

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

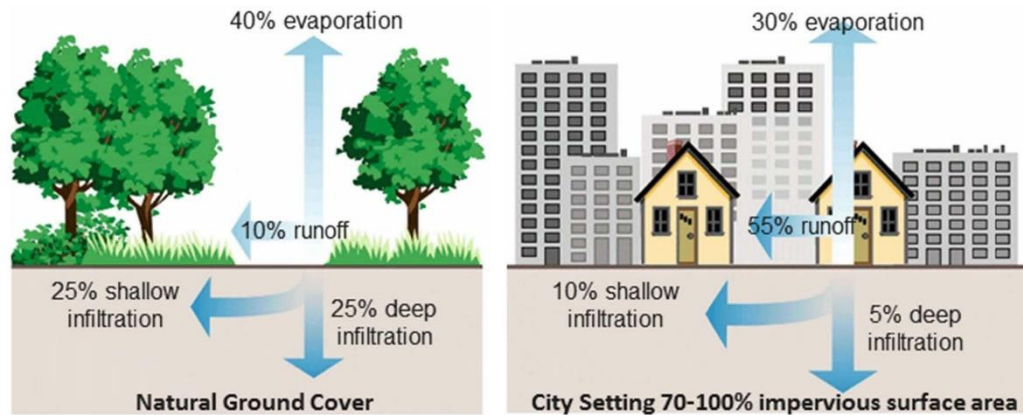
**JDHU 2018** 

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

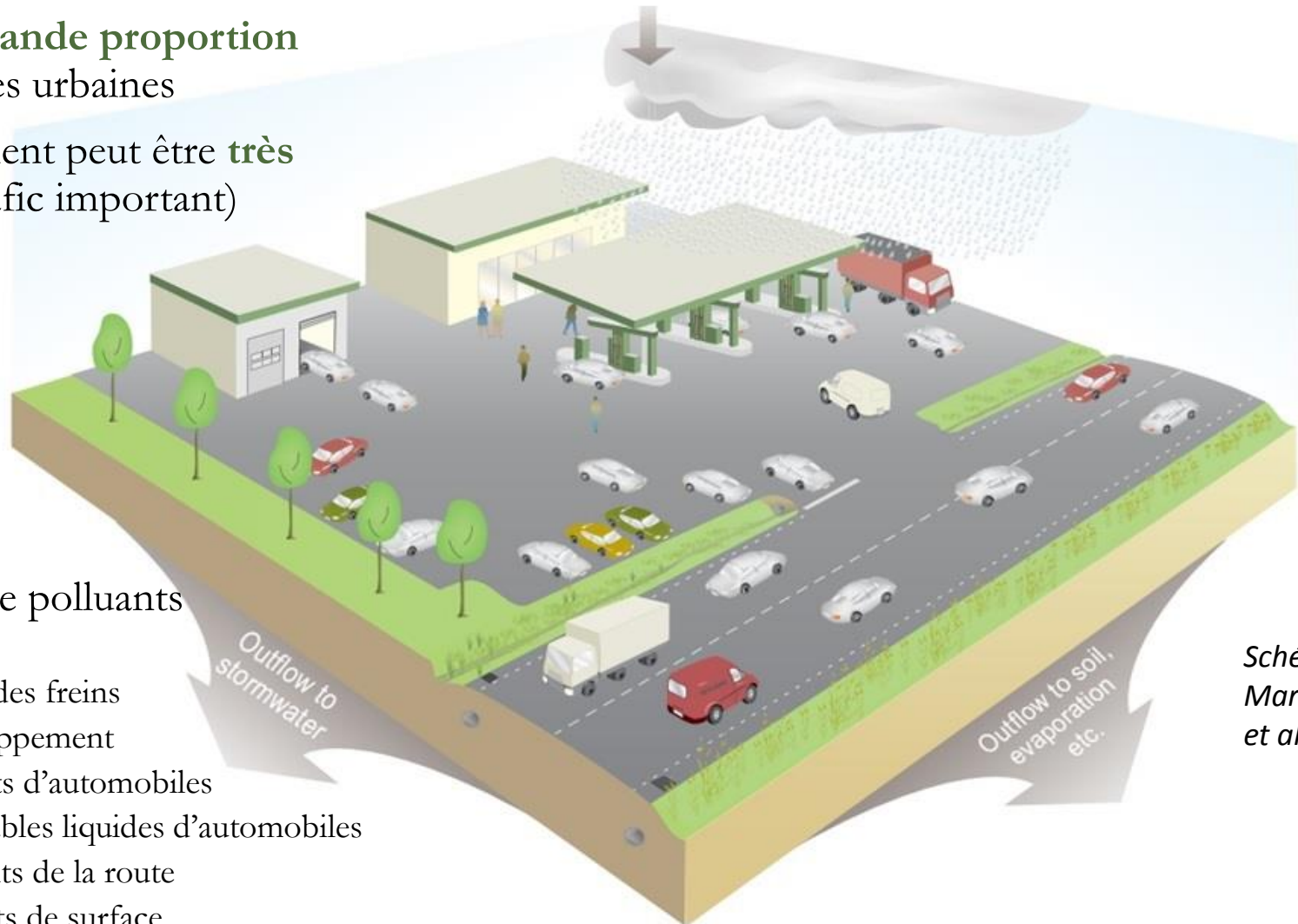
Water hits impervious surface and runs off roofs, streets, parking lots etc.  
Runoff goes into the sewers

- 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)

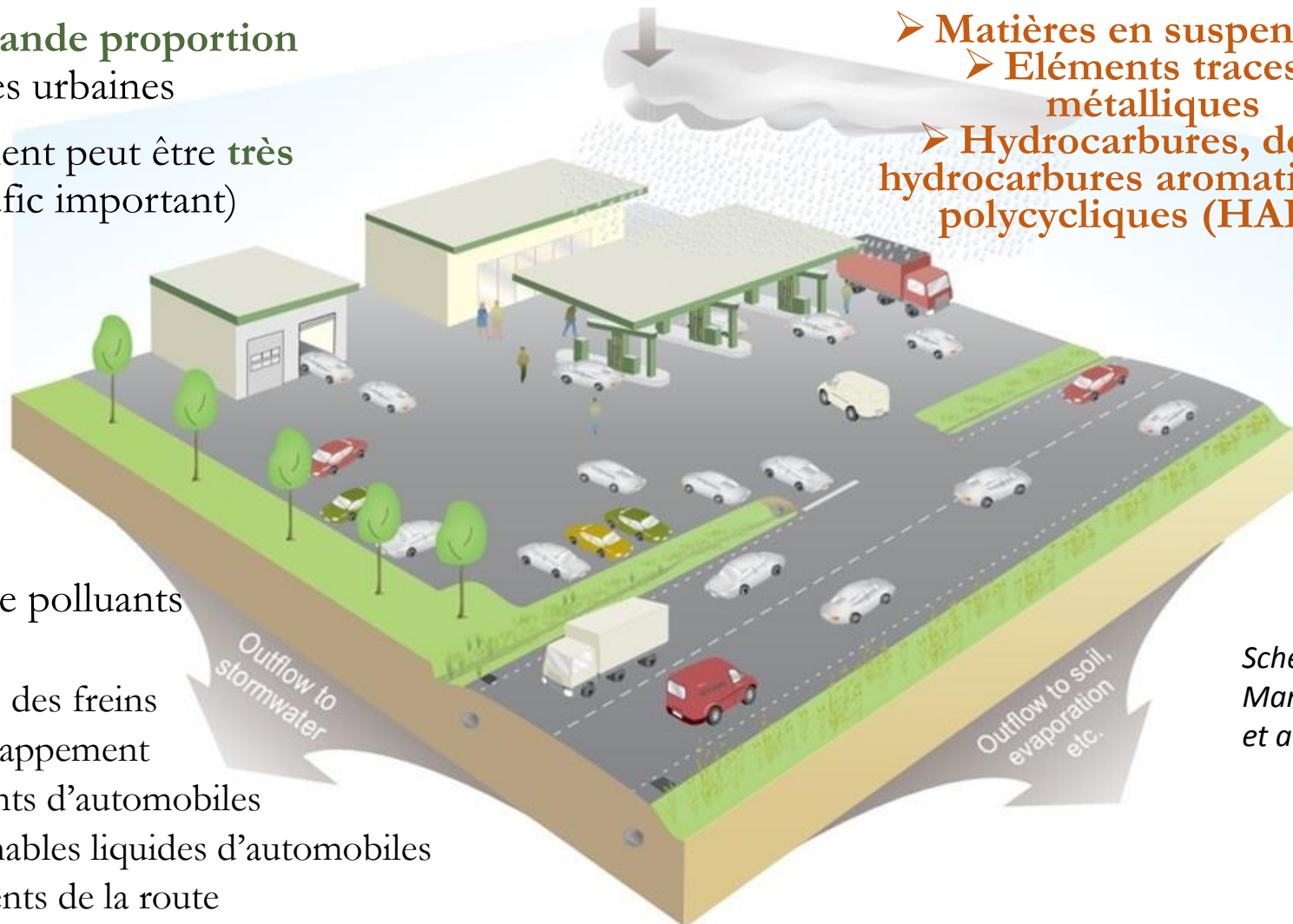
(Björklund et al., 2009; Clara et al., 2010; Markiewics et al., 2016)

