

FILTRE PLANTÉ DE ROSEAUX

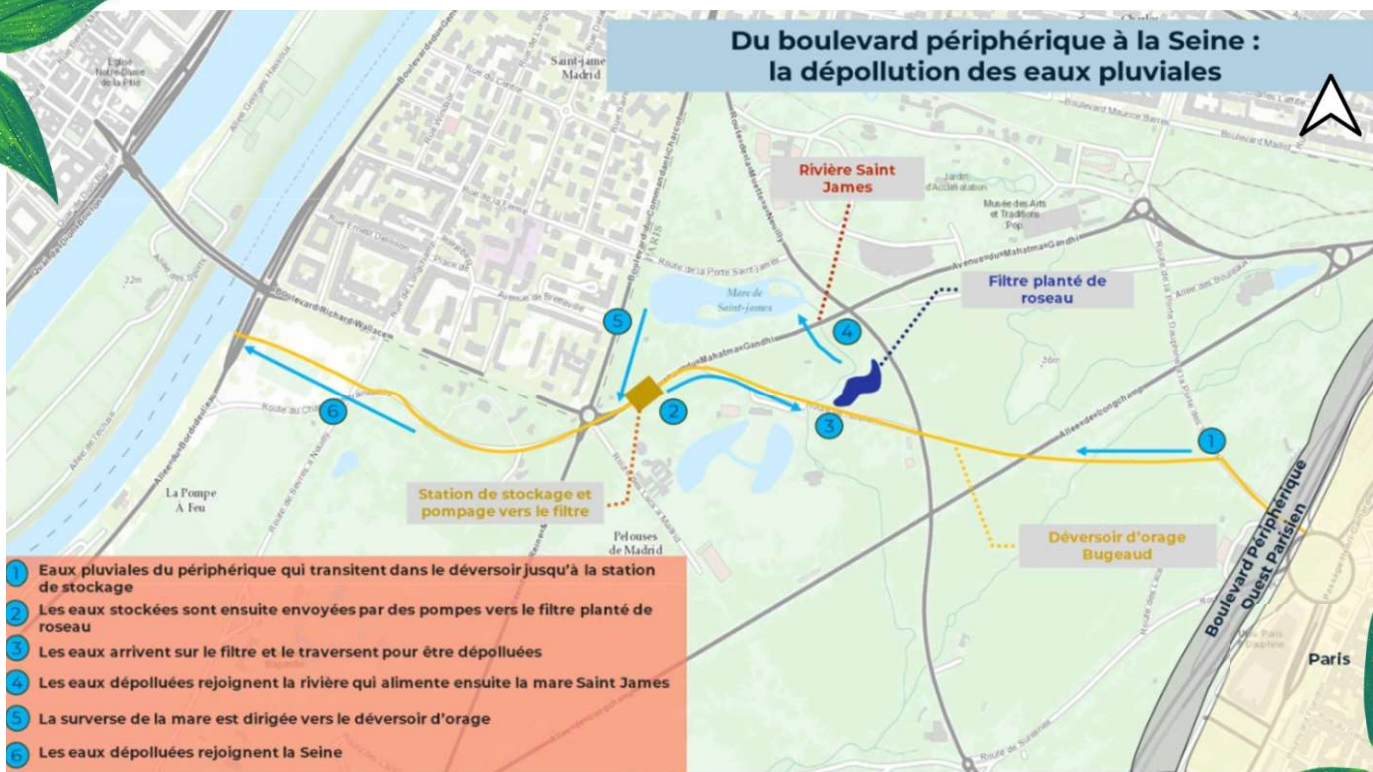
Étude du filtre dans le cadre du
projet Bee4Bio à AgroParisTech

05/05/2025



Contexte

filtre planté de roseaux du bois de Boulogne



Source : La Ville de Paris

Origine du projet à Paris

- L'objectif principal du filtre est de traiter les eaux de ruissellement du périphérique ouest
- Réduire de 95% la pollution rejetée dans la Seine
- Diminuer les rejets dans le réseau départemental

2010 → 2016

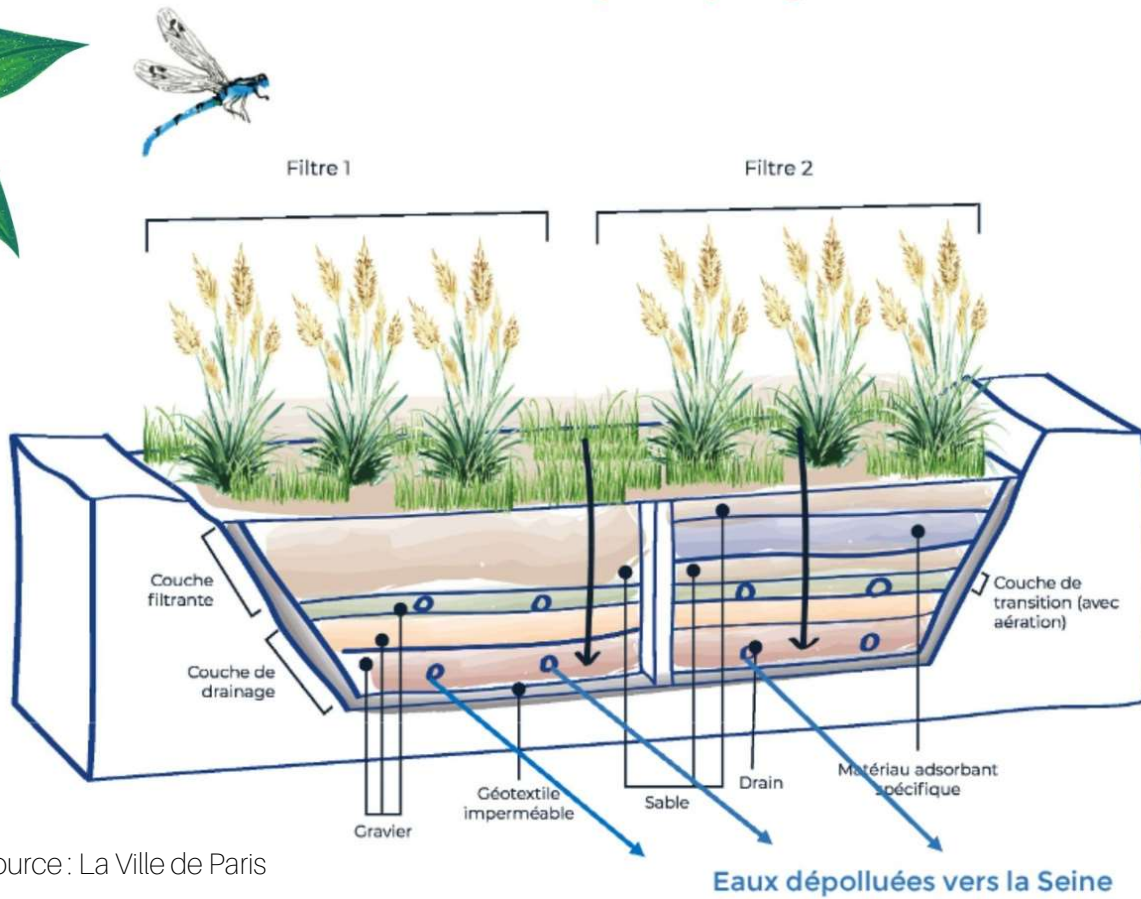
2018 → 2021

Fonctionnement du filtre

Objectifs du projet

Contexte

filtre planté de roseaux du bois de Boulogne



Source : La Ville de Paris

Origine du projet

Fonctionnement du filtre

- **Système à écoulement vertical**
- Il favorise l'infiltration de l'eau dans un substrat non saturé pour maintenir des conditions aérobies.
- Chaque filtre est alimenté par bâchées, en alternance, pour une efficacité optimale
- Les roseaux sont essentiels

Objectifs du projet

Contexte

filtre planté de roseaux du bois de Boulogne

Objectifs du projet BEE4BIO

Q1- L'évaluation de **l'efficacité du filtre** dans le traitement des eaux.

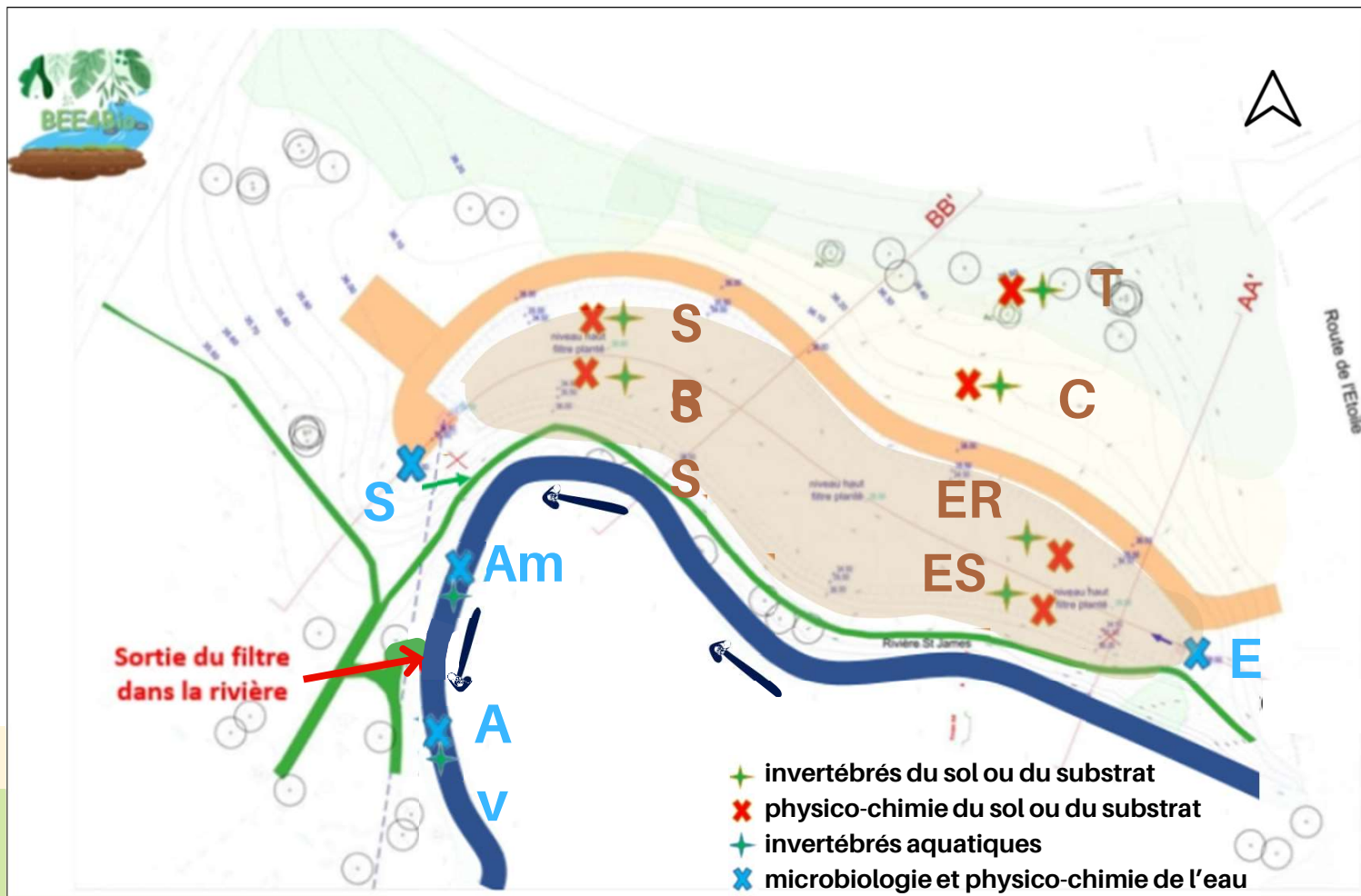
Q2- L'analyse des **impacts bio-physico-chimiques des eaux du filtre sur la rivière**, en aval du dispositif.

Q3- **L'étude de la dynamique spatio-temporelle** des paramètres bio-physico-chimiques au sein du filtre.

Q3- L'observation de la dynamique de **colonisation biologique du filtre**, ainsi que de l'influence réciproque entre cette biodiversité et celle des sols environnants.

