

La performance épuratoire de deux ouvrages de biofiltration traitant les micropolluants associés aux eaux de voirie

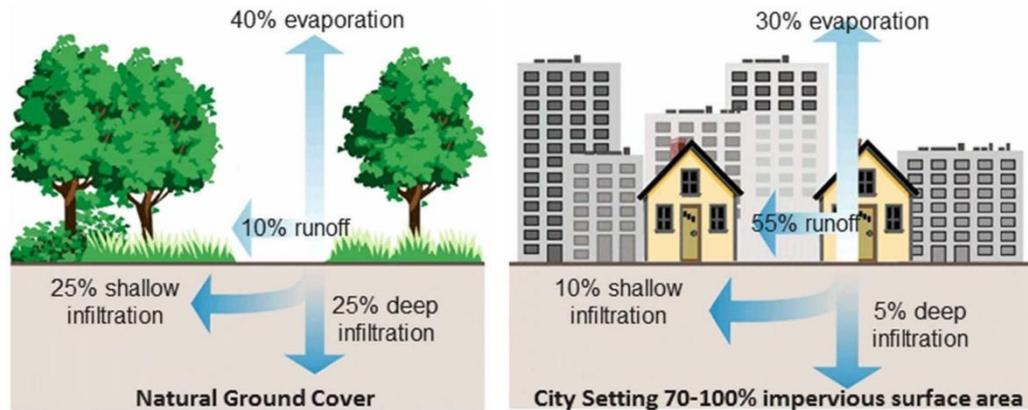
JDHU 2018 

K. Flanagan, P. Branchu, L. Boudahmane,
E. Caupos, D. Demare, S. Deshayes, P.
Dubois, L. Meffray, C. Partibane, M. Saad,
D. Tedoldi, M.-C. Gromaire



L'urbanisation et les eaux pluviales

NATURAL vs. URBAN STORMWATER DRAINAGE



Stormwater infiltrates into the ground
Plants and trees work to absorb stormwater

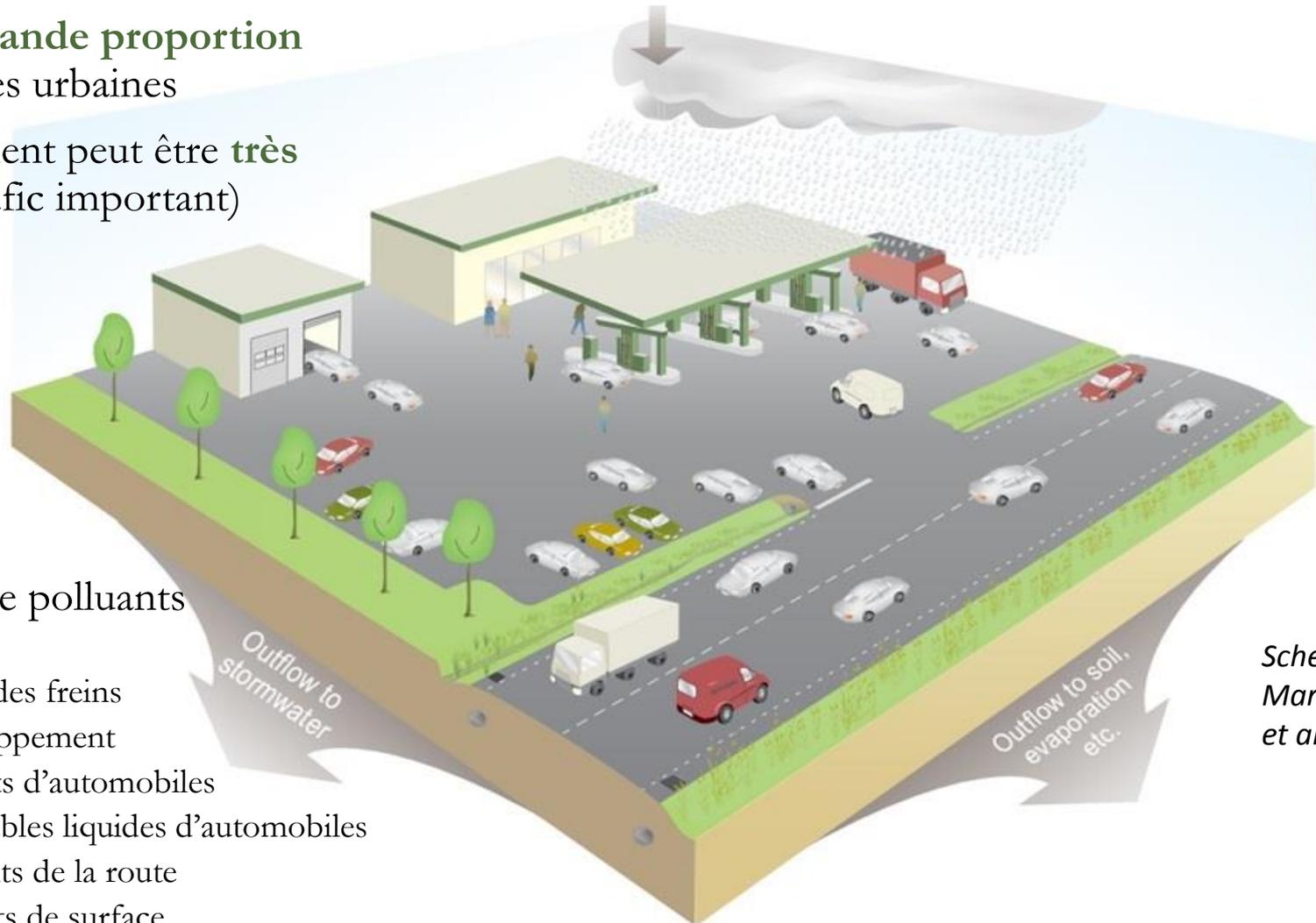
Water hits impervious surface and runs off roofs, streets, parking lots etc.
Runoff goes into the sewers

- Augmentation des **volumes du ruissellement**
- **Contamination** des eaux pluviales

↳ **Problèmes pour les milieux aquatiques**

Les eaux de voirie

- Routes: **grande proportion** des surfaces urbaines
- Ruissellement peut être **très pollué** (trafic important)



- **Sources** de polluants

- Pneus
- Plaquettes des freins
- Gaz d'échappement
- Composants d'automobiles
- Consommables liquides d'automobiles
- Equipements de la route
- Revêtements de surface

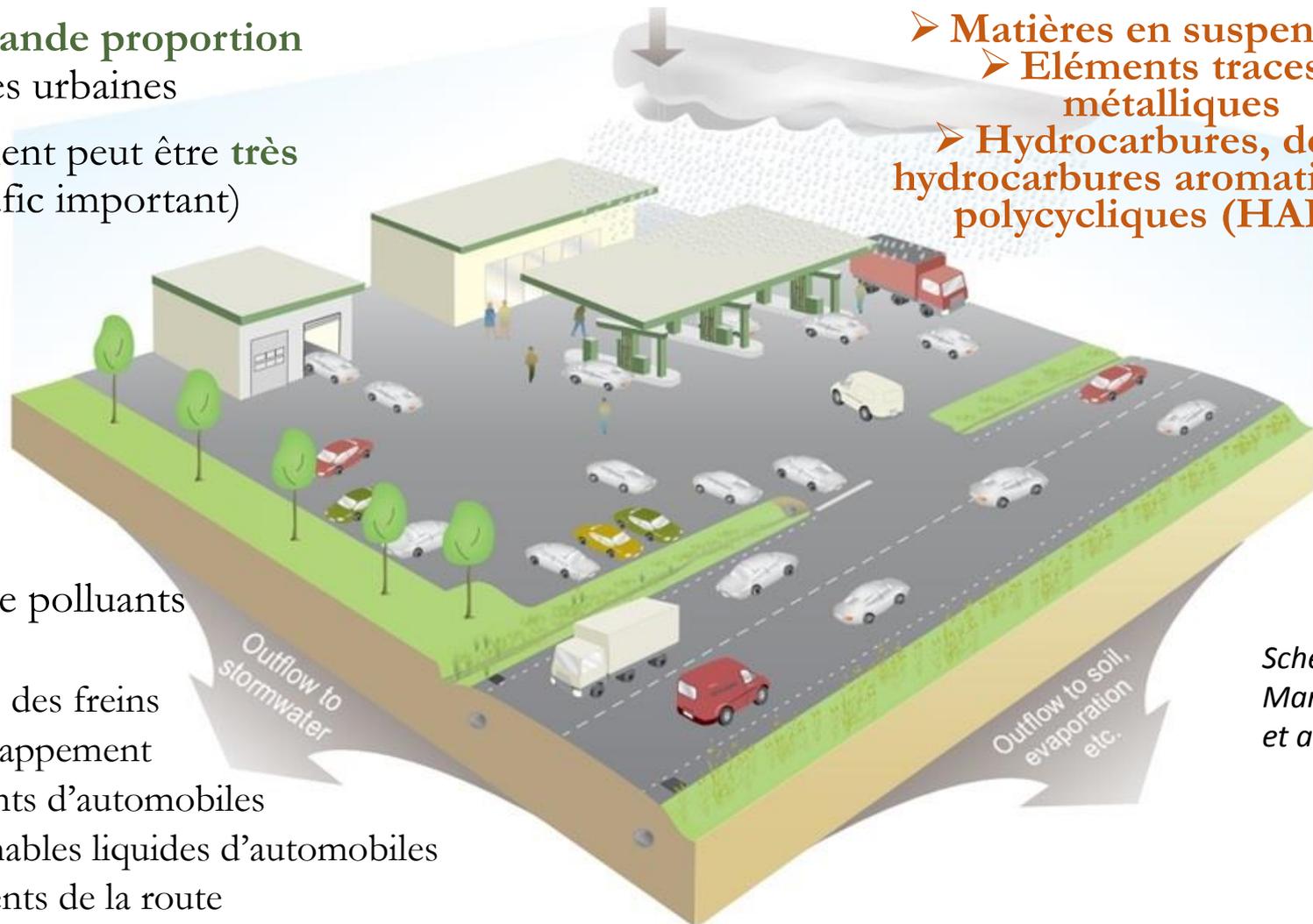
Schéma :
Markiewics
et al. (2016)

Les eaux de voirie

Contaminants traditionnels...