# 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)

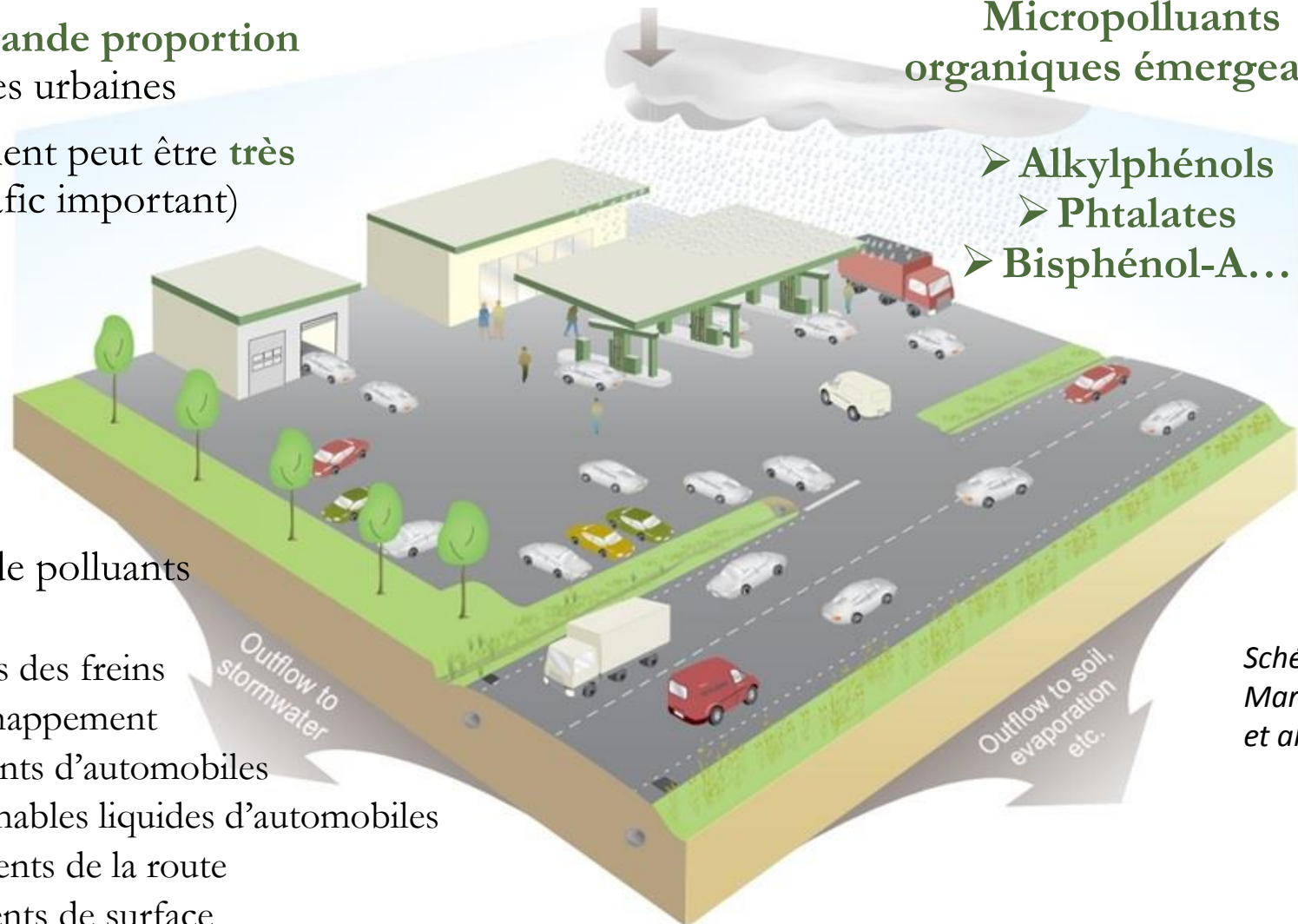
(Björklund et al., 2009; Clara et al., 2010; Markiewics et al., 2016)

# Les eaux de voirie

*Plus récemment...*

**Micropolluants organiques émergents**

- Alkylphénols
- Phtalates
- Bisphénol-A...



➤ 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)

