et faciles à entretenir.

2. Quel matériau adsorbant choisir ?

Afin d'optimiser la captation des polluants, une couche adsorbante supplémentaire à base de Rainclean® a été ajoutée sur le filtre n°2. Par ailleurs, dans une démarche d'enrichissement des connaissances et pour offrir aux maîtres d'ouvrage un éventail plus large de matériaux adsorbants, d'autres matériaux ont été sélectionnés et testés en laboratoire. Leur choix s'est fondé sur leur capacité d'adsorption reconnue dans la littérature ainsi que sur leur accessibilité commerciale.

Pour cela, deux types d'essais ont été réalisés :

- des tests en batch pour déterminer les capacités d'adsorption à l'équilibre et établir des isothermes d'adsorption.
- des tests en colonne, reproduisant des conditions réelles de filtration, pour évaluer les performances dynamiques des matériaux et modéliser le comportement à l'aide du logiciel HYDRUS-1D.

Les cinq matériaux adsorbants testés dans le cadre du projet LIFE ADSORB sont présentés ci-après :

Matériaux	Composition et caractéristiques principales
Zéolithe naturelle (ZEO)	Il s'agit d'un aluminosilicate naturel sous forme granulaire, couramment utilisé dans le traitement de l'eau. Toutefois, ses performances d'adsorption sur les micropolluants organiques sont limitées.
Biochar (BIO)	Issu de biomasse pyrolysée, ce matériau granulaire présente des performances variables selon les types de polluants. Il est intéressant pour son origine renouvelable, mais reste moins performant que d'autres sur les micropolluants organiques..
Rainclean® (RC)	Matériau commercial constitué d'un mélange de pouzzolane et de charbon actif.
Urbanclean® (UC)	Matériau commercial constitué d'un mélange de zéolithe et de charbon actif.
Charbon actif (AC)	Carbone hautement poreux, surface spécifique élevée (souvent > 800 m ² /g), capable d'adsorber des métaux lourds, micropolluants et composés organiques.

Les matériaux ont été testés avec des éléments traces métalliques (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) et des micropolluants organiques (BPA, OP, NP).

Les résultats montrent que tous les matériaux testés présentent des capacités d'adsorption variables selon le type de polluant.

- **Rainclean®** offre un compromis intéressant entre adsorption des métaux et des micropolluants organiques, mais sa capacité reste limitée par rapport aux autres matériaux testés.
- **Urbanclean®**. Enrichi en charbon actif, il présente de bien meilleures performances que le Rainclean® à la fois sur les métaux mais également pour les micropolluants organiques.
- **La zéolithe** se distingue par une bonne adsorption du plomb mais moins efficace pour les autres métaux et reste peu efficace pour les micropolluants organiques.
- **Le biochar** constitue une solution intéressante par rapport aux autres matériaux testés, avec de bonnes capacités d'adsorption globales et un matériau issu de ressources renouvelables, mais sa performance reste inférieure au charbon actif pur.
- **Le charbon actif** est le plus performant, particulièrement pour les micropolluants organiques, mais son coût élevé et sa disponibilité limitée en grand volume constituent des freins à son utilisation à pleine échelle.

En résumé, aucun matériau ne combine à lui seul toutes les qualités recherchées. Le choix doit donc se faire selon les priorités du traitement (métaux vs micropolluants organiques), le coût et la durabilité de l'efficacité du matériau adsorbant.

L'analyse des résultats de qualité montre que l'effet adsorbant du Rainclean® est resté limité lors de cette étude grande nature. Il en découle que, dans une optique d'optimisation des coûts, un système conventionnel dépourvu de matériau adsorbant spécifique constitue une alternative viable pour le traitement des eaux pluviales.

3. Le logiciel ORAGE

Le logiciel libre ORAGE, développé en 2019 par INRAE dans le cadre du projet ADEPTE, est un outil d'aide à la décision destiné au dimensionnement des dispositifs de traitement des eaux pluviales (eaux de ruissellement et surverses de déversoirs d'orage) par filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.

Contrairement à d'autres outils, son objectif principal n'est pas de proposer un dimensionnement unique, mais d'accompagner la réflexion des concepteurs par une approche de modélisation, prenant en compte les dynamiques d'épisodes pluvieux et les contraintes hydrauliques et physico-chimiques (DCO, MES, azote) de l'ouvrage à dimensionner.

Dans le cadre du projet LIFE ADSORB, le logiciel a été enrichi d'un module complémentaire, intitulé « Micropolluants ».

Ce module vise à simuler le devenir des micropolluants organiques et métalliques dans un filtre planté de roseaux, en se concentrant sur la couche de filtration composée d'un matériau adsorbant.

Il permet de dimensionner ce filtre en tenant compte de la présence de micropolluants, et indique à l'utilisateur certains indicateurs selon différents scénarios de configuration (type et concentrations d'entrée en micropolluant, étudié ou non dans le projet LIFE ADSORB, type de matériau adsorbant, Rainclean® ou autre non étudié dans le projet LIFE ADSORB et son épaisseur). Il calcule notamment les masses de micropolluants stockées, la saturation du matériau, et fournit des indicateurs de performance comme les rendements, utiles pour juger de la durabilité et de l'efficacité du filtre.

Ce module « Micropolluants » constitue une avancée, car il permet pour la première fois de coupler l'hydraulique aux dynamiques de pollution complexe dans le logiciel.

