

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 C.2.1 : Life cycle analysis report**

### **Reporting date**

V1	June 2025
----	-----------



**ACV**



## **Rapport Action C.2 Evaluation de l'impact du filtre sur l'environnement.**

Auteur.e.s : Sara Leroy, Christelle Neaud



**Rapport d'étude**

août 2025

## **Le Cerema est l'expert public de l'adaptation des territoires au changement climatique**

**Il est l'unique établissement national dont la gouvernance est à pilotage partagé entre l'État et les collectivités territoriales avec plus de 950 collectivités adhérentes. Il est présent dans l'Hexagone et dans les Outre-mer grâce à ses 27 implantations et ses 2 500 agents.**

Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques et projets d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Le Cerema est un établissement public relevant du ministère de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation et du ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité, de la Forêt, de la Mer et de la Pêche.

## Résumé de l'étude

Le projet ADSORB cherche à tester de nouveaux modes de dépollution des eaux issues principalement du ruissellement pluvial du boulevard périphérique parisien avec de rares contributions d'eaux usées. Le présent livrable décrit l'Analyse de Cycle du Vie du système de filtres plantés de roseaux testé dans le cadre de ce projet afin d'évaluer, de la construction du système jusqu'à sa fin de vie, son impact potentiel sur l'environnement.

### 5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

<b>Analyse de cycle de vie</b>	
<b>Filtre planté</b>	
<b>Eaux pluviales</b>	
<b>Phase fin de vie</b>	
<b>Phase construction</b>	

## **Préambule à la lecture de cette étude :**

*L'Analyse de Cycle de Vie permet la quantification des impacts environnementaux potentiels et globaux d'un produit ou d'un service sur son cycle de vie. Cela signifie que les résultats présentés dans cette étude correspondent à des potentialités d'impacts environnementaux et que la prise en compte de la spécificité locale des milieux récepteurs aux impacts n'est pas réalisée par l'ACV. D'autres approches plus localisées, comme les études d'impact par exemple, peuvent fournir ces informations.*

*Malgré les nombreux intérêts présentés par cette méthode, il convient de rappeler que les résultats d'ACV sont fortement dépendants des choix méthodologiques réalisés (hypothèses, méthodes d'évaluation) et de la qualité des données. C'est pour cela que l'ensemble des choix méthodologiques sont explicités dans le présent rapport.*

# SOMMAIRE

---

Résumé.....	6
Abstract .....	7
Introduction.....	8
<b>1 Objectifs généraux et méthodologie.....</b>	<b>9</b>
1.1 Objectifs généraux – généralités.....	9
1.2 Point méthodologique.....	9
1.3 La revue critique.....	12
<b>2 ACV du site Bugeaud.....</b>	<b>13</b>
2.1 Description du site de Bugeaud .....	13
2.2 Caractéristiques du dispositif analysé .....	13
2.3 Mesures disponibles et données retenues .....	16
2.4 L'analyse du cycle de vie du filtre.....	18
2.4.1 Champs de l'étude de l'ACV .....	18
2.4.2 Sources données d'inventaire et hypothèses .....	20
2.5 Résultats ACV .....	25
2.5.1 Contribution des 4 étapes .....	26
2.5.2 Impacts environnementaux .....	27
2.5.3 Analyse de sensibilité .....	28
<b>3 Conclusion.....</b>	<b>30</b>
<b>4 Limites de l'étude.....</b>	<b>31</b>
<b>5 Sigles &amp; Abréviations .....</b>	<b>32</b>
<b>6 Bibliographie .....</b>	<b>33</b>
<b>7 Table des illustrations .....</b>	<b>34</b>

# RESUME

Le projet **Life Adsorb** vise à évaluer l'efficacité et l'impact environnemental d'un système de filtres plantés de roseaux destiné au traitement des eaux pluviales du boulevard périphérique parisien. L'**Analyse de Cycle de Vie (ACV)** réalisée dans le cadre de l'action C.2.4 du projet porte sur l'ensemble du dispositif implanté sur le site de Bugeaud, depuis la construction jusqu'à la fin de vie, en passant par l'exploitation et l'entretien.

L'ACV, menée selon la méthode **ReCiPe 2016**, utilise comme unité fonctionnelle le traitement d'1 kg de matières en suspension (MES) par an. Les données proviennent de mesures de qualité d'eau et de débits (2021-2025), d'informations techniques fournies par la Ville de Paris et de bases de données environnementales. Le dispositif, constitué de deux compartiments filtrants (sable seul ou sable + matériau adsorbant Rainclean®), traite environ **175 150 m<sup>3</sup> d'eau par an**, avec une rétention moyenne de **96 % des MES**, soit 17 880 kg/an.

Les résultats montrent que la **phase de fin de vie** est la plus impactante, principalement en raison de la gestion du massif filtrant et du Rainclean® saturés de polluants, générant des effets marqués sur la toxicité humaine, l'écotoxicité et le changement climatique. La **phase de construction** représente également une part importante des impacts, notamment pour l'acidification, l'écotoxicité terrestre et la consommation de ressources, du fait des quantités de matériaux et d'infrastructures mises en œuvre. Les émissions résiduelles contribuent surtout à l'eutrophisation des eaux douces, tandis que l'entretien a un impact environnemental limité.

Une analyse de sensibilité révèle que le choix de la filière de traitement en fin de vie du massif filtrant influe fortement sur les résultats, pouvant modifier jusqu'à 50 % certains indicateurs d'impact.

En conclusion, bien que le système assure une forte performance épuratoire, son impact environnemental global est dominé par la construction et surtout par la gestion de la fin de vie. L'étude recommande un **entretien régulier**, un **suivi qualitatif des substrats filtrants** et la recherche de **filières locales de valorisation** afin de réduire ces impacts. Les résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence en raison de certaines limites méthodologiques et de données, notamment l'absence de revue critique et le nombre restreint de prélèvements par temps de pluie.

# ABSTRACT

The **Life Adsorb** project aims to assess the efficiency and environmental impact of a reed bed filtration system designed to treat stormwater runoff from the Paris ring road. The **Life Cycle Assessment (LCA)** carried out under action C.2.4 of the project covers the entire installation at the Bugeaud site, from construction to end-of-life, including operation and maintenance.

The LCA, conducted using the **ReCiPe 2016** method, uses as its functional unit the treatment of **1 kg of suspended solids (SS)** per year. Data were sourced from water quality and flow measurements (2021–2025), technical information provided by the City of Paris, and environmental databases. The system, consisting of two filter compartments (sand only, or sand plus Rainclean® adsorbent material), treats approximately **175,150 m<sup>3</sup> of water per year**, with an average retention rate of **96% of SS**, equivalent to 17,880 kg/year.

Results show that the **end-of-life phase** is the most impactful, mainly due to the disposal of the filter media and Rainclean® saturated with pollutants, generating significant effects on human toxicity, ecotoxicity, and climate change. The **construction phase** also contributes substantially, particularly to terrestrial acidification, terrestrial ecotoxicity, and resource consumption, due to the large quantities of materials and infrastructure required. Residual emissions mainly contribute to freshwater eutrophication, while maintenance has a relatively limited environmental impact.

A sensitivity analysis reveals that the choice of disposal pathway for the filter media at the end-of-life stage strongly influences results, potentially changing some impact indicators by up to 50%.

In conclusion, while the system achieves high pollutant removal performance, its overall environmental impact is dominated by construction and especially end-of-life management. The study recommends **regular maintenance, qualitative monitoring of filter media**, and identifying **local recovery or recycling pathways** to reduce impacts. However, results should be interpreted with caution due to methodological and data limitations, including the absence of a critical review and the limited number of rainfall-event samples.



# INTRODUCTION

L'action C.2 a pour objectif d'évaluer l'impact global du prototype et de son fonctionnement sur les écosystèmes environnants du site. En effet, en complément du bénéfice apporté par le prototype de par son rôle dans la rétention et la dépollution des eaux pluviales, doit être également considéré son impact sur l'environnement existant. Dans ce contexte spécifique au projet lié à un environnement préservé d'espace boisé classé et de réservoir de biodiversité, cet aspect est essentiel à la démonstration recherchée dans le projet Bugeaud, à savoir la compatibilité des enjeux du traitement des eaux pluviales et ceux de la préservation de la biodiversité et du patrimoine.

L'action C.2 se compose en 4 parties :

- C.2.1 Etat initial
- C.2.2 Impact du chantier et du prototype sur l'environnement du site démonstrateur
- C.2.3 Impact du filtre sur son environnement
- C.2.4 Analyse du cycle de vie

**Ce livrable ne traite que de la partie C.2.4 : Analyse du cycle de vie (ACV).** L'ACV réalisée dans le cadre de cette étude permettra d'évaluer les impacts environnementaux potentiels globaux du procédé expérimenté de sa construction jusqu'à sa fin de vie et d'identifier les éventuelles pistes d'amélioration du prototype.



Les difficultés rencontrées durant la phase d'utilisation, comme le faible nombre de prélèvements effectués par temps de pluie, la défaillance du merlon, ..., ne permettent pas de réaliser une ACV uniquement avec les données par temps de pluie et empêche également la comparaison entre les 2 compartiments du filtre. Ces difficultés sont expliquées en détail dans le livrable C.1.1 efficacité épuratoire du prototype de l'action C.1.

L'ACV sera donc réalisée sur le filtre dans sa globalité sans distinction entre les compartiments F1 et F2, par temps de pluie et temps sec.

# 1 OBJECTIFS GENERAUX ET METHODOLOGIE

## 1.1 Objectifs généraux – généralités

Le dispositif évalué dans le cadre de ce projet est un système de rétention et de dépollution des eaux pluviales, visant en priorité à maîtriser les rejets par temps de pluie.

Toutefois, cette maîtrise à la source des flux hydrauliques et des polluants est obtenue au prix d'autres impacts environnementaux qui se produisent lors de la construction, l'exploitation, l'entretien et le démantèlement de ces systèmes dans leur globalité. L'ACV, méthode normalisée, va permettre de quantifier ces impacts sur l'environnement tout au long du cycle de vie des différents systèmes, « du berceau à la tombe ».

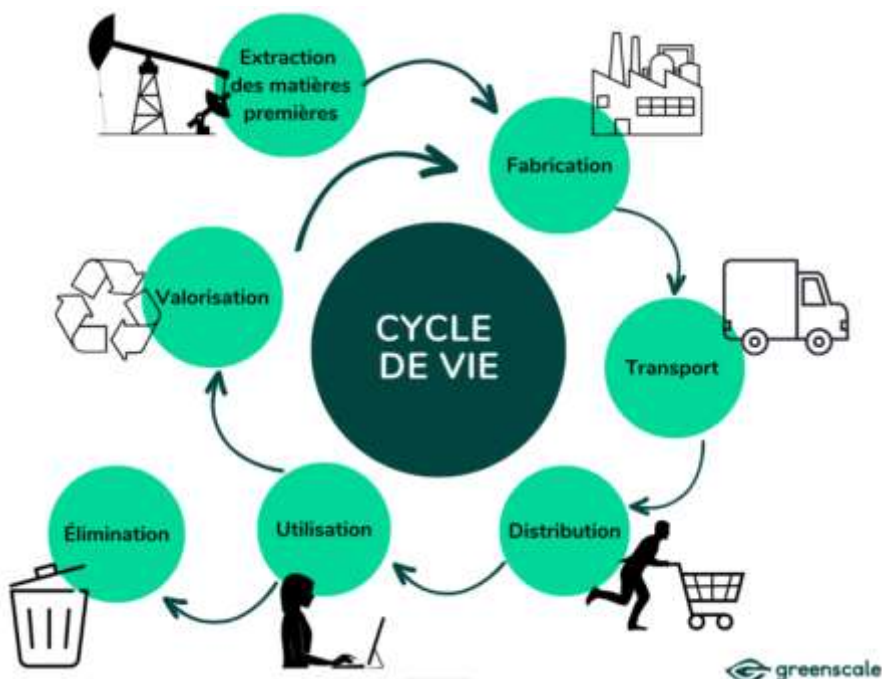
Les objectifs de cette ACV sont les suivants :

- Identifier les contributions respectives des différentes étapes du cycle de vie ;
- Identifier les principaux impacts environnementaux ;
- Proposer des pistes d'amélioration du système dans une approche d'écoconception de ces ouvrages.

## 1.2 Point méthodologique

L'ACV est une approche internationalement reconnue et normalisée ( **ISO 14040, 2006** ) et ( **ISO 14044, 2006** ) permettant d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement de produits et services tout au long de leur cycle de vie, de l'extraction des matières premières à leur gestion en fin de vie, en incluant notamment les transports, la production et l'utilisation.

L'illustration ci-contre rend compte des étapes du cycle de vie d'un produit.