## **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

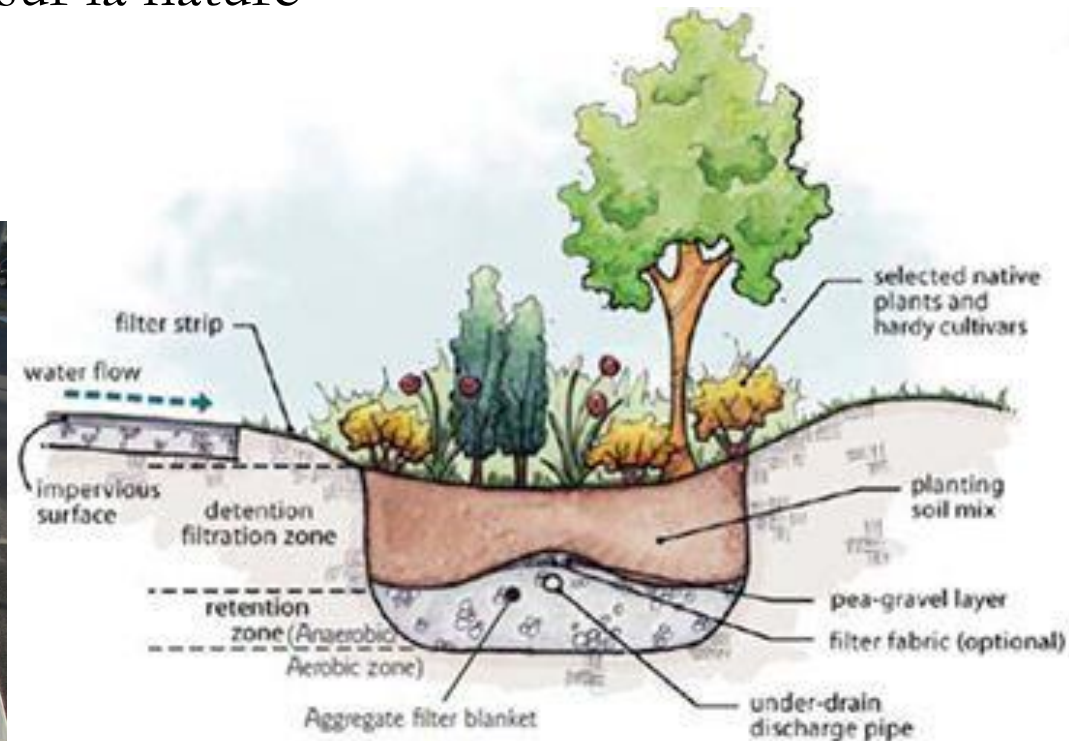


Schéma: Better Ground

## Nouveaux paradigmes:

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

## Biofiltration/biorétention



Photo: Emilie Payne, Monash University

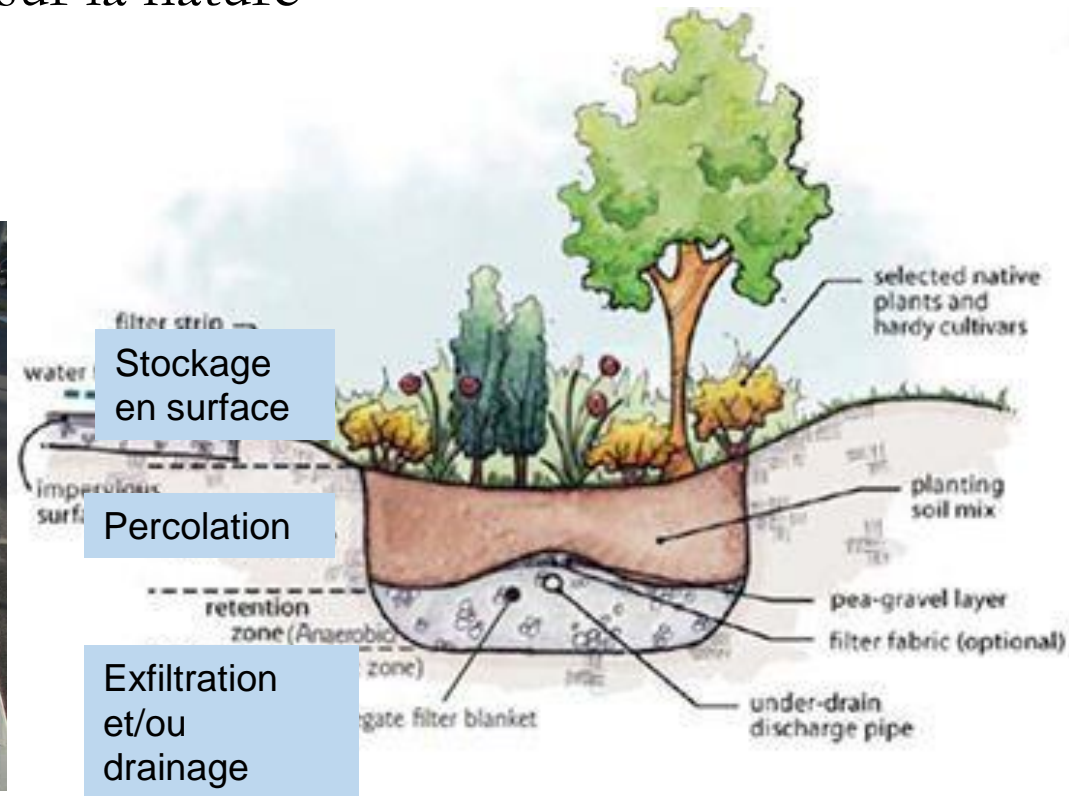


Schéma: Better Ground



## Nouveaux paradigmes:

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

## Biofiltration/biorétention



Photo: Emilie Payne, Monash University

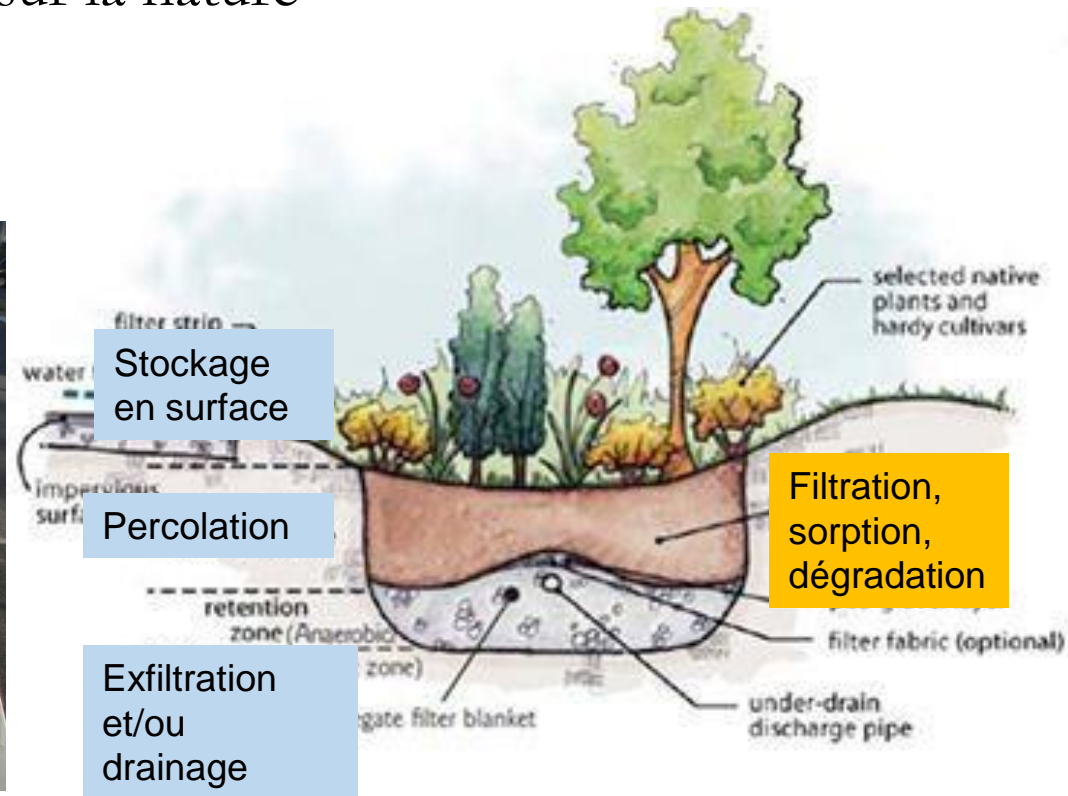