L'utilisateur peut choisir d'utiliser le logiciel ORAGE pour :

- Traiter uniquement les polluants classiques (version initiale).
- Inclure en plus les micropolluants et simuler leurs concentrations en sortie.
- Évaluer la quantité stockée de micropolluants dans les matériaux adsorbants.

En complément du module, un guide a été élaboré afin de permettre aux utilisateurs de travailler en autonomie avec le logiciel. Toutefois, il est essentiel que l'utilisateur dispose d'un projet déjà bien avancé, car l'utilisation du logiciel requiert un grand nombre de données d'entrée pour pouvoir le paramétrer de manière adaptée.

Le logiciel et son guide utilisateur sont disponibles au téléchargement sur le site web du projet : <https://life-adsorb.eu/fr>.

4. Impact du projet sur la biodiversité et la qualité de l'eau

4.1. Impact sur la biodiversité

L'évaluation de l'impact environnemental du filtre planté avait pour objectif d'analyser les effets du dispositif sur son environnement immédiat, suite à sa mise en service. Une étude préalable avait été menée afin d'établir un état des lieux du site destiné à accueillir le filtre. Cette analyse s'est appuyée sur un suivi pluriannuel comprenant plusieurs campagnes de prélèvements, réalisées entre 2021 et 2022.

Les investigations ont porté à la fois sur les sols, les eaux et la faune, selon une méthodologie rigoureuse. Les analyses ont permis de mesurer l'évolution des propriétés physico-chimiques et biologiques du filtre, de suivre les concentrations en contaminants (éléments traces métalliques et hydrocarbures aromatiques polycycliques), d'évaluer la biodiversité du sol et de déterminer les effets potentiels sur le milieu aquatique récepteur.

Les résultats montrent que le filtre n'a pas induit de dégradation environnementale. Au contraire, les sols du filtre tendent à évoluer vers un fonctionnement proche de celui d'un sol naturel, avec une légère augmentation de la matière organique et une colonisation progressive par la faune du sol.

Les concentrations en éléments traces métalliques sont plus élevées dans la couche contenant le matériau Rainclean®, mais leur mobilité reste limitée, réduisant ainsi les risques de transfert vers les organismes. Par ailleurs, les hydrocarbures sont présents en faibles concentrations, souvent inférieures aux seuils de quantification.

Concernant la rivière Saint James, qui reçoit les eaux traitées, aucun impact significatif n'a été observé. Les teneurs en contaminants mesurées en aval du rejet sont comparables à celles relevées en amont. De plus, les tests d'écotoxicité réalisés sur des gammarés encagés n'ont révélé aucune altération majeure de leurs fonctions biologiques, ni bioaccumulation de polluants.

En conclusion, le filtre planté de roseaux démontre une bonne capacité à traiter les eaux de ruissellement tout en s'intégrant de manière durable à son environnement. Il constitue une solution efficace, sans effet négatif notable sur les sols ou les milieux aquatiques environnants.

Ce type d'ouvrage peut ainsi être envisagé dans des zones soumises à des contraintes spécifiques, telles qu'un rejet en milieu aquatique sensible ou une implantation en espace protégé, comme un bois classé. Il est à noter tout de même que les roseaux étant des plantes à rhizomes, leur capacité de colonisation est importante. Il est donc essentiel de bien gérer la végétation afin de prévenir leur dissémination dans l'espace.

4.2. Impact sur la qualité de l'eau

Qualité chimique

Les analyses menées dans le cadre du projet ont mis en évidence une amélioration significative de la qualité de l'eau en sortie du filtre planté de roseaux, sans mettre en avant les propriétés spécifiques du matériau adsorbant Rainclean®. Les résultats montrent une réduction notable des concentrations en micropolluants, notamment :

- Éléments traces métalliques : diminution des concentrations en zinc, cuivre et plomb, atteignant jusqu'à 80 % de rétention pour certains événements pluvieux.
- Polluants organiques : réduction efficace des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), BTEX, et autres composés organiques volatils (environ 75%).
- Paramètres classiques (MES, DCO) : abattements systématiques et constants au fil des campagnes (environ 85%).

Dans la majorité des cas, les valeurs mesurées en sortie respectent les seuils réglementaires fixés pour le rejet en milieu naturel ou pour les objectifs de bon état des masses d'eau, conformément à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et aux prescriptions locales de l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif à la gestion des eaux pluviales.

Cependant, quelques dépassements ponctuels ont été observés, en particulier lors d'épisodes pluvieux intenses ou dans des conditions de fonctionnement non optimales (colmatage, saturation partielle du substrat). Ces observations soulignent l'importance d'un entretien régulier et d'un suivi analytique rigoureux pour maintenir les performances dans le temps.

Au vu de ces informations, le filtre est donc parfaitement adapté pour prétraiter des eaux pluviales chargées en polluant avec un rejet au milieu naturel.

Qualité bactériologique

Concernant la charge bactériologique, le filtre planté permet d'atteindre le seuil de qualité « suffisante » défini par la directive européenne sur les eaux de baignade dans 81 % des cas pour les deux indicateurs principaux : *E. coli* (seuil de 900 UFC/100 mL) et Entérocoques intestinaux (seuil de 330 UFC/100 mL).