Échantillonnages

Des **sites de prélèvements** spécifiques à chaque **atelier**



Zone	
Témoin	T
Chantier	C
Entrée Filtre Sable	ES
Entrée Filtre Rainclean®	ER
Sortie Filtre Sable	SS
Sortie Filtre Rainclean®	SR
Amont du rejet	AM
Aval du rejet	AV
Entrée Filtre (trappe)	E
Sortie Filtre (trappe)	S

Contexte

filtre planté de roseaux du bois de Boulogne

Temporel

Prélèvements

07/04/2025

Analyses

08/04/2025 → 15/04/2025

Traitement et
analyse de résultats

15/04/2025 → 25/04/2025

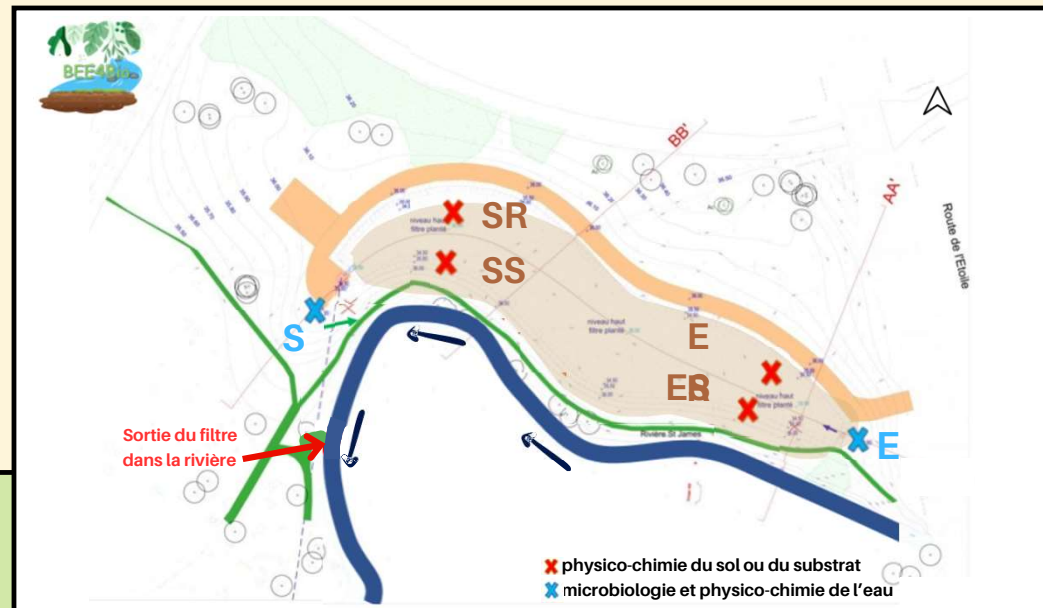
31/03/2025

05/05/2025



T0=construction du filtre
T1=8 mois après

Q1 : Evaluation de l'efficacité du filtre dans le traitement de l'eau



Objectif et démarche



Contamination chimique

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Éléments traces métalliques (ETM)

Contamination biologique

Microflore totale

Bactéries à valeur sanitaire

Coliformes totaux

Coliformes fécaux

Spores de clostridium sulfito-réducteur

Cycles biogéochimiques

Composés azotés

Bactéries à valeur fonctionnelle

Bactéries sulfito-réductrices

Bactéries ammonifiantes

Bactéries dénitrifiantes

Paramètre physico-chimique

Matières en suspension (MES)

L'évaluation de l'efficacité du filtre dans le traitement de l'eau.

Mesures de différents paramètres à l'entrée et à la sortie du filtre.

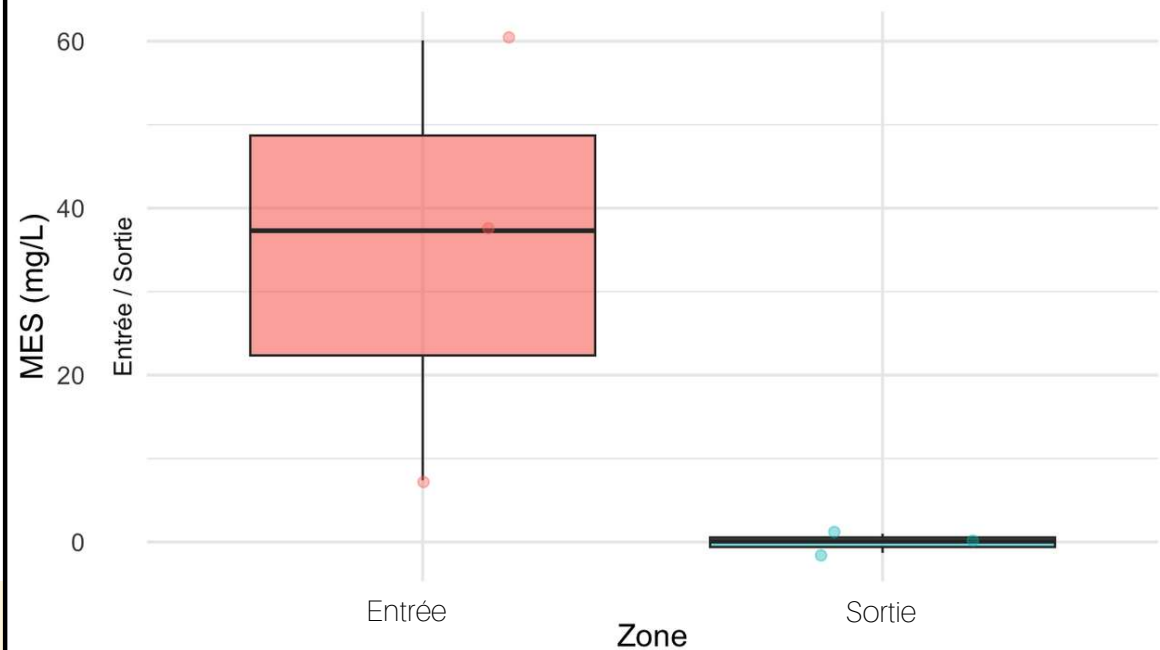


Q1 : Efficacité du filtre

Abattement physico-chimique du filtre

- MES (Matières en Suspension)

Distribution de MES entre entrée et sortie



Valeurs de références - Norme
de rejet pour les eaux usées
urbaines en temps de pluie
(STEP - RUTP)

< 35 mg/L

Concentration en
sortie

0,55 mg/L
(moyenne)

Chocat, Bernard. 2014. «Les eaux pluviales : un outil pour des techniques alternatives de gestion à la source de la pollution.». Groupe de travail "eaux pluviales et aménagement" du Graie. Lyon : Graie.

Abattement moyen ➡ **98%**

Très faible concentration détectée en sortie
Rétention physique par le massif sableux
Dépot sédimentaire à l'entrée

Q1 : Efficacité du filtre



Contamination chimique des sols

Hypothèse à confirmer par des mesures de teneurs en HAP et ETM dans l'eau filtrée

↘ de la teneur en ETM et HAP entre **l'entrée** et la **sortie** du filtre

→ ETM / HAP contenus dans l'eau = adsorbés en entrée de filtre par le substrat

	ES	SS	ER	SR	C	T	Fonds pédogéo- chimiques
Cadmium (mg/kg)	0,318	0,0924	0,218	0,115	0,271	0,357	[0,05 ; 0,45]
Chrome (mg/kg)	36,3	16,4	30,1	56,6	18,9	18,4	[10 ; 90]
Cuivre (mg/kg)	80,9	8,17	52,9	23,5	9,42	13,0	[2 ; 20]
Nickel (mg/kg)	16,8	11,0	17,0	25,2	9,87	11,1	[2 ; 60]
Plomb (mg/kg)	51,6	24,8	37,1	22,3	45,3	60,4	[9 ; 50]
Zinc (mg/kg)	209	27,8	141	92,0	60,5	72,2	[10 ; 100]
HAP (mg/kg)	0,847	0,543	0,466	0,113	0,130	2,21	< 50

Valeurs moyennes de référence des teneurs en ETM retrouvées dans les sols de France exempts d'activité anthropique

Issues du programme ASPITET
INRA – Denis Baize, 2010

Accumulation d'ETM et HAP dans le sol = impacts problématiques sur la biodiversité :

- **Cu et Pb** en excès → tuent / inhibent certains micro-organismes → baisse de biodiversité + perturbation des cycles biogéochimiques et de la dégradation de la MO au sein du filtre

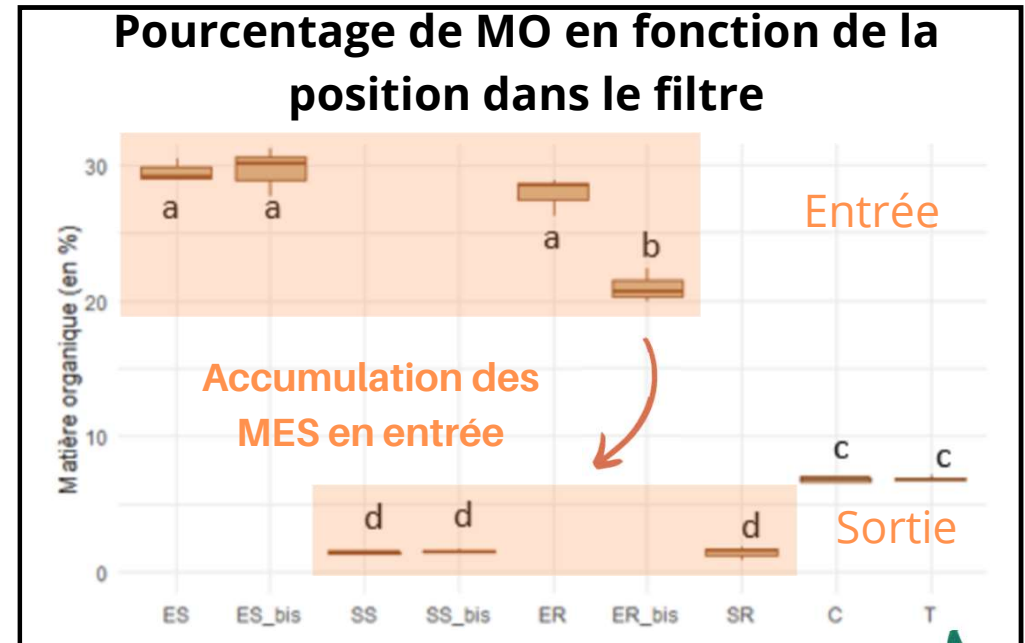
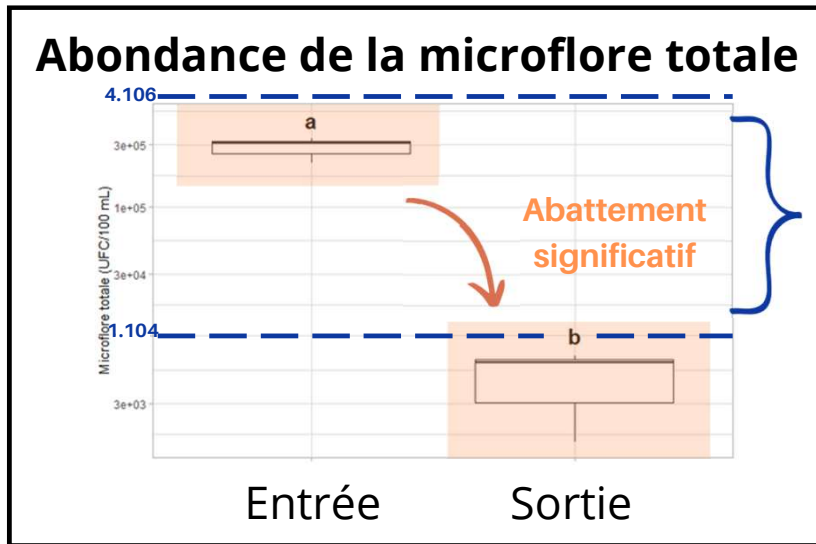
Teneurs en HAP très faibles :
proche de 0 mg/kg

Teneurs en ETM et HAP plus
élevées que dans les autres sols

Cu mis à part : pas de teneur en ETM trop élevée en **sortie** de filtre par rapport au fond géologique (même si élevé en entrée)