Elle se décline généralement en **4 étapes successives** :

**1- Définition des objectifs et du champ de l'étude** : cette première étape de l'ACV est essentielle, car elle permet de déterminer les fondations même de l'étude. Les objectifs doivent être précisés ainsi que l'application prévue de l'étude, les raisons pour lesquelles elle est menée et à qui sont destinés les résultats. Le service rendu ou la fonction du système est ensuite défini (par exemple : collecter les eaux de pluie ; évacuer les eaux de pluie ; assurer le traitement des eaux de pluie...) ainsi que l'unité fonctionnelle, performance quantifiée du système, destinée à être utilisée comme unité de référence pour la suite de l'étude (par exemple : m<sup>3</sup> d'eau de ruissellement urbain collectée, m<sup>3</sup> d'eau de ruissellement urbain traitée, kg de polluant abattu, etc.). D'une manière générale, l'unité fonctionnelle doit contenir une composante fonctionnelle, un critère de performance et une durée.

**2- Réalisation du bilan des flux entrants et sortants** : l'inventaire des flux permet de décrire quantitativement les flux de matières, d'énergie et de polluants qui traversent le système. Le système est ainsi décomposé en procédés élémentaires pour lesquels les intrants et les émissions sont déterminées. Une agrégation des émissions d'une même substance est ensuite réalisée, le principe étant que l'impact d'une substance est lié à ses propriétés intrinsèques et non aux modes d'émission ou au milieu récepteur : ce qui est bien sûr une approximation afin de simplifier la modélisation.

**3- Détermination des impacts environnementaux** : l'inventaire ainsi dressé répertorie souvent **plusieurs** dizaines de flux de matières et d'énergie consommées et rejetées, **difficilement lisibles et exploitables**. Ainsi, afin de pouvoir interpréter et exploiter les résultats de l'inventaire, il convient de traduire ces flux entrants et sortants en impacts environnementaux grâce à des méthodes de calcul développées en ACV. Selon ces méthodes, différentes catégories d'impacts sont utilisées pour répondre aux objectifs de l'étude tels que l'épuisement des ressources naturelles, l'occupation des sols, le changement climatique, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la toxicité, la formation d'ozone troposphérique, l'eutrophisation ou encore l'acidification.

Il **convient ensuite** de choisir des indicateurs pour chaque catégorie d'impact. **Ces indicateurs vont permettre d'évaluer la contribution de chaque flux du bilan à chaque catégorie d'impact.**

Les modélisations des différents niveaux d'impact d'une substance (mécanismes environnementaux) sont également dissemblables selon la méthode choisie : sont distinguées 2 grandes catégories de méthodes d'évaluation en fonction de ce niveau :

- Les méthodes dites « orientées problèmes » (Midpoint) (CML Baseline 2001, EDIP 1997 ou 2003, IMPACT Word+) modélisent l'impact proche du flux environnemental et ne concernent donc qu'une partie du mécanisme environnemental. L'avantage est de limiter l'incertitude, cependant la pertinence de ces indicateurs en termes de communication est relativement limitée puisque l'indicateur de catégorie représente un potentiel d'impact lié à des émissions...
- Les méthodes dites « orientées dommages » (Endpoint) (Eco-Indicateur 99, EPS, IMPACT Word+) modélisent l'impact relativement loin dans le mécanisme environnemental puisqu'elles décrivent les dommages sur la santé humaine, les ressources et les écosystèmes. Ces indicateurs présentent plus de pertinence en matière de communication mais leur modélisation est plus incertaine du fait de la complexité du mécanisme et des difficultés à les modéliser.

- Pour la catégorie d'impact « réchauffement climatique » : l'indicateur de catégorie en méthode Endpoint est le dommage sur la santé humaine, avec des difficultés pour considérer tous les effets potentiels sur la santé humaine comme les déplacements de population par exemple dus à la montée des eaux.

Dans le cadre de cette étude, la méthode ReCiPe 2016, **mise à jour de la méthode ReCiPe 2008, - (Goedkoop et al., 2009)**, a été retenue. **Elle fournit des facteurs de caractérisation représentatifs de l'échelle mondiale, plutôt que de l'échelle européenne et intègre le modèle de toxicité/écotoxicité d'USEtox.** Elle combine également les approches d'impact intermédiaire et de dommages basés sur 2 méthodes d'analyse : la méthode CML (Guinée et al., 2002) comme approche d'impact intermédiaire et la méthode Ecoindicator 99 (Goedkoop et Spriensma, 1999) comme approche de dommages. La méthode d'évaluation d'impact ReCiPe s'appuie sur différentes perspectives et approches de pondération. En général, ReCiPe propose plusieurs options basées sur des perspectives sociales, notamment :

- Perspective individualiste (I), qui se fonde sur l'intérêt à court terme, les types d'impacts incontestés, l'optimisme technologique en ce qui concerne l'adaptation humaine ;
- Perspective hiérarchiste (H), qui se fonde sur les principes politiques les plus courants en matière de calendrier et d'autres questions ;
- Perspective égalitaire (E), qui est la perspective la plus prudente qui prend en compte la période la plus longue et les types d'impact qui ne sont pas encore complètement établis mais pour lesquels certaines indications sont disponibles.

Le modèle « Hiérarchiste » (H), souvent rencontré dans les modèles scientifiques, est considéré comme le modèle par défaut. Il est à noter que l'impact des produits toxiques est sujet à de fortes incertitudes, or cette ACV implique un certain nombre de ces polluants : il faudra donc analyser avec précaution les résultats finaux.

Un jeu d'indicateurs Midpoint a été choisi en fonction des principales problématiques environnementales des systèmes de dépollution des eaux pluviales à savoir la consommation de ressources, la production de boues et de sédiments/dépôts ainsi que les rejets dans le milieu :

✓ **Changement climatique** – CC : indique le potentiel de réchauffement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre sur un horizon temporel de 100 ans. L'indicateur est exprimé en kg équivalent (éq.) CO<sub>2</sub>.

✓ **Toxicité humaine cancérigène et non cancérigène** – HcT et Hc-nT : indique le potentiel de toxicité sur l'homme induit par l'émission dans l'environnement de substances susceptibles de créer des dommages sur la santé. Cet impact s'exprime en kg éq. 1,4 DCB dans l'air urbain, le sol et l'eau.

✓ **Écotoxicité terrestre, aquatique et marine** – TET – FET – MET : indique le potentiel de toxicité sur les milieux terrestres, aquatiques (eaux douces de surface) et marins par l'émission dans l'environnement de substances toxiques. Ces impacts s'expriment en kg éq. 1,4 DCB dans l'air urbain, le sol et l'eau.

✓ **Acidification terrestre** – TA : indique le potentiel d'acidification des milieux (sols et eaux de surface) induit par les émissions de substances acidifiantes principalement dans l'air. Ces émissions sont notamment à l'origine du phénomène des pluies acides. Des substances comme les sulfates, les nitrates ou les phosphates peuvent ainsi perturber le développement de la végétation, pour laquelle un optimum d'acidité est clairement défini. Cet impact s'exprime en kg éq. SO<sub>2</sub>.

✓ **Eutrophisation aquatique** – F-Eu et M-Eu : l'eutrophisation d'un milieu aqueux (eau douce ou mer) est la conséquence d'un apport de nutriments d'origine anthropique. Ces nutriments sont le plus souvent introduits sous la forme de produits phosphatés ou azotés. Ces substances induisent notamment la prolifération d'algues qui mettent en danger la biodiversité du milieu en privant le reste des organismes végétaux de CO<sub>2</sub> et de lumière. L'unité retenue est le kilogramme d'équivalent phosphore (eau douce) (kg éq. P). et kilogramme d'équivalent en azote (marine) (kg éq. N)

✓ **Pénuries des ressources** – FD et MD : ces indicateurs traitent seulement des ressources non renouvelables (minérales et fossiles). La catégorie épuisement des ressources minérales couvre seulement les métaux. L'épuisement des ressources minérales est exprimé en kg de cuivre et l'épuisement des ressources fossiles en kg éq. pétrole.

ReCiPe permet également une agrégation en 3 classes de dommages plus simples à interpréter :

- ✓ Dommages sur la **santé humaine** (en années équivalentes de vie perdue ou DALY)
- ✓ Dommages sur les **écosystèmes** (en perte d'espèces par année ou species. yr)
- ✓ Disponibilité des **ressources** (en coût accru pour extraire les ressources ou \$).

Ces indicateurs Endpoint seront également utilisés dans le cadre de cette étude.

**4- Interprétation des résultats** : c'est la dernière partie d'une ACV au sens de la norme ISO 14 040 Elle a pour objectifs de contrôler la validité des trois précédentes parties, notamment la validité des hypothèses (analyse de sensibilité), l'incertitude introduite dans l'inventaire, la cohérence des méthodes et des données par rapport aux objectifs de l'étude et d'interpréter les résultats obtenus par rapport aux objectifs de l'étude en apportant des recommandations voire des pistes d'amélioration.

**L'ensemble de la méthode sera implémenté dans le logiciel d'ACV : SIMAPRO version 9.6.0.1**

## 1.3 La revue critique

La revue critique est un processus permettant de vérifier si une Analyse du Cycle de Vie a satisfait aux exigences de méthodologie, de données, d'interprétation et de communication et si elle est conforme aux principes de la méthodologie tels qu'ils sont indiqués par les normes en vigueur ( **(ISO 14040, 2006)** et **(ISO 14044, 2006)**).

Elle est nécessaire dans les cas de comparaison et de diffusion des résultats.

La revue critique prévue dans ce projet n'a pas pu être réalisée, faute de temps, les résultats des concentrations en polluants ayant été disponibles en fin de projet.



## 2 ACV DU SITE BUGEAUD

### 2.1 Description du site de Bugeaud

Le système étudié se trouve dans le bois de Boulogne, dans le 16<sup>ème</sup> arrondissement de Paris depuis l'avenue du Mahatma Gandhi, un peu avant la porte de Madrid jusqu'à la mare Saint-James.

Il est décomposé en trois ouvrages :

- le regard d'accès de la partie amont du déversoir d'orage (DO) Bugeaud dit P115 (❶) qui permet d'accéder au réseau en amont de la station de pompage. Ce réseau constituant le déversoir d'orage Bugeaud a pour but de drainer les eaux de ruissellement et de relevage du boulevard périphérique et de reprendre les surverses de quatre égouts.
- la station de pompage (❷) : l'eau transitant par l'ouvrage P115 est stockée dans la station de puis pompée vers le filtre. Cette eau peut avoir plusieurs origines (eaux claires parasites par temps sec ; eaux pluviales provenant du boulevard périphérique par temps de pluie ; mélange d'eaux pluviales et d'eaux usées provenant du déversoir d'orage pour des événements pluvieux exceptionnels.)
- le filtre planté (❸) de roseaux reçoit, traite et rejette l'eau de la station de pompage à débit régulé dans la Seine via la mare Saint-James.

La Figure 1 : localisation des trois ouvrages du système étudié.

précise la localisation de ces ouvrages.



Figure 1 : localisation des trois ouvrages du système étudié.

### 2.2 Caractéristiques du dispositif analysé

Le dispositif du site de Bugeaud comprend un by-pass, une vanne secteur, une vanne murale, un dégrilleur, la station de pompage (dite bêche), le filtre planté et les ouvrages d'entrée et de sortie du filtre.

Pour cette étude, seuls les éléments allant de la bache à l'ouvrage de sortie ont été pris en compte, correspondant à la zone encadrée dans la Figure 2 ci-dessous. Les éléments en amont de la bache sont donc exclus, car n'entrant pas dans le dispositif de suivi analytique du système.