- Routes: **grande proportion** des surfaces urbaines
- Ruissellement peut être **très pollué** (trafic important)

- **Matières en suspension**
 - **Éléments traces métalliques**
 - **Hydrocarbures, dont hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**



➤ Sources de polluants

- Pneus
- Plaquettes des freins
- Gaz d'échappement
- Composants d'automobiles
- Consommables liquides d'automobiles
- Equipements de la route
- Revêtements de surface

Schéma :
Markiewics
et al. (2016)

(Björklund et al., 2009; Clara et al., 2010; Markiewics et al., 2016)

Les eaux de voirie

Plus récemment...

Micropolluants organiques émergents

- Alkylphénols
- Phtalates
- Bisphénol-A...

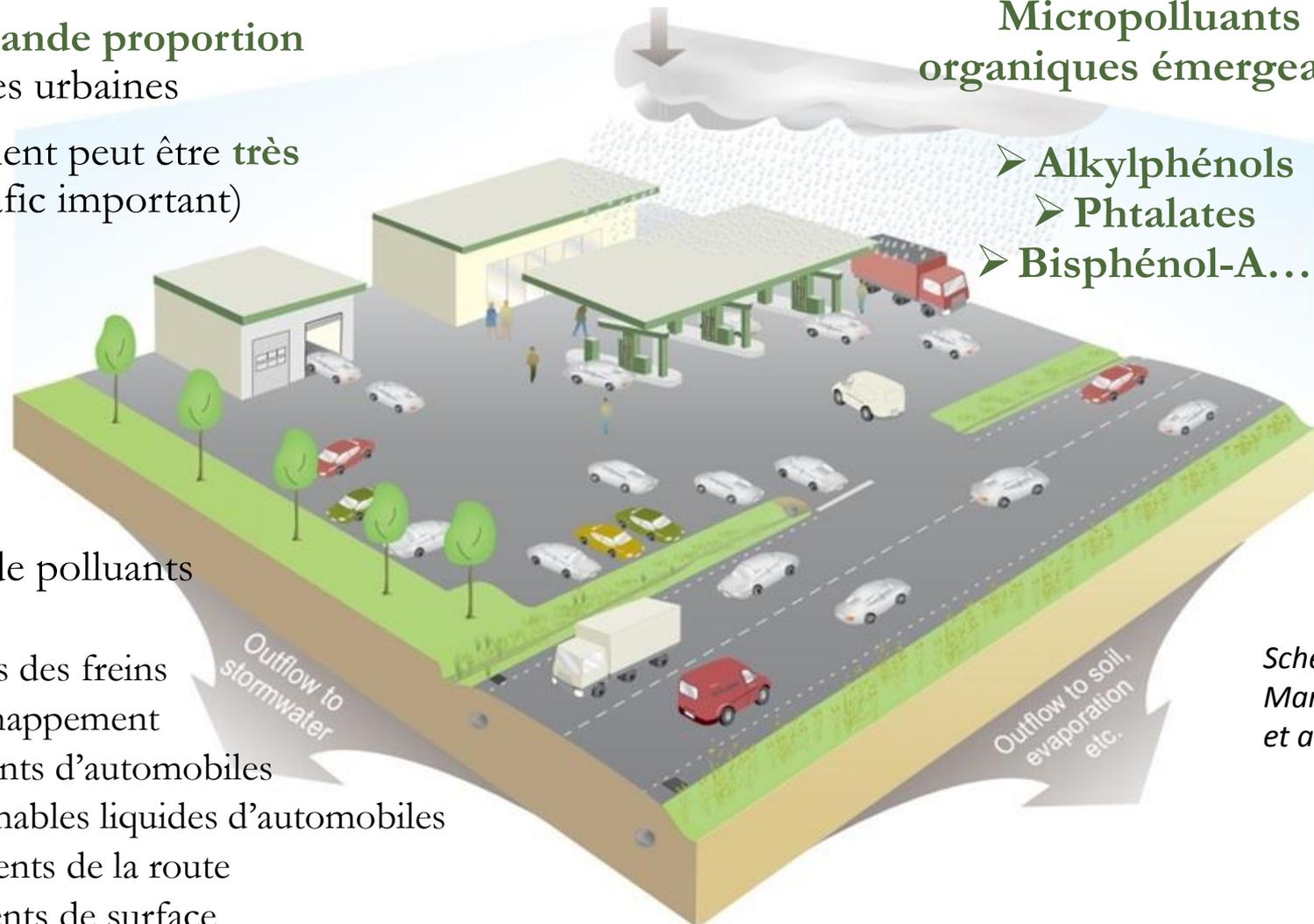


Schéma :
Markiewics
et al. (2016)

(Björklund et al., 2009; Clara et al., 2010; Markiewics et al., 2016)

➤ Routes: **grande proportion** des surfaces urbaines

➤ Ruissellement peut être **très pollué** (trafic important)

➤ **Sources** de polluants

- Pneus
- Plaquettes des freins
- Gaz d'échappement
- Composants d'automobiles
- Consommables liquides d'automobiles
- Equipements de la route
- Revêtements de surface

Nouveaux paradigmes:

- Gestion à la source du ruissellement
- Systèmes végétalisés et basés sur la nature

Nouveaux paradigmes:

- Gestion à la source du ruissellement
- Systèmes végétalisés et basés sur la nature

Biofiltration/biorétention



Photo: Emilie Payne, Monash University

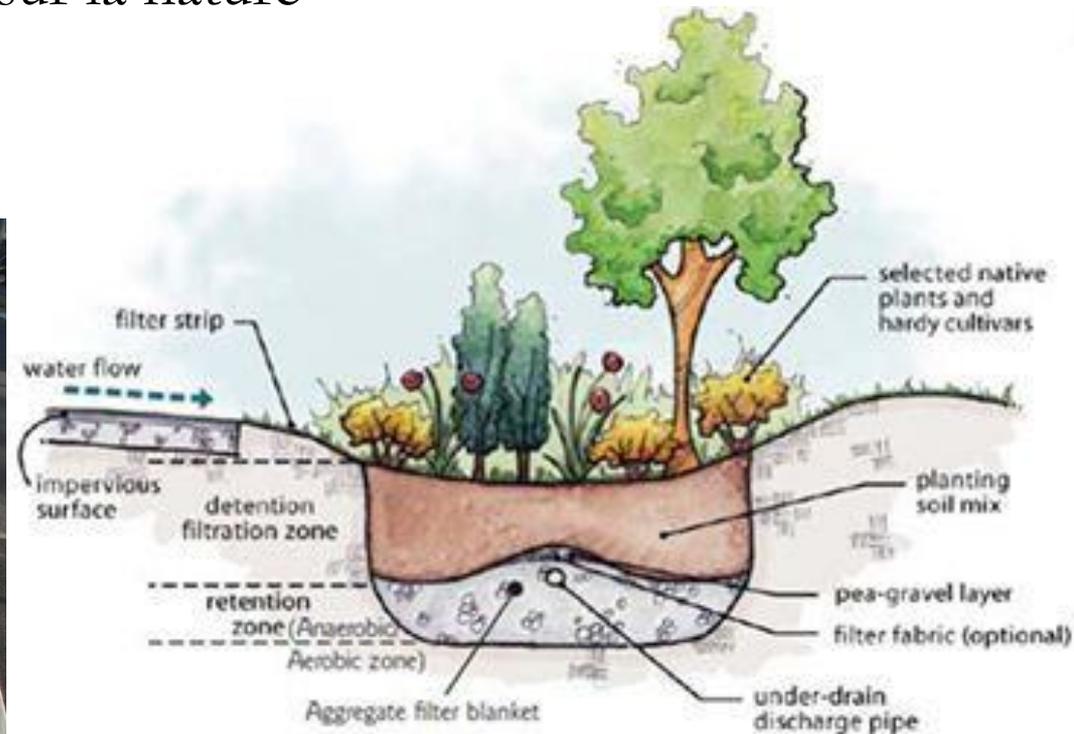


Schéma: Better Ground

Nouveaux paradigmes:

- Gestion à la source du ruissellement
- Systèmes végétalisés et basés sur la nature

Biofiltration/biorétention



Photo: Emilie Payne, Monash University

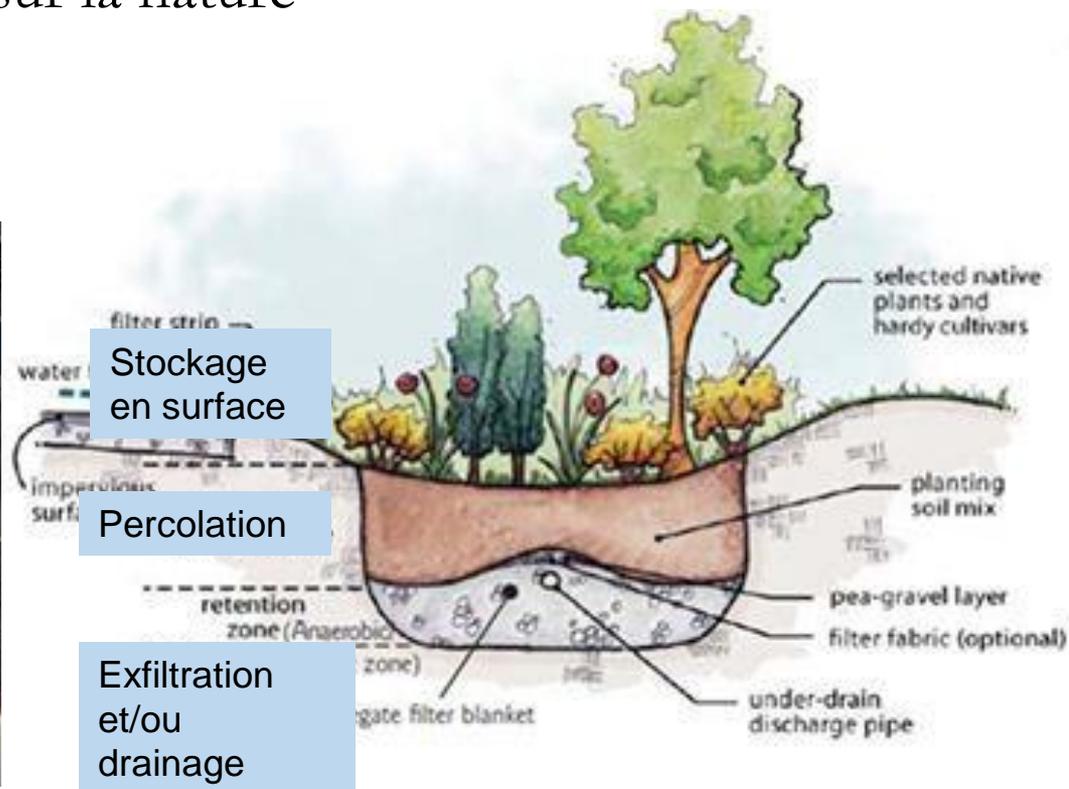


Schéma: Better Ground

Nouveaux paradigmes:

- Gestion à la source du ruissellement
- Systèmes végétalisés et basés sur la nature

Biofiltration/biorétention



Photo: Emilie Payne, Monash University

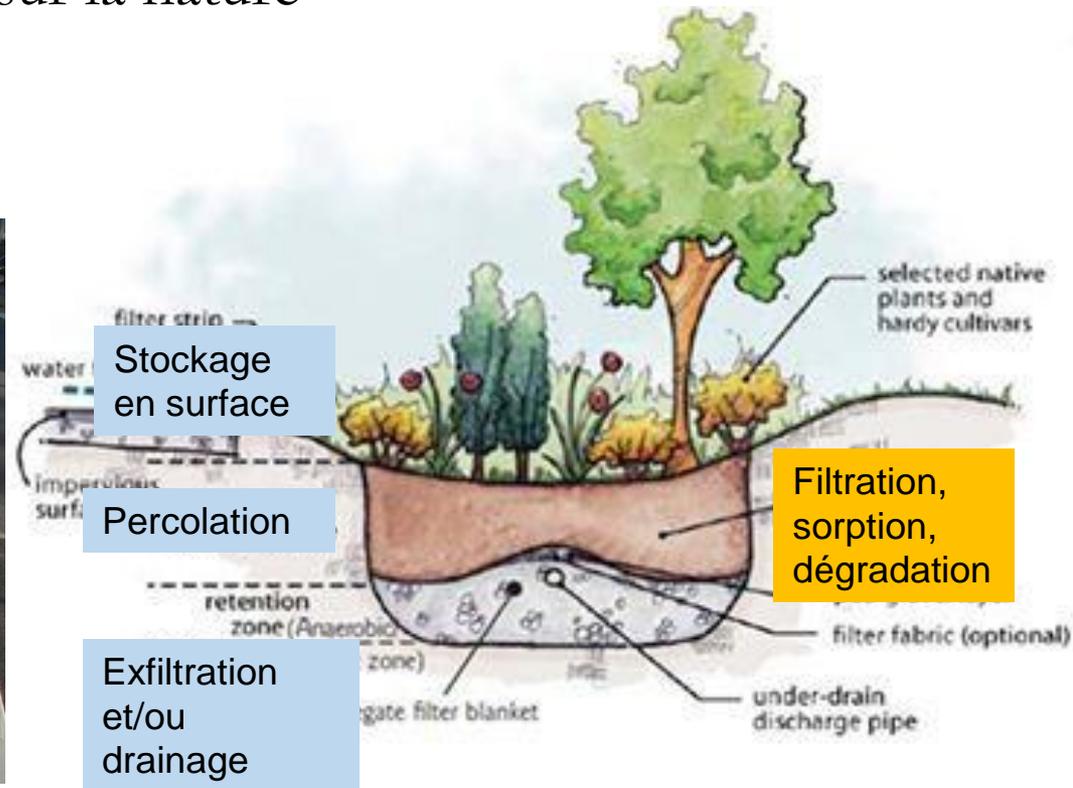


Schéma: Better Ground

Etudes de performance de la biofiltration

Etat de l'art

Paramètres	Données disponibles
Matières en suspension	
Nutriments	
Eléments traces métalliques	
HAP	
Autres micropolluants organiques	

↳ **Très peu d'études in situ sur les micropolluants organiques**

↳ **Phase dissoute rarement étudiée**

(Brown and Hunt, 2011; David et al., 2015; Davis, 2007; Dietz and Clausen, 2005; DiBlasi et al., 2009; Hatt et al., 2009; Hsieh and Davis, 2005; Hunt et al., 2006; Hunt et al., 2008; Leroy et al., 2006; Li and Davis, 2009; Purvis et al., 2018; Shrestha et al., 2018; Trowsdale and Simcock, 2011; Wang et al., 2017; Winston et al., 2011; Yang et al., 2013; Zhang et al., 2014)

Etudes de performance de la biofiltration

Etat de l'art

Paramètres	Données disponibles	Performance
Matières en suspension		
Nutriments		
Eléments traces métalliques		
HAP		
Autres micropolluants organiques		?

↳ **Très peu d'études in situ sur les micropolluants organiques**

↳ **Phase dissoute rarement étudiée**

↳ **Résultats encourageants**

Objectifs

Quelle efficacité de la biofiltration pour le traitement du **ruissellement de voirie** ?

- Une variété de **micropolluants**
- Distinction de la phase **dissoute** et **particulaire**
- A l'échelle événementielle (abattement de concentration)
- A l'échelle annuelle (abattement de masse)



Objectifs

Quelle efficacité de la biofiltration pour le traitement du **ruissellement de voirie** ?

- Une variété de **micropolluants**
- Distinction de la phase **dissoute** et **particulaire**
- A l'échelle événementielle (abattement de concentration)
- A l'échelle annuelle (abattement de masse)