Q1 : Efficacité du filtre

Abattement bactérien

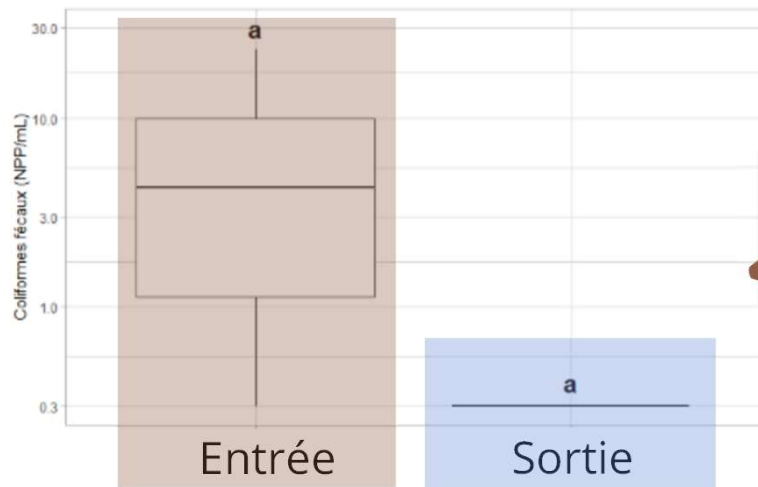


- Eaux **peu chargées** en micro-organismes en entrée → cohérent pour des eaux de ruissellement
- Lié aux **abattements de la MO** et des **MES** -> fixation sur le filtre, moins de support de biofilms et de ressources métaboliques
- **Traitement efficace** des microorganismes en général

Q1 : Efficacité du filtre

Contamination fécale

Abondance des coliformes totaux



100 bact/mL (OMS)

Indicateur de contamination **ancienne** et **récente** en entrée

Aucune contamination en sortie

Abondance des spores de BSR

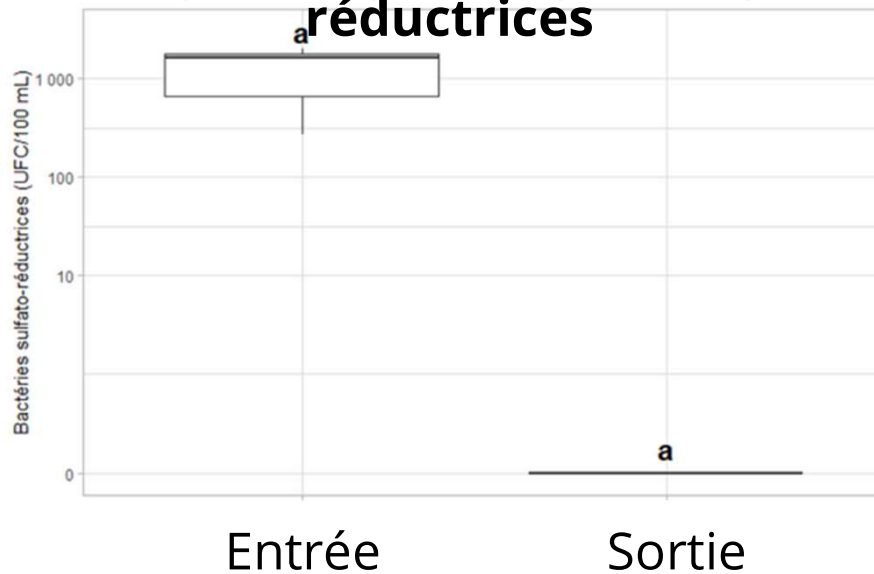


- Différences **non significatives** (variabilité liée aux **faibles concentrations**, hasard d'échantillonnage)
- **Filtre efficace** dans le traitement des bactéries sanitaires

Q1 : Efficacité du filtre

Cas des Bactéries Sulfito-réductrices

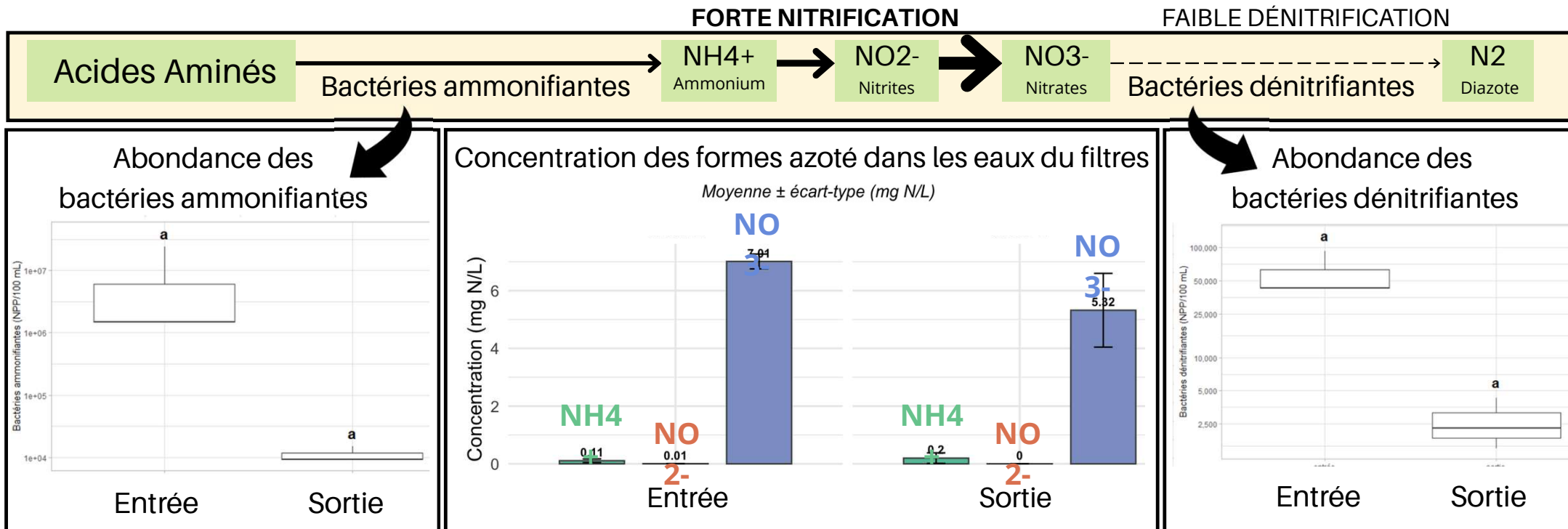
Abondance des bactéries sulfito-réductrices



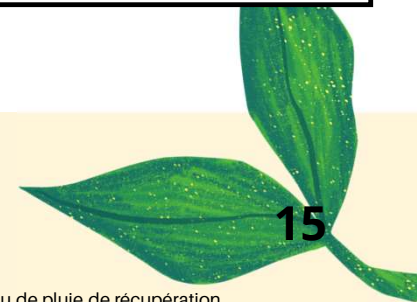
- **Faible concentration** de bactéries - oxygénation du filtre
- **Abattement = 99,9%**
- Différences **non significatives** (faibles concentrations)
- Aller plus loin : mesure de l'O₂ dissous, présence de sulfates, sulfure d'hydrogène...

Q1 : Efficacité du filtre

Traitement de l'azote



- **NO₃⁻ majoritaire**, valeurs en entrée cohérentes avec eaux de ruissellement
- **Pas d'abattement significatif** des microorganismes et composés azotés
- Manque de données sur l'O₂ dissous
- **Traitement incomplet** de l'azote



Q1 : Efficacité du filtre

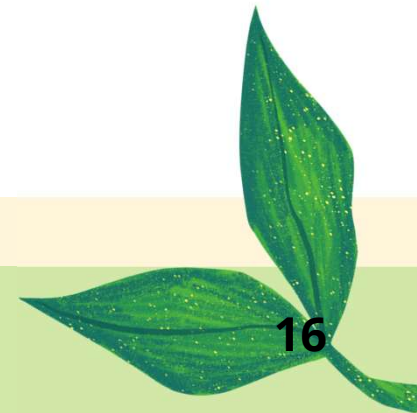
Conclusion partielle

Eaux peu contaminées en
entrée

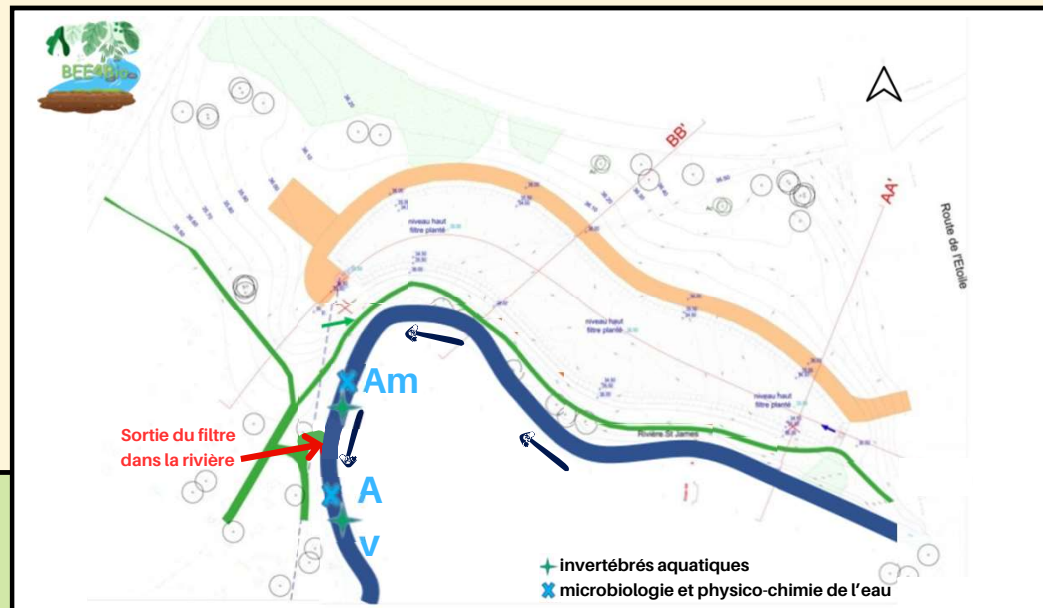
Diminution globale entre entrée et
sortie

Pas de différence statistiquement significative entre entrée et sortie

Fonctionnement aérobie du
filtre



Q2 : Impacts bio-physico-chimiques des eaux du filtre sur la rivière



Objectif et démarche



Contamination biologique

Microflore totale

Bactéries à valeur sanitaire

Coliformes totaux

Coliformes fécaux

Spores de clostridium sulfito-réducteur

Paramètre physico-chimique

MES

Contamination chimique

HAP

ETM

Cycles biogéochimiques

Composés azotés

Bactéries à valeur fonctionnelle

Bactéries sulfito-réductrices

Bactéries ammonifiantes

Bactéries dénitrifiantes

Indicateurs de qualité écologique

Macroinvertébrés
aquatiques

Richesse spécifique

Abondance

Indices de diversité : Shannon, Simpson

Indice d'équitabilité

Indice IBGN

L'évaluation des impacts bio-physico-chimiques
des eaux du filtre sur la rivière.