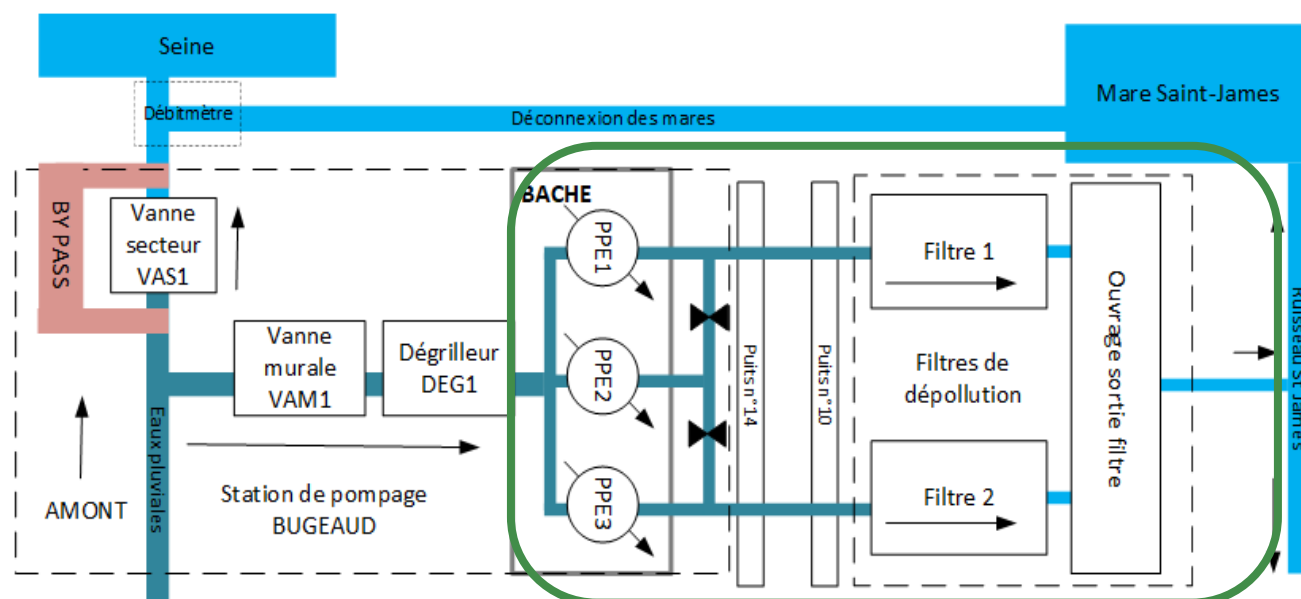


Figure 2 : Ouvrages retenus du site de Bugeaud pour l'étude

Le filtre planté de roseaux est constitué de deux compartiments ou massif filtrant (Figure 3) :

- le compartiment F1 d'une surface d'environ 600 m<sup>2</sup> comportant une couche filtrante de 40 cm de sable fin (Tableau 1) ;
- le compartiment F2 d'une surface d'environ 600 m<sup>2</sup> comportant une couche filtrante composée de haut en bas de 10 cm de sable fin, de 20 cm de Rainclean®<sup>1</sup> et de nouveau de 10 cm de sable fin (Tableau 2).

Il est à noter que chaque compartiment doit respecter une période de repos. Ils sont donc alimentés de manière alternative pour une durée de 1 mois.

<sup>1</sup> Rainclean® : matériau innovant permettant de traiter la pollution dissoute

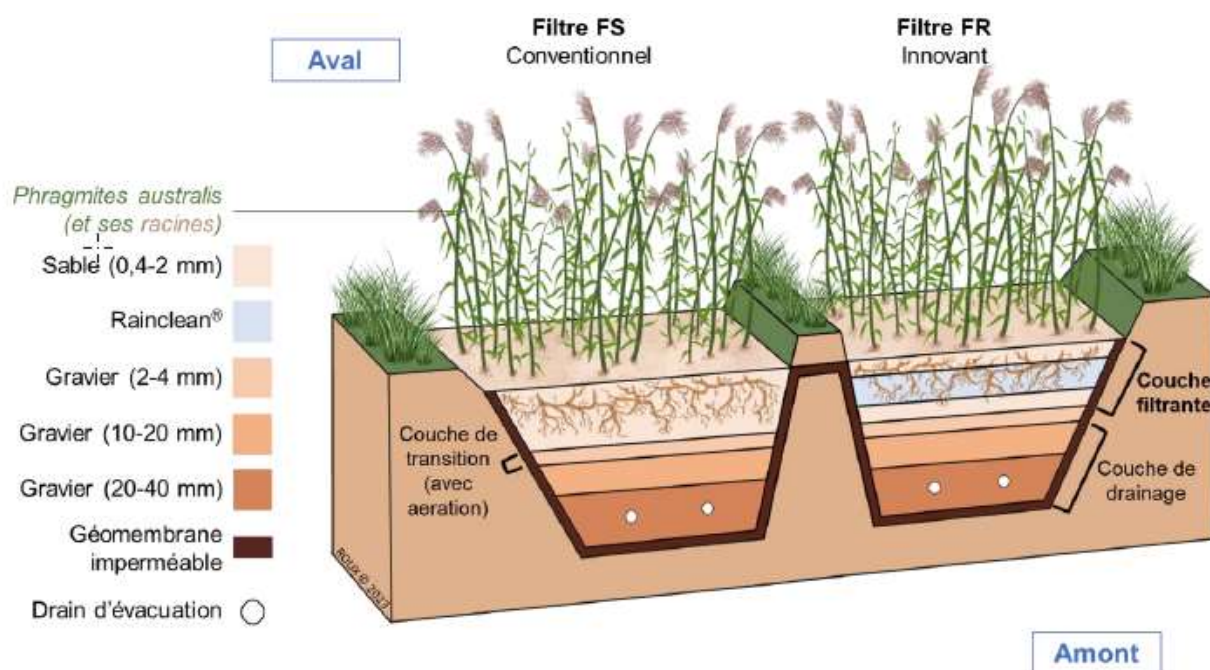


Figure 3 : Coupe du filtre planté de roseaux à écoulement vertical (Roux, 2023)

Couche	Matériau	Granulométrie (nm)	Hauteur (cm)
Couche filtrante	Sable fin	$d_{10}$ entre 0.4 et 0.7	40
Couche de transition	Gravier	2-4	10
Couche drainante	Gravier	10-20	20
	Gravier	20-40	30

Tableau 1: Epaisseur et granulométries des couches du massif filtrant du compartiment F1

Couche	Matériau	Granulométrie (nm)	Hauteur (cm)
Couche filtrante	Sable fin	$d_{10}$ entre 0.4 et 0.7	10
	Matériau adsorbant type Rainclean® de chez Funke ou équivalent		20
	Sable fin	$d_{10}$ entre 0.4 et 0.7	10
Couche de transition	Gravier	2-4	10
Couche drainante	Gravier	10-20	20
	Gravier	20-40	30

Tableau 2 : Epaisseur et granulométries des couches du massif filtrant du compartiment F2

Le projet initial prévoyait de réaliser une ACV pour chaque compartiment et de les comparer. En raison de différentes difficultés rencontrées lors du fonctionnement du dispositif et des incertitudes de mesures des volumes d'eau et de la qualité des eaux analysées, ce plan a dû être révisé (se référer au livrable C.1.1 efficacité épuratoire du prototype de l'action C.1 pour plus de détails : nombre de prélèvements effectués par temps de pluie insuffisant, défaillance du merlon entraînant la non séparation de l'eau traitée dédié à chaque compartiment, incertitude de la mesure du flux en sortie de filtre...).

Par conséquent, pour assurer la cohérence de l'ACV avec les contraintes identifiées, la comparaison entre les 2 compartiments ne sera pas effectuée.

L'évaluation portera donc sur l'ensemble du filtre, sans distinction entre les compartiments 1 et 2.



## 2.3 Mesures disponibles et données retenues

Dans le cadre du projet Life Adsorb, différents paramètres ont été analysés tels que les paramètres globaux (MES, NK, Ptot, ...), les métaux (Cu, Pb, Zn ...), les micro-polluants organiques (HCT, HAP, alkylphénols, Bisphénol A), les paramètres bactériologiques (Escherichia coli, entérocoques intestinaux, ...). Les analyses ont été réalisées sur le dissous, le particulaire ou le total. Pour cette étude, seules les données en concentrations totales ont été prises en compte afin d'avoir une évaluation globale de la pollution.

Bien que le filtre est en fonctionnement depuis février 2021, la période d'acquisition des données (qualité et hydraulique) est hétérogène mais les valeurs retenues dans les calculs sont ramenées à une année moyenne :

- a) les données analytiques s'étalent d'octobre 2022 à mars 2025 avec :
- 16 évènements à l'entrée du filtre (sortie de bêche) dont 3 par temps de pluie ;
  - 19 évènements à la sortie du filtre dont 5 par temps de pluie.

Toutes les campagnes de mesures sur les concentrations en polluants prises en compte dans cette étude (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ont été retenues pour l'ACV à l'exception de deux valeurs aberrantes pour les paramètres MES et Pb en sortie du filtre. Les données brutes sont présentées dans le rapport C.1.1 efficacité épuratoire du prototype de l'action C.1.

	Liste paramètres pris en compte dans l'étude
Paramètres globaux	MES
	COT
	Pt
Métaux	Zn
	Cu
	Cd
	Pb
	Ni
	Cr
HCT	HCT
alkylphénols	BisphénolA
HAP	Somme des 16 HAP

Tableau 3 : liste des micropolluants du projet Life Adsorb pris en compte dans l'étude

Seules les données de sortie de bêche et de filtre ont été prise en compte (les données amont P115 ayant été écartées en raison d'une probable décantation et remise en suspension des MES dans la bêche de pompage) pour calculer les concentrations moyennes en entrée et sortie du filtre (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les difficultés rencontrées durant la phase d'utilisation, notamment le faible nombre de prélèvements réalisés par temps de pluie ne permettent pas de réaliser une ACV basée uniquement sur ces données. Il a donc été décidé de conserver l'ensemble des données, qu'elles soient issues de temps de pluie ou de temps sec afin de calculer les concentrations moyennes annuelles en entrée et sortie du filtre. Ces concentrations ont été calculées à partir d'une loi Log normale appliquée à l'ensemble des événements.

Paramètre	Concentration moyenne Entrée filtre	Concentration moyenne Sortie Filtre
MES	106 mg/L	4 mg/L
COT	4,90 mg/L	4,68 mg/L
Pt	0,9 mg/L	<0,5 mg/L
Zn	0,80 µg/L	<0,4 µg/L
Cu	14,60 µg/L	2,45 µg/L
Cd	90,10 µg/L	3,43 µg/L
Pb	8,44 µg/L	1,75 µg/L
Ni	27,01 µg/L	0,79 µg/L
Cr	224,07 µg/L	12,45 µg/L
HCT	4,86 µg/L	<0,15 µg/L
BisphénolA	0,14 mg/L	<0,05 mg/L
Somme des 16 HAP	44,6 ng/L	39,2 ng/L

Tableau 4 : concentrations moyennes retenues en entrée et sortie de filtre.

b) Les données de flux hydraulique ont été traitées du 1<sup>er</sup> mai 2021 au 31 décembre 2023.

le flux hydraulique moyen annuel (V annuel) reçu par le système est calculé grâce aux débitmètres mis en place.

Au vu des incertitudes sur la valeur du flux de sortie, la mesure de flux en sortie de bêche a été jugée plus fiable, ce qui a conduit à considérer que le débit en entrée du filtre est égal à celui en sortie du filtre.

Le Tableau 5 présente les volumes annuels calculés en sortie de bêche pendant cette période.

Volume total annuel moyen	m <sup>3</sup> /an
passé dans le filtre	175150
passé dans F1	84310
passé dans F2	90840
passé dans le filtre par temps sec	109460
passé dans F1 par temps sec	52980
passé dans F2 par temps sec	56480
passé dans le filtre par temps de pluie	65690
passé dans F1 par temps de pluie	31370
passé dans F2 par temps de pluie	34320

Tableau 5 : valeurs volumes annuels moyens passés dans le filtre

Le calcul de ce V annuel repose sur les données disponibles en distinguant temps sec et temps de pluie. Le flux utilisé considère l'ensemble du suivi de 2021 à 2023. Les données brutes sont présentées dans le rapport C.1.1 efficacité épuratoire du prototype de l'action C.1. De plus, l'ACV est réalisée sur l'ensemble du filtre sans distinction entre les compartiments F1 et F2. Il a été donc considéré que le flux annuel en sortie est égal au flux annuel en entrée soit 175150 m<sup>3</sup>.

## 2.4 L'analyse du cycle de vie du filtre

### 2.4.1 Champs de l'étude de l'ACV

#### 2.4.1.1 Fonction et unité fonctionnelle

Pour rappel, le dispositif du projet Life Adsorb est un système de rétention et de dépollution des eaux pluviales, visant en priorité à maîtriser les rejets par temps de pluie.

En conséquence, l'ACV du système porte sur la fonction de traitement des effluents par temps de pluie et par temps sec du bassin-versant du site de Bugeaud. Il correspond donc à l'objectif de réduire efficacement les charges polluantes des eaux pluviales rejetées en milieu naturel.

Les études sur la pollution des eaux de ruissellement routières ont mis en évidence qu'une fraction importante des polluants était associée aux particules présentes dans les eaux (pour les polluants classiques Hvitved-Jacobsen *et al.* (2010), pour les HAPs Liu *et al.* (2016)) et que la décantation et la filtration des eaux pouvaient être des procédés de traitement efficace des eaux de ruissellement : c'est sur cette base que les systèmes d'assainissement tels que les noues, fossés et bassins ont été développés (Branchu et al, 2013).