Bien que ces résultats traduisent une réduction partielle mais réelle de la contamination microbiologique, l'abattement observé reste modéré, ce qui est conforme aux performances généralement rapportées pour ce type de filière.

Ce type de traitement pourrait s'avérer moins adapté dans un contexte de proximité immédiate avec un site de baignade, en raison de ses performances limitées en matière de réduction de la charge bactériologique.

Qualité du sédiment : accumulation des métaux dans le filtre

Les campagnes d'échantillonnage menées sur les différentes couches du filtre ont permis d'évaluer la capacité de rétention des éléments traces métalliques dans les sédiments et les substrats filtrants.

Les résultats mettent en évidence une accumulation importante de métaux dans les couches superficielles du filtre (principalement entre 0 et 15 cm de profondeur), avec des concentrations particulièrement élevées dans les zones d'entrée des eaux. Les métaux les plus fréquemment retrouvés sont le zinc, le cuivre et le plomb, typiques de la pollution des eaux de ruissellement urbain.

Cette accumulation traduit l'efficacité du filtre planté dans le piégeage des particules polluées, via des mécanismes combinés de décantation et d'adsorption sur les substrats minéraux et organiques.

Cette information revêt une importance particulière pour les opérations futures de curage du filtre. En effet, la qualité environnementale des sédiments devra être évaluée avant leur évacuation, afin de les orienter vers une filière de traitement ou d'élimination adaptée au niveau de contamination observé.

5. Comment gérer ce type d'ouvrage ?

L'expérimentation menée dans le cadre du projet LIFE ADSORB a permis de démontrer la pertinence technique, économique et sociale d'un filtre planté de roseaux (FPR) intégrant une couche de matériau adsorbant pour le traitement des rejets urbains de temps de pluie. Afin de favoriser la réplique de cette solution dans d'autres contextes, plusieurs enseignements et recommandations peuvent être formulés.

Tout d'abord, il est essentiel de prendre en compte le contexte local. Chaque site présente des caractéristiques hydrologiques, urbanistiques et environnementales spécifiques. Il convient ainsi d'évaluer les types de micropolluants présents dans les eaux pluviales, les volumes à traiter, les fréquences de ruissellement, ainsi que l'espace disponible pour l'implantation du dispositif. Cette analyse préalable permettra de dimensionner le filtre de manière adaptée et d'optimiser l'efficacité du traitement.

L'un des points forts relevés dans l'évaluation du projet est la bonne acceptabilité sociale du filtre. Les élus, techniciens et riverains ont exprimé une perception globalement positive de l'ouvrage. Sa discrétion, son intégration paysagère, l'absence de nuisances sonores et olfactives, ainsi que l'utilisation de plantes locales favorisent son insertion dans l'espace public. Pour garantir cette acceptabilité lors de la réplique, il est recommandé d'associer les acteurs locaux dès la phase de conception, notamment les élus, services techniques et usagers.

La viabilité économique du filtre est un autre facteur facilitant sa diffusion. Toutefois, le coût initial de mise en œuvre peut représenter un frein si le projet n'est pas inscrit dans une logique de planification à long terme. Il est donc conseillé de prévoir un modèle économique clair, intégrant le filtre dans les schémas directeurs d'assainissement ou de gestion des eaux pluviales, et de mobiliser des cofinancements publics ou européens, comme ceux proposés par le programme LIFE.

Enfin, le filtre ADSORB doit être pensé comme un élément d'un ensemble plus large de gestion intégrée des eaux pluviales. Il peut être judicieusement combiné à d'autres dispositifs tels que les noues, toitures végétalisées, chaussées perméables ou bassins de rétention. Une approche systémique permettra d'optimiser les performances environnementales tout en répondant aux objectifs réglementaires liés à la qualité des rejets.

En résumé, la réplique du filtre ADSORB repose sur une démarche d'adaptation locale, de sobriété technique, d'implication des acteurs, de stratégie économique anticipée et d'intégration dans une vision globale de l'aménagement urbain durable.

6. Ce type de projet est-il économiquement viable ?

Le projet LIFE ADSORB, qui propose une filière de traitement des rejets urbains de temps de pluie, s'est révélé économiquement viable. Cette solution se distingue non seulement par sa robustesse et son efficacité, mais également par des coûts d'investissement et d'exploitation significativement inférieurs à ceux des filières conventionnelles.

L'analyse économique menée dans le cadre du projet a permis de comparer les performances et les coûts de la filière FPR enrichie avec une couche adsorbante à ceux d'un bassin de stockage avec floculation et décantation lamellaire, qui constitue aujourd'hui l'une des solutions techniques les plus répandues pour la gestion des eaux pluviales. Les deux systèmes atteignent des performances similaires sur les polluants majeurs (MES, DBO, DCO) et les micropolluants associés à la phase particulaire, mais présentent des écarts notables en termes de coûts.

En matière d'investissement, la solution FPR présente un coût inférieur, notamment grâce à un mode constructif plus simple et à une emprise au sol bien exploitée. Si le coût d'un bassin de stockage varie fortement selon sa nature (enterré, à ciel ouvert, matériaux utilisés), celui d'un FPR reste relativement stable et maîtrisé. À capacité de stockage équivalente, les FPR nécessitent des ressources moindres, en particulier lorsqu'ils intègrent directement la couche adsorbante dans leur structure.