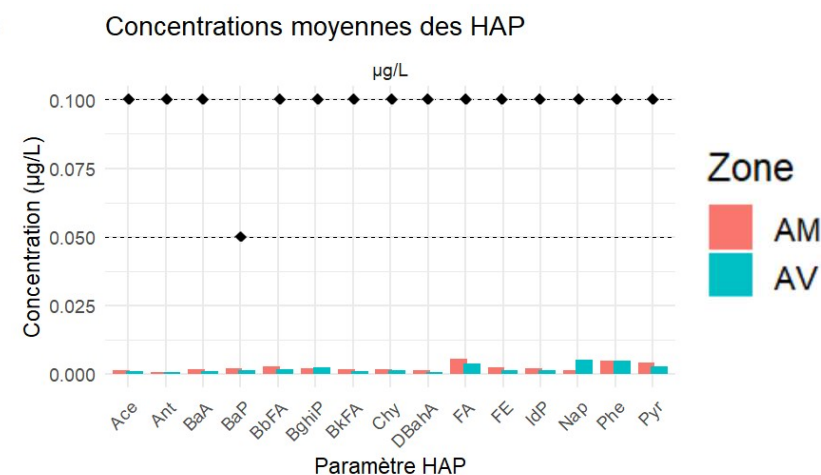
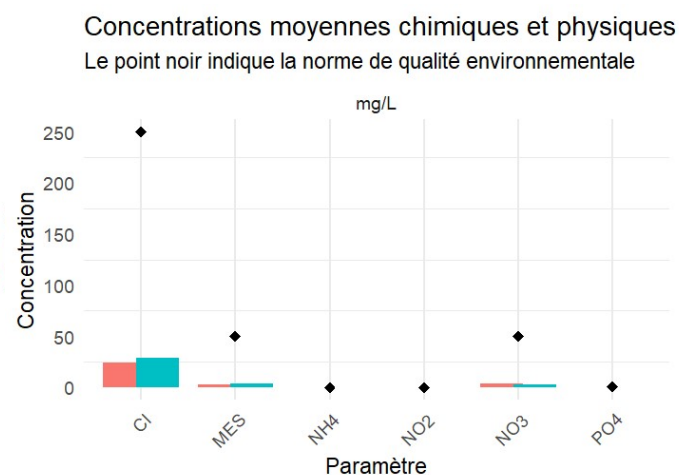
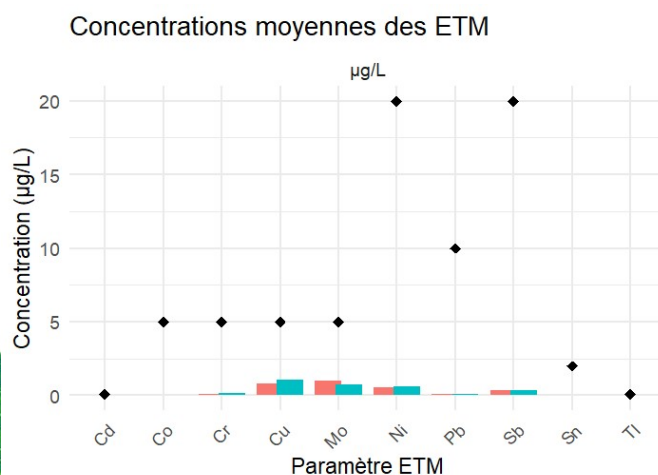
Mesures de différents paramètres **en amont et aval du rejet** de l'eau filtrée dans la **rivière**.



Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

Normes de qualités environnementales européennes exprimées en concentration maximale admissible dans les eaux de surfaces

intérieures (rivières et lacs) ♦: Norme



Respect des normes environnementales établies

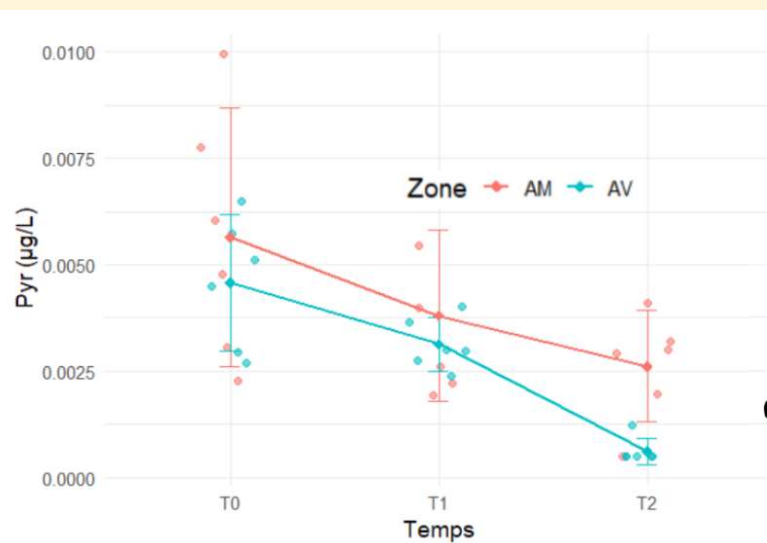
Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

Mesure de différentes variables en amont et en aval du rejet de l'eau filtrée

41 variables analysées

Aucune différence significative entre l'amont et l'aval sur les 3 périodes de prélèvement .

Concentration en Pyrène (HAP) en amont et en aval



Cela suggère que le filtre :

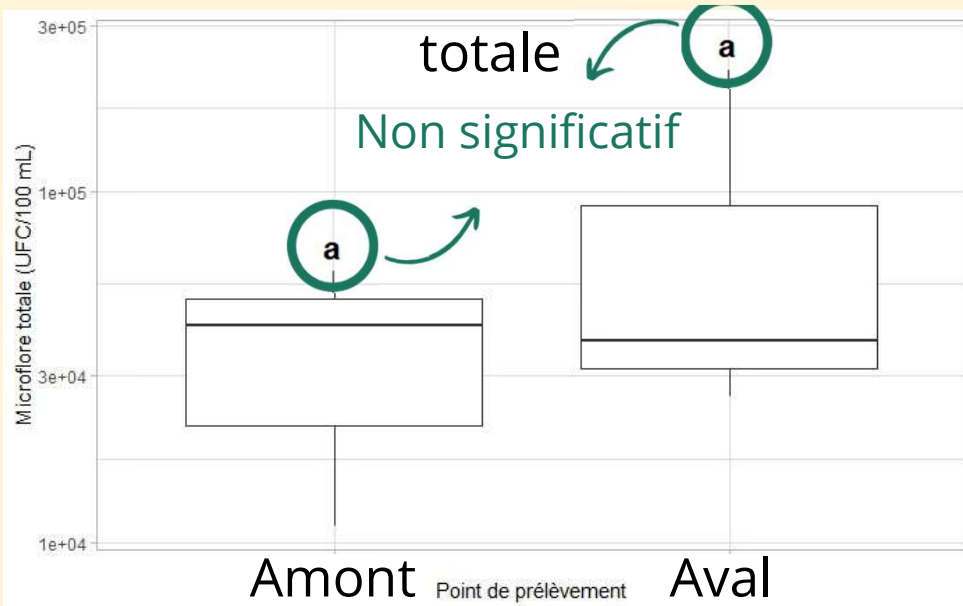
- **Ne constitue pas une source de pollution métallique.**
- **Ne rejette pas de polluants organiques**

Certaines baisses observées suggèrent un **effet de dilution** dans la rivière.

Exemple

Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

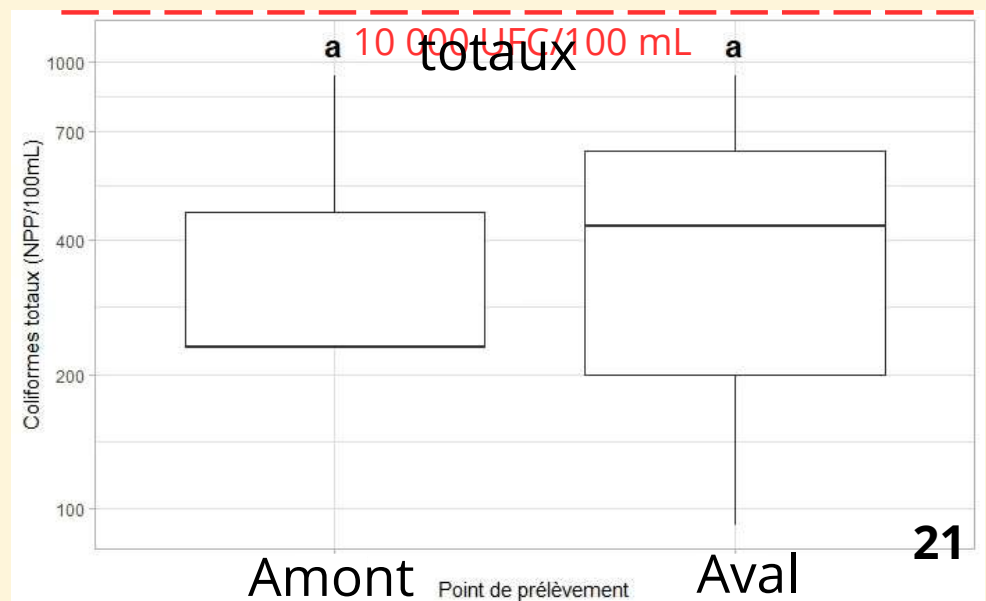
Abondance de la microflore



Micro-organismes à valeur sanitaire :
 ➔ qui représentent un risque sanitaire

- Pas d'impact significatif sur les coliformes fécaux/totaux
- Respect des valeurs seuils fixées

Abondance des coliformes



➔ Pour avoir des résultats plus précis, on s'intéresse aux différents types de micro-organismes

Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

Micro-organismes à valeur fonctionnelle

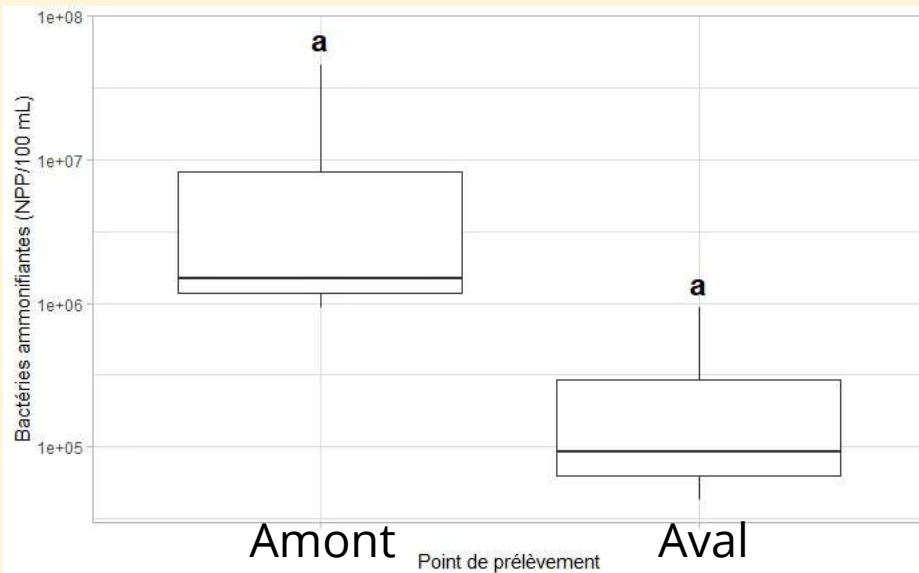
- Absence de bactéries sulfato-réductrices
- Diminution non significative des bactéries ammonifiantes et dénitrifiantes

Hypothèses

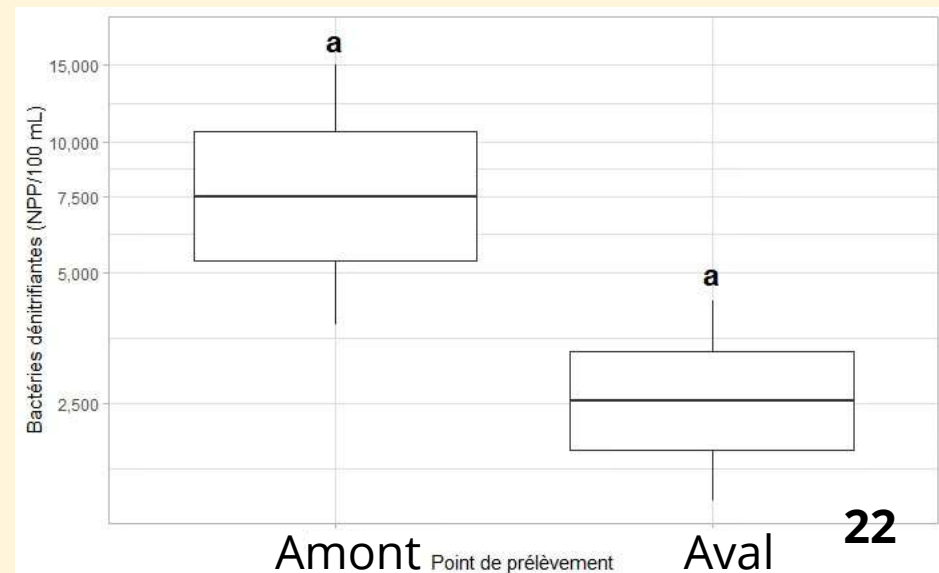
Retenues ou qui ne survivent pas au sein du filtre

Modification des conditions physico-chimiques de la rivière (\downarrow NO_3^-)