Schéma: Better Ground

# 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**

# 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

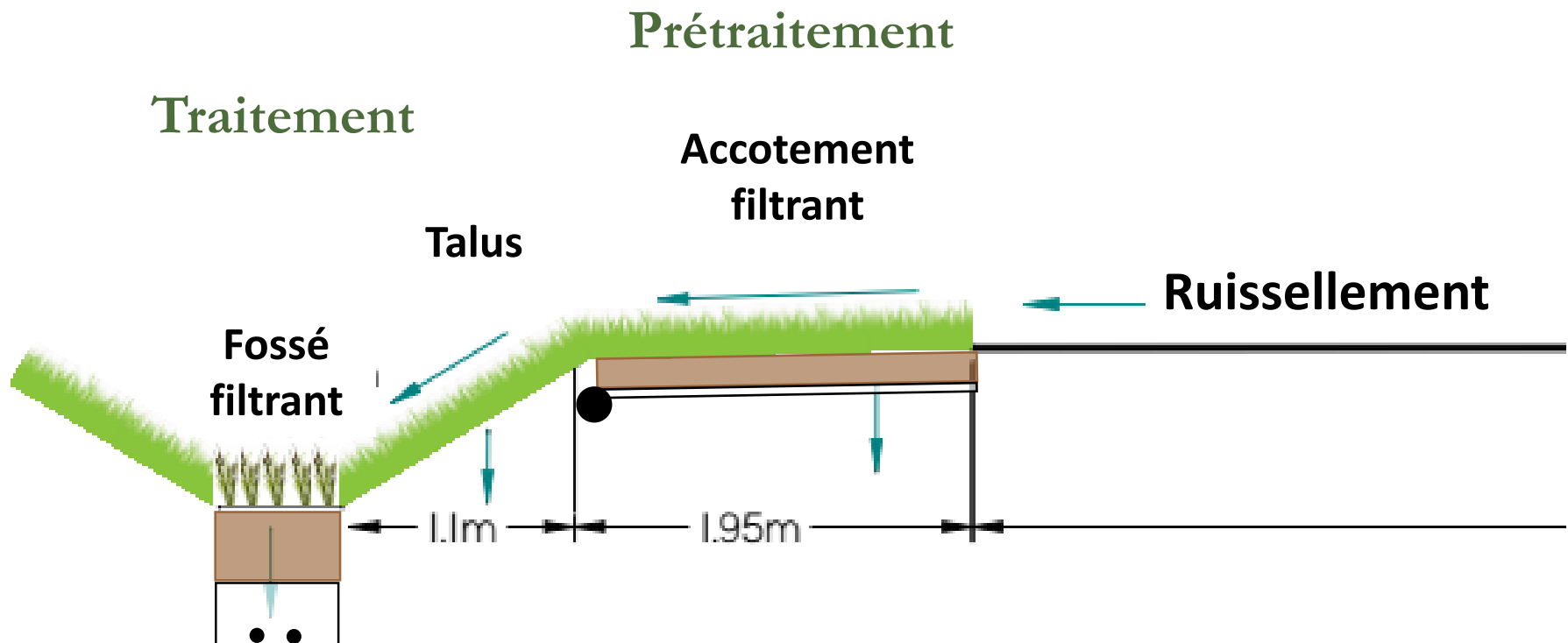


# Site d'étude: RD 212, Compans



# Rappel du site d'étude: ouvrage initial

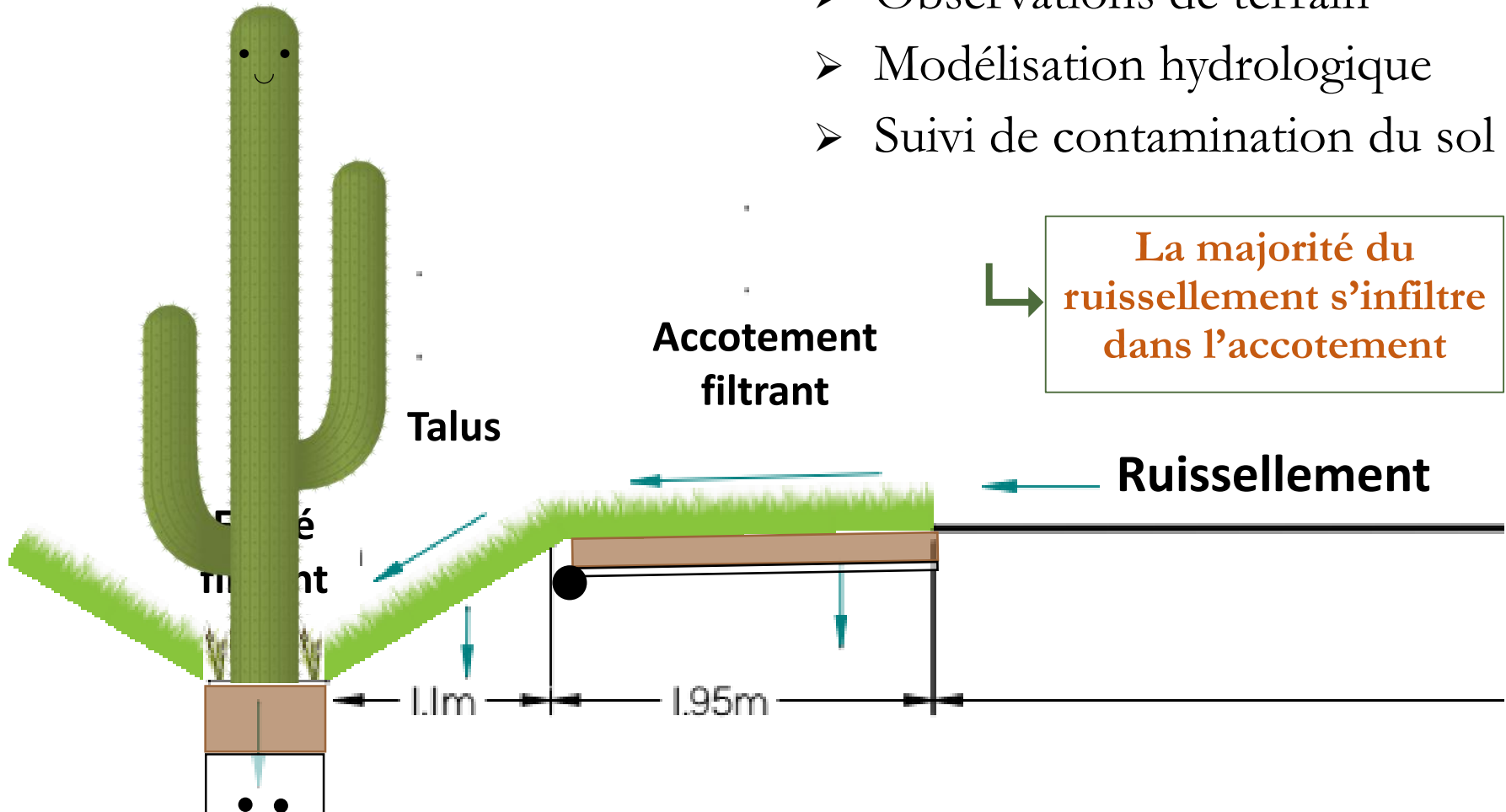
➤ **Aménagé en 2012**





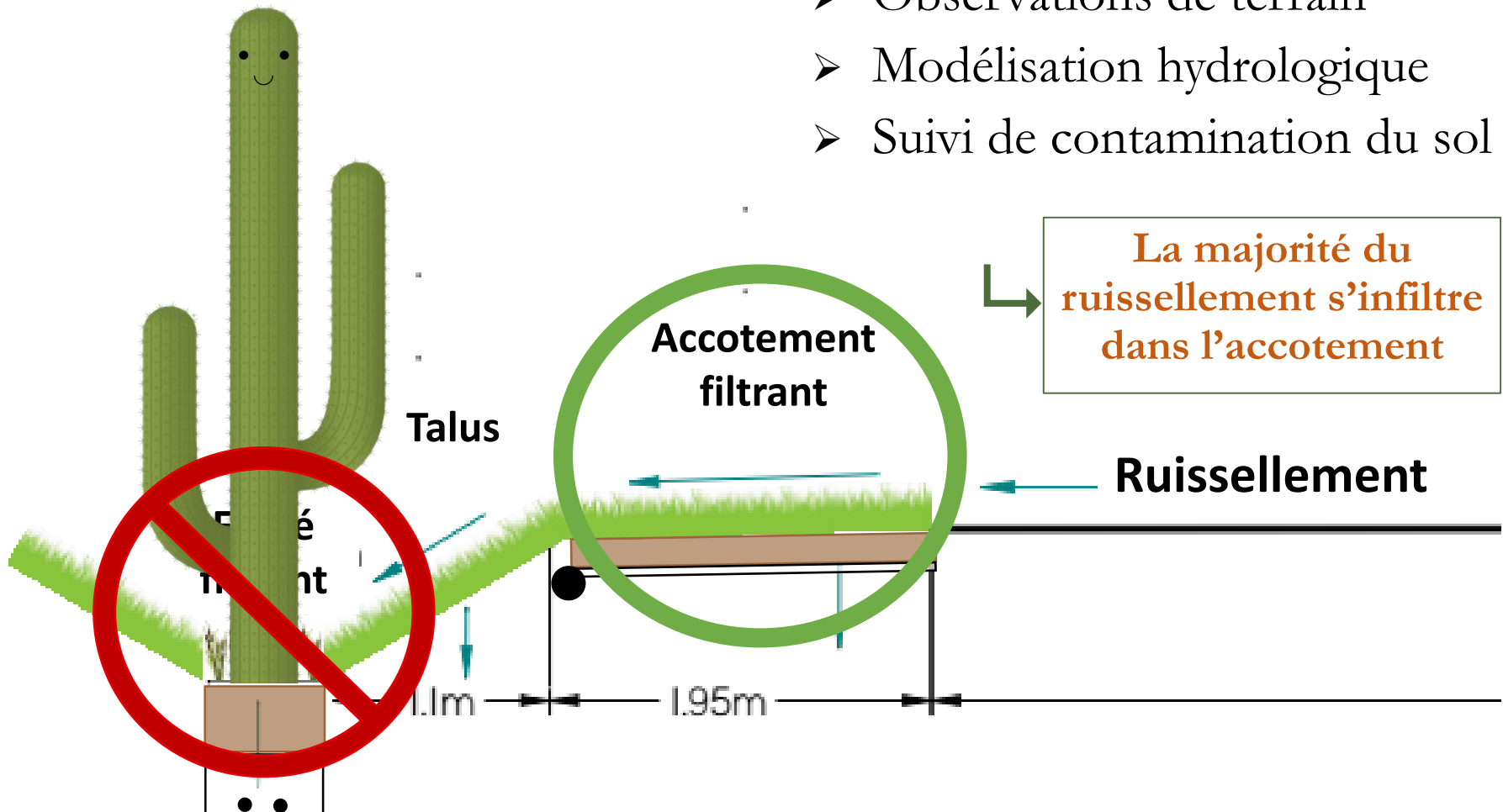
# Rappel du site d'étude: ouvrage initial

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



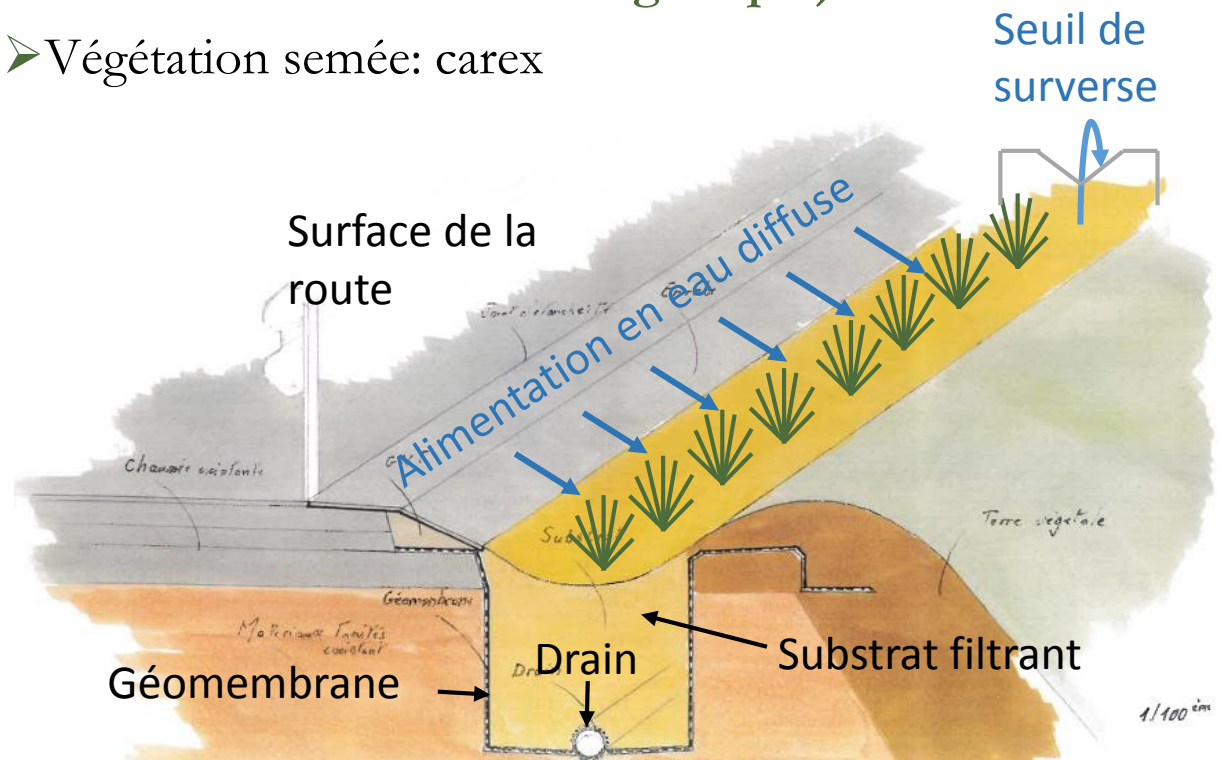
# Rappel du site d'étude: ouvrage initial