Site réel
Pluies réelles

Contexte et objectifs

Méthodologie

Résultats

Conclusions and
perspectives



Méthodologie

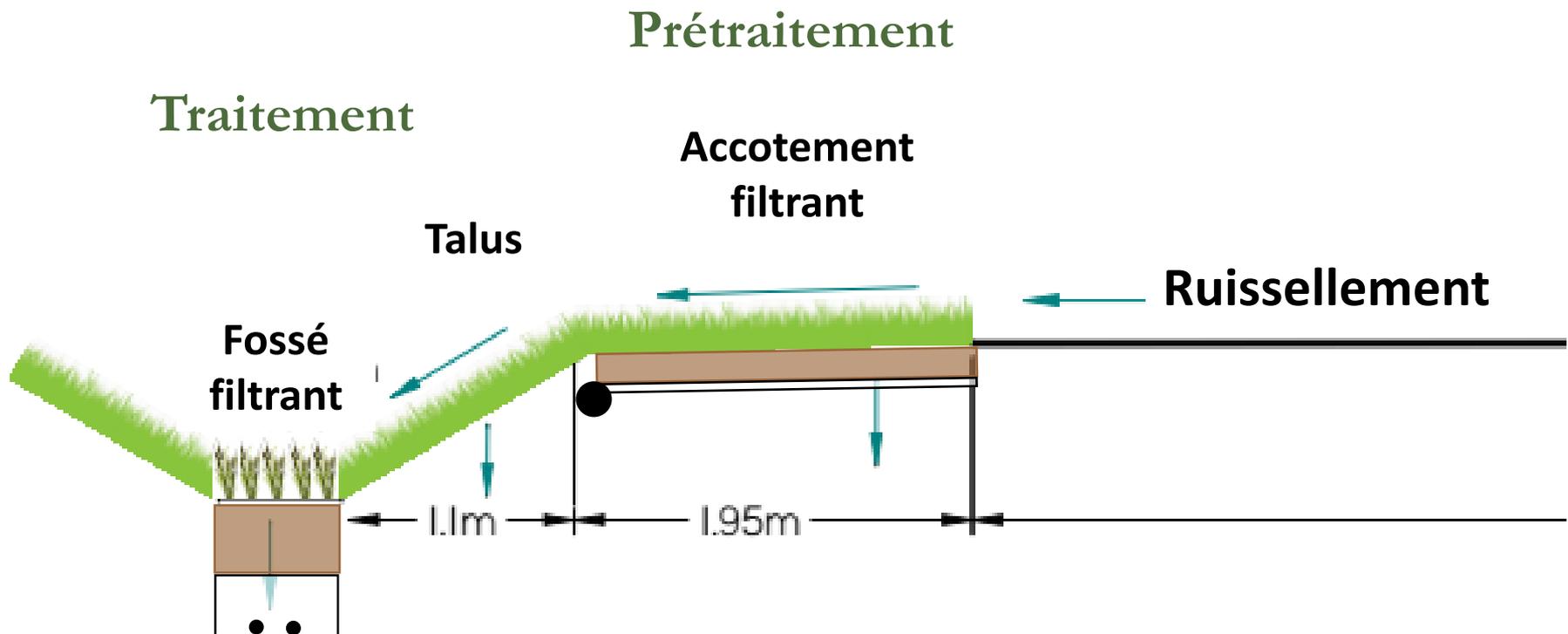


Site d'étude: RD 212, Compans



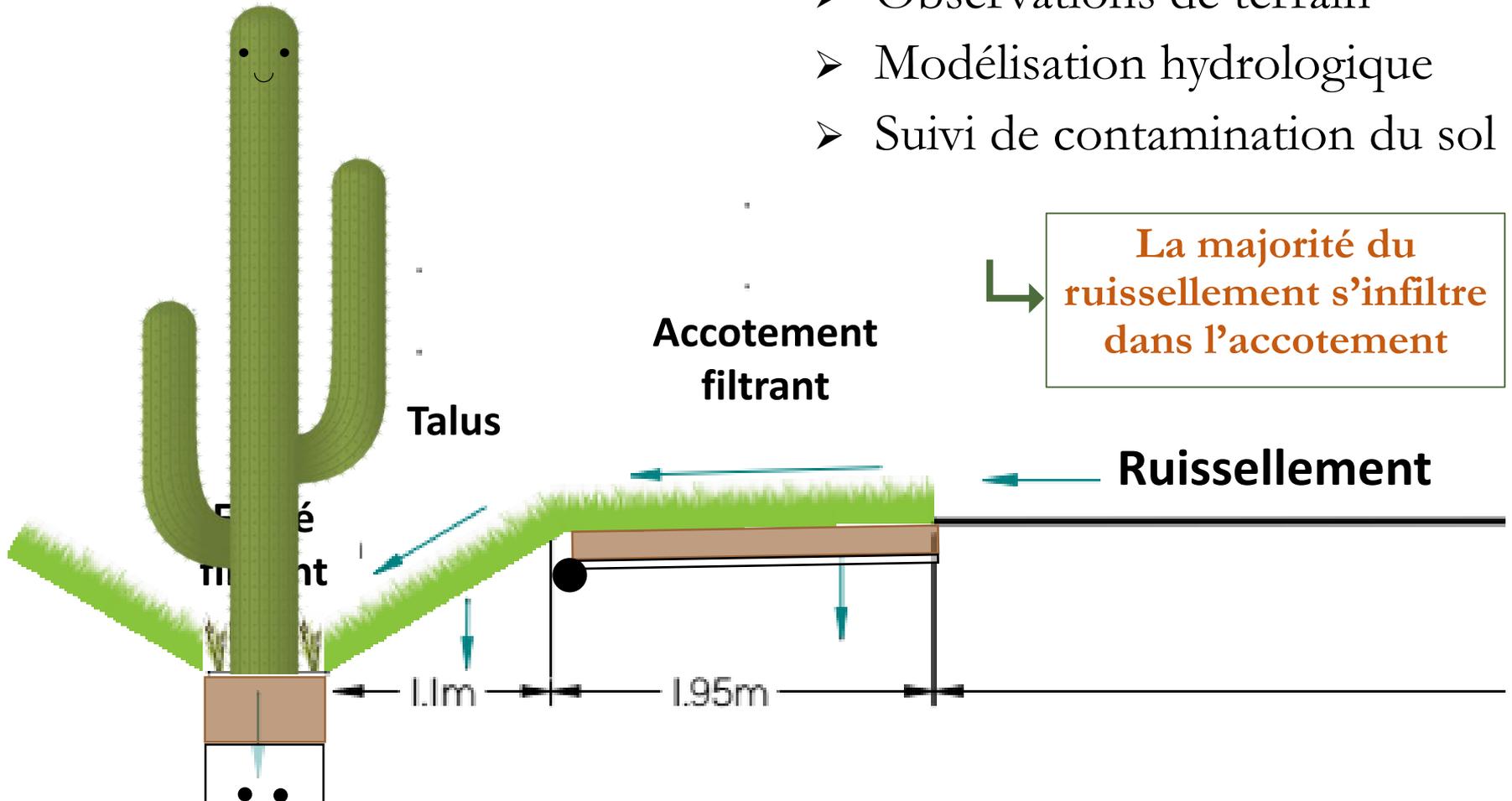
Rappel du site d'étude: ouvrage initial

➤ **Aménagé en 2012**



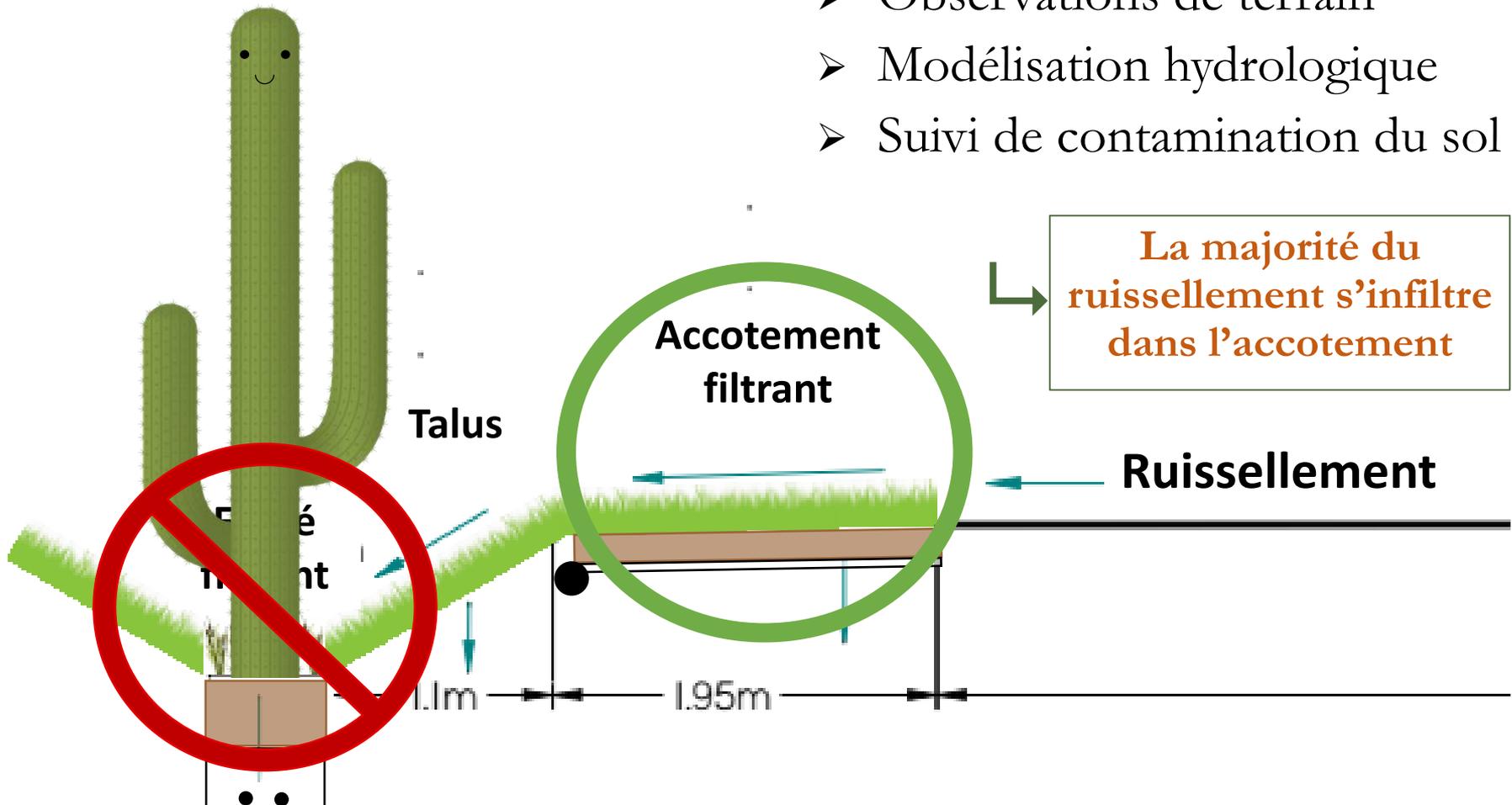
Rappel du site d'étude: ouvrage initial

- Observations de terrain
- Modélisation hydrologique
- Suivi de contamination du sol



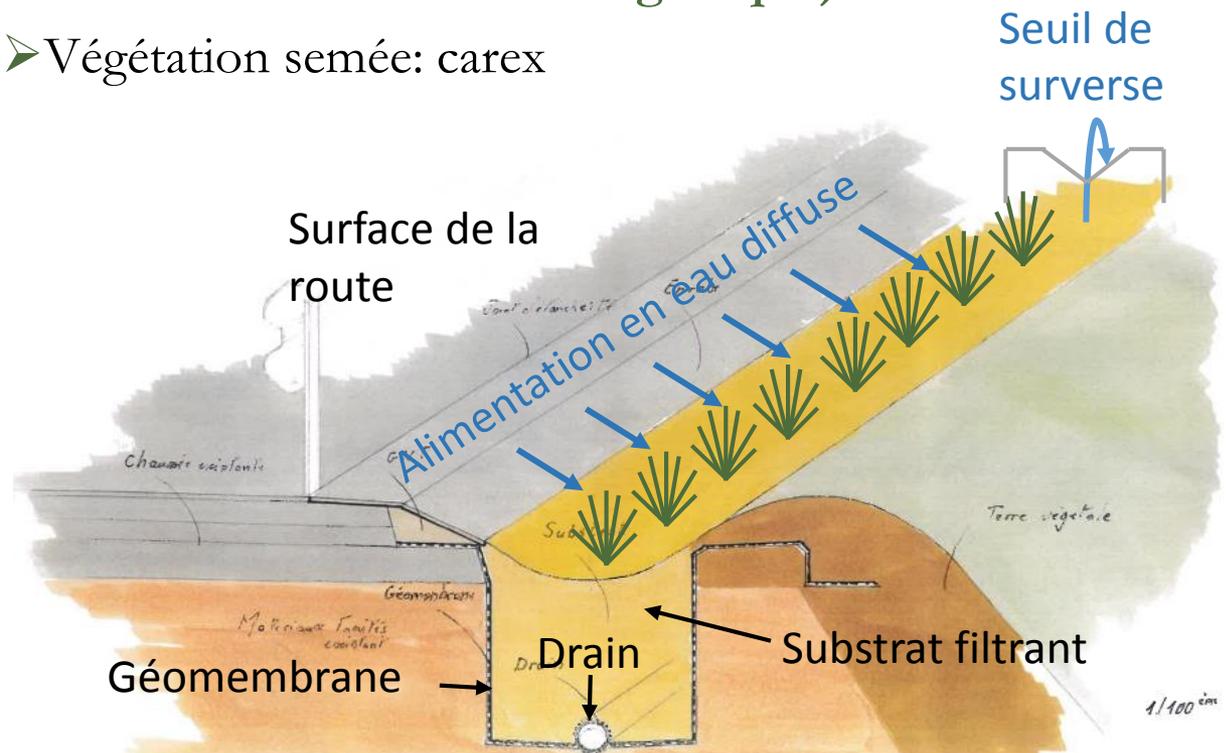
Rappel du site d'étude: ouvrage initial

- Observations de terrain
- Modélisation hydrologique
- Suivi de contamination du sol



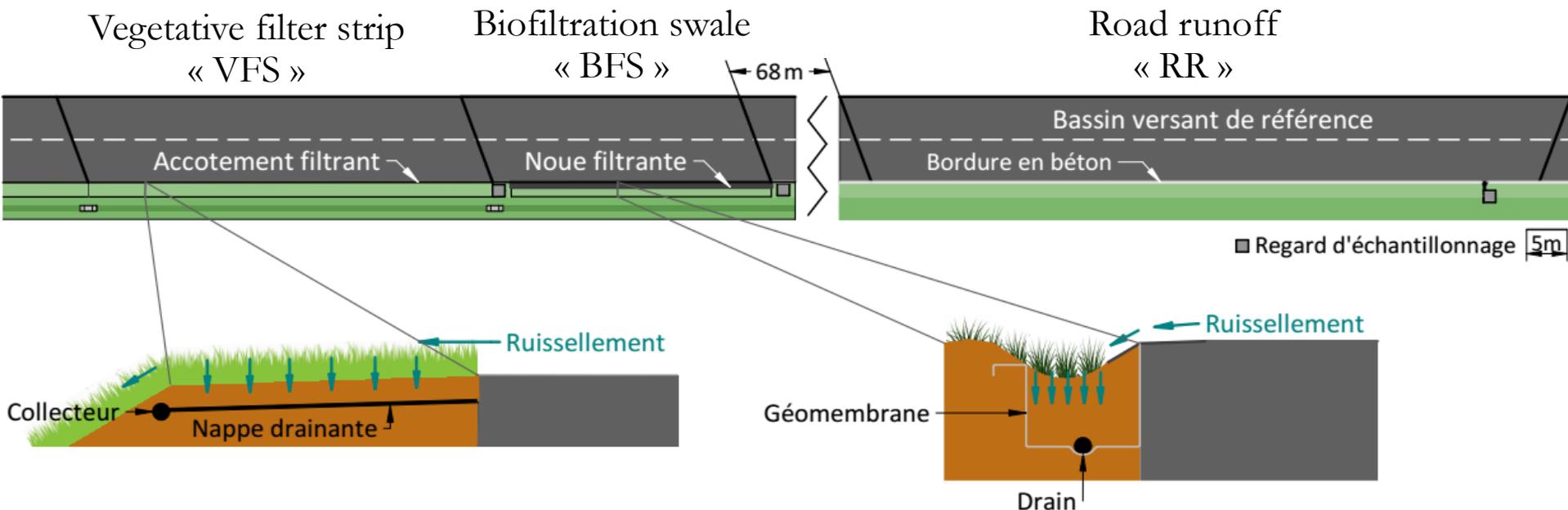
Construction d'une nouvelle noue filtrante