Les coûts d'exploitation confirment également l'avantage de la solution FPR. Contrairement aux systèmes avec floculation, qui nécessitent des interventions régulières (réapprovisionnement en réactifs chimiques, entretien des équipements, soutirage de boues), les FPR demandent une maintenance minimale. De plus, la production de boues y est moins importante grâce à la minéralisation naturelle en surface du filtre.

Concernant le traitement des micropolluants dissous, principal enjeu du projet LIFE ADSORB, l'ajout d'une couche adsorbante spécifique au sein du FPR constitue une solution simple, peu coûteuse et techniquement efficace par rapport à ce qui existe comme technologie sur le marché aujourd'hui. Cette approche permet de capter des éléments traces métalliques (Cu, Zn, Pb, etc.) ainsi que des polluants organiques (BPA, OP, NP) sans recourir à des technologies complexes et onéreuses comme l'ozonation ou la nanofiltration. Le choix du matériau adsorbant (parmi Rainclean®, UrbanClean, charbon actif, biochar et zéolithe) dépend des polluants cibles et doit tenir compte des performances, des volumes nécessaires et de la fréquence de renouvellement.

En conclusion, le projet LIFE ADSORB démontre que la filière FPR avec matériau adsorbant est non seulement performante mais aussi économiquement attractive, tant en termes d'investissement que d'exploitation. Elle constitue une alternative durable, low-tech et modulable aux solutions conventionnelles, avec un rapport coût/efficacité particulièrement avantageux, notamment pour les collectivités cherchant à répondre aux enjeux réglementaires et environnementaux liés aux micropolluants.

De plus, le système est modulaire et extensible : il peut être déployé sous forme de plusieurs unités réparties sur le territoire, ce qui facilite son intégration même en milieu urbain dense.

Partie II : La transférabilité du projet

Cette partie est consacrée à présenter le volet transférabilité du projet LIFE ADSORB afin d'en promouvoir et exposer les résultats obtenus.

1. Le logiciel ORAGE

Afin de diffuser les améliorations apportées au logiciel ORAGE et d'en informer les acteurs du secteur de l'assainissement, trois workshops étaient initialement prévus : deux à l'échelle européenne et un à l'échelle nationale. Toutefois, en raison du retard global pris par le projet, ces ateliers n'ont pas pu être organisés. En effet, cette action a accusé plusieurs mois de retard, ce qui a conduit à un développement du logiciel seulement en 2025. Dans ces conditions, il n'était pas possible de le présenter dans le cadre des workshops prévus.

Pour pallier ce manquement, ces ateliers de présentation du logiciel ORAGE seront reprogrammés et réalisés dans le cadre de la phase « After Life » du projet, d'ici fin 2025. Il est prévu de réaliser deux webinaires nationaux en deux sessions de 2 heures et une formation en présentiel à Lyon.

2. Les instances d'échanges et de partage

Au cours de la première année du projet, deux instances de concertation devaient être mises en place : un groupe d'intérêt sur l'environnement routier et un comité consultatif. Leur rôle principal était de contribuer à l'avancement du projet par le biais de réunions annuelles.

Cependant, cette action n'a pas pu être réalisée pour plusieurs raisons. Dès le lancement du projet, la crise sanitaire mondiale a fortement perturbé son déroulement, rendant difficile, voire impossible, l'organisation de réunions dans des conditions optimales.

Par la suite, les absences prolongées de la cheffe de projet pour raisons de santé ont également freiné la mise en œuvre de cette initiative.

Au moment de son remplacement, il ne restait que peu de temps avant la fin du projet. Dans ce contexte, la création de ces groupes avait perdu tout son sens, puisque leur mission initiale, d'accompagner l'évolution du projet, n'était plus réalisable. Ainsi, en raison de ces multiples contraintes, les instances prévues n'ont finalement pas pu être instaurées.

3. Transfert des résultats

Les résultats du projet ont fait l'objet de nombreuses communications, sous forme d'articles scientifiques et de presse, ainsi qu'à l'occasion de colloques nationaux et internationaux spécialisés. Ces présentations ont principalement porté sur une vue d'ensemble du projet, ainsi que sur des résultats ciblés liés à la biodiversité, à l'acceptabilité du projet, à la qualité des sédiments et aux modélisations. L'ensemble de ces actions de communication est consigné dans des livrables spécifiques, qui détaillent les contenus présentés, les formats utilisés et les publics visés.

Par ailleurs, un site web a été mis en ligne en 2022 et complété régulièrement avec les résultats obtenus mais également par les actualités qui se passent sur le site ou dans la démarche du projet.

En revanche, peu de données sur la qualité de l'eau ont pu être diffusées au cours des premières années, en raison de difficultés rencontrées pour la réalisation des prélèvements sur site. Ces contraintes n'ont été résolues qu'au cours de l'année 2024.

Par ailleurs, les différents réseaux de partage, notamment le Cluster Eau Milieux et Sol, Eurocities, Aqua Publica Europea, 100 Resilient Cities et C40, n'ont pas été sollicités durant les premières années du projet. Toutefois, en avril 2025, une présentation a été réalisée dans le cadre d'un colloque organisé par le Cluster Eau Milieux et Sol, portant sur le thème de l'eau et des aménagements urbains. Cette intervention a permis d'exposer les objectifs du projet ainsi que les principaux résultats obtenus.