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



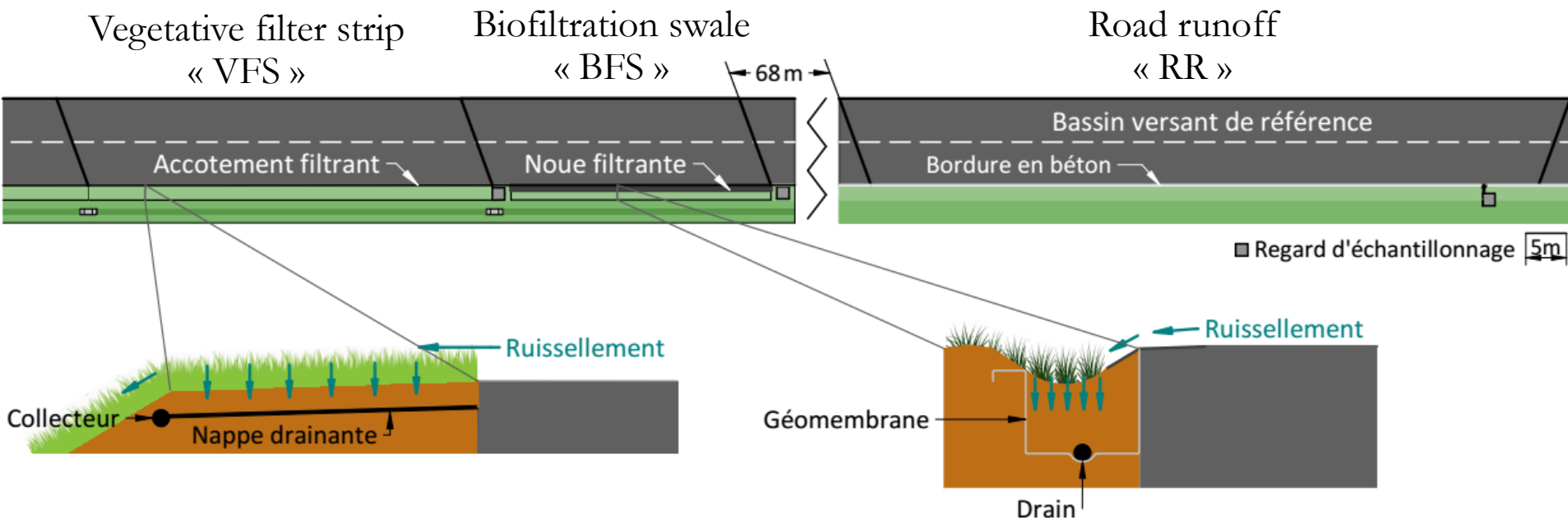
# Construction d'une nouvelle noue filtrante

- 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

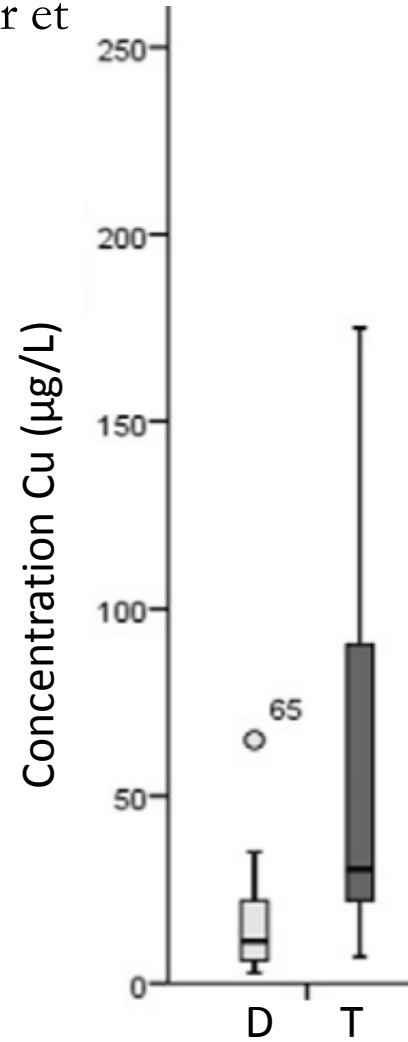
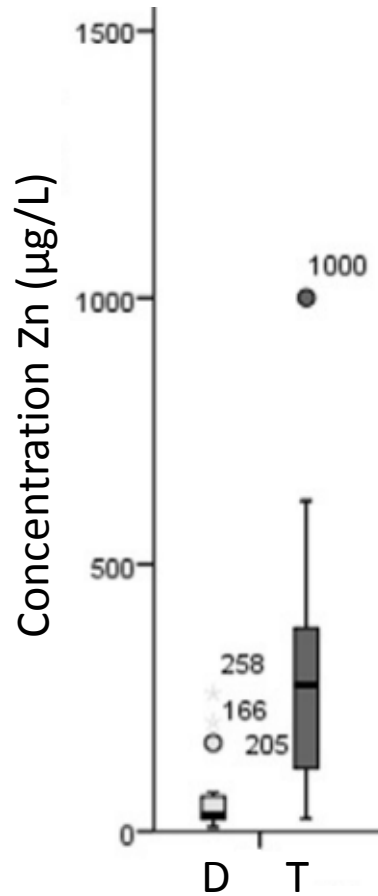
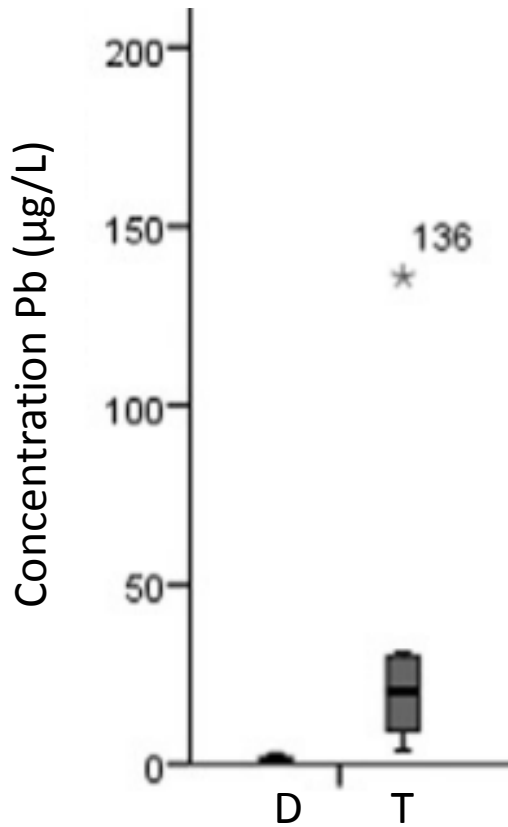


- 1. Caractérisation du ruissellement**
2. Efficacité de traitement (et processus associés)