- Mars 2016
- **Drainée, étanche**, situé directement en bordure de route
- 30 m x 0.7 m, séparé en 3 segments
- **50 cm de substrat filtrant (sablo-limoneux, pH alcalin, faible teneur en matière organique)**
- Végétation semée: carex



Schema adapted from Eric Thomas

Dispositif métrologique



- 3 points d'échantillonnage
 - **VFS:** eau drainée de l'accotement filtrant
 - **BFS** eau drainée de la noue filtrante
 - **RR:** ruissellement de voirie brute (issu du bassin de référence)

- **Mesure de débit en continu**
- **Collecte d'échantillons moyens événementiels (échantillonnage proportionnel au débit)**

Bilan d'échantillonnage

- **19 événement pluvieux** (Février 2016 – Juillet 2017)
- Couverture de **toutes saisons**
- Une variété de **conditions de pluie**
 - Hauteur de pluie : 1.6-47.2 mm
 - Intensité maximale : 2- 43 mm/h
- Echantillons collectés **dans les 24h** après la fin du ruissellement
- Filtrés et envoyés aux laboratoires partenaires **immédiatement**



Analyse de la qualité de l'eau

Typiques de la contamination du ruissellement de voirie

Diversité de propriétés physico-chimiques (K_D , K_{OW} , dégradabilité...)

- pH, conductivité, turbidité
- Matières en suspension (MES)
- Nutriments
- Carbone organique
- 9 métaux traces: As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn
- 12 éléments majeurs: Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, Sr, Ti
- Hydrocarbures totaux
- 19 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- 7 Alkylphénols
- 5 Phtalates
- Bisphénol-A (BPA)

Travaux complémentaires

- Analyse de la **granulométrie des MES**
- Essais en batch
 - **Sorption au substrat filtrant**
 - **Lixiviation** depuis **sédiment** and **substrat filtrant contaminé**
 - **Lixiviation** depuis les matériaux de construction
 - Bitume
 - Drain
 - Tissu du drain
 - Géomembrane
- Echantillonnage et **analyse des micropolluants** dans le **substrat filtrant**
 - Avant installation
 - Après 1 an de fonctionnement

**Mieux
comprendre les
processus
responsables pour
les performances
observées**



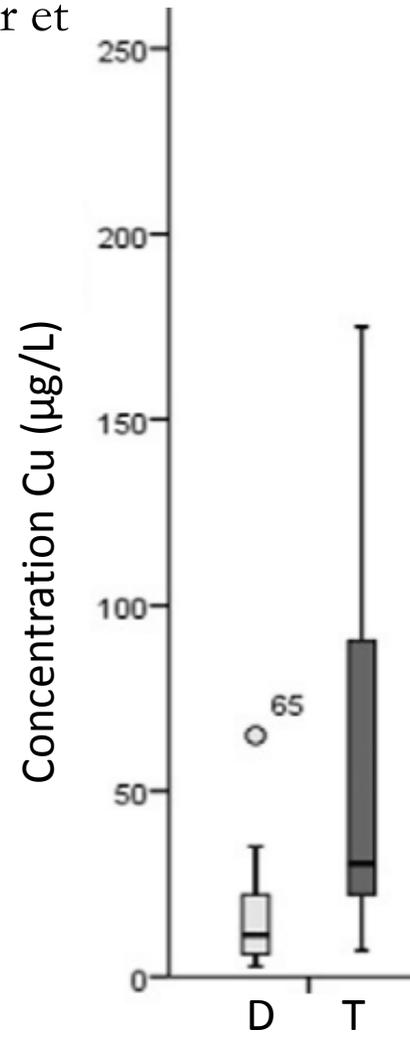
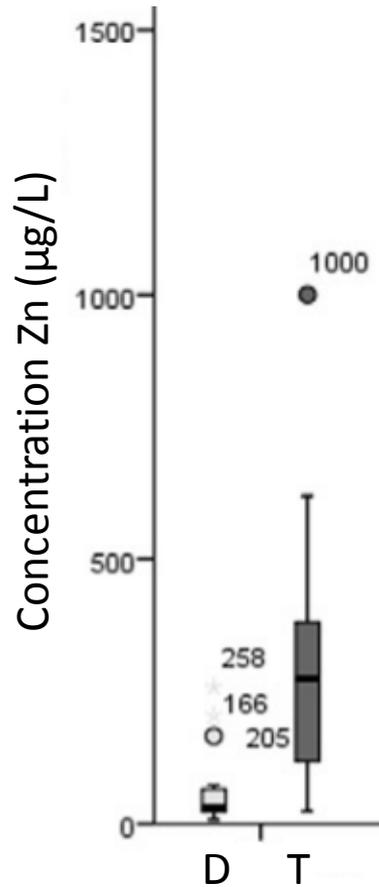
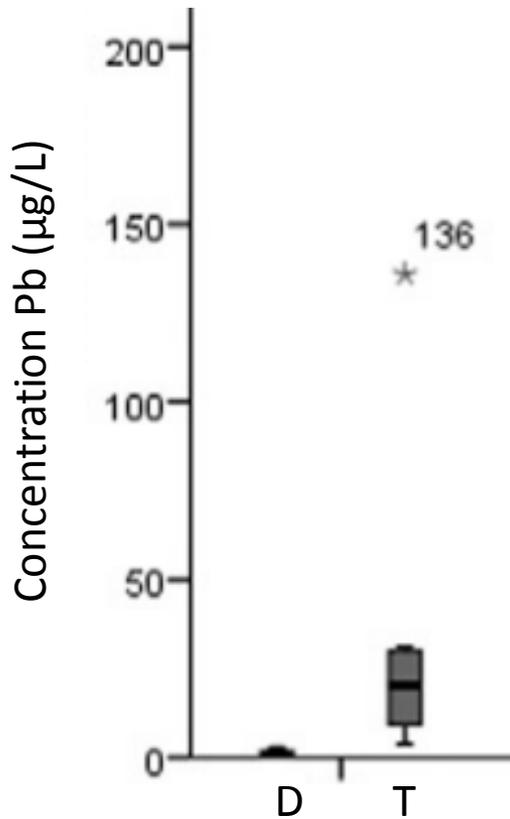
Résultats



- 1. Caractérisation du ruissellement**
2. Efficacité de traitement (et processus associés)

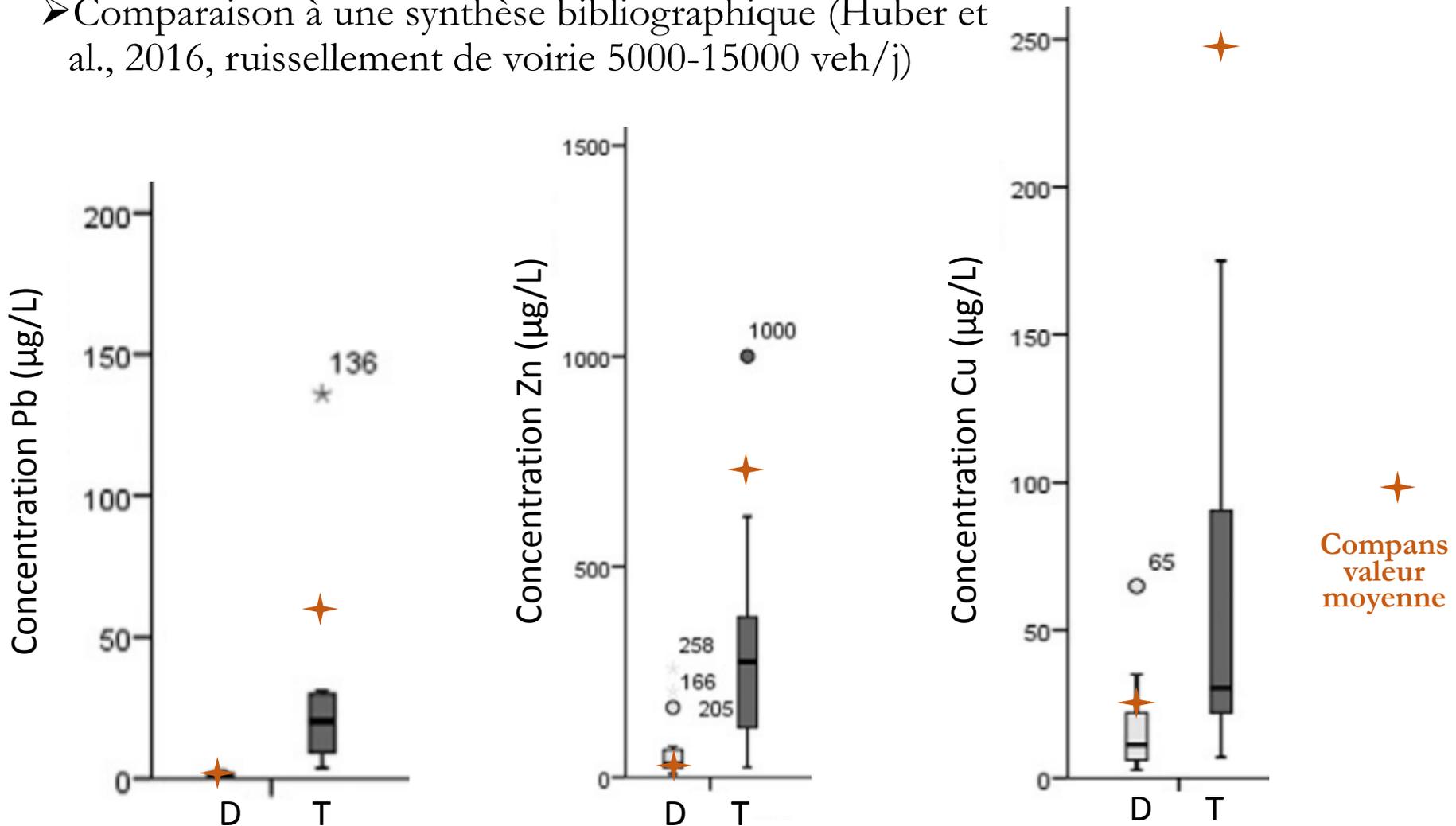
Caractéristiques du ruissellement brut

➤ Comparaison à une synthèse bibliographique (Huber et al., 2016, ruissellement de voirie 5000-15000 veh/j)