4. Infrastructure inspirée du projet Adsorb

En avril 2023, les équipes de la collectivité Paris Marne Est Bois ont visité le site du projet Adsorb afin d'évaluer la faisabilité de mettre en œuvre une solution similaire sur leur territoire pour le prétraitement des eaux pluviales issues de l'autoroute A4. Leur site concerné est situé à Joinville-le-Pont, dans le département du Val-de-Marne (Figure 1).

Les élus locaux, aiguillés par les services techniques, ont fait le choix de ce type de filière car elle présente un faible impact environnemental, un faible coût d'exploitation et représente un intérêt fort pour la recherche et l'expérimentation vis-à-vis du traitement des rejets routiers.

4.1. Dimensionnement du filtre

Faute de données suffisantes sur la qualité des effluents, les maîtres d'œuvre et d'ouvrage ont choisi de s'appuyer sur les enseignements des projets d'étude SEGTEUP et Adsorb pour dimensionner les filtres.

L'ouvrage de traitement a été dimensionné de sorte à :

- Traiter l'intégralité des effluents collectés pour une pluie d'occurrence de 3 mois.
- Permettre le transit d'une pluie d'occurrence de 30 ans dans l'ouvrage de traitement, sans engendrer de désordre hydraulique dans les réseaux et ouvrages situés en amont.
- Permettre l'infiltration d'une partie des eaux traitées dans la nappe.

La surface active du bassin versant considéré est d'environ 0,5 ha.

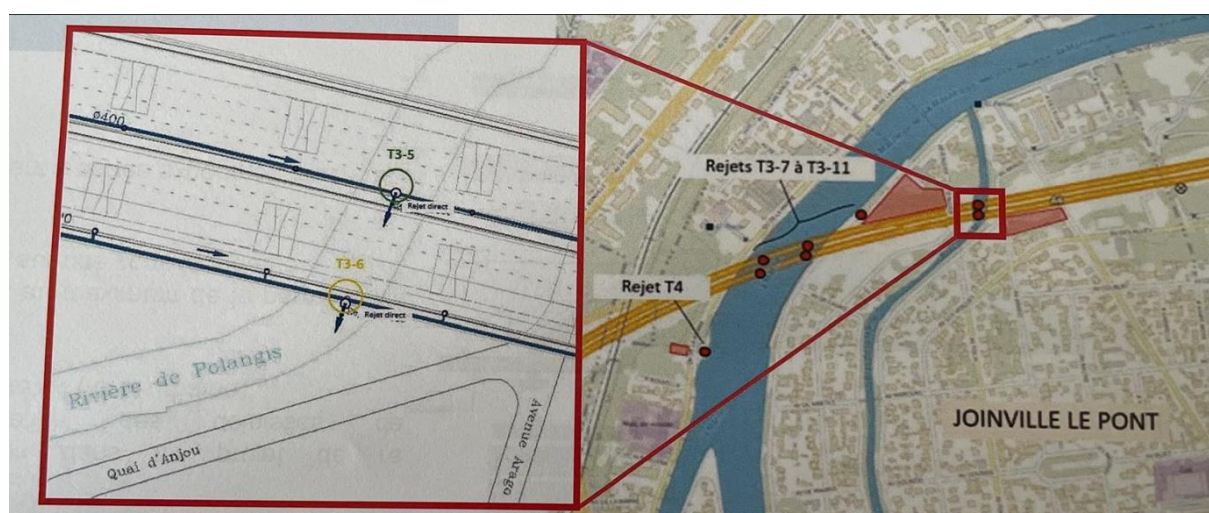


Figure 1 : Localisation du site

4.2. Cheminement des eaux

Les eaux pluviales de l'autoroute A4 s'engouffrent dans deux réseaux (un par voie de circulation), fixés en encorbellement sur l'ouvrage d'art, et descendent le long des deux piles les plus proches du pont (dégrillage/décantation).

L'ouvrage de dégrillage permet de dissiper l'énergie de traitement, de dégriller et décanter les eaux ruisselant sur le pont.

Les eaux traitées et surversées (au niveau des filtres) rejoignent un regard situé dans la parcelle en contrebas (à 1255 mm environ) avant de se déverser sur le premier filtre.

Au besoin, un by-pass permet d'alimenter les filtres plantés sans conduite (\varnothing DN500 mm) versant l'eau dans le milieu naturel (rue de Polangis) par une conduite.

La Figure 2 ci-après illustre la disposition de l'ensemble des ouvrages de traitement.