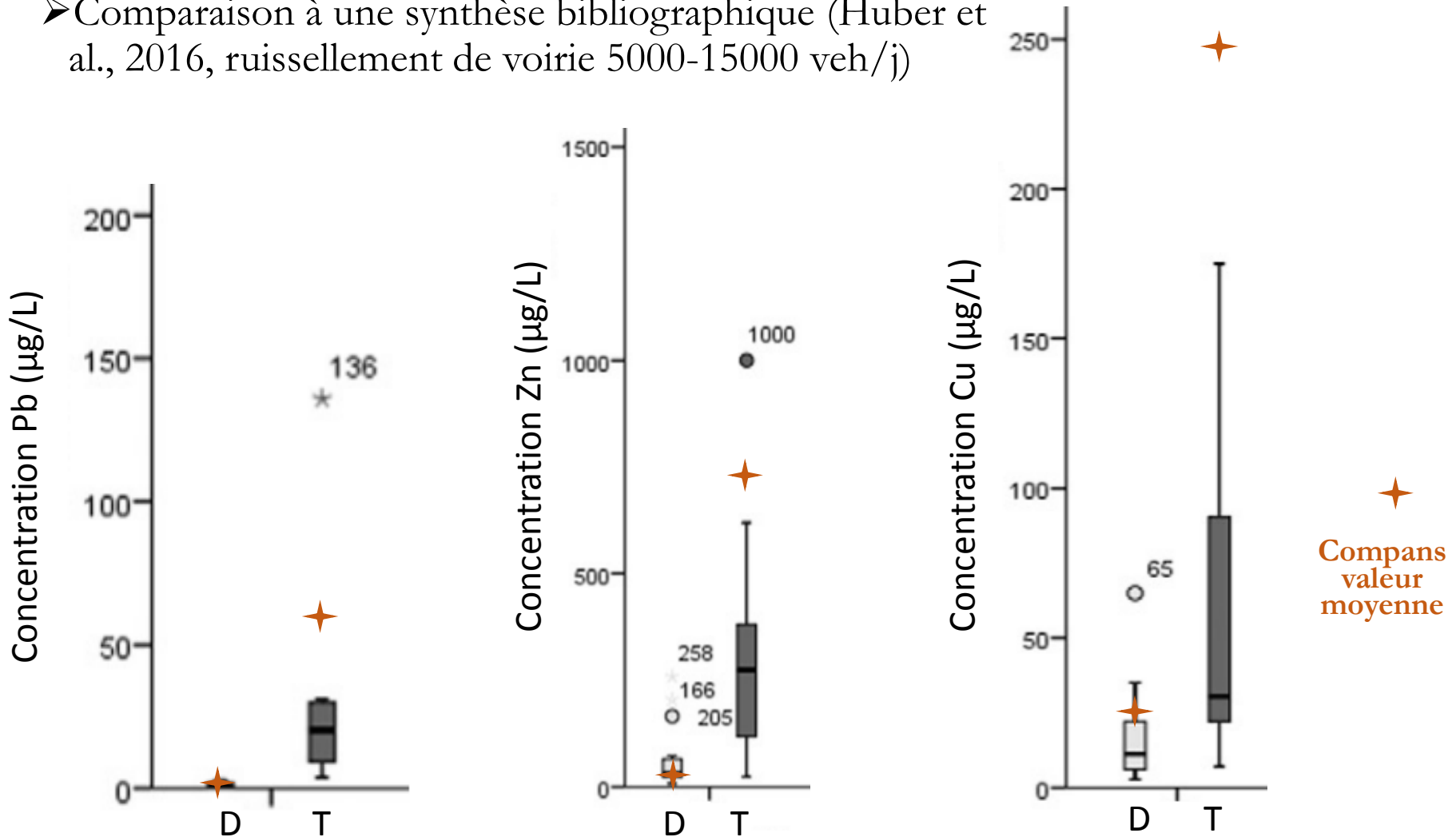
# Caractéristiques du ruissellement brut

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



# Caractéristiques du ruissellement brut

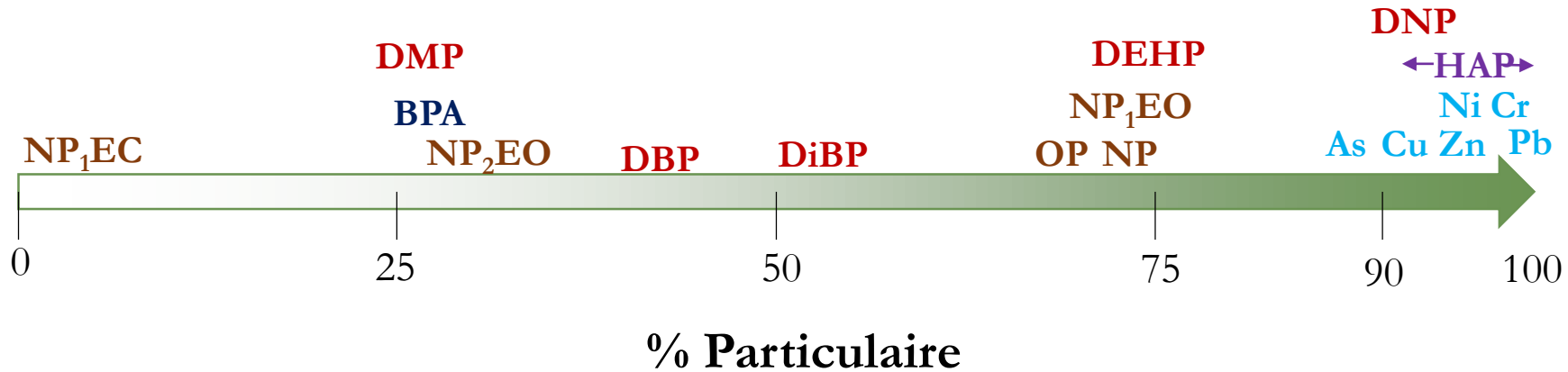
➤ Comparaison à une synthèse bibliographique (Huber et al., 2016, ruissellement de voirie 5000-15000 veh/j)