Abondance de Bactéries Ammonifiantes



Abondance de Bactéries Dénitrifiantes



Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

Macroinvertébrés aquatiques

EAU

16 taxons identifiés au total

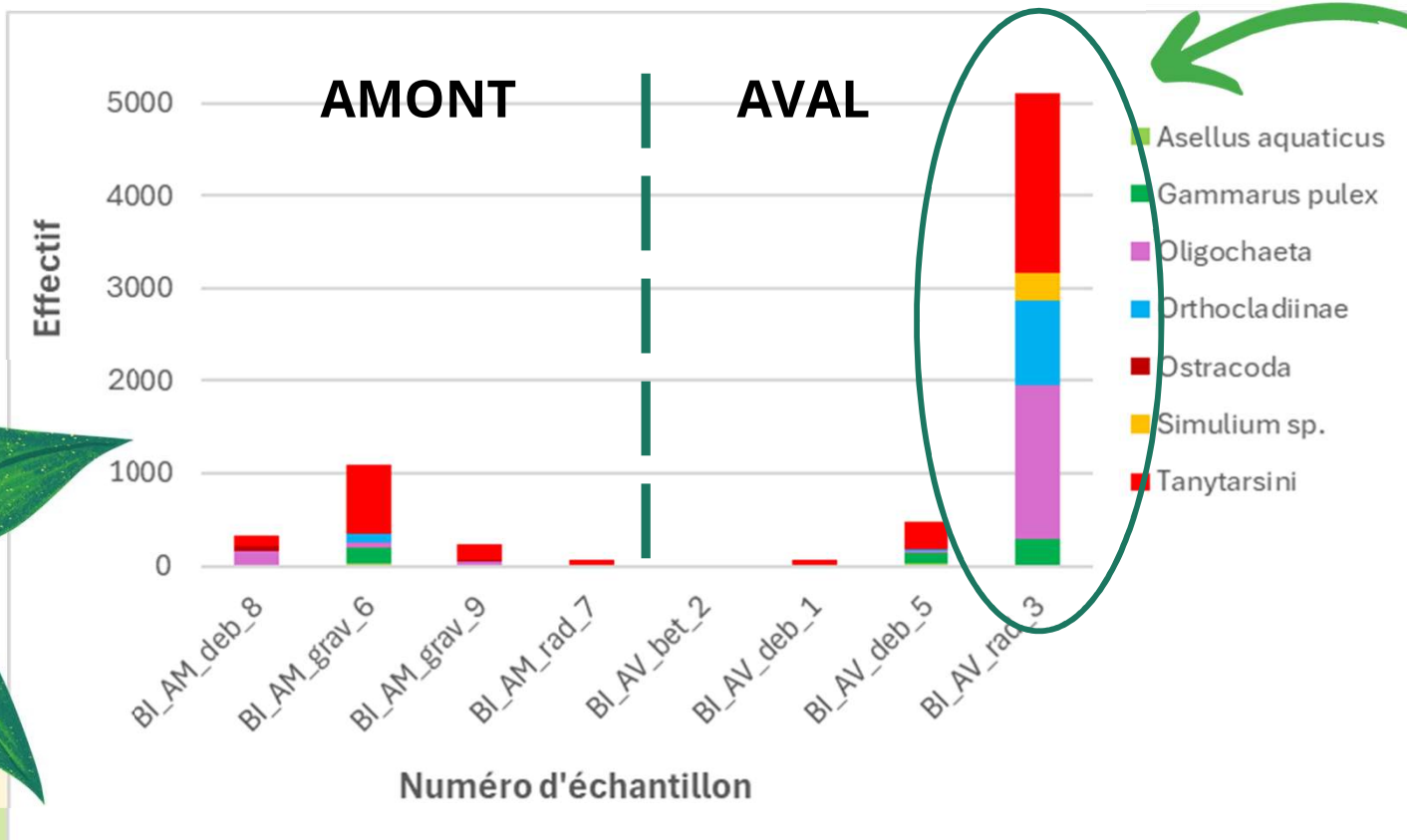
15 en amont, 12 en aval

	Shannon	Simpson	Richesse spécifique	Indice d'équitabilité
AMONT				
tous les échantillons	1,23	0,57	15	0,45
AVAL				
tous les échantillons	1,42	0,71	12	0,57

Indices de **diversité biologique** :
un indice plus élevé indique une biodiversité plus riche

Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

EAU



effectifs nettement plus élevés

représente à lui seul $\frac{2}{3}$ des effectifs totaux

Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

Tableau de détermination du groupe faunistique indicateur

Taxons	Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae
G.F.I	7	8	9

Taxons	Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae
G.F.I	4	5	6

Taxons	Asellidae Achètes Chironomidae Oligochètes	Baetidae Caenidae Elmidae Gammaridae Mollusques	Limnephilidae Hydropsychidae Ephemerellidae Aphelocheiridae
G.F.I	1	2	3

En gras les taxons représentés par au moins 10 individus.

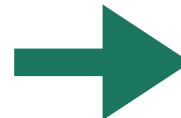
EAU

Indice IBGN

Indice de **qualité biologique**
d'un cours d'eau

Combinaison de deux notes liées à :

- la **variété taxonomique**
- un **groupe indicateur**



IBGN = 6/20
(mauvaise qualité biologique)



Q2 : Impacts du filtre sur la rivière

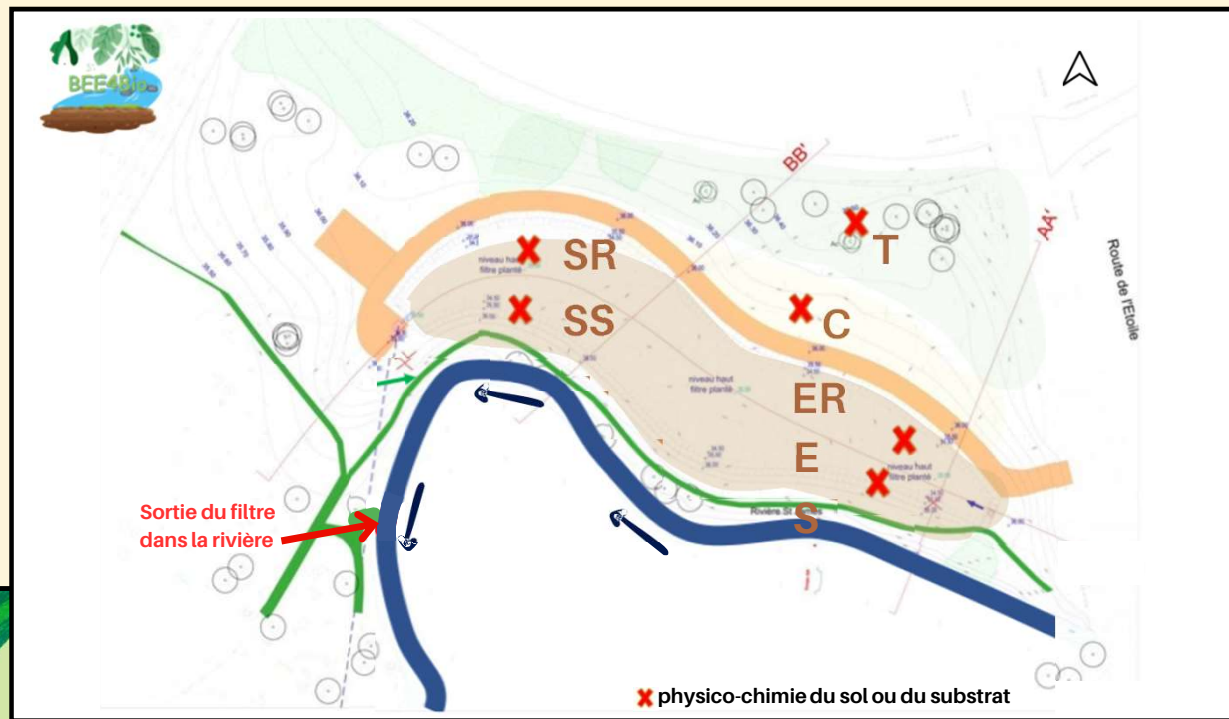
Conclusion partielle

Pas d'impact négatif du filtre sur la qualité de la rivière

Potentiel **effet de dilution** de l'eau rejetée par le filtre sur la rivière
mais manque de données sur le fonctionnement
hydraulique du filtre et du débit de la rivière



Q3 : Étude de la dynamique spatio-temporelle des paramètres bio-physico-chimiques



Objectif et démarche



L'étude de la dynamique spatio-temporelle des paramètres bio-physico-chimiques au sein du filtre.

Contamination chimique

Éléments traces
métalliques (ETM)

Hydrocarbures aromatiques
polycycliques (HAP)

3 temps de prélèvements :

T0 (Installation)

T1 (8 mois)

T2 (5 ans)

Paramètres physico-chimiques

Présence de carbonates

pH

Texture

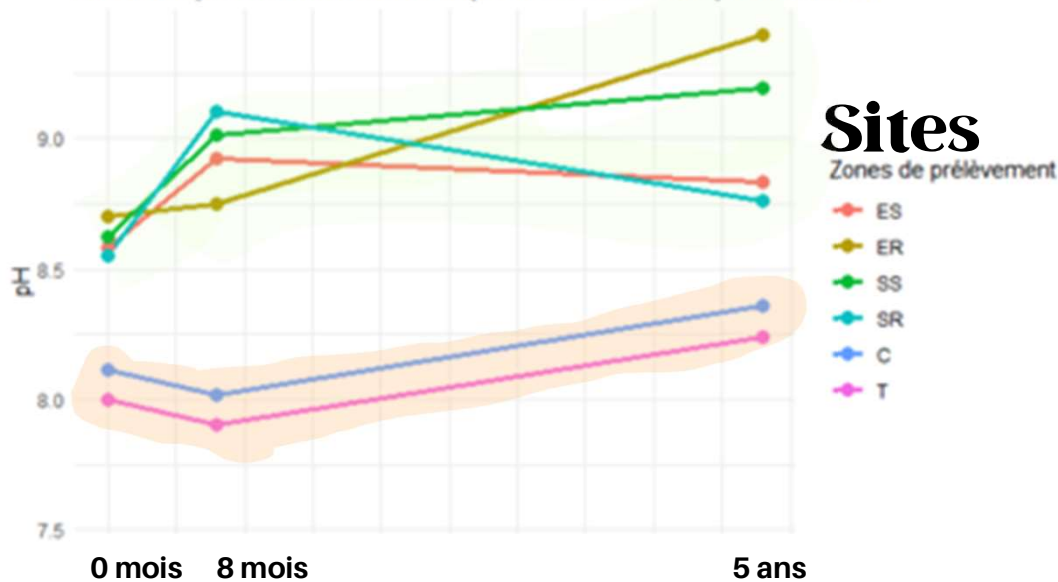
Taux de matière organique

Mesure de différents paramètres à l'entrée et à la sortie du filtre, ainsi que dans les zones chantier et témoin (0 - 10 cm)