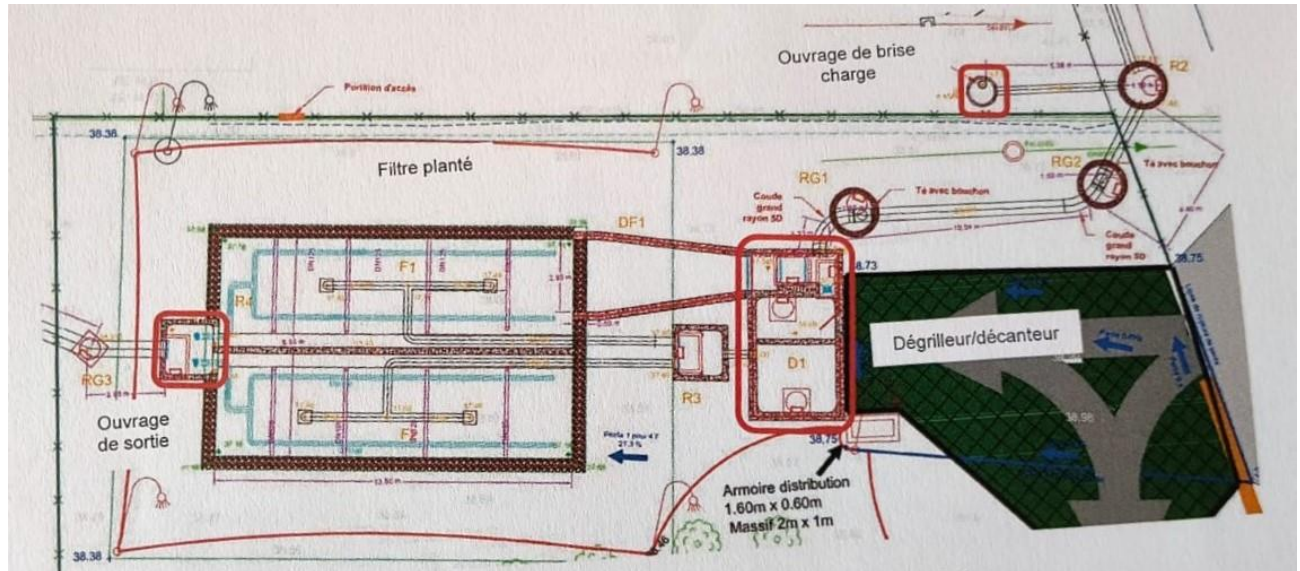


Figure 2 : Implantation du site (source : PEMB)

4.3. Description du filtre

Le filtre (Figure 3) est composé d'une succession de couches de substrat, dont les caractéristiques sont adaptées pour éviter leur remobilisation. Il est structuré de la surface au fond avec des couches de granulométrie de plus en plus élevée pour éviter une accumulation dans la couche de drainage : une couche de filtration puis une couche de transition et enfin une couche de drainage.

Le débit de fuite de l'ouvrage est limité par un tubage dans la conduite de fond du filtre. La position du conduit de rejet est surélevée par rapport au fond du filtre. La hauteur de surverse ainsi générée crée une réserve hydraulique utile pour garantir le fonctionnement du filtre en période de sécheresse.

Des conduites d'aération sont positionnées dans la couche de transition pour permettre l'oxygénation des bactéries et pour leur permettre aux macrophytes de résister aux épisodes de submersion.

Les drains qui conduisent les eaux traitées vers l'ouvrage de sortie sont situés dans la conduite de fond du filtre. La conduite d'alimentation du filtre est positionnée en périphérie du filtre à une cote altimétrique supérieure à la lame d'eau traitée en sortie.

Au-dessus de la couche de filtration, une rehausse permet le stockage de l'eau avant relâchement vers le compartiment by-pass.

Les conduites d'alimentation, de répartition, de vidange, de rejet et d'aération sont positionnées en-dessous de chaque conduite d'alimentation pour éviter l'érosion du filtre.

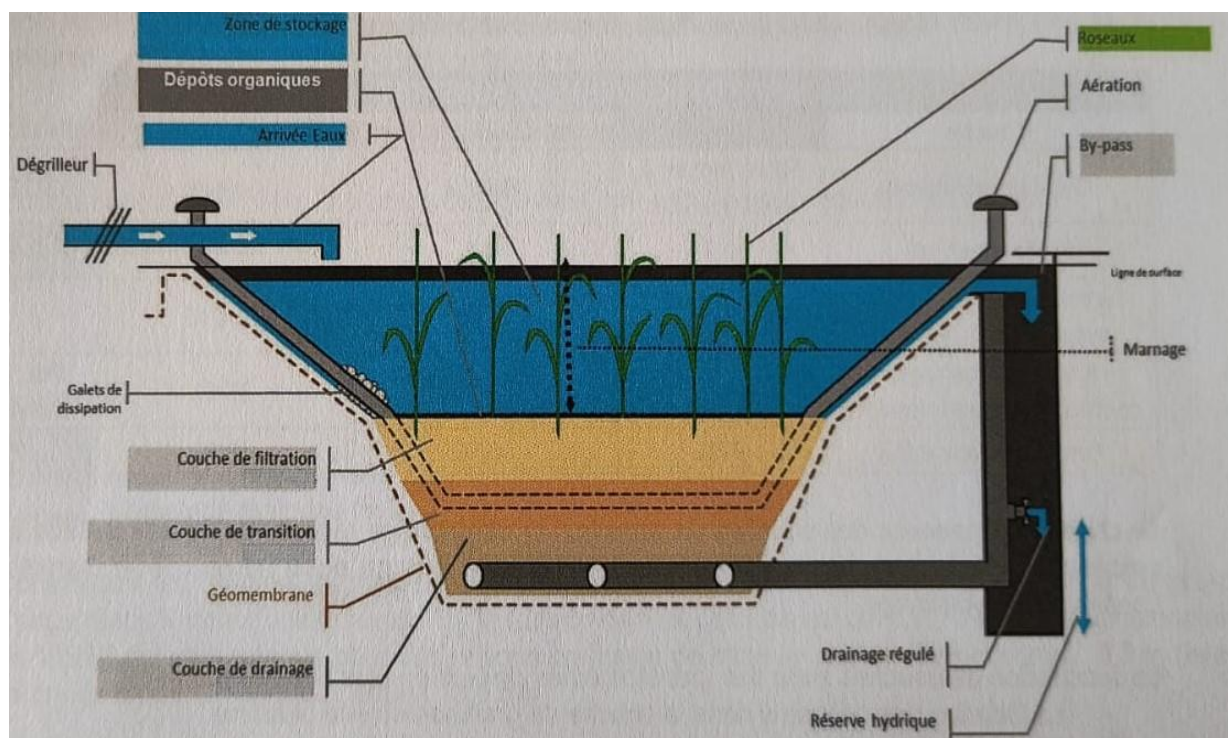


Figure 3 : Schéma de principe (source : PEMB)