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



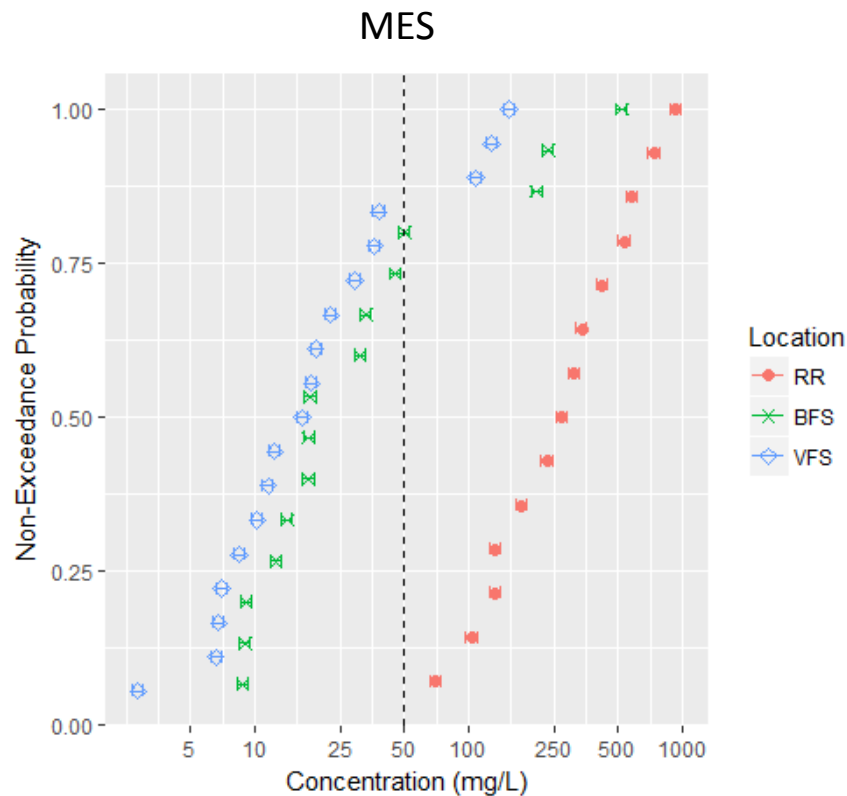
# Résultats



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

# Performance épuratoire

## ➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Abattement médian de concentration ( $E_{C50}$ )

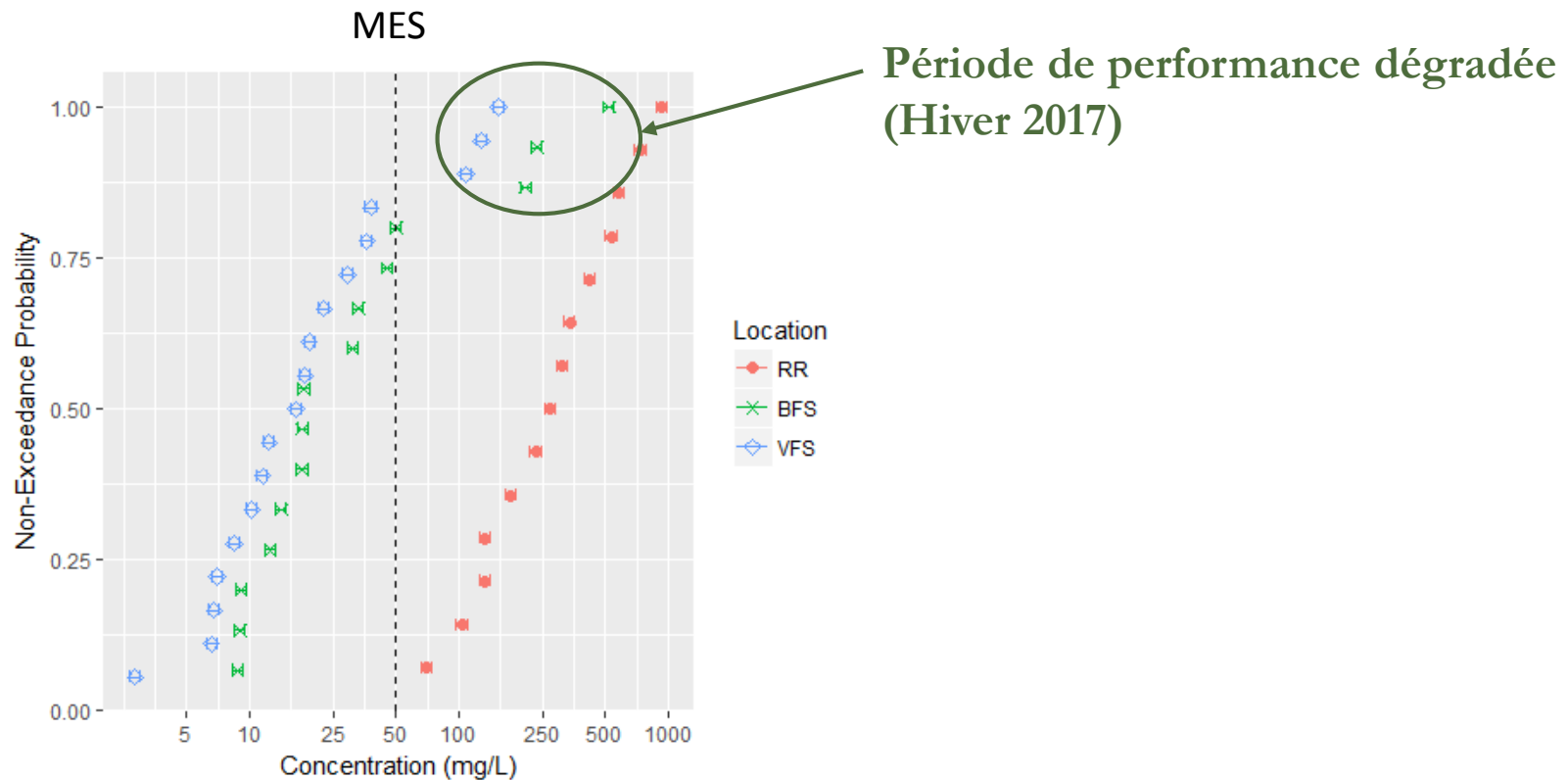
VFS: 94%

BFS: 92%

➤ **Très bonne performance**

# Performance épuratoire

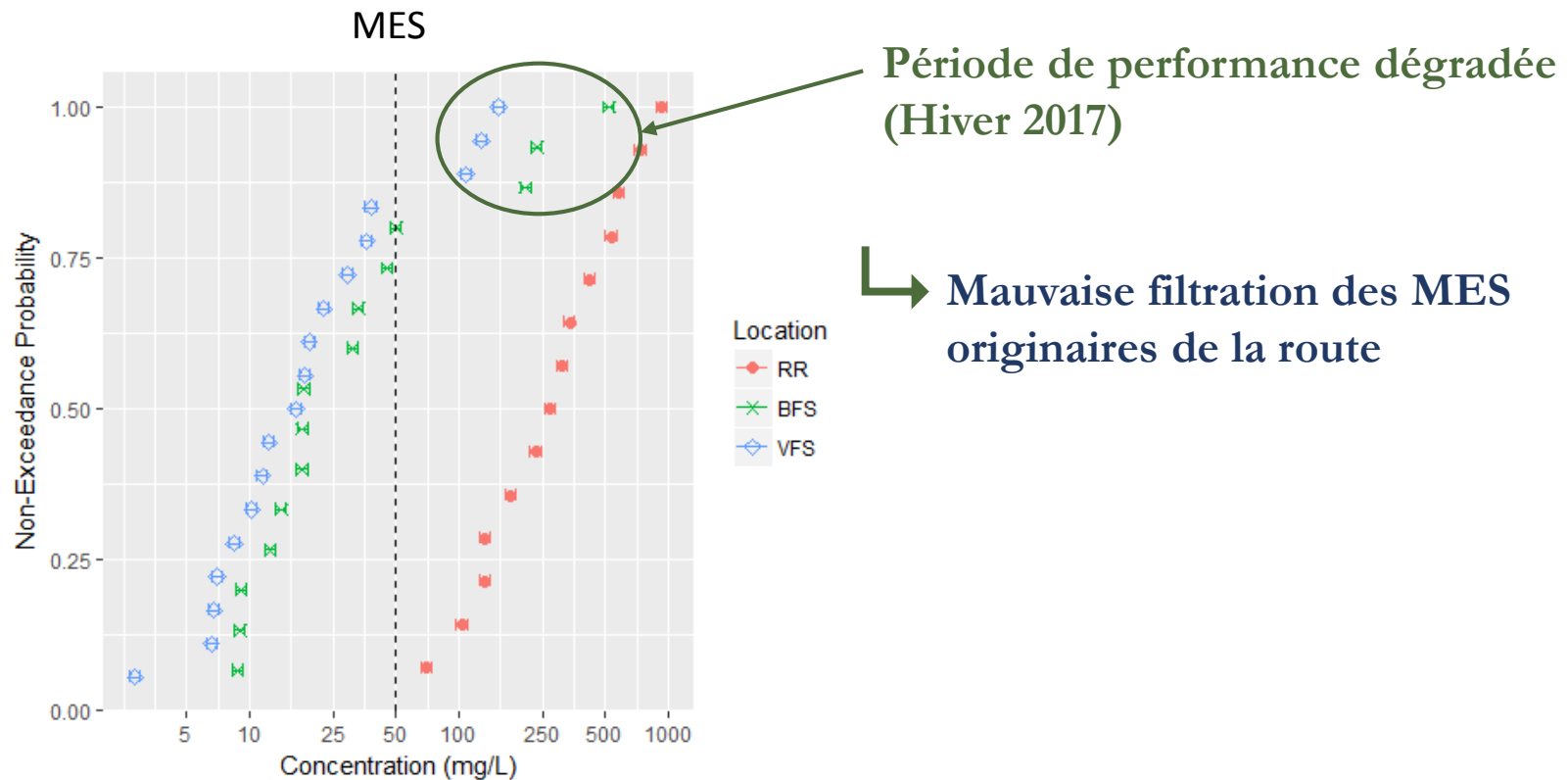
## ➤ Abattement des matières en suspension (MES)



Très bonne performance...avec quelques exceptions

# Performance épuratoire

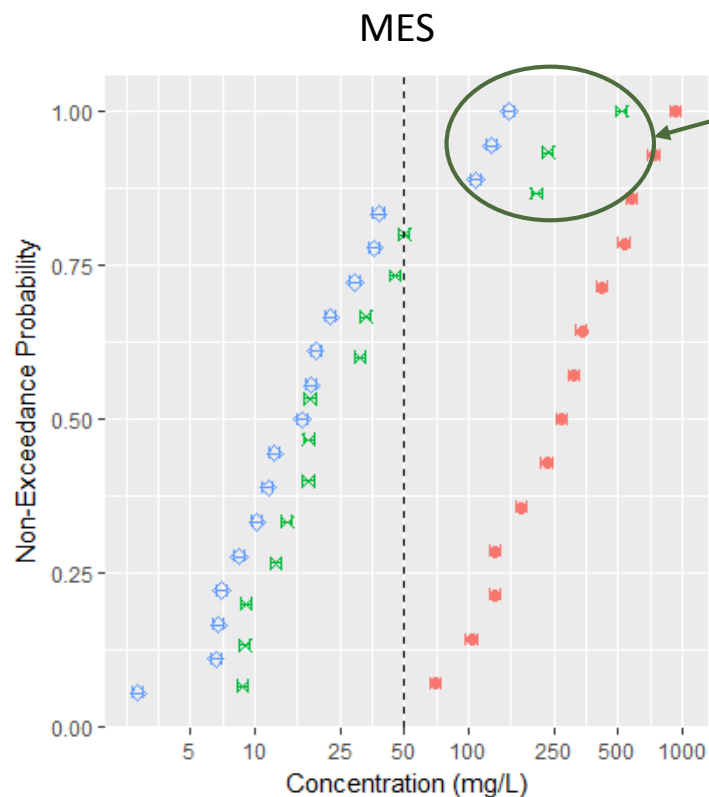
## ➤ Abattement des matières en suspension (MES)