Q3 : Dynamique spatio-temporelle

- pH : SOL Filtre Témoins

Etude du pH en fonction du temps et des zones de prélèvement



Temps de prélèvement

pH en fonction du temps

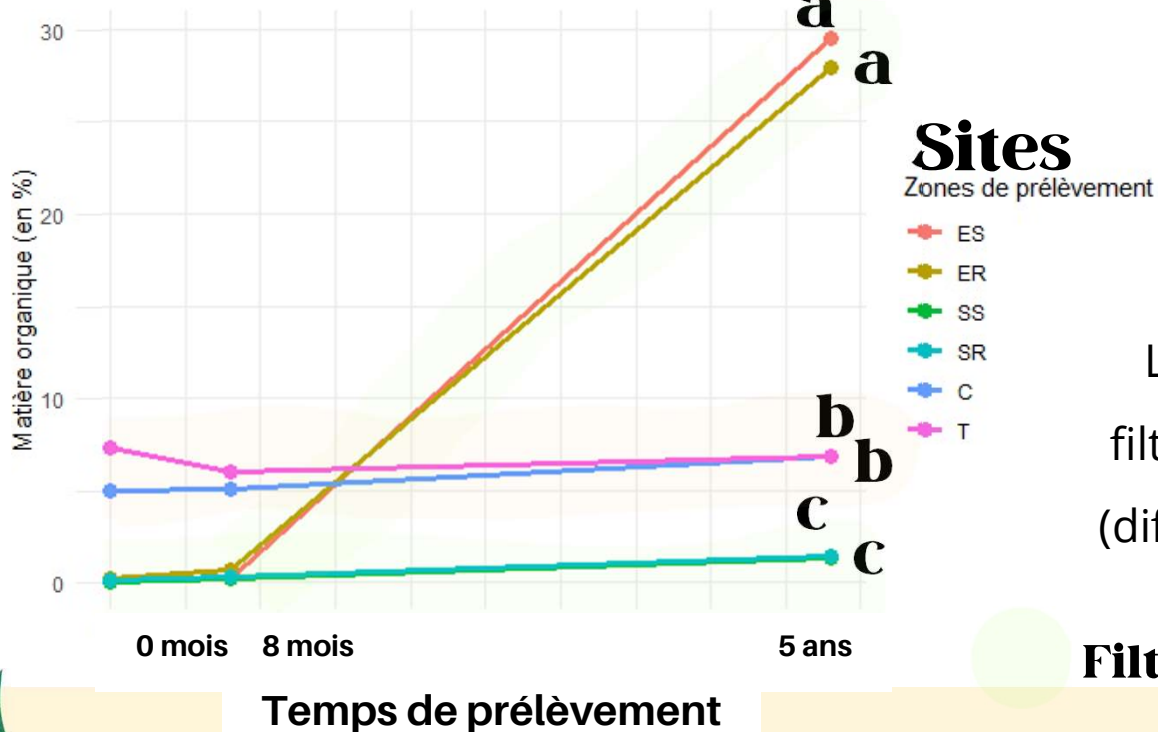
- Le milieu est plus basique dans le filtre qu'en dehors : présence d'éléments calcaires dans le sol et éléments chimiques basifiants (CaCO_3 , Mg, Ca...)
- Le pH tend à augmenter mais pas de différence significative : pouvoir tampon du substrat (augmentation du pH à 8 mois, puis une stagnation ou une légère décroissance à 5 ans)



Q3 : Dynamique spatio-temporelle

• Matière organique :

SOL



La matière organique (MO) augmente à l'entrée du filtre : accumulation de sédiments visible sur le terrain.



La MO reste très peu conséquente en sortie du filtre : rétention et biodégradation le long du filtre (différences significatives visibles grâce aux lettres)

Filtre

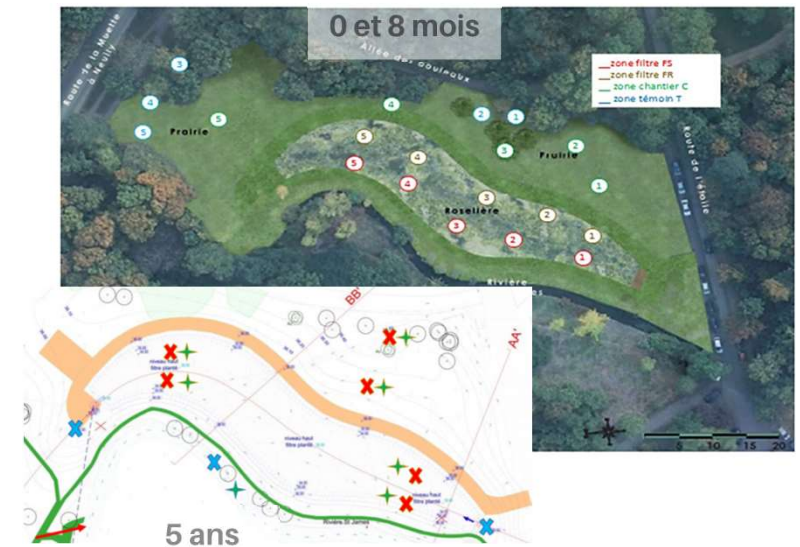
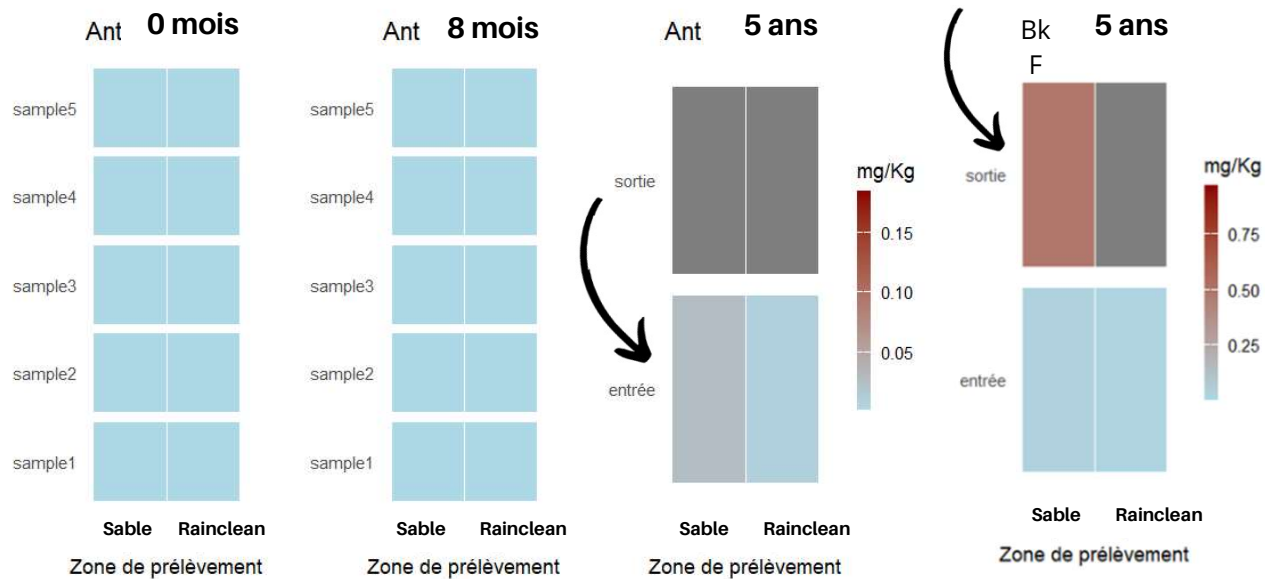
Témoins

MO en fonction du temps

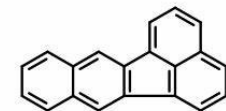
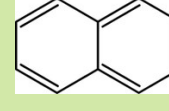
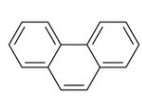
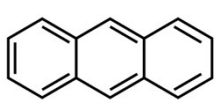
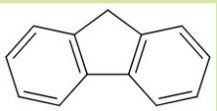
Q3 : Dynamique spatio-temporelle

- **HAP** : Légère accumulation à l'entrée de filtre

SOL



Fluorène (Flu), Anthracène (Ant) Phénanthrène (Phe) Naphtalène (Nap), Benzo(k)fluoranthène



Acronymes : Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Q3 : Dynamique spatio-temporelle

- HAP

SOL

1. Les teneurs sont faibles.
2. Il faut donc relativiser sur nos résultats
3. On observe des zones de légère accumulation pour certains HAP
 - a. "Entrée sable/rainclean" : **Fluorène (Flu), Anthracène (Ant) Phénanthrène (Phe)**
Naphtalène (Nap)
 - b. "Sortie sable" : **Benzo(k)fluoranthène**

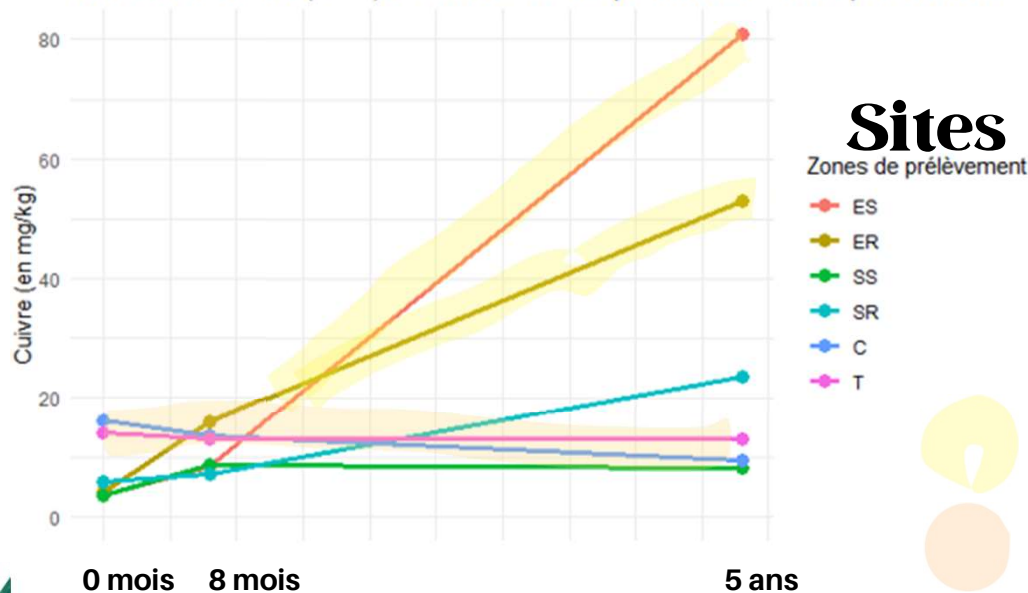


Q3 : Dynamique spatio-temporelle

• ETM

SOL

Etude de le Cuivre (ETM) en fonction du temps et des zones de prélèvement



- La majorité des ETM s'accumule en entrée du filtre notamment **l'étain, le cuivre et le zinc.**

Entrée filtre

Témoins (Hors filtre)

Cuivre en fonction du temps

Acronymes : Eléments traces métalliques (ETM)

Q3 : Dynamique spatio-temporelle

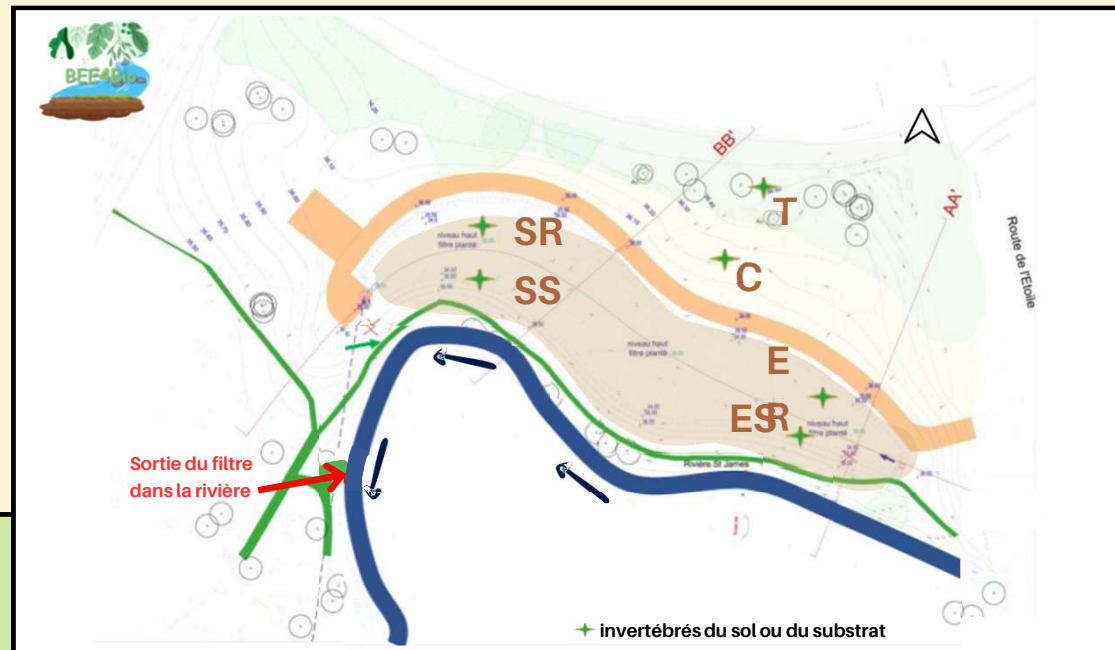
Conclusion partielle :

SOL

- Le substrat est basique avec un **pouvoir tampon important**.
- La matière organique et certains HAP et ETM communs s'**accumulent** légèrement en **entrée** du filtre.
- On peut supposer que la **matière organique** qui s'accumule en entrée **retient aussi les polluants** ce qui explique leur teneur plus haute à cet endroit.
- On suppose que les HAP peuvent être piégés (par sédimentation et adsorption) dans le bassin d'orage en amont du filtre.