Caractéristiques du ruissellement brut

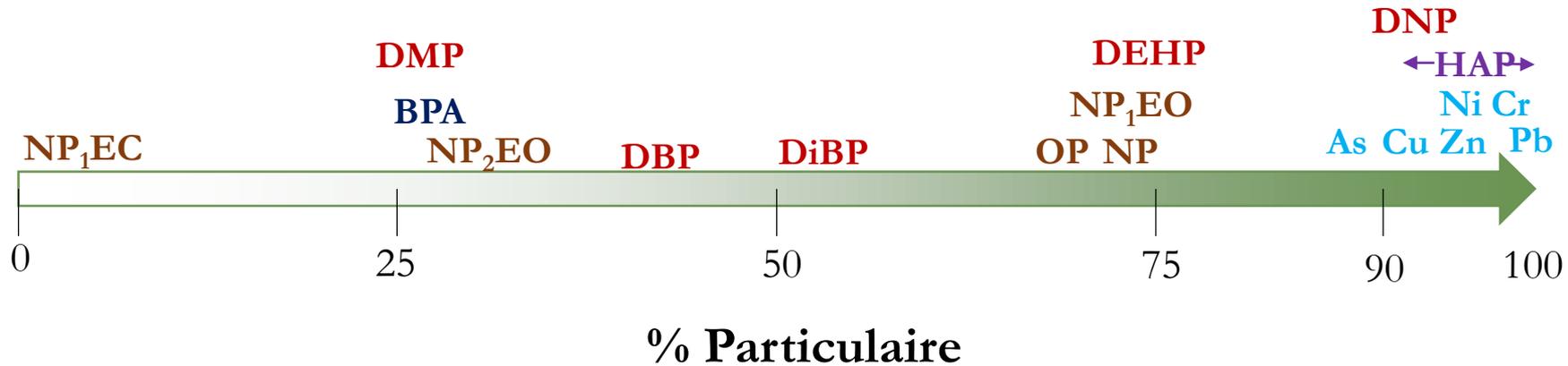
- Comparaison à une synthèse bibliographique (Huber et al., 2016, ruissellement de voirie 5000-15000 veh/j)



Compans
valeur
moyenne

↳ Ruissellement de Compans = niveaux de concentration élevés

Caractéristiques du ruissellement brut



Eléments
traces

Hydrocarbures aromatiques
polycycliques

Bisphénol-A

Alkylphénols

Phtalates

↳ HAP, métaux = TRES particulaires

↳ Alkylphénols, phtalates = variable en fonction du molécule



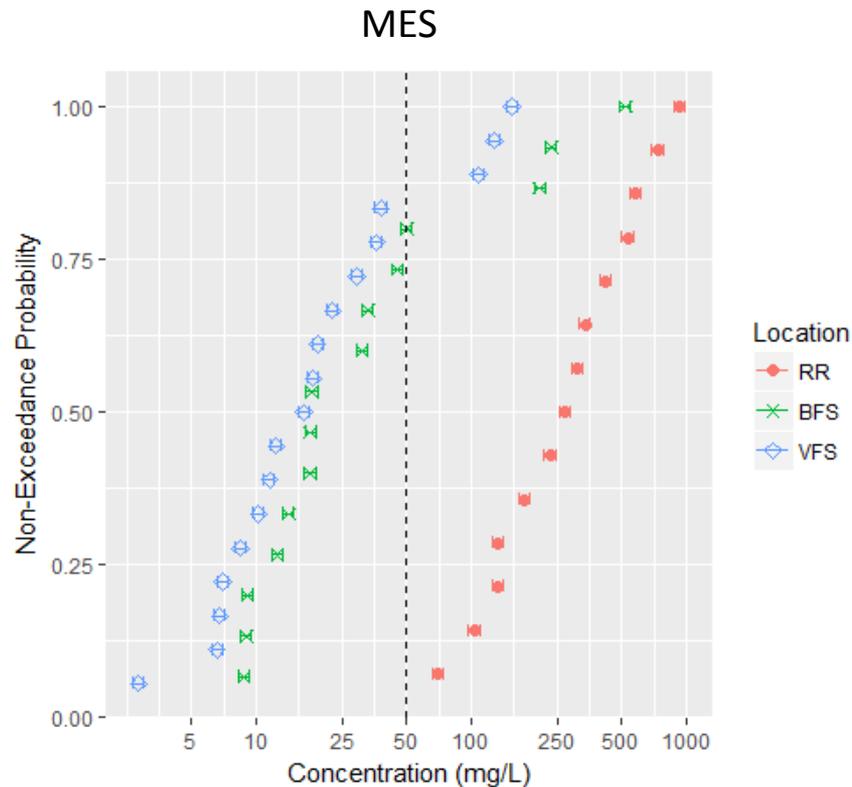
Résultats



1. Caractérisation du ruissellement
- 2. Efficacité de traitement (et processus associés)**

Performance épuratoire

➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Abattement médian de concentration (E_{C50})