↳ **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

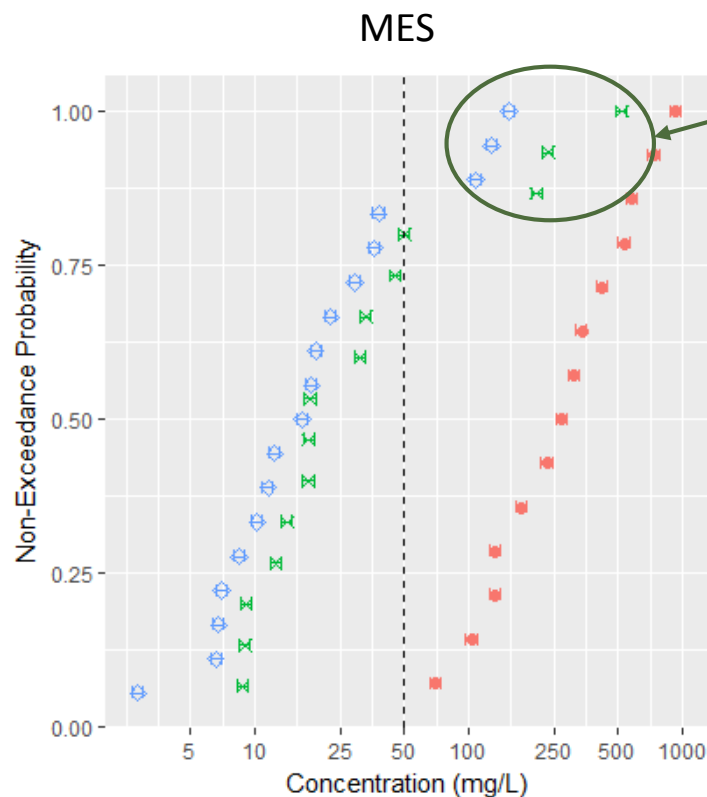
**Effet saisonnier?**

↳ **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

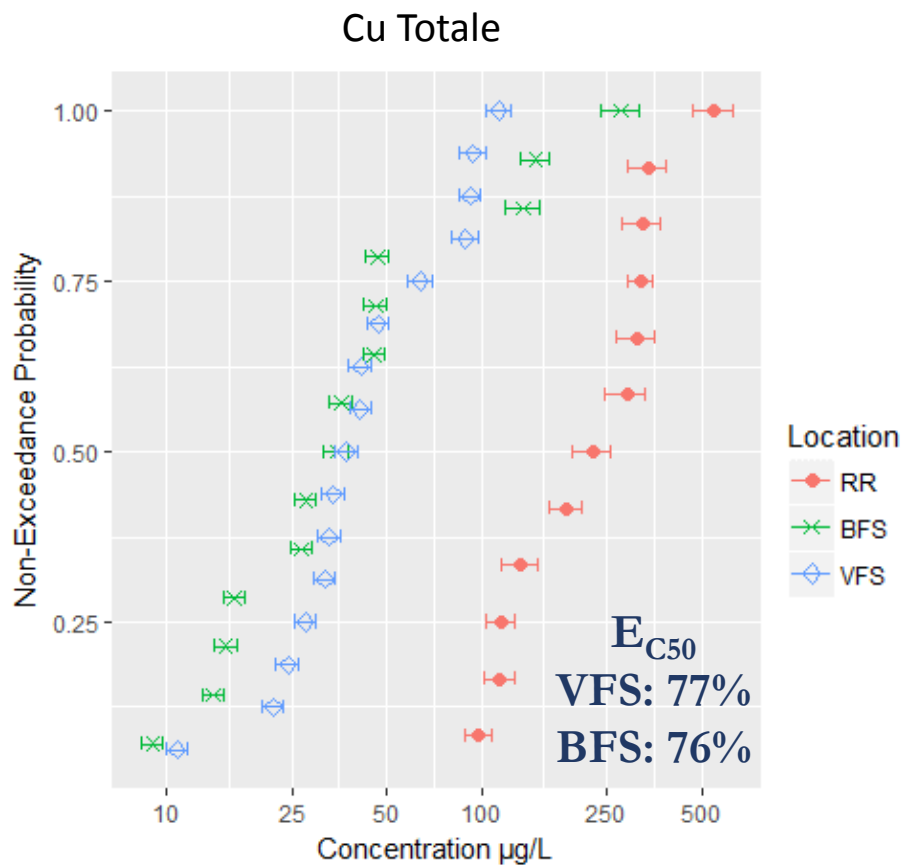
↳ Plus fines MES en RR (moins bien retenues) pendant cette période

**Effet saisonnier?**

↳ Ecoulements préférentiels (un événement en particulier)

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

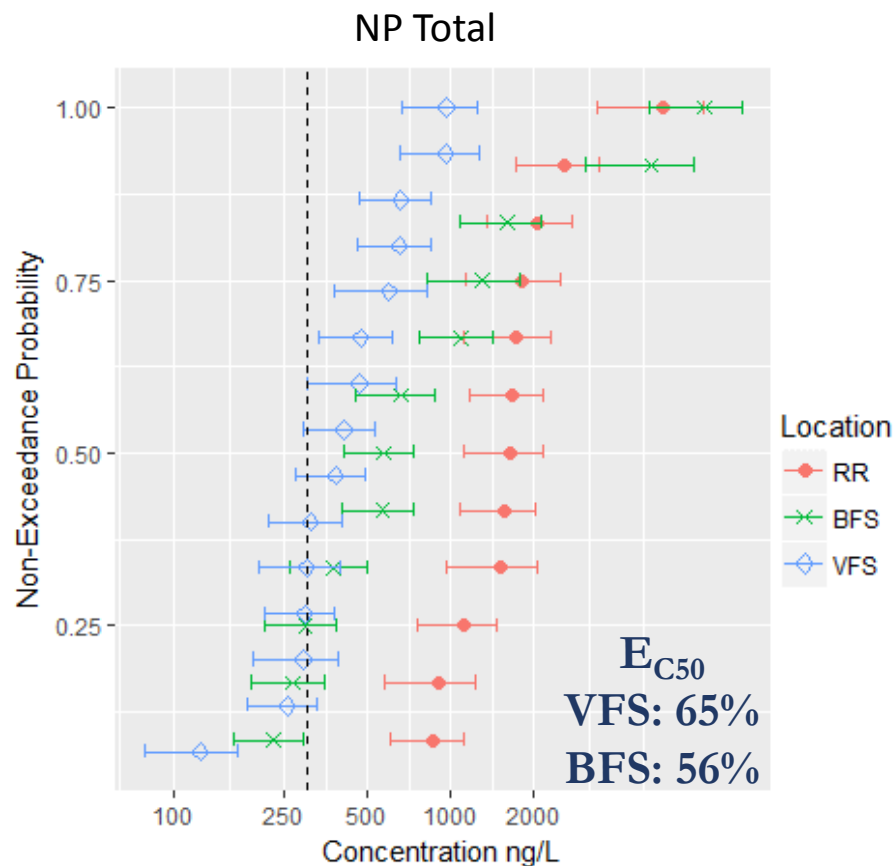
## Performance épuratoire des polluants très particuliers



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

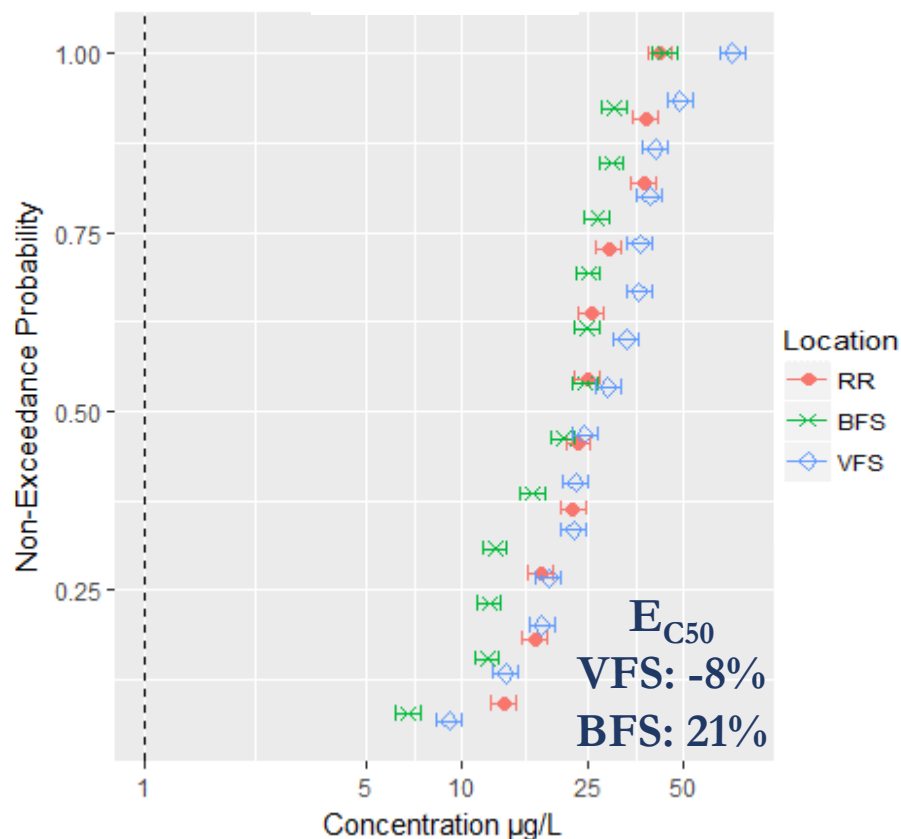


Paramètre	BFS Abattement de concentration (%)
MES	92 (11, 95)
Cu	76 (19, 93)
Zn	89 (25, 98)
Pyrène	94 (42, 95)
Phenanthrène	92 (30, 96)
DEHP	8 (-132, 36)
Nonylphénol	56 (-219, 72)
Octylphénol	76 (-109, 94)
Bisphénol-A	57 (-57, 79)

↳ **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 (%)
<b>Cu</b>	21 (-7, 46)
<b>Zn</b>	57 (-74, 76)
<b>Pyrène</b>	25 (-126, 55)
<b>Phenanthrène</b>	44 (-11, 90)
<b>DEHP</b>	-202 (-754, 62)
<b>Nonylphénol</b>	4 (-113, 40)
<b>Octylphénol</b>	59 (-81, 83)
<b>Bisphénol-A</b>	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?**