Acronymes : Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Éléments traces métalliques (ETM)

Q4 : Étude de la dynamique de colonisation biologique du filtre



Objectif et démarche



L'étude de la dynamique de colonisation biologique du filtre, ainsi que de l'influence réciproque entre cette biodiversité et celle des sols environnants

Microfaune

Nématodes



<https://springday.fr/wp-content/uploads/2020/08/nematode-limaces.jpg>

Densité

Mésafaune

Enchytréides



https://fr.search.yahoo.com/_ylt=AwrEsYJ2x_xnCqK54RuAQx..._ylu=c2VjA2ZwLWF0dHJpYgRz bGsDcnVybA-/RV=2/RE=1744648182/RO=11/RU=http%3a%2f%2fagriculture-de-conservation.com%2fConnaissez-vous-les-enchytreides.html/RK=2/RS=P6UcDCP3hvPk8pNeiO5K1NgSXWA-

Macrofaune

Vers de terre

Espèces présentes

Densité

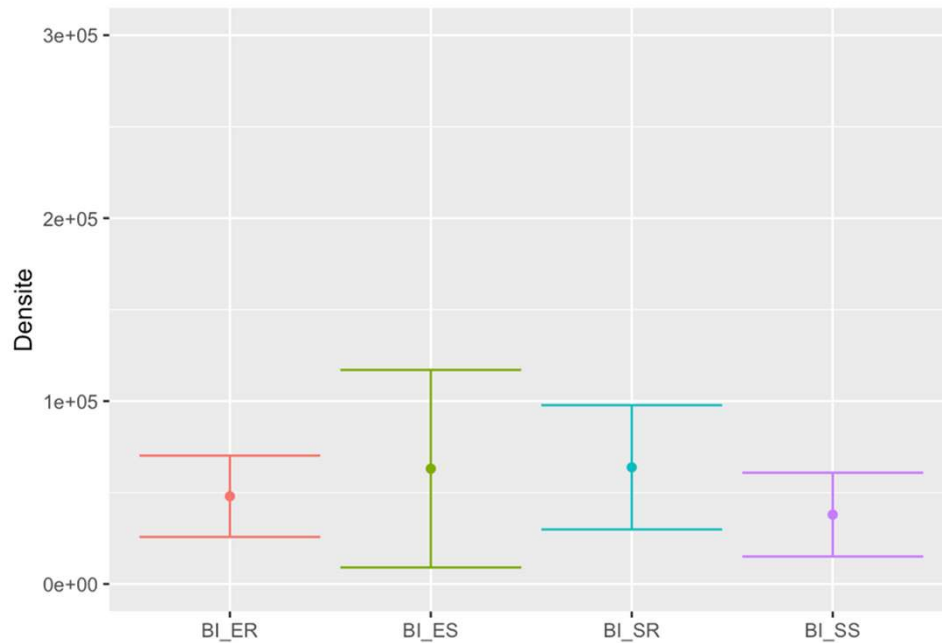
Masse



<https://springday.fr/wp-content/uploads/2020/08/nematode-limaces.jpg>

1. Évolution biologique au sein du filtre

Nématodes :

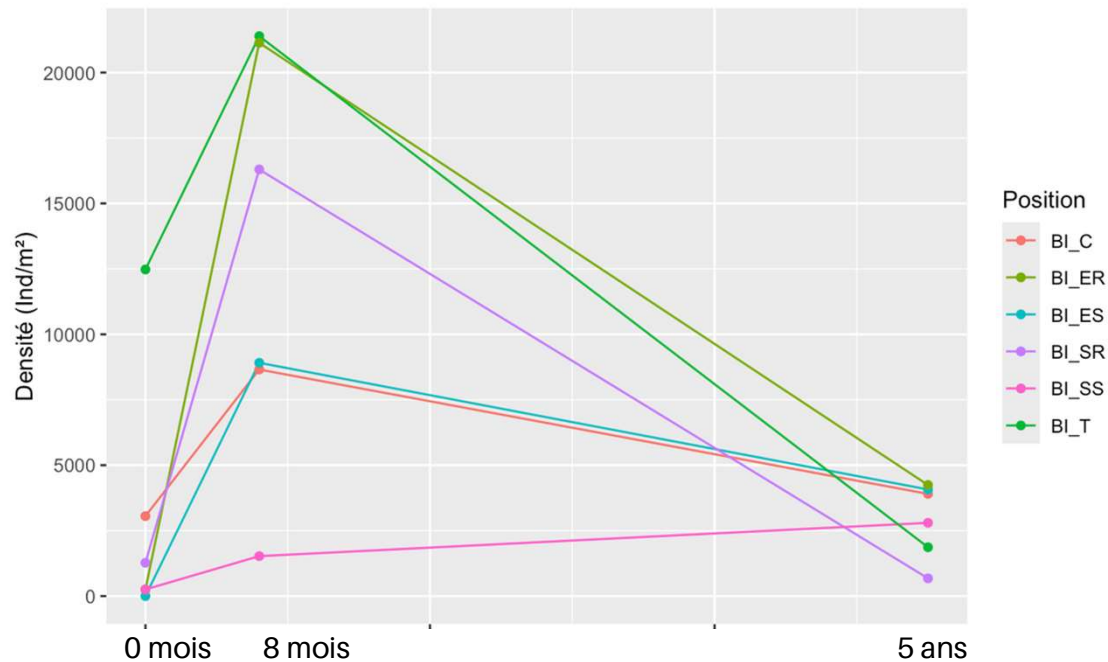


Évolution de la densité en nématodes (ind/m²)

- **Pas de différence** entre les points de prélèvements au sein du filtre

1. Évolution biologique au sein du filtre

Enchytréides :

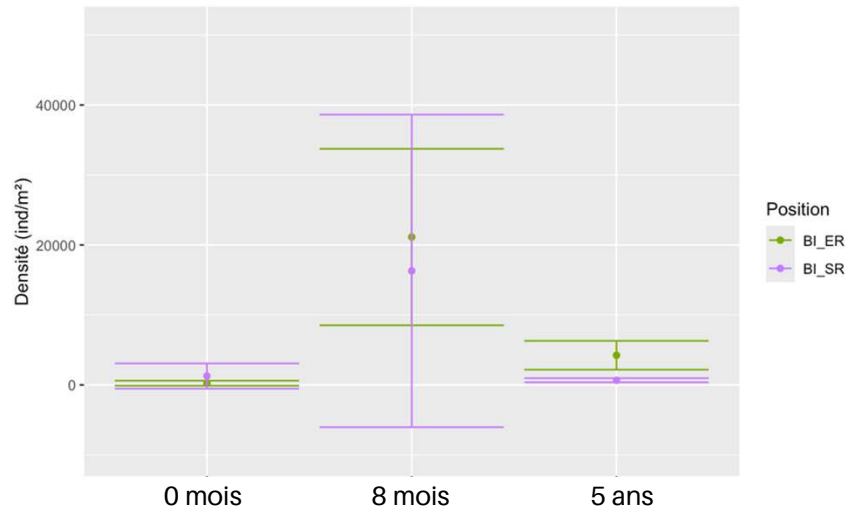


Évolution de la densité en enchytréides (ind/m²)

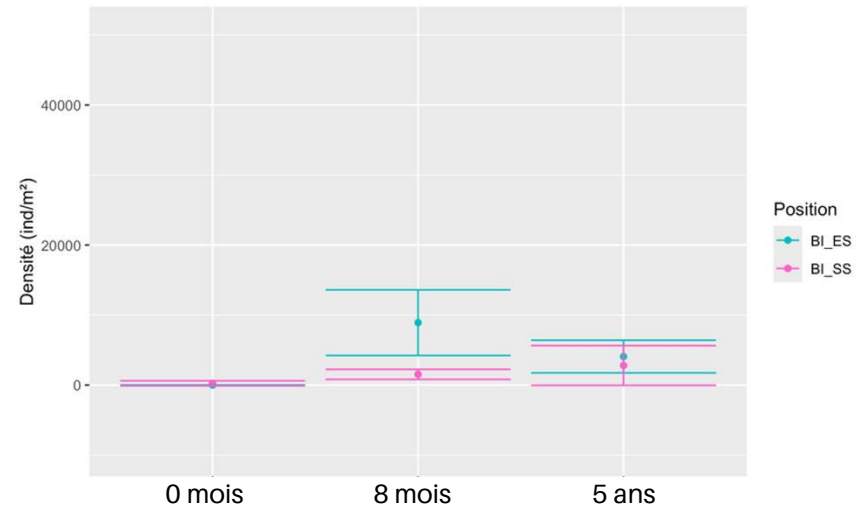
- Densité faible après construction du filtre, **augmentation** après 8 mois **puis diminution**.
 - > Dynamique de recolonisation puis régulation ?
 - > Colmatage du filtre ?
 - > Influence de la saisonnalité ?

1. Évolution biologique au sein du filtre

Enchytréides :



*Densité en enchytréides (ind/m²) dans le filtre **rainclean***

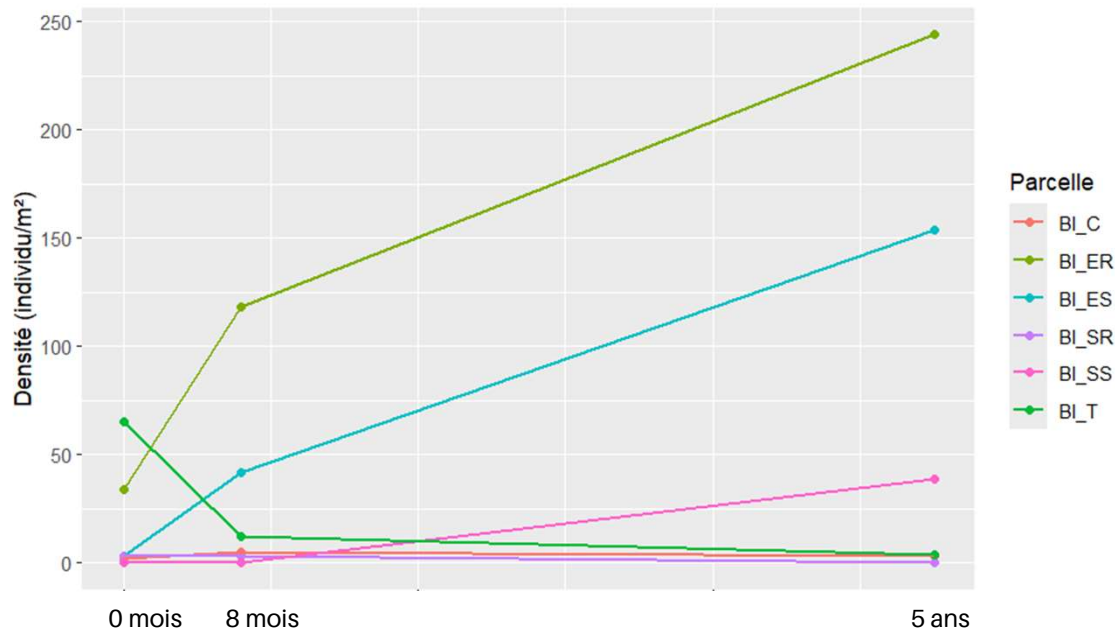


*Densité en enchytréides (ind/m²) dans le filtre **sable***

- **Pas de différence** en fonction des points de prélèvements dans le filtre.
- Augmentation de la densité après 8 mois puis retour à des densités similaires à celles mesurées juste après la construction du filtre

1. Évolution biologique au sein du filtre

Vers de Terre :

