

M.

# Gérer les eaux pluviales à la source dans vos projets d'aménagement

## Pollution des eaux pluviales

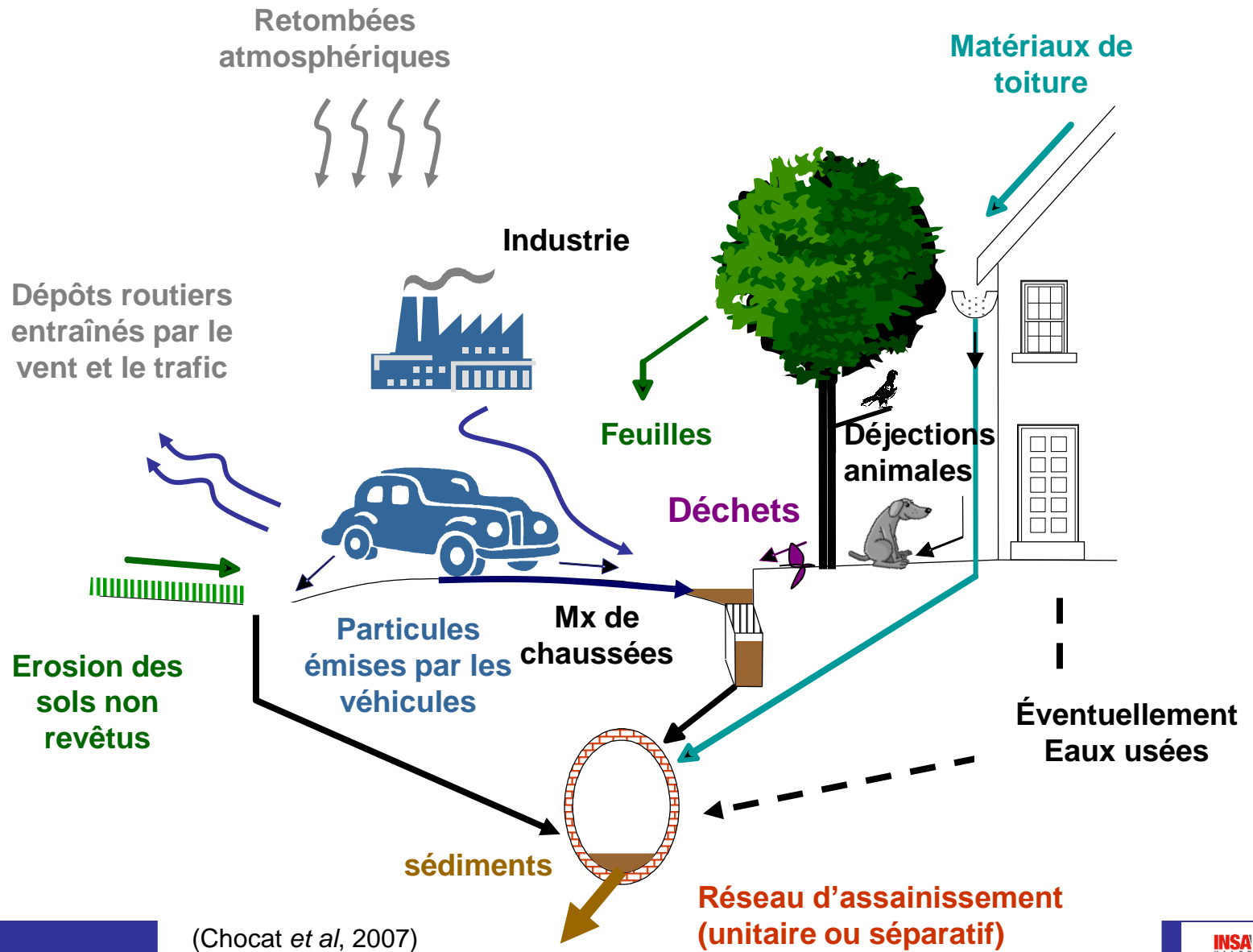
S. Barraud

(INSA – OTHU – EUR H2O'Lyon)