Le guide technique sur la pollution routière (SETRA, 2007) avait d'ailleurs déjà mis en avant que « la majorité de la pollution émise se fixe sur les matières en suspension (MES) qui proviennent

essentiellement de l'usure des pneumatiques, de la corrosion des véhicules et de l'usure de la chaussée ».

Les MES semblent donc représentatives de la charge polluante présente dans les eaux de ruissellement routières en entrée des systèmes de traitement. Il est donc proposé d'évaluer les impacts environnementaux relatifs au traitement d'1 kg de MES par an. La qualité du traitement réalisé par l'ouvrage est prise en compte dans la qualité des rejets du système dans les eaux de surface, l'air, les sédiments, ce qui permet de comparer différents systèmes n'ayant pas exactement les mêmes performances de traitement, mais ayant des charges de polluants en entrée équivalente.

#### 2.4.1.2 Périmètre du système

La Figure 4 représente le périmètre du système incluant la station de pompage, l'entrée et la sortie du filtre, le filtre avec les compartiments F1 et F2, les canalisations entre la station de pompage et le filtre et les canalisations entre la sortie du filtre et de l'ouvrage de sortie.

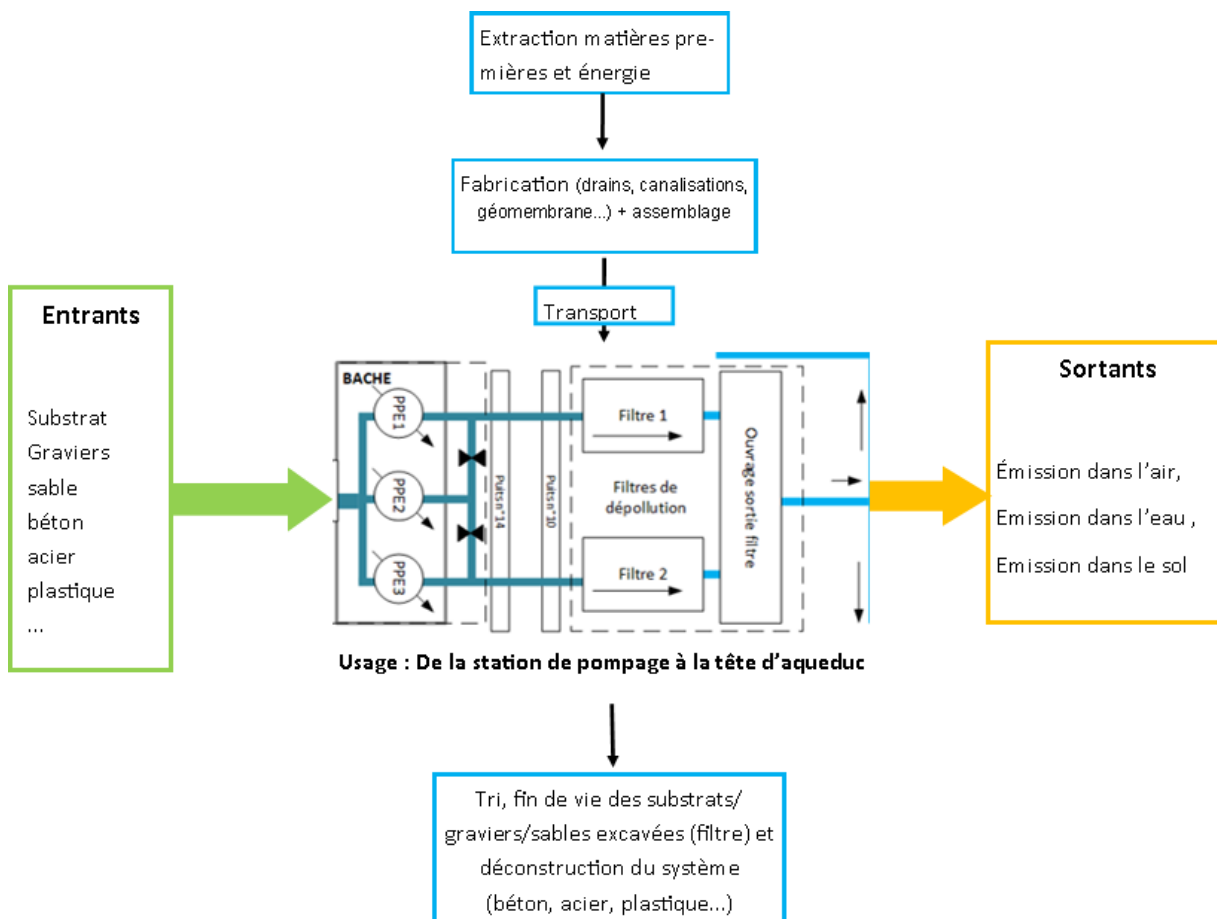


Figure 4 : périmètre du système du site de Bugeaud

Les équipements analytiques (débitmètres, préleveurs automatiques réfrigérés...) ne sont pas intégrés à l'ACV car ils ont été installés dans le cadre de l'expérimentation et ne sont pas indispensables au bon fonctionnement du système. Seules les sondes piézométriques sont intégrées, car elles sont essentielles à son bon fonctionnement.

### **2.4.1.3** *Etapas du cycle de vie*

Au sein de ce périmètre, les étapes suivantes du cycle de vie sont prises en compte et seront modélisées dans le logiciel d'ACV SimaPro.

- 1 – La construction du système : excavation de la terre, réalisation de l'ouvrage (matériaux constructifs du système globale : massif filtrant + ouvrages associés (acier, bois, plastique, béton...) – transport associé).
- 2 – L'entretien et la maintenance : cette étape correspond aux travaux d'entretien et à la maintenance comme le faucardage des roseaux présents sur le filtre.
- 3 – Les émissions vers l'écosphère (dans l'eau, l'air et le sol) : le suivi des performances dépolluantes du dispositif réalisé dans le cadre du projet Life Adsorb est intégré dans l'analyse du cycle de vie.
- 4 – La fin de vie : démantèlement total du système incluant la fin de vie des composants du système (mise en centre de stockage de déchets) ainsi que le transport des déchets à leur lieu de valorisation ou d'élimination.

### **2.4.1.4** *Règles d'affectation*

Les processus donnant lieu à la production de coproduits comme les dépôts ont été modélisés par extension des frontières du système. Ainsi, leurs impacts environnementaux ont été pris en compte lors de leur envoi en centre de traitement ou en décharge, suivant le scénario.

Concernant la fin de vie et pour éviter de minimiser l'impact, il n'a pas été intégré de bénéfices environnementaux associés à l'énergie produite par la valorisation énergétique et les matériaux issus de recyclage.

La quantité de matériaux réutilisés sur place n'ont pas été intégrés dans l'inventaire.

## **2.4.2 Sources données d'inventaire et hypothèses**

### **2.4.2.1** *Collecte de données*

L'inventaire du cycle de vie est réalisé en utilisant différentes sources de données.

Les données spécifiques (ou primaires) ont été fournies par la Ville de Paris concernant la phase de construction (type de matériaux, quantité, transport, travaux) et la phase de maintenance (faucardage, curage des dépôts de polluants et envoi en unité de traitement ou en décharge).

Les données génériques (ou secondaires) sont issues de la base de données Ecoinvent 3, allocation, « cut off » du logiciel SimaPro (production d'acier, polyéthylène haute densité... retrait dépôt ...) et complètent les données primaires quand celles-ci ne suffisent pas ou ne sont pas accessibles.

Quant à la phase d'émissions et rejets, les flux rejetés dans l'eau et le sol sont mesurés, dans le cadre du suivi du site par le LEESU et le Laboratoire SGS. (voir les détails dans la partie « Rejet et émissions »).

Enfin, la phase de fin de vie du système a été modélisée sur la base d'hypothèses, le retour d'expérience sur la durée de vie de ce genre d'ouvrage étant encore peu documenté.

L'ensemble des données relatives aux 4 phases ramené à l'unité fonctionnelle sont indiquées dans le tableau de données de l'Annexe.

### 2.4.2.2 Construction de l'ouvrage

La durée de vie du filtre a été estimée à 30 ans, durée rencontrée régulièrement sur ce type d'ouvrage dans la littérature (Salvi *et al.*, 2012 ; Risch *et al.*, 2011 ; Neaud, 2018). La durée de vie des autres éléments (station pompage, ouvrages entrée et sortie ...) inclus dans le périmètre de cette étude est également estimée par défaut à 30 ans.

Les étapes de transport ont été supposées réalisées en camion de 32 t (Transport lorry > 32 t EURO 4). Les transports de matières premières jusqu'aux usines de fabrication des produits et jusqu'aux magasins ne sont pas pris en compte dans l'ACV.

Les processus Ecoinvent 3 appelés pour produire les matériaux des composants utilisés dans la phase construction sont synthétisés dans le tableau de données de l'Annexe.

### 2.4.2.3 Rejets et émissions

Pour la modélisation du système, l'identification des flux de polluants rejetés dans les différents compartiments (air, eau et sol) est réalisée afin de considérer l'impact global du système.

#### a) Compartiment air

Au vu des premiers éléments bibliographiques et à dire d'experts, les émissions dans l'air seront négligées pour la suite de l'analyse. En effet, le traitement des eaux pluviales par des filtres plantés de roseaux ne génère pas ou très peu d'émissions dans l'air que ce soit :  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{CO}_2$ .

#### b) Compartiment eau

Pour la modélisation du système, l'identification des flux de polluants rejetés est réalisée afin de considérer l'impact global de chaque système. Le but dans cette partie du rapport est donc de caractériser les polluants présents dans l'eau en entrée et en sortie du filtre. Les campagnes de mesures retenues pour l'étude ont été effectuées entre octobre 2022 à mars 2025.

À partir de ces mesures, les flux annuels de polluants en entrée et sortie du système, exprimés en kg/an ont été estimés comme suit : le flux caractérisé est calculé par multiplication de la concentration moyenne des concentrations mesurées en ce polluant (Tableau 4) par le flux hydraulique moyen annuel (Tableau 5).

Ce calcul est mis en équation ci-dessous afin d'avoir la masse en un polluant sur une année :

$$M_{\text{polluant } X} = C_{\text{en } X \text{ moyenne}} * V_{\text{annuel}}$$

avec :

$M_{\text{polluant } X}$  : masse totale en polluant X en entrée (kg)

$C_{\text{en } X \text{ médiane}}$  : concentration massique médiane en polluant X ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_{\text{annuel}}$  : flux hydraulique total annuel passant dans le système ( $\text{m}^3$ )

Pour rappel, le flux hydraulique moyen annuel ( $V_{\text{annuel}}$ ) reçu par le système est de  $175150 \text{ m}^3$ .

Les quantités annuelles des polluants en entrée et sortie du filtre sont synthétisés dans le Tableau 6 ci-dessous (Les données brutes sont présentées dans le rapport C.1.1 efficacité épuratoire du prototype de l'action C.1) :

Composants	Quantité annuelle kg/an – entrée	Quantité annuelle kg/an – sortie	Quantité annuelle kg/an retenue par le filtre
MES	18600	720	17880
COT	860	820	40
Cd	0,14	0,07	0,07
Cr	2,56	0,43	2,13
Cu	15,78	0,60	15,18
Ni	1,48	0,31	1,17
Pb	4,73	0,14	4,59
Zn	39,25	2,18	37,07
Ptot	160	90	70

Tableau 6 : Flux annuels estimés de polluants dans les eaux pluviales et par temps sec en entrée et en sortie du filtre planté du site de Bugeaud

La capacité de traitement de ce système est en moyenne de **17880** kg de MES par an (soit 96 % de rétention).

#### c) Compartiment sol

Les émissions vers le sol sont théoriquement nulles : en effet, un géotextile étanche a été utilisé afin d'éviter toutes contaminations du sol. On prendra donc l'hypothèse que les émissions vers le sol sont effectivement nulles.

### 2.4.2.1 Entretien et maintenance

#### a) L'entretien

Les données concernant cette étape du cycle de vie nous ont été fournies par la Ville de Paris. Elles sont fondées soit sur des données de terrain, soit sur des hypothèses : l'ensemble des données relatives à la phase d'entretien et d'exploitation de l'ouvrage sont indiquées en Annexe dans le tableau des données.

#### b) Extraction, évacuation et traitement des dépôts liquides et sédiment

La vie en œuvre du système entraîne la production de 2 types de déchets : les **dépôts liquides** au niveau de l'entrée du filtre et le **sédiment** (couche en surface du massif filtrant) sur les 3 à 4 premiers mètres du filtre. Les quantités ou volumes mis en jeu ainsi que leur destination finale sont différentes et explicitées dans les paragraphes suivants.

Les dépôts liquides : situés au niveau des 2 regards de tranquillisation à l'entrée du filtre ont été hydrocurés en 2024. Ne connaissant ni le volume ni la destination de ces boues, cette étape ne sera pas intégrée dans l'ACV.