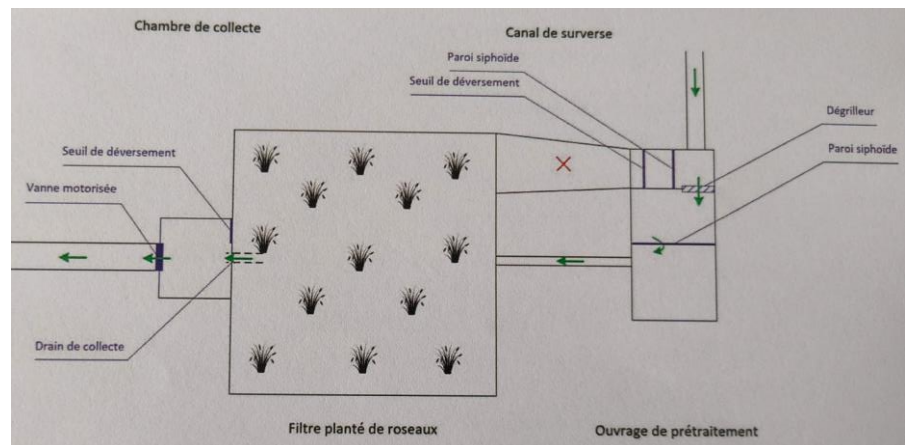
Les filtres peuvent stocker le volume ci-après :

	Filtre 1	Filtre 2	Total
Stockage dans les filtres (m³)	15,2	15,2	30,4
Stockage sur le filtre (m³)	9,6	9,6	19,1
Stockage total jusqu'à la cloison (m³)	24,8	24,8	49,6
Stockage total jusqu'au déversement (m³)	40,0	40,0	80,0

L'ouvrage peut être piloté de différentes façons en fonction du cas considéré (cf: illustrations - source : PEMB) :

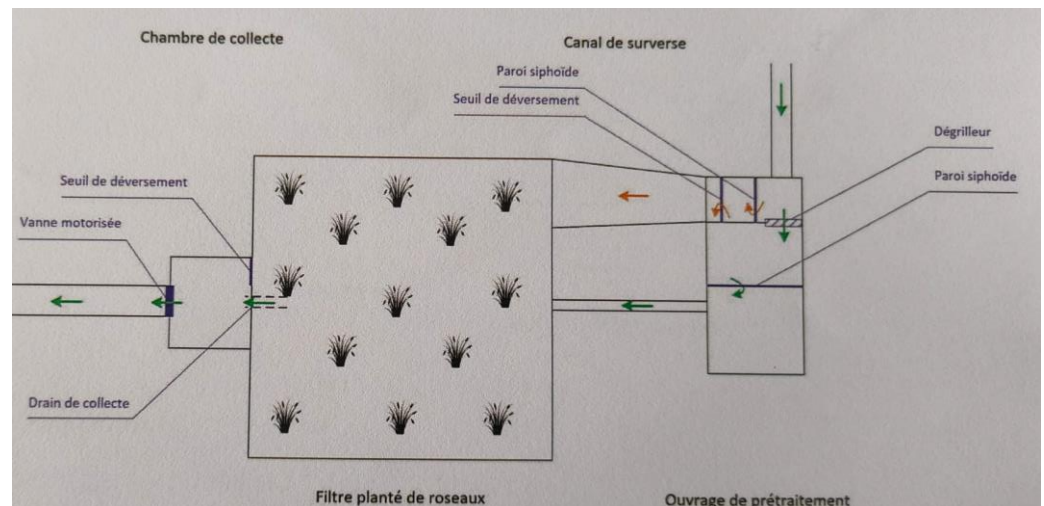
Fonctionnement optimal :