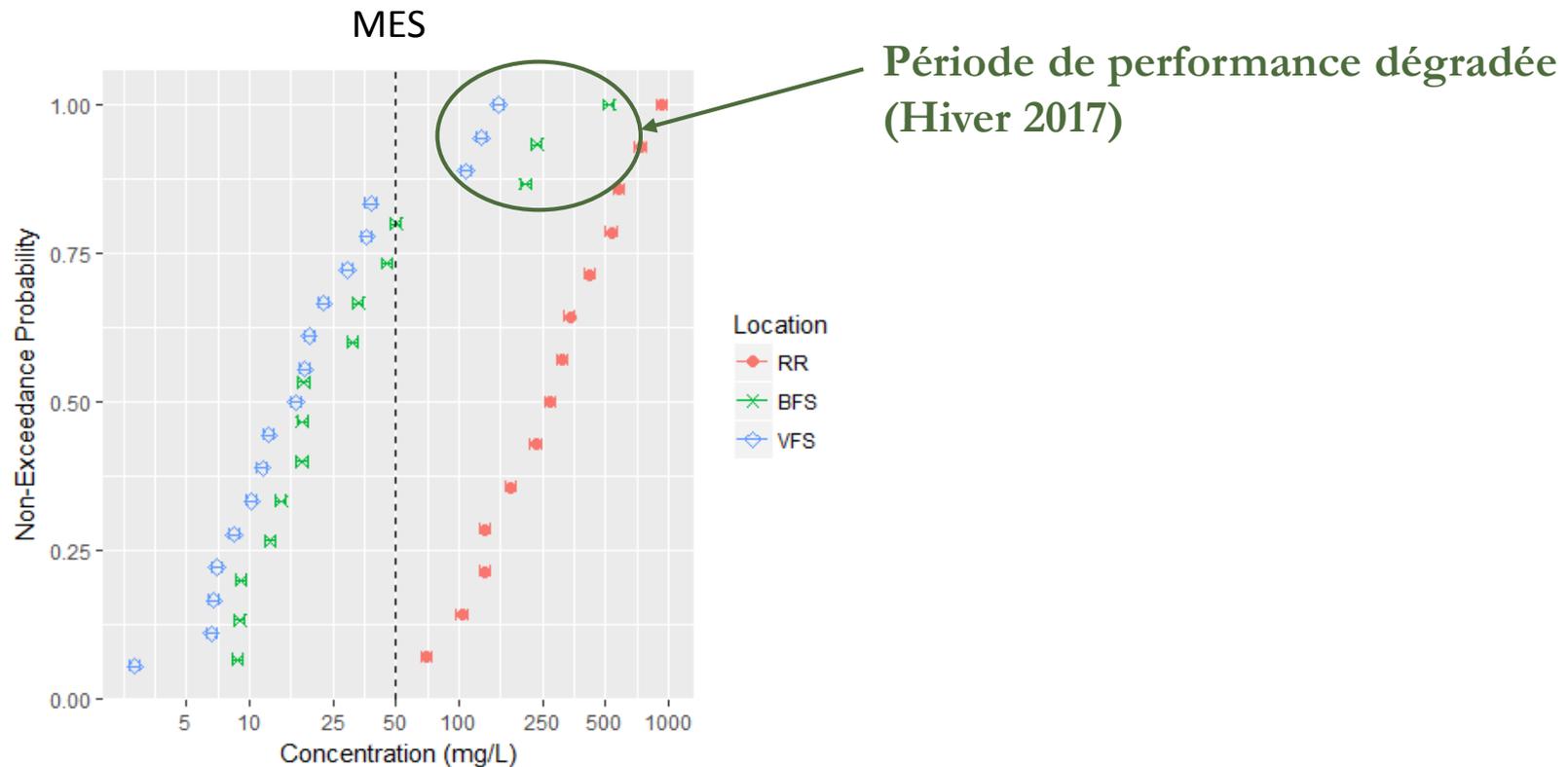
VFS: 94%

BFS: 92%

➤ **Très bonne performance**

Performance épuratoire

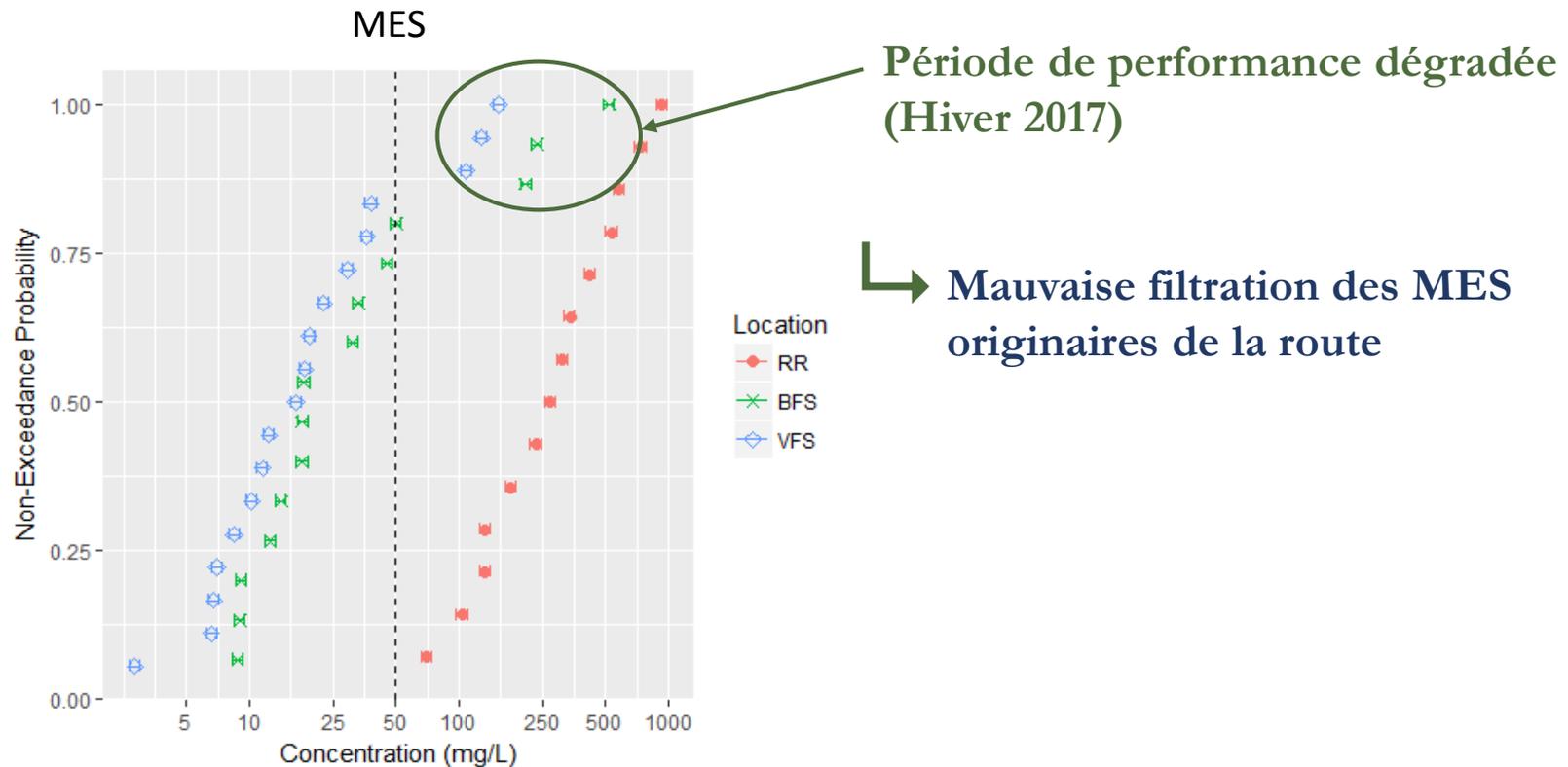
➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Très bonne performance...avec quelques exceptions

Performance épuratoire

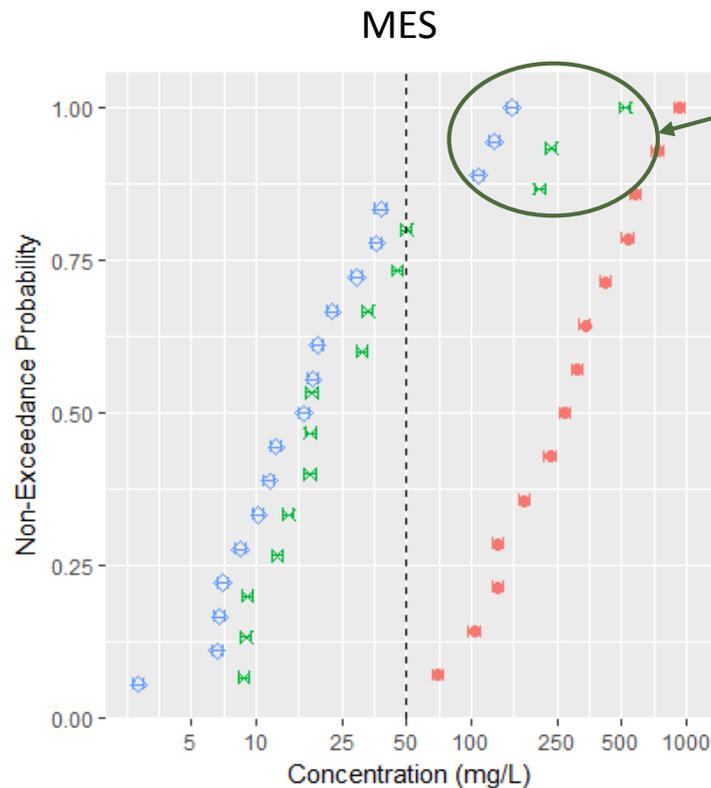
➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Très bonne performance...avec quelques exceptions

Performance épuratoire

➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Période de performance dégradée (Hiver 2017)

↳ Mauvaise filtration des MES originaires de la route

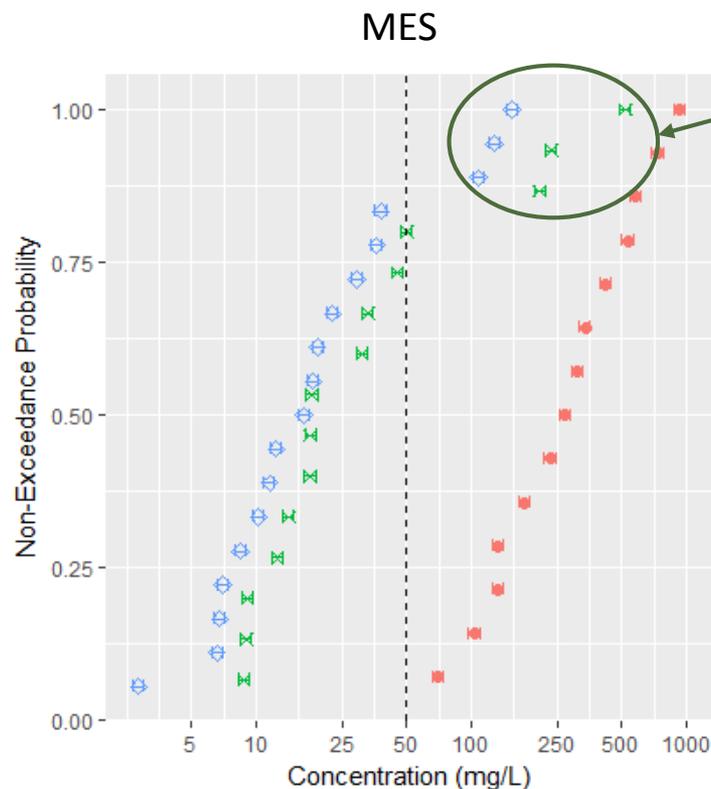
↳ Plus fines MES en RR (moins bien retenues) pendant cette période

Effet saisonnier?

↳ Très bonne performance...avec quelques exceptions

Performance épuratoire

➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Période de performance dégradée (Hiver 2017)

↳ Mauvaise filtration des MES originaire de la route

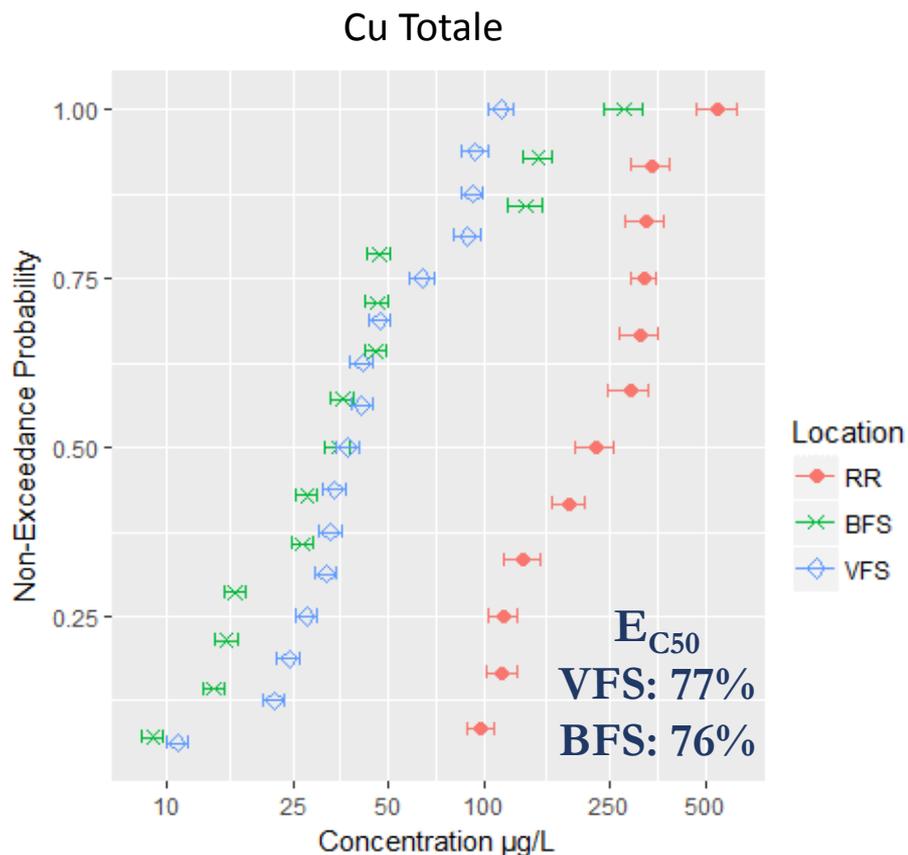
↳ Plus fines MES en RR (moins bien retenus) pendant cette période

Effet saisonnier?