Le sédiment (dépôt de surface) : il s'est formé sur les 3 à 4 premiers mètres du filtre. Une quantité de 7,12 tonnes a été retirée en 2024 après 3 années de fonctionnement. Le traitement indiqué de ce dépôt dans les bons de la société chargée de leur évacuation est le code D9 / R5 c'est-à-dire de décharge ou l'incinération.

La thèse de J. Roux (2023) présente l'accumulation de la couche de sédiment et des polluants associés. ce sédiment accumulé en ETM et en HCT à T2 (campagne de prélèvement septembre/octobre 2022). Le tableau ci-dessous présente les teneurs des métaux et en HCT présents dans le sédiment, le sable de surface, le RainClean® et le sable profond (Tableau 7Tableau 5).

Toutefois, par rapport à l'arrêté « boues »<sup>2</sup>, les concentrations en ETM semblent relativement faibles. La teneur en HCT ne permet pas d'envoyer les sédiments en centre de déchets inertes<sup>3</sup> (Tableau 8). La possibilité d'épandre ces boues n'est pas écartée d'autant plus que le dépôt sera dorénavant enlevé 1fois / an. Au vu des teneurs, l'hypothèse retenue est que le dépôt sera envoyé en station d'épuration.

**Tableau 3.11** : Comparaison des teneurs en métaux retrouvées au T2 dans les différents substrats des deux filtres regroupés (teneur minimum et maximum observée) avec les teneurs seuils indiquées par d'autres pays. Les seuils les plus stricts et moins stricts sont fournis. Les cellules en vert sont les teneurs ne dépassant aucun seuil, celles en orange dépassent le seuil le plus strict et celles en rouges dépassent le seuil le moins strict.

Métal	Teneur au T2 (mg/kg) (min-max)			
	Sédiment	Sable de surface	Rc	Sable profond
Cd	1,65-1,77	0,06-0,16	0,18-0,20	0,04-0,05
Cr	83,1-87,5	9,2-15,8	28,9-48,2	10,0-13,4
Cu	558,6-573,5	12,2-50,8	60,8-114,5	4,7-6,7
Ni	35,1-35,2	8,6-14,7	36,2-57,1	12,0-17,2
Pb	222,2-235,6	6,5-21,7	11,8-18,9	4,0-6,3
Zn	1272-1300	37,7-133,8	112,6-141,5	15,5-24,0

**Tableau 3.7** : Teneurs (mg/kg) en indices HC totaux (C10-C40) dans les différents échantillons selon les trois campagnes (T0, T1 et T2). Sdt : sédiment (jaune) ; Ss : sable surface ; Sm : sable profond ; Rc : Rainclean (bleu) ; Sp : sable profond. Am : amont ; C : centre ; Av : aval.

Filtre	Echantillon	HC C10-C40 (mg/kg)		
		T0	T1	T2
FS	Sdt-Am	87		
	Ss-Am	280	140	340
	Ss-C	310	55	110
	Ss-Av	290	24	54
	Sp-Am	280	<10	12
	Sp-C	310	<10	<10
	Sp-Av	290	<10	<10
FR	Sdt-Am	3400		
	Ss-Am	390	230	230
	Ss-C	260	86	140
	Ss-Av	190	<10	79
	Rc-Am	1200	210	100
	Rc-C	1000	120	36
	Rc-Av	690	99	22
	Sp-Am	220	<10	<10
	Sp-C	220	<10	<10
	Sp-Av	220	<10	<10

Tableau 7 : teneurs en métaux et en HCT dans le sédiment, le sable de surface, Rainclean® et le sable profond (source : Roux, 2023)

<sup>2</sup> Arrêté « Boues » : Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

<sup>3</sup> Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées -annexe 2 (paramètres à analyser en contenu total et valeurs limites à respecter)



Paramètres	Teneurs max T2 mg/kg MS	Arrêtés « Boues » ** mg/kg MS	Centre de stockage déchets inertes en mg/kg MS sur produit brut ***
Cu	573,5	1000	/
Cd	1,77	10,00	/
Pb	235,6	800,00	/
Zn	1300	3000,00	/
HCT (C10 à C40)	3400	–	500,00
Fluoranthène *	0,45	5,00	
Benzo(b)fluoranthène *	0,39	2,50	
Benzo(a)pyrène *	0,2	2,00	
Somme 16 HAP*	0,8	–	50,00

Tableau 8 : comparaison des teneurs du sédiment dans le filtre du site de Bugeaud et des teneurs seuils de l'arrêté « Boues » et de l'arrêté des déchets inertes

\* : uniquement teneur dépôt filtre F2 (teneur dépôt F1 < LQ)

\*\* : Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

\*\*\* : Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées -annexe 2 (paramètres à analyser en contenu total et valeurs limites à respecter)

#### 2.4.2.2 Fin de vie

Le démantèlement complet du filtre planté et des différents ouvrages (station de pompage, canalisation, béton ...) constitue la phase de fin de vie du système. Le détail de cette phase est indiqué dans le Tableau 9, adapté au scénario français proposé dans la base de données Ecoinvent à dire d'experts.

Plutôt qu'appliquer une approche sanitaire visant à ne pas sous-estimer l'impact (cf ACV réalisé de même type sur les questions de l'utilisation de filtre planté pour traitement des eaux pluviales projets Adepte et Roulepur), le choix a été fait d'optimiser la filière de traitement.

	Scénario de traitement	Déchets restants	Source
PEHD	20 % trié et recyclé	80 % incinération	Scénario déchets français adapté à dire d'expert
PP	20 % trié et recyclé		
PVC	20 % trié et recyclé		
Acier, Fonte	100% trié et recyclé		
Sable du filtre	100 % décharge déchets dangereux		
Rainclean® (charbon actif)	100 % filière de traitement de charbon dangereux.		

	Scénario de traitement	Déchets restants	Source
Graviers du filtre	100% décharge déchet inerte		
Bois	100% décharge déchet inerte		
Sable en dehors du filtre	100% décharge déchet inerte		
Béton	100 % décharge déchets inerte		

Tableau 9 . Scénario de fin de vie avec décharge-Dispositif du site de Bugeaud

#### ❖ Cas spécifique de la fin de vie du massif filtrant

Le choix du type de décharge dépend du degré potentiel de pollution du massif filtrant. Les premiers résultats en métaux montrent que les sables de surfaces sont logiquement plus pollués que les sables profonds de même pour le Rainclean® (thèse J.Roux). L'hypothèse retenue est qu'à la fin de vie du système, le taux en métaux au niveau des **sables** de la couche filtrante correspond à une mise en décharge pour déchets dangereux. Les graviers seront envoyés en centre de stockage de déchets inertes.

De plus, le principal composant du Rainclean® étant du charbon actif, l'hypothèse retenue est qu'il soit envoyé vers une filière de traitement de charbon dangereux qui sera saturé de polluants au bout de 30 ans.

#### 2.4.2.1 Rappel des principales hypothèses

Ce chapitre présente les principales hypothèses prises pour la réalisation de l'ACV :

- les équipements analytiques (débitmètres, préleveurs automatiques réfrigérés...) n'ont pas d'influence sur le fonctionnement des filtres plantés de roseaux. De ce fait, dans la suite de l'analyse, ces installations ne seront pas prises en compte ;
- le by-pass et le dégrilleur sont hors périmètre ;
- la durée de vie du filtre (bibliographie) et des ouvrages est estimée à 30 ans ;
- l'impact environnemental des roseaux est négligé (production, usage, fin de vie), seul le faucardage de ces végétaux est pris en compte ;
- pour le curage annuel du sédiment du filtre, on fait l'hypothèse que la quantité est identique chaque année et qu'il soit envoyé vers une station d'épuration ;
- l'envoi des sables souillés du filtre, en fin de vie, vers un centre de stockage pour déchets dangereux.
- L'envoi du Rainclean®, en fin de vie, vers une filière de traitement de charbon dangereux. (filière proposée dans la base de données du logiciel SIMAPRO),

## 2.5 Résultats ACV

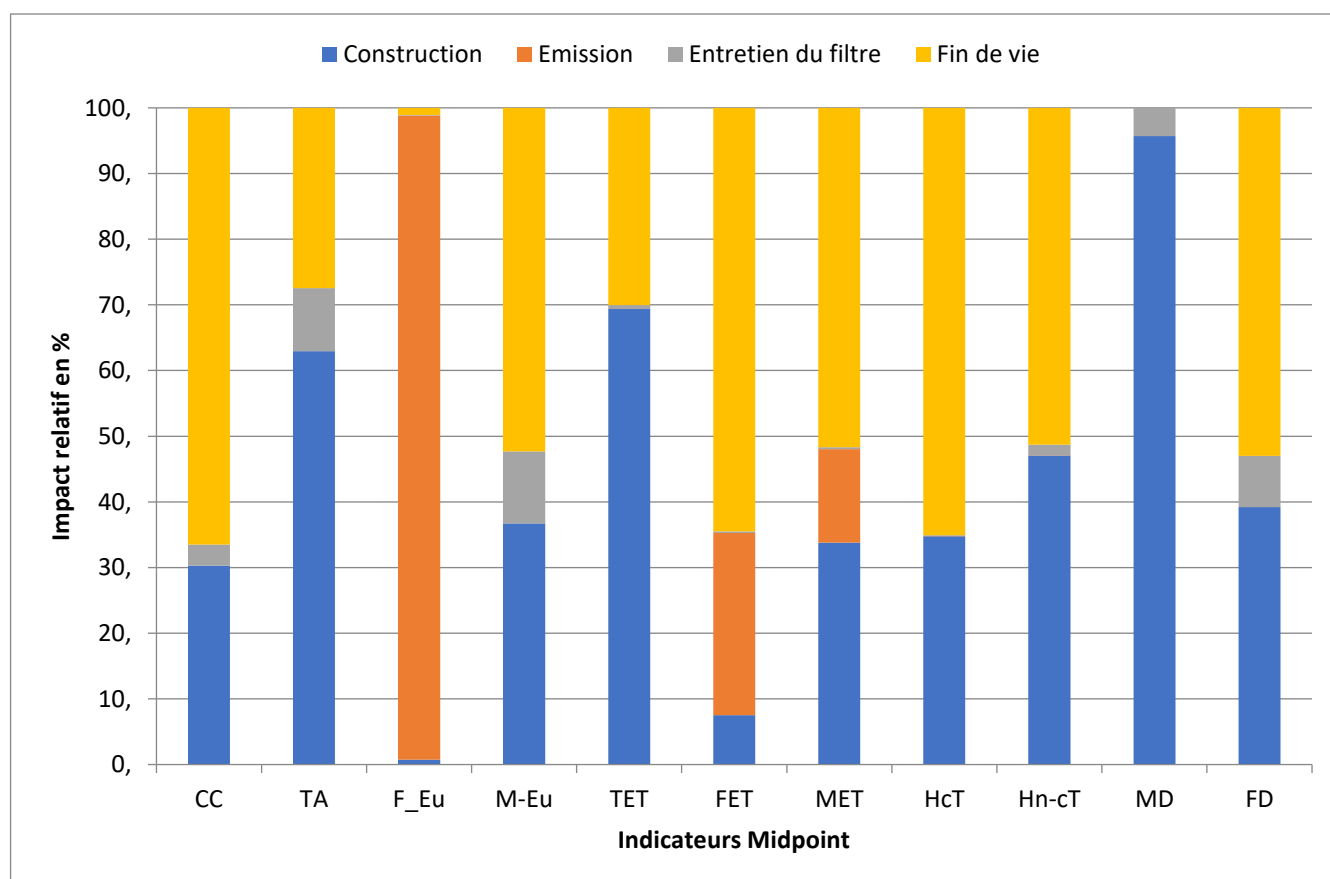
Dans cette partie, l'objectif est d'analyser le dispositif du site de Bugeaud :

- Le Graphique 1 et le Graphique 2 présentent les contributions respectives des différentes étapes du cycle de vie de l'ouvrage sur les indicateurs « Midpoint » et « Endpoint » sélectionnés en fonction des principales problématiques environnementales liées à l'utilisation du dispositif.

- Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les principaux impacts environnementaux représentés par le graphique dit de « normalisation » qui permet d'obtenir une mise en perspective des résultats ACV du système de dépollution par rapport à l'ensemble des impacts d'un citoyen moyen.