Pluies trimestrielles ou avec débit généré inférieur à 82 L/s

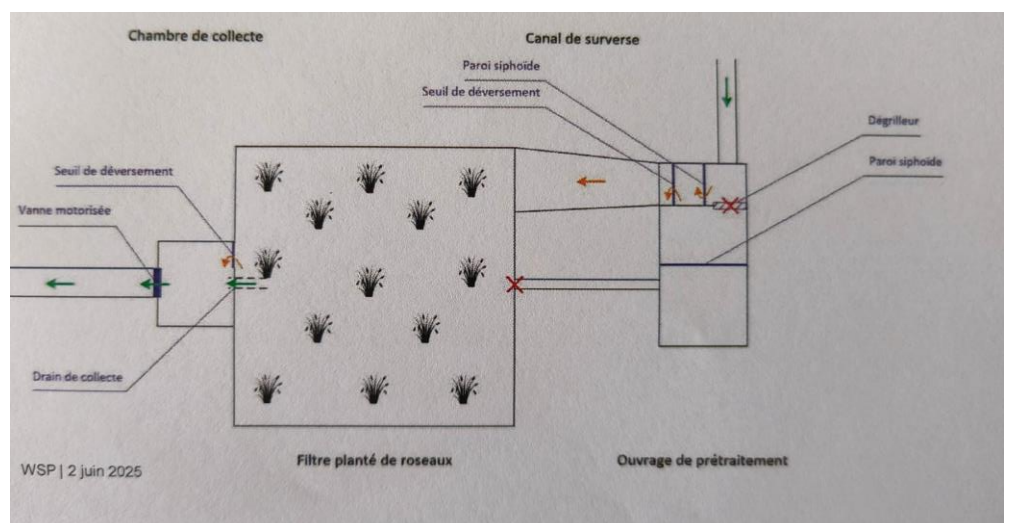


Fonctionnement surversé :

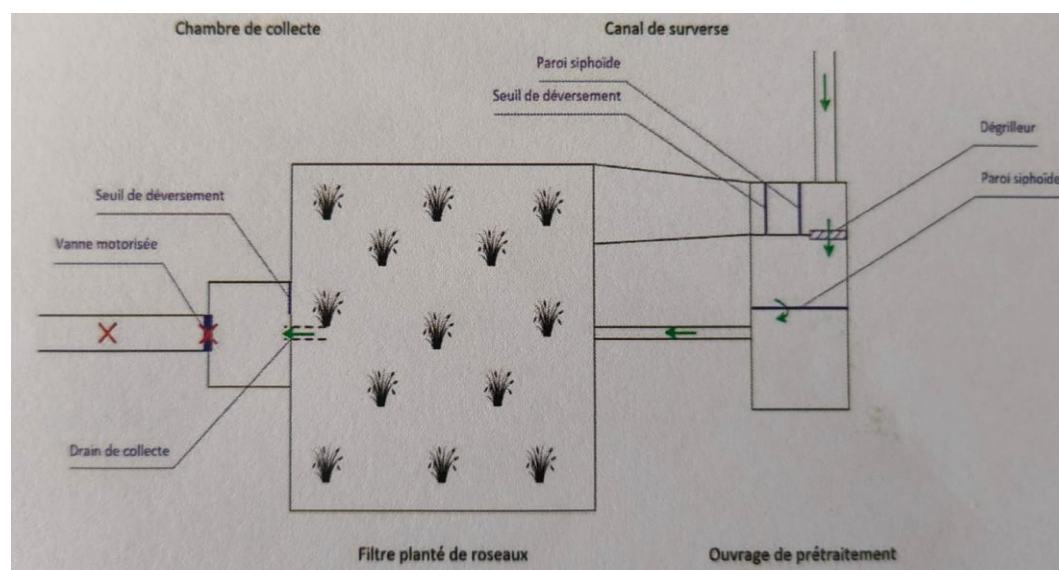
avec débit généré supérieur à 82 L/s



Modes dégradés : Dysfonctionnement dégrilleur/décanteur



Détection pollution accidentelle



4.4 Mise en service

La mise en service du site devrait débuter au cours de l'été 2025.



Figure 4 : Vue du filtre

4.5 Coût

Le projet, d'un montant de 2,1 millions d'euros, a été financé exclusivement par la collectivité et des aides de l'Agence de l'eau Seine Normandie.

4.6. Conclusion

Ce projet, bien que de moins grande envergure que les filtres du projet LIFE ADSORB, présente néanmoins des similitudes en termes de fonctionnement et d'infrastructure. La Ville de Paris et ses partenaires ont su valoriser leur initiative à travers une communication efficace, incitant ainsi d'autres collectivités locales à envisager des infrastructures similaires.

5. Conclusion générale

Le projet LIFE ADSORB confirme que les filtres plantés de roseaux, intégrant une couche adsorbante lorsque nécessaire, constituent une alternative crédible et durable aux solutions conventionnelles de traitement des rejets urbains de temps de pluie. Ils permettent de concilier performance environnementale, sobriété technologique, maîtrise des coûts et intégration paysagère, même dans des contextes urbains et environnementaux sensibles.

Les enseignements du projet montrent que le choix du matériau adsorbant doit être adapté aux objectifs de traitement (métaux, micropolluants organiques), en tenant compte du coût, de la disponibilité et de la durabilité des matériaux. Dans de nombreux cas, un filtre planté sans matériau adsorbant spécifique peut déjà offrir des performances satisfaisantes pour le prétraitement des eaux pluviales.

Grâce au développement du module micropolluants du logiciel ORAGE et à la production de guides techniques, le projet met à disposition des collectivités et des bureaux d'études des outils opérationnels facilitant la réplique et le dimensionnement de ce type d'infrastructure. Les retours d'expérience soulignent également l'importance d'un entretien régulier, d'un suivi analytique adapté et d'une anticipation de la gestion des sédiments pour garantir la pérennité des performances.

En conclusion, LIFE ADSORB apporte une réponse concrète, modulaire et transférable aux défis actuels de la gestion des eaux pluviales urbaines et des micropolluants. Il ouvre la voie à un déploiement plus large de solutions fondées sur la nature, en cohérence avec les objectifs européens de protection des milieux aquatiques et d'adaptation des territoires au changement climatique.