↳ Ecoulements préférentiels (un événement en particulier)

↳ **Très bonne performance...avec quelques exceptions**

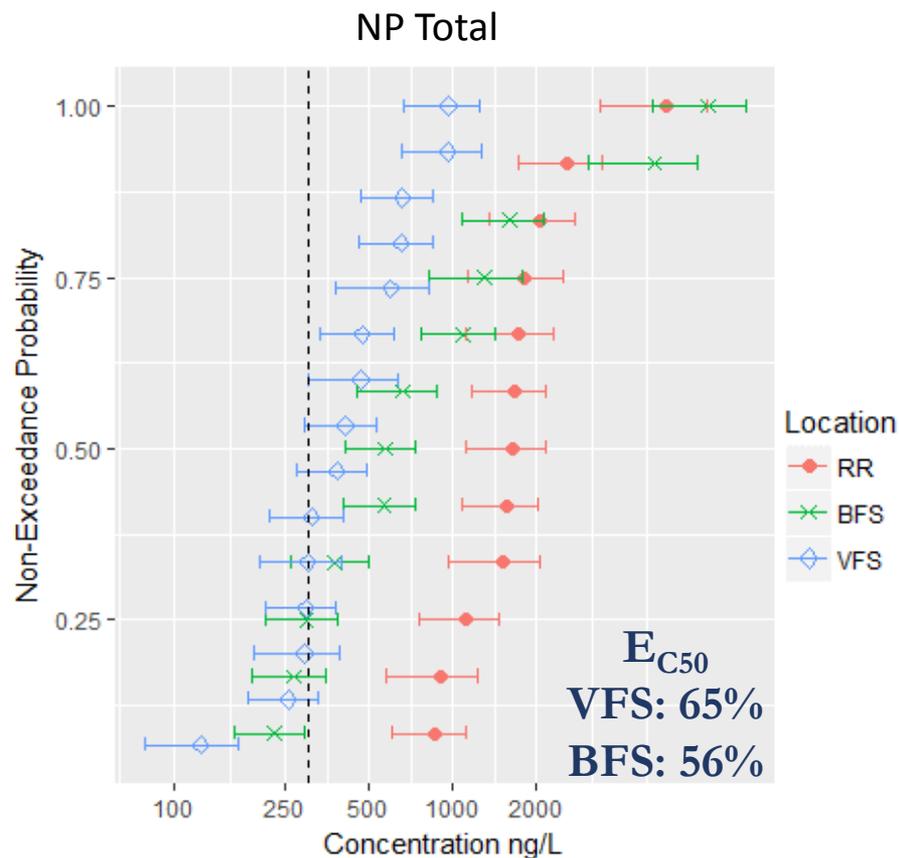
Performance épuratoire des polluants très particuliers



Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
MES	92 (11, 95)
Cu	76 (19, 93)
Zn	89 (25, 98)
Pyrène	94 (42, 95)
Phenanthrène	92 (30, 96)

Très bonne rétention – distributions similaires à MES

Performance épuratoire des polluants moins particulaires

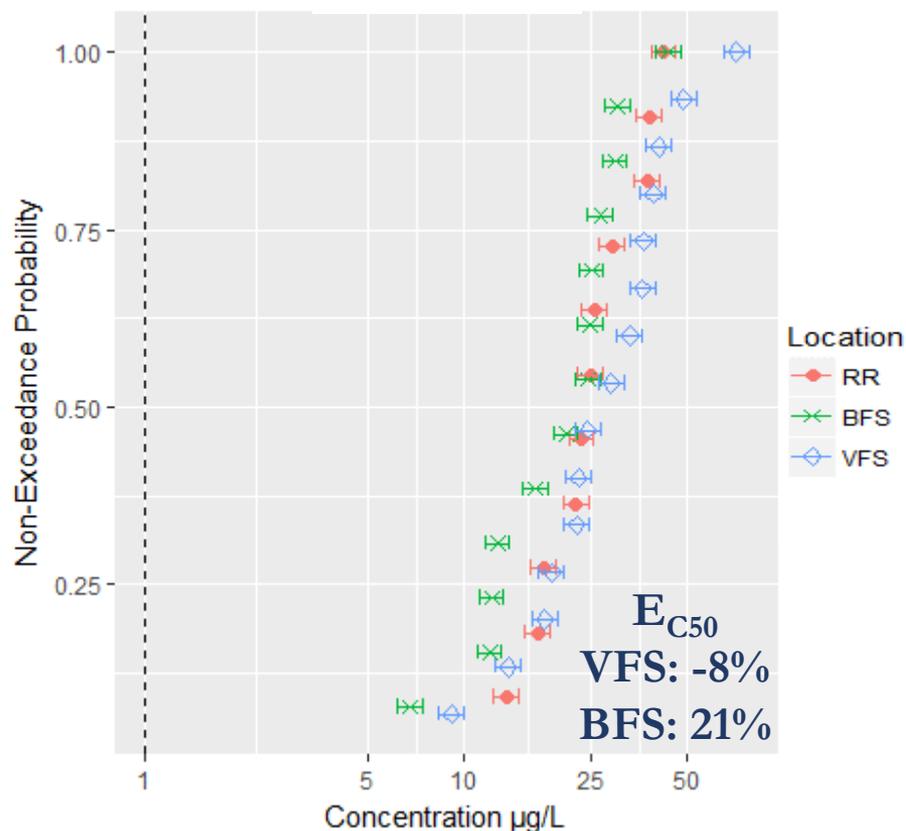


Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
MES	92 (11, 95)
Cu	76 (19, 93)
Zn	89 (25, 98)
Pyrène	94 (42, 95)
Phenanthrène	92 (30, 96)
DEHP	8 (-132, 36)
Nonylphénol	56 (-219, 72)
Octylphénol	76 (-109, 94)
Bisphénol-A	57 (-57, 79)

↳ **Moins efficace et variable entre polluants**

Performance épuratoire de la phase dissoute

Cu dissous



Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
Cu	21 (-7, 46)
Zn	57 (-74, 76)
Pyrène	25 (-126, 55)
Phenanthrène	44 (-11, 90)
DEHP	-202 (-754, 62)
Nonylphénol	4 (-113, 40)
Octylphénol	59 (-81, 83)
Bisphénol-A	43 (-452, 75)

↳ **Généralement faible rétention**

Performance épuratoire de la phase dissoute

↳ Cu et Zn : C_D ne semble pas être en équilibre avec le sol

Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
Cu	21 (-7, 46)
Zn	57 (-74, 76)
Pyrène	25 (-126, 55)
Phenanthrène	44 (-11, 90)
DEHP	-202 (-754, 62)
Nonylphénol	4 (-113, 40)
Octylphénol	59 (-81, 83)
Bisphénol-A	43 (-452, 75)

Performance épuratoire de la phase dissoute

↳ Cu et Zn : C_D ne semble pas être en équilibre avec le sol

Performance limitée par la spéciation chimique

Lixiviation depuis MES, sédiments et sol pollué

Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
Cu	21 (-7, 46)
Zn	57 (-74, 76)
Pyrène	25 (-126, 55)
Phenanthrène	44 (-11, 90)
DEHP	-202 (-754, 62)
Nonylphénol	4 (-113, 40)
Octylphénol	59 (-81, 83)
Bisphénol-A	43 (-452, 75)

Performance épuratoire de la phase dissoute

↳ Cu et Zn : C_D ne semble pas être en équilibre avec le sol

Performance limitée par la spéciation chimique

Lixiviation depuis MES, sédiments et sol pollué

↳ Micropolluants organiques – concentration non-réductibles par rapport à la contamination du substrat filtrant

Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
Cu	21 (-7, 46)
Zn	57 (-74, 76)
Pyrène	25 (-126, 55)
Phenanthrène	44 (-11, 90)
DEHP	-202 (-754, 62)
Nonylphénol	4 (-113, 40)
Octylphénol	59 (-81, 83)
Bisphénol-A	43 (-452, 75)

Performance épuratoire de la phase dissoute

↳ Cu et Zn : C_D ne semble pas être en équilibre avec le sol

Performance limitée par la spéciation chimique

Lixiviation depuis MES, sédiments et sol pollué

↳ Micropolluants organiques – concentration non-réductibles par rapport à la contamination du substrat filtrant

HAP : contamination initiale

Phtalates, alkylphénols et bisphénol-A : contamination due à des émissions depuis les matériaux de construction

Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
Cu	21 (-7, 46)
Zn	57 (-74, 76)
Pyrène	25 (-126, 55)
Phenanthrène	44 (-11, 90)
DEHP	-202 (-754, 62)
Nonylphénol	4 (-113, 40)
Octylphénol	59 (-81, 83)
Bisphénol-A	43 (-452, 75)

Abattement de masse annuelle (BFS)

$$\text{Abatement masse} = \frac{M_{\text{entrée}} - M_{\text{drain}} - M_{\text{surverse}}}{M_{\text{entrée}}}$$

$$\text{Masse annuelle: } M = \sum C_{ev} V_{ev}$$



Données mesurées

+

Données reconstruites
(modèle stochastique)

Abattement de masse annuelle (BFS)

➤ Bilan d'eau

Abattement de volume (%)	$V_{\text{surverse}}/V_{\text{entrée}}$ (%)
20 (15, 23)	38 (34, 40)

Abattement de masse annuelle (BFS)

➤ Bilan d'eau

Abattement de volume (%)	$V_{\text{surverse}}/V_{\text{entrée}}$ (%)
20 (15, 23)	38 (34, 40)

➤ Abattement de masse

Paramètre	Abattement de masse (%)
MES	60 (50, 66)
Cu	56 (47, 62)
Zn	58 (45, 66)
Pyrène	65 (54, 72)
Phenanthrène	63 (52, 70)
DEHP	21 (-3.7, 38)
Nonylphénol	30 (8.5, 41)
Octylphénol	46 (34, 54)
Bisphénol-A	39 (32, 45)

Abattement de masse annuelle (BFS)

➤ Bilan d'eau

Abattement de volume (%)	$V_{\text{surverse}}/V_{\text{entrée}}$ (%)
20 (15, 23)	38 (34, 40)

➤ Abattement de masse

Paramètre	Abattement de masse (%)	Abattement de concentration (%)
MES	60 (50, 66)	92 (11, 95)
Cu	56 (47, 62)	76 (19, 93)
Zn	58 (45, 66)	89 (25, 98)
Pyrène	65 (54, 72)	94 (42, 95)
Phenanthrène	63 (52, 70)	92 (30, 96)
DEHP	21 (-3.7, 38)	8 (-132, 36)
Nonylphénol	30 (8.5, 41)	56 (-219, 72)
Octylphénol	46 (34, 54)	76 (-109, 94)
Bisphénol-A	39 (32, 45)	57 (-57, 79)

↳ L'abattement de masse tend à être plus faible que E_{C50} (sauf DEHP)

Conclusions

- Biofiltration → traitement efficace pour les **eaux de ruissellement très chargées**
- Rétention de la **phase particulaire** > rétention de la **phase dissoute**
- Dépollution > abattement de volume
 - Pour le ruissellement moins pollué → important d'améliorer l'efficacité hydrologique
- Des **perspectives** de recherche
 - Mieux comprendre la dégradation de la performance en hiver
 - Fréquence, causes des **petites particules**
 - Caractériser l'évolution de la performance de biofiltration au cours de **vieillessement**
- Des **leçons opérationnelles**
 - Situer l'ouvrage de traitement au **plus proche de l'arrivée d'eau**
 - **Eviter** les matériaux de construction **synthétiques**
 - Besoin d'un **guide de conception** en France



**Merci de votre
attention!**

Questions?