## 2.5.1 Contribution des 4 étapes

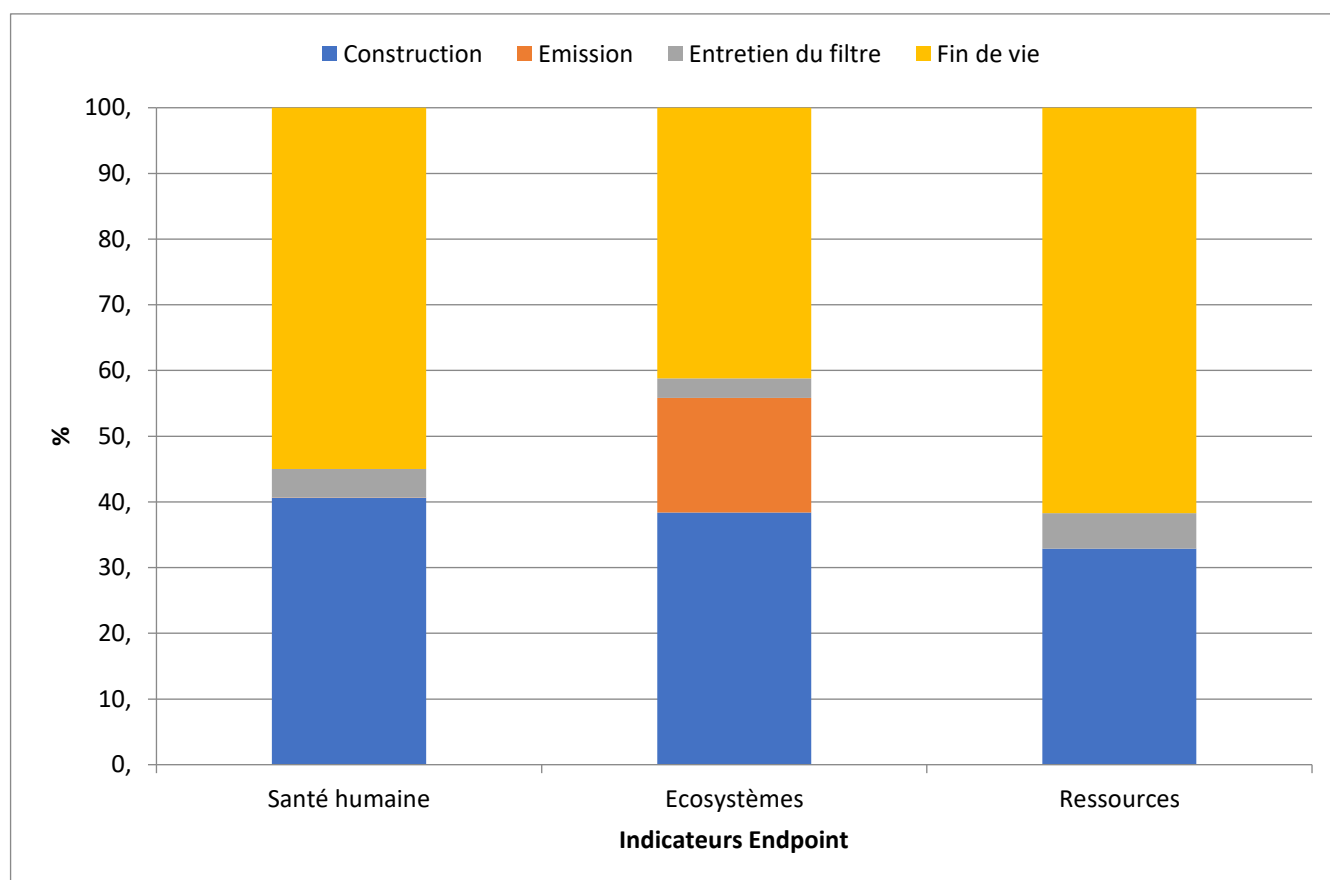
Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et Graphique 2 présentent les contributions des différentes étapes du cycle de vie du système sur les indicateurs « Midpoint » et « Endpoint », sélectionnés en fonction des principales problématiques environnementales liées à l'utilisation du filtre planté pour une durée de 30 ans.



Graphique 1 : Résultat d'analyse d'impact sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud

Le Graphique 1 Graphique 1 Graphique 1 présente les résultats de la contribution des différentes étapes du cycle de vie sur les 11 catégories d'impact « Midpoint » analysées dans cette étude. La phase « fin de vie » présente un impact majoritaire sur 7 des 11 indicateurs « Midpoint » : le changement climatique (CC), la toxicité humaine cancérigène et non-cancérigène (HcT, Hn-cT), l'écotoxicité des eaux douce et marine (FET, MET), et l'eutrophisation marine (M-Eu) avant tout attribué à la mise en centre de stockage pour déchets dangereux du sable souillé du filtre planté qui, vraisemblablement, sera chargé au bout de 30 ans de durée de vie en substances polluantes (pour rappel seul le sédiment est curé chaque année). La fin de vie impacte également la catégorie liée à la raréfaction des ressources fossiles (FD) par la mise en décharge sanitaire de traitement du charbon du matériau Rainclean®. La phase « construction » est impactante pour les catégories d'acidification terrestre (TA), d'écotoxicité terrestre (TET) et de raréfaction des ressources minérales (MD) et reste la deuxième phase impactante sur la majorité des autres catégories en raison d'une importante quantité de matériaux utilisée pour la construction des différents ouvrages, d'un système de pompage et d'un réseau de canalisations pour la réalisation du système situé dans un grand site (Figure 1 : localisation des trois ouvrages du système étudié).

). La phase « émissions » impacte principalement les catégories liées à l'eutrophisation de l'eau douce (F-Eu). Enfin, La phase « entretien » impacte peu l'ensemble des catégories.

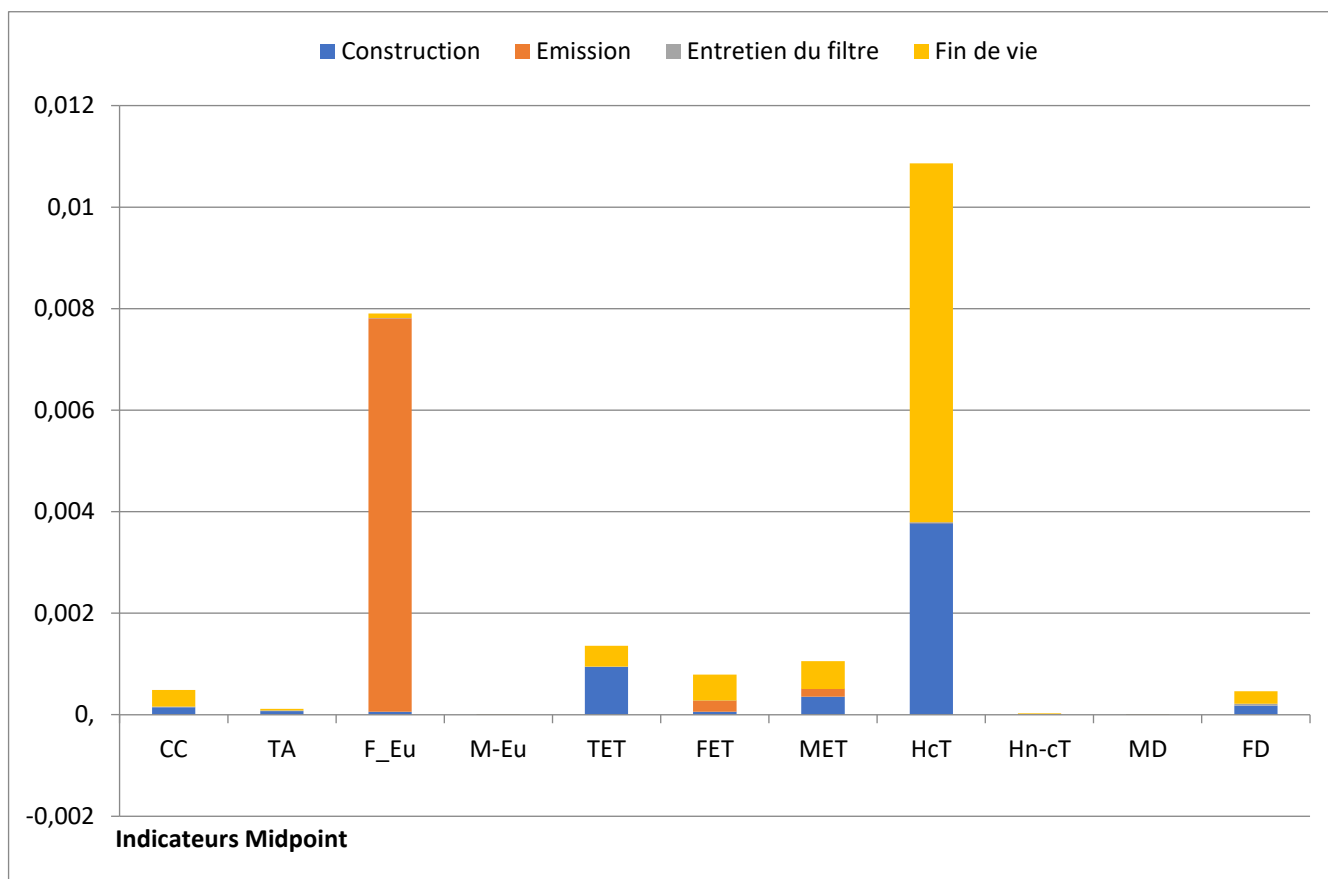


Graphique 2 : Résultat d'analyse d'impact sur les catégories « Endpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud

Le Graphique 2 confirme sur les catégories « Endpoint » le fort impact de la phase « fin de vie » et « construction » sur l'ensemble des indicateurs. La phase « émissions » joue également un rôle dans l'impact sur les écosystèmes. Enfin, la phase « entretien et maintenance » semble très peu impactante sur l'ensemble des indicateurs « Endpoint ».

## 2.5.2 Impacts environnementaux

Cette étape de normalisation permet de rapporter les résultats obtenus à une information de référence : celle liée aux impacts moyens d'un habitant en 2010. C'est donc bien une mise en perspective des résultats ACV du système de dépollution par rapport à l'ensemble des impacts d'un citoyen moyen et non une mise en évidence d'une notion de gravité entre les catégories d'impacts.



Graphique 3 : Résultat d'analyse d'impact du dispositif du site de Bugeaud sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) exprimé en équivalent mondial par an.

Le Graphique 3 montre que les catégories d'impact liées à l'eutrophisation de l'eau douce (F-Eu) et la toxicité humaine cancérigène (HcT) sont particulièrement importantes pour le système. Dans une moindre mesure, on retrouve l'écotoxicité terrestre (TET) et l'écotoxicité des eaux douce et marine (FET, MET). Ces résultats dépendent de l'hypothèse choisie sur le devenir du massif filtrant à la fin de vie du système. Ainsi, une analyse de sensibilité sur cette hypothèse est réalisée dans le paragraphe suivant.

**Il est rappelé que l'amplitude entre les catégories d'impacts normalisés n'est pas liée au degré de gravités de ces impacts.**

### 2.5.3 Analyse de sensibilité

- Comparaison de la fin de vie du massif filtrant

Une analyse de sensibilité a été réalisée sur le devenir du massif filtrant, particulièrement impactant de par sa fin de vie dans l'ACV réalisée et dont l'hypothèse d'envoi des sables, constituants du massif filtrant, en centre de stockage pour déchets dangereux reste très incertaine. L'analyse de sensibilité a donc été faite sur la base d'une comparaison d'envoi du massif filtrant dans différents centres de traitement des déchets.

Pour rappel, il est considéré que la durée de vie du filtre est de 30 ans. Pour la modélisation, Il a été considéré que la durée de vie du matériau Rainclean® est identique à celle du massif filtrant bien que sa durée de vie maximale indiquée par le constructeur soit de 25 ans.

L'hypothèse de base H0 (hypothèse de départ de l'ACV) correspond à l'envoi en centre de stockage de déchets dangereux de **100% du sable** du filtre au bout de 30 ans et à l'envoi du Rainclean® vers une filière de traitement de charbon dangereux.