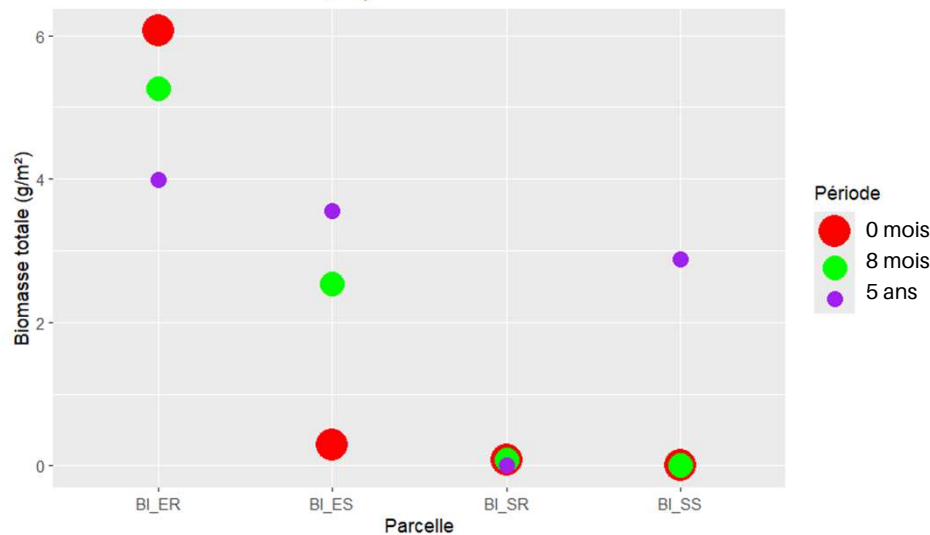


Densité en vers de terre en fonction du temps

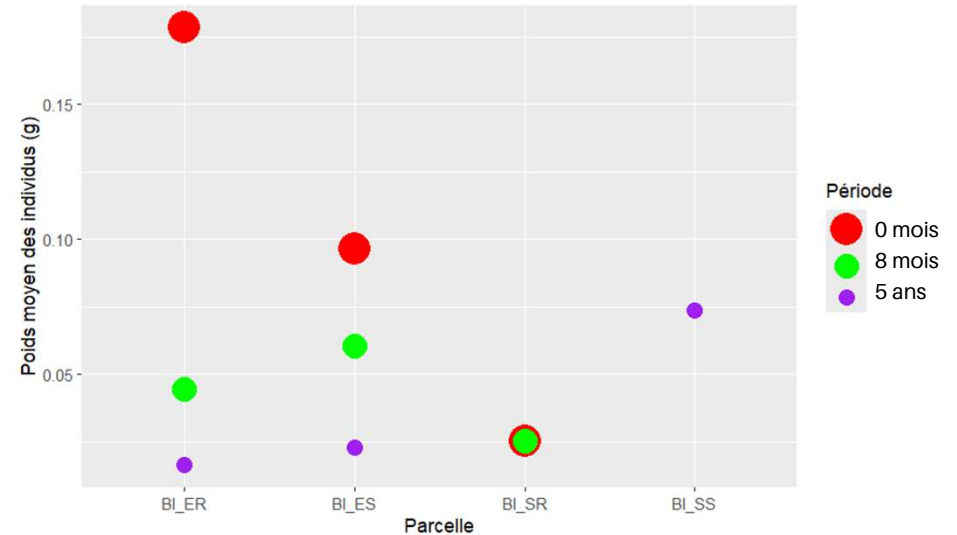
- Densité qui augmente en entrée du filtre.
- Densité qui diminue pour la zone témoin.
- Fluctuations en fonction du temps pour les autres sites mais tendance stable.

1. Évolution biologique au sein du filtre

Vers de Terre :



Biomasse des vers de terre dans le filtre en fonction du temps (mois)

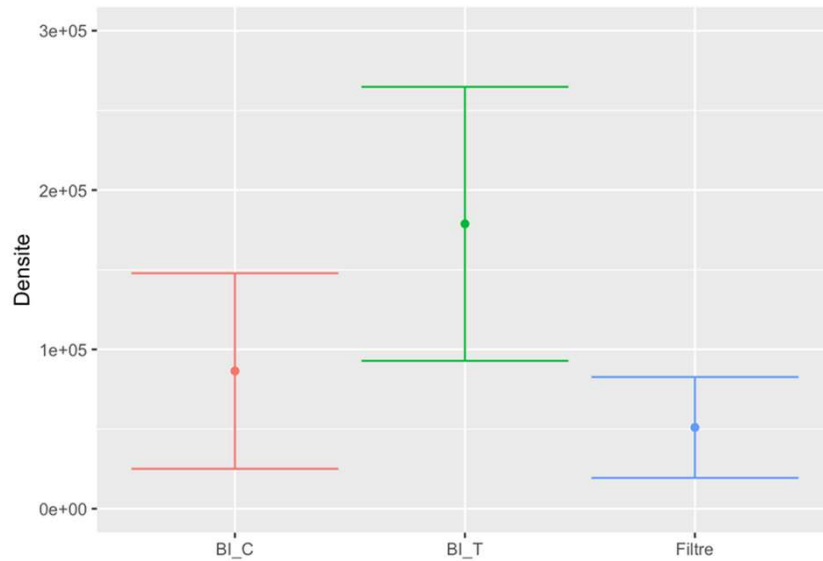


Poids des vers de terre dans le filtre en fonction du temps (mois)

- La biomasse est plus importante en entrée du filtre qu'en sortie → plus de matière organique à l'entrée ?
- Le poids moyen des individus diminue dans le temps : présence de juvéniles, plus légers → **saisonnalité**

2. Influence biologique entre le filtre et l'extérieur

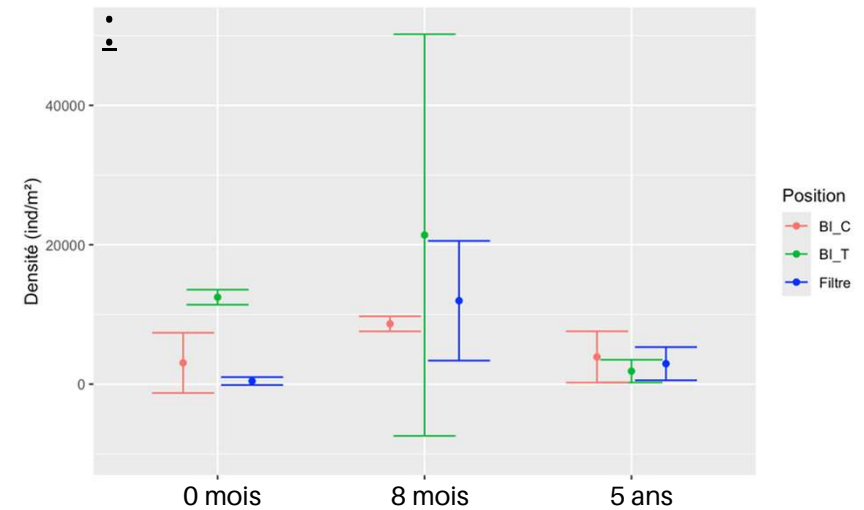
Nématodes :



Densité en nématodes (ind/m²)

- **Pas de différence** entre les sites en T2

Enchytréides



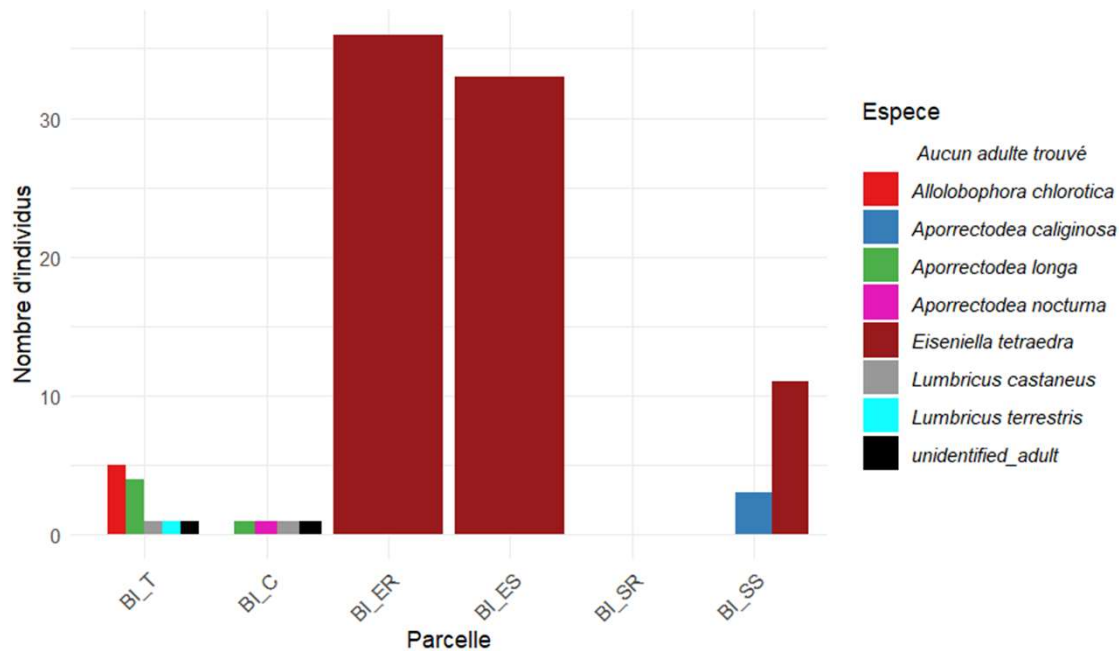
Densité en enchytréides (ind/m²)

- Variation dans les zones témoin et chantier dans le temps

→ **Saisonnalité**

2. Influence biologique entre le filtre et l'extérieur

Vers de Terre :



Nombre d'individus par espèce et par parcelle

- Moins de vers à l'extérieur que dans le filtre
- Une plus grande diversité de vers à l'extérieur du filtre
- *Eiseniella tetraedra* majoritaire dans le filtre (espèce semi aquatique), mais présence d'*Aporrectodea Caliginosa* (espèce terrestre)

-> **Faible influence** des zones environnantes : milieux trop différents ? Zone chantier comme frein à l'influence écologique ?

Q4 : Dynamiques biologiques

Conclusion partielle :

SOL

- La saisonnalité a une forte influence sur les résultats des différents prélèvements
- L'accumulation de matière organique dans l'entrée du filtre favorise le développement des organismes
- On observe un début d'influence écologique avec la présence d'une espèce de lombric terrestre dans une zone du filtre



Conclusion



- Diminution globale entre l'entrée et la sortie du filtre pour les paramètres analysés → filtre efficace et bien installé (peu dévolution temporelle)
- Eaux en entrée peu contaminées
- Pas d'impact des eaux du filtre sur la qualité de l'eau de la rivière sur les paramètres mesurés

Pistes d'amélioration pour le filtre :

Curage des sédiments plus régulier (lorsque la boue atteint 20cm)

Amélioration du dégrillage


Consolidation de la digue entre les deux filtres

Pour aller plus loin...

Prélèvements


Analyses

Traitement
des résultats

- 
- Moment de la bâchée
 - Saisonnalité et météo (température, humidité...)

- Faible nombre de réplicats \Rightarrow non-significativité
- Effet opérateur
- Dautres analyses auraient pu être réalisées

- Manque de résultats qui limite l'interprétation temporelle

The background of the slide is a light green color, decorated with several green leaves of varying sizes and orientations. The leaves are drawn with a textured, almost watercolor-like style. In the center of the slide, there is a large, light beige rectangular box with a thin black border. Inside this box, the text "Merci pour votre attention !" is written in a bold, black, serif font, centered horizontally and vertically.

**Merci pour votre
attention !**

BIBLIOGRAPHIE

- EauFrance. 2023. « Guide relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau. » Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB), France. Consulté le 24 avril 2025.
https://pluvial.cerema.fr/sites/pluvial/files/fichiers/2020/05/Neydens_Giroud_Novatech_2007.pdf
- Chocat, Bernard. 2014. « Les eaux pluviales : un outil pour des techniques alternatives de gestion à la source de la pollution. ». *Groupe de travail "eaux pluviales et aménagement" du Graie. Lyon : Graie*. Consulté le 24 avril 2025.
https://www.graie.org/graille/grailedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/EauxPluviales-outil-techniquesalternatives-pollution-juin2014.pdf.
- Gervasi, C. (Coord.). (2014). Protocole de prélèvement, d'échantillonnage et d'analyse des boues de filtres plantés de roseaux (FPR) en vue de leur valorisation par épandage agricole. Groupe de travail EPNAC, Onema – Irstea.
https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1_Onema-Irstea_protocole_prelevement_FPR.pdf
- Nguyen deroche, Nhung. (2012). Qualité et potentiel d'usage des eaux de ruissellement collectées sur les toitures des pavillons en Ile de France (QUALICO) - Sous titre : Evaluation de la qualité microbiologique de l'eau de pluie de récupération.
- WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 1: Policy and Regulatory Aspects. Albany: World Health Organization, 2006.