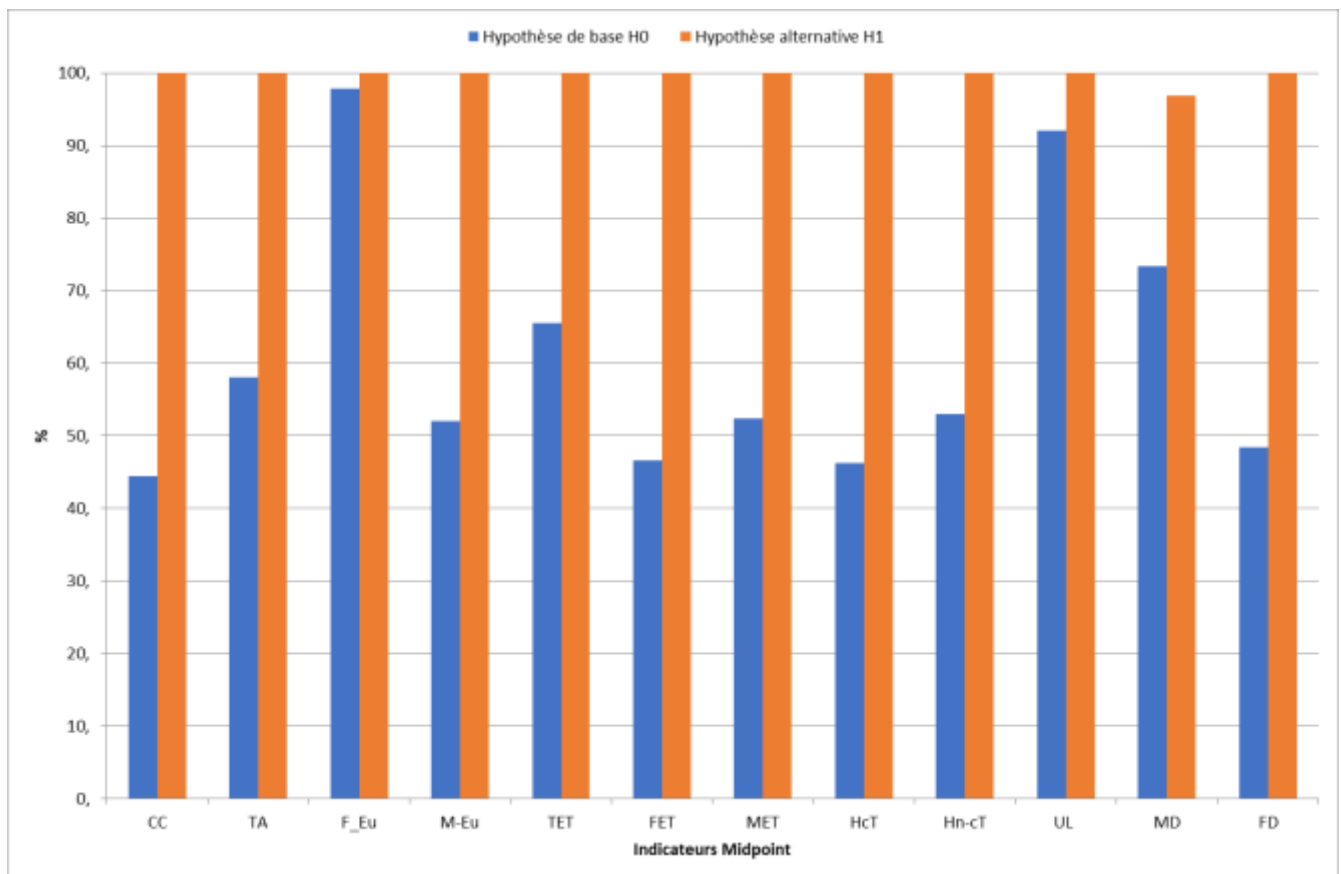
Si on modifie ce pourcentage en :

- prenant l'hypothèse alternative H1 que 100 % du substrat (sables + graviers) et du Rainclean® sont envoyés, en fin de vie en centre de déchets dangereux.

Les différentes hypothèses citées ci-dessus sont présentées dans le Tableau 10Tableau 5Tableau 5.

Hypothèses retenues		Centre de stockage de déchets dangereux	Centre de stockage de déchets inertes	filière traitement de charbon dangereux	Centre de recyclage
Hypothèse de base H0	Massif filtrant en fin de vie du système	100 % (sable)	100% (grave)		
	Rainclean®			100%	
Hypothèse alternative H1	Massif filtrant en fin de vie du système	100 % (sable, grave)			
	Rainclean®	100%			

Tableau 10 : tableau de synthèse du devenir des substrats du dispositif du site de Bugeaud



Graphique 4 : Résultats d'analyse d'impact sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud – Comparaison du devenir des substrats contaminés.

Le Graphique 4 compare les résultats des ACV du filtre planté du site DO Bugeaud suivant la destination des substrats met en évidence que la destination des substrats du système modifie l'impact sur l'ensemble des indicateurs « Midpoint ». En effet, si le massif filtrant des 2 compartiments en fin de vie est mis totalement en centre de déchets dangereux (hypothèse alternative H1), l'impact sur l'indicateur eutrophisation de l'eau douce (F-Eu) a peu évolué tandis que l'impact est augmenté d'environ 35% pour l'indicateur écotoxicité terrestre (TET) et d'environ 25 % pour celui de la raréfaction des ressources minérales (MD) et d'environ 50% pour le reste des indicateurs.

### 3 CONCLUSION

Les résultats de l'ACV avec la méthode d'évaluation d'impact ReCiPe 2016, et sous les hypothèses de la présente étude du dispositif du site de Bugeaud, mettent en évidence, que la phase « fin de vie » puis celle de « construction » sont les phases les plus contributives sur la plupart des indicateurs « Midpoint » (méthode orientée « problèmes » où l'impact apparaît au milieu de la chaîne de causalité) et « Endpoint » (méthode orientée « dommages » où l'impact se trouve à la fin de la chaîne de causalité) retenus dans cette analyse. Concernant la phase de « fin de vie », cela est principalement dû au devenir du massif filtrant. Bien que le système permet un abattement des MES de l'ordre de 96%, les polluants sont transférés et s'accumulent dans le massif.

En effet, la destination du massif filtrant en fin de vie du système joue un rôle majeur sur les catégories d'impact liées, à la toxicité humaine (HcT et Hn-cT), et à l'eutrophisation marine (M-Eu). Or, ce choix de destination a été décidé de façon hypothétique en considérant une fin de vie particulièrement impactante due à l'accumulation (prévisible mais non quantifiée) de polluants dans ce substrat.

La phase construction a un impact certain du fait de la particularité du site pour alimenter le filtre en eau. L'utilisation d'une grande quantité de matériaux nécessaire à la construction de différents ouvrages (béton, canalisations, ...) et d'un système de pompes rend le système complexe et peu rustique.

Afin d'affiner l'ACV, un travail de suivi de caractérisation des substrats du massif filtrant serait à mener pour valider les hypothèses et consolider ces premiers résultats.

Enfin ces premiers résultats nous conduisent à proposer quelques pistes d'amélioration :

- un entretien régulier est primordial pour, à la fois, garantir une performance de traitement de ce dispositif et pour optimiser sa durée de vie afin de réduire son impact global ;
- un suivi qualitatif des différents substrats du massif filtrant afin de déterminer la fin de vie adéquate de chacun d'eux ;
- un suivi qualitatif du massif filtrant permettant une meilleure identification des différentes filières de valorisation et/ou d'élimination des substrats pollués à proximité du site afin de minimiser la quantité de matériaux à envoyer dans ces filières et le transport de ces matériaux.

## 4 LIMITES DE L'ETUDE

Les limites de l'étude concernent principalement la fiabilité des hypothèses sur :

- le manque de retours d'expériences sur la fin de vie de ce type de système impose de faire des hypothèses sur la durée de vie et la fin de vie des ouvrages. En effet, celle-ci est très peu documentée et l'hypothèse d'envoyer les substrats en centre de stockage pour « déchets dangereux » peut apparaître surévaluée ; a contrario la durée de vie du système peut être sous-évaluée au regard de leur fonctionnement ;
- le nombre limité de campagnes de prélèvements durant le suivi de l'étude (surtout par temps de pluie), associé aux volumes mesurés à des périodes différentes de la majorité des prélèvements, engendre des incertitudes sur la phase d'émissions et peut éventuellement sous-estimer ces rejets dans l'écosystème ;
- la méthode de calcul de la charge polluante annuelle qui repose en partie sur l'utilisation de la concentration moyenne annuelle en polluants ainsi que sur le calcul du flux hydrauliques annuels. La charge polluante est donc une modélisation basée partiellement sur des mesures, ce qui entraîne forcément des incertitudes sur la fiabilité des résultats ;
- pas de revue critique réalisée par faute de temps, les résultats des concentrations en polluants ayant été disponibles en fin de projet
- l'hypothèse d'envoyer le sédiment en station d'épuration devra être confirmée par de nouvelles analyses et prise de contact avec un exploitant de station de traitement des eaux.



## 5 SIGLES & ABREVIATIONS

ACV : Analyse du Cycle de Vie

CC : changement climatique

Cd : cadmium

COT : carbone organique total

Cr : chrome

Cu : cuivre

FD : consommation des ressources fossiles

FET : écotoxicité aquatique

F-Eu : eutrophisation aquatique

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

HCT : hydrocarbures totaux

HcT : toxicité humaine cancérigène

Hn-cT : toxicité humaine non cancérigène

MD : consommation des ressources minérales

MES : matières en suspension

MET : écotoxicité marine

M-Eu : eutrophisation marine

Ni : nickel

Pb : plomb

Ptot : phosphore total

TA : acidification terrestre

TET : écotoxicité terrestre

UF : unité fonctionnelle

Zn : zinc

## 6 BIBLIOGRAPHIE

- Branchu P., Badin A.-L., Bechet B., Eisenlohr L., Le Priol T., Marseille F. et Trielli E. (2013). Pollution d'origine routière et environnement de proximité.
- Dufresne M. (2013). Les technologies de traitement des sols contaminés : lesquelles sont durables ? Université de Sherbrooke.
- Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M., De Schryver A., Struijs J. et van Zelm R. (2008). Handbook ReCiPe 1st ed. Report I: Characterisation.
- Goedkoop, M. and Spriensma, R.T. (1999) The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment Methodology. PRe Consultants, Amersfoort
- Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Sleeswijk, A. W., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindijer, E., Roorda, A. A. H., van der Ven, B. L. and Weidema, B. P. (2002). Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards
- Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., Nielsen, A.H., 2010. Urban and highway stormwater pollution. Concepts and engineering. Taylor & Francis Group, CRC Press.
- INRS (2013). Risques biologiques et biodépollution des sols.
- Liu L., Liu A., Li Y., Zhang L., Zhang G. et Guan, Y. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons associated with road deposited solid and their ecological risk: Implications for road stormwater reuse. Sci. Total Environ. 563–564, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.114>.
- Neaud C. (2018). Analyses de cycle de vie dans le cadre du projet ADEPTE.
- Norme ISO 14040, Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Principe et cadre. (2006, octobre).
- Norme ISO 14044, Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices. (2006, octobre).
- Risch E., Boutin C., Roux P. et Heduit A. (2011). Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv), Rapports d'ACV et données d'inventaire, Rapport d'étape.
- Salvi M., Verzat B. et Charron Doucet F. (2012). Analyse du cycle de vie d'un système de traitement des eaux : Phragmifiltre.
- SETRA (2007). Pollution d'origine routière.
- ISO 14040. (2006). Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre.
- ISO 14044. (2006). Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices.
- Roux J.. (2023). Devenir des micropolluants dans un filtre planté de roseaux traitant les eaux de ruissellement de voirie – Importance des communautés microbiennes.. Thèse de doctorat de l'Université Paris Est Créteil.
- Moreau. (2022). Word 365. Lyon.

## 7 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : localisation des trois ouvrages du système étudié. ....	13
Figure 2 : Ouvrages retenus du site de Bugeaud pour l'étude .....	14
Figure 3 : Coupe du filtre planté de roseaux à écoulement vertical (Roux, 2023).....	15
Figure 4 : périmètre du système du site de Bugeaud .....	19
Tableau 1: Epaisseur et granulométries des couches du massif filtrant du compartiment F1 .....	15
Tableau 2 : Epaisseur et granulométries des couches du massif filtrant du compartiment F2.....	15
Tableau 3 : liste des micropolluants du projet Life Adosrb pris en compte dans l'étude .....	16
Tableau 4 : concentrations moyennes retenues en entrée et sortie de filtre.....	17
Tableau 5 : valeurs volumes annuels moyens passés dans le filtre .....	18
Tableau 6 : Flux annuels estimés de polluants dans les eaux pluviales et par temps sec en entrée et en sortie du filtre planté du site de Bugeaud .....	22
Tableau 7 : teneurs en métaux et en HCT dans le sédiment, le sable de surface, Rainclean® et le sable profond (source : Roux, 2023) .....	23
Tableau 8 : comparaison des teneurs du sédiment dans le filtre du site de Bugeaud et des teneurs seuils de l'arrêté « Boues » et de l'arrêté des déchets inertes .....	24
Tableau 9 . Scénario de fin de vie avec décharge-Dispositif du site de Bugeaud.....	25
Tableau 10 : tableau de synthèse du devenir des substrats du dispositif du site de Bugeaud.....	29
Tableau 11 : Tableau des données du site de Bugeaud ramenées à l'unité fonctionnelle 1 kg de MES/an .....	40
Graphique 1 : Résultat d'analyse d'impact sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud .....	26
Graphique 2 : Résultat d'analyse d'impact sur les catégories « Endpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud .....	27
Graphique 3 : Résultat d'analyse d'impact du dispositif du site de Bugeaud sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) exprimé en équivalent mondial par an. ....	28
Graphique 4 : Résultats d'analyse d'impact sur les catégories « Midpoint » (méthode ReCiPe) pour l'UF du système : traitement d'une charge polluante dans les eaux pluviales et temps sec de 1 kg MES/an – Filtre planté du site de Bugeaud – Comparaison du devenir des substrats contaminés.....	30

## Annexe – Tableau des données du site de Bugeaud

L'ensemble des quantités de matériaux, présenté dans le Tableau 11, a été ramené à l'unité fonctionnelle (UF) (1 kg de MES/an) puisque le système a été conçu pour 30 ans de fonctionnement et permettant un traitement moyen de 17880 kg de MES par an.

CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
Installation - préparation - terrassement (5 jours de décapage/ 16 jours de terrassement)						
Occupation des sols (filtres 1 & 2)		0,0002	ha	0,0000000004	P	Ville de Paris
Décaissement (filtres 1 & 2)		2181	m³	0,004	P	
déblais		1900	m³	0,004	P	
décapage sur 30 cm	534 m³ réutilisé sur place					
CONTRUCTION DU DISPOSITIF						
Station pompage dite bache						
poutre et poutrelles structure Acier partie vanne secteur et bache de pompage +partie local technique	Acier	20163	kg	0,038	P	Ville de Paris
	Transport	1008,2	tkm	0,002	P	Hypothèse 50 km
Basting, bois de charpente bois massif résineux partie vanne secteur et bache de pompage	Bois	117,53	kg	0,0002	P	Ville de Paris
	Transport	5,9	tkm	0,00001	P	Hypothèse 50 km
béton de propreté	béton type C35/45	52788	kg	0,098	P	Ville de Paris
	transport	2639	tkm	0,005	P	Hypothèse 50 km
béton armé	béton type C35/45	93804	kg	0,175	P	Ville de Paris
	Acier	16651	kg	0,031	P	
	Transport	5523	tkm	0,010	P	
3 Pompes principales	Fonte 80 % ( cf treblade adpte)	499,2	kg	0,001	P	Ville de Paris
	Inox 20 %	124,8	kg	0,0002	P	
	transport	31,2	tkm	0,0001	P	Hypothèse 50 km
1 Pompe d'épuisement bache	Acier (80%)	17,2	kg	0,00003	P	Ville de Paris
	INOX (20%)	4,3	kg	0,00001	P	
	transport	1,1	tkm	0,000002	P	Hypothèse 50 km
1 Pompe d'épuisement local technique	Acier (80%)	4,8	kg	0,00001	P	Ville de Paris
	INOX (20%)	1,2	kg	0,000002	P	
	transport	0,3	tkm	0,000001	P	Hypothèse 50 km
Clapet à boule matériau principal fonte / DN150 pour conduite pompe refoulement + Clapet à	Fonte	122	kg	0,0002	P	Ville de Paris
	Transport	6	tkm	0,00001	P	Hypothèse 50 km

CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
boule matériau principal fonte / DN65 pour pompe épuisement bache						
Vanne guillotine matériau principal Inox / DN 150 Pour conduite pompe refoulement + Vanne guillotine matériau principal Inox / DN 100 pour pompe épuisement bache	Inox	62	kg	0,0001	P	Ville de Paris
	Transport	3	tkm	0,00001	P	Hypothèse 50 km
Conduite de refoulement pompes principales DN150 + Conduite pour pompe d'épuisement DN100	Inox	127	kg	0,0002	P	Ville de Paris
	Transport	6,4	tkm	0,00001	P	Hypothèse 50 km
Nourrice pour pompe principale DN200	Inox 304L (nickel + chrome)	240	kg	0,0004	P	Ville de Paris
	Transport	12	tkm	0,00002	P	Hypothèse 50 km
Détecteur de niveau	Acier inoxydable	2	kg	0,000004	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
	Transport	0,1	tkm	0,0000002	P	Hypothèse 50 km
Poire de niveau	polypropylène copolymère	1,2	kg	0,000002	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
	Transport	0,06	tkm	0,0000001	P	Hypothèse 50 km
Sondes piézométriques	Acier inoxydable (câble polyuréthane négligé)	6	kg	0,00001	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
	Transport	0,3	tkm	0,0000006	P	Hypothèse 50 km
conduite de ventilation	non pris en compte					
câbles électriques	non pris en compte					
Joint de démontage	Négligé					
Entre station de pompage et ouvrage d'entrée						
Conduite de refoulement effluents du DO Bugeaud DN 200 Fonte ductile	Fonte	28160	kg	0,052	P	Ville de Paris
	Transport	1408	tkm	0,003	P	Hypothèse 50 km
Coude 90° INTEGRAL à joint standard DN 200 fonte ductile	Fonte	60	kg	0,0001	P	Ville de Paris
	Transport	3	tkm	0,00001	P	Hypothèse 50 km
Sable 0/4 roulé D1 pour enrobage et lit de pose (Conduite de refoulement)	Sable	109734	kg	0,205	P	hypothèse même quantité que sortie (proportionnellement)
	Transport	17448	tkm	0,033	P	

CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source	
Grave 0/31.5 pour remblai (Conduite de refoulement)	matériaux existants remis en place						
Terre végétale (Conduite de refoulement)	reprise en stock						
Ouvrage de répartition (19 jours de construction avec la sortie)							
béton de propreté Ouvrage de répartition	béton type C35/45 (2 caissons)	612	kg	0,001	P	Ville de Paris	
	béton type C35/45 (dalle)	1083	kg	0,002	P		
	transport	85	tkm	0,0002	P	Hypothèse 50 km	
béton armé Ouvrage de répartition	béton type C35/45	1164	kg	0,002	P	Ville de Paris	
	acier HA10 + HA8	381	kg	0,001	P		
	Transport	77	tkm	0,0001	P	Hypothèse 50 km	
Patelage bois avec trappes d'accès Ouvrage de répartition	26 Lames bois (CHÊNE QF3)	312	kg	0,001	P	Ville de Paris	
	2 poutrelles extérieures IPE 160	89	kg	0,0002	P		
	3 poutrelles intermédiaires HEA 160	252	kg	0,0005	P		
	solive bois robinier faux acacia	48	kg	0,0001	P		
	Inox 304 L 2 plaques	352	kg	0,001	P		
	2 massifs béton	400	kg	0,001	P		
	Transport	581	tkm	0,001	P		
3 coudes en Inox DN200 par conduite de refoulement	Inox	32	kg	0,0001	P	Ville de Paris	
	Transport	2	tkm	0,000003	P	Hypothèse 50 km	
conduites Fonte DN200 au niveau de la trappe par conduite de refoulement + conduites Fonte DN200 sections droites pièces par conduite de refoulement	Fonte	470	kg	0,001	P	Ville de Paris	
	Transport	24	tkm	0,00004	P	Hypothèse 50 km	
Construction filtres 1 & 2							
Couche fond de forme : Grave ciment 0/20 5 %	Grave 0/20	869	t	0,002	P	Ville de Paris	
	Ciment 5 %	40	t	0,0001	P		
	transport	89087	tkm	0,166	P		
Géomembrane 1400g/m² PEHD flexible	PEHD	2954	kg	0,006	P		Ville de Paris
	transport	1382	tkm	0,003	P		
Géotextile anti poinçonnement 300g/m² non tissé aiguilleté	PP	1266	kg	0,002	P		Ville de Paris
	transport	592	tkm	0,001	P		

CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
Géogrille coco (merlon de séparation)	coco	167	kg	0,0003	P	
	transport	96	tkm	0,0002	P	
Terre végétale (merlon de séparation)	reprise en stock					
Gazon (merlon de séparation)	Négligé					
Roseaux communs, Juncus Inflexus, Calamagrostis Epigejos, Deschampsia cespitosa, Iris Pseudacorus	Négligé					
Contenant Filtres 1 & 2 ( 2 mois pour les 2 filtres)						
sable fin 0/4 0,40 m (couche filtrante)	sable	597	t	0,001	P	Ville de Paris
	Transport	94923	tkm	0,177	P	
Gravier 4/8 0,10 m (couche de transition)	graviers	187	t	0,0003	P	
	Transport	18533	tkm	0,035	P	
Gravier 8/20 0,20 m (couche drainante)	graviers	349	t	0,001	P	
	Transport	22672	tkm	0,042	P	
Gravier 20/40 0,30 m (couche drainante)	graviers	474	t	0,001	P	
	Transport	30830	tkm	0,057	P	
Rainclean® 0,20m (couche filtrante)	Mélange d'ingrédients d'origine naturelle dont charbon actif et hydroxyde de fer	73,8	t	0,0001	P	
	Transport	34834	tkm	0,065	P	
Réseau de drainage structuré DN160	PVC	143,5	kg	0,0003	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
	Transport	3,59	tkm	0,00001	P	
Réseau aération DN 100	PVC	504,4	kg	0,001	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
	Transport	12,61	tkm	0,00002	P	
Chapeaux de ventilation	Inox	3	kg	0,00001	P	Ville de Paris
	transport	1,24	tkm	0,000002	P	
Sondes piézométriques	Acier inoxydables (câble polyuréthane négligé)	12	kg	0,00002	P	Ville de Paris
	Transport	0,6	tkm	0,000001	P	Hypothèse 50 km
Construction Ouvrage sortie (19 jours de construction avec l'entrée)						
béton de propreté	béton	780,4	kg	0,001	P	Ville de Paris
	transport	39	tkm	0,0001	P	Hypothèse 50 km
béton armé	béton type C35/45	756	kg	0,001	P	Ville de Paris
	acier HA10 + HA8	300,5	kg	0,001	P	
	Transport	52,8	tkm	0,0001	P	Hypothèse 50 km
Réseau de collecte des drains DN 315	PVC	144,3	kg	0,0003	P	

CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
	Transport	3,61	tkm	0,00001	P	Ville de Paris / hypothèse sur le poids
trappe en bois partie ouvrage de sortie	Négligé					
Bonde de mise en charge	Négligé					
vanne d'isolement	Négligé					
collecteur DN 250 partie ouvrage pour préleveur ?	non pris en compte					
Canalisation de rejet et tête d'aqueduc						
Terrassement en déblai		140,25	t	0,0003	P	
	transport	7012,5	tkm	0,013	P	
Sable 0/4 roulé D1 pour enrobage et lit de pose	Sable	52,5	t	0,0001	P	
	transport	8347,5	tkm	0,016	P	
Conduite Fonte	Fonte	2223,68	kg	0,004	P	
	transport	55,592	tkm	0,0001	P	
terre végétale	reprise en stock					
gravier pour remblai	reprise en stock					
Béton de propreté de classe 2	Négligé					
Béton B25	Négligé					
Pierres de meulière maçonnées	Négligé					
Acier pour ferrailage	Négligé					
Entretien/exploitation Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
Faucardage (laisser sur place)	Débroussailleuse des roseaux	2 000	m²	0,112	p	Ville de Paris
Curage massif filtrant		2,4	t	0,0001	p	
		40	km	0,002	p	
consommation énergétique (sur 1 année pour les 2 filtres)		20 785	kWh	1,162	p	
Curage entrée du filtre (1 fois /an)	absence de quantité					
Données d'émission EAU Composants	Quantité annuelle kg/an – sortie	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	source		



CONSTRUCTION Composants principaux	Catégorie de matériaux	Quantité	Unités	quantité annuelle ramenée à l'UF	Unités	Source
MES	720	0,0013	p	Scénario déchets français adapté à dire d'expert		
COT	820	0,0015	p			
Cd	0,07	0,0000001	p			
Cr	0,43	0,0000008	p			
Cu	0,6	0,000001	p			
Ni	0,31	0,0000006	p			
Pb	0,14	0,0000003	p			
Zn	2,18	0,000004	p			
Ptot	90	0,00017	p			
HCT	10	0,00002	p			
HAP	0,03	0,0000001	p			
BisphénolA	0,0069	0,00000001	p			
Fin de vie	Scénario de traitement	déchets restants				
Plastiques (PEHD, PP, PVC)	20 % trié et recyclé	80 % incinération		Scénario déchets français- adapté		
Béton	100 % décharge déchets inerte					
Acier, Fonte	100 % trié et recyclé					
Sable du filtre	100 % décharge déchets dangereux					
Rainclean®	100 % décharge sanitaire traitement charbon					
Graviers du filtre	100% décharge déchet inerte					
Bois	100% décharge déchet inerte					
Sable en dehors du filtre	100% décharge déchet inerte					

Tableau 11 : Tableau des données du site de Bugeaud ramenées à l'unité fonctionnelle 1 kg de MES/an