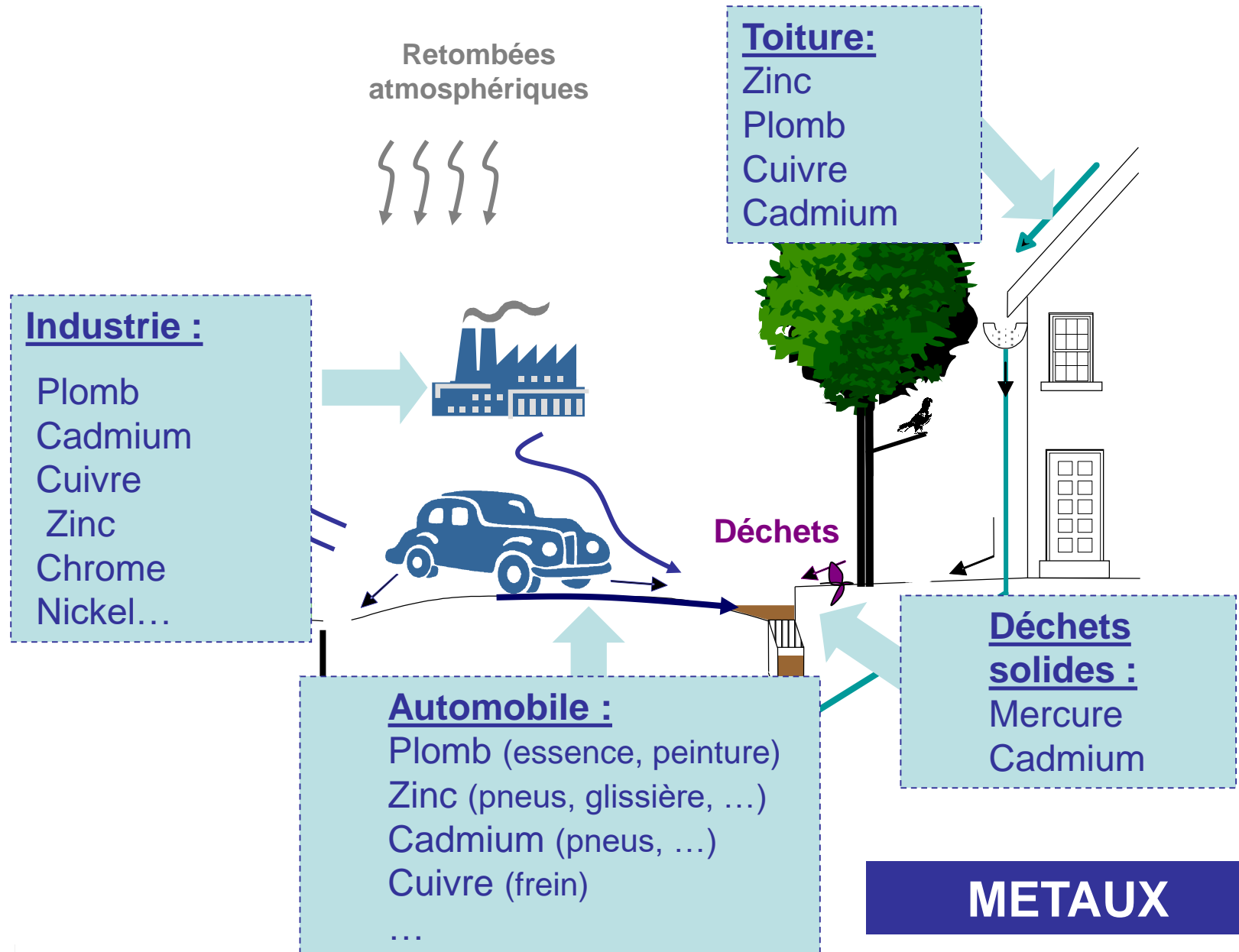
# **1- Quelles sont les polluants et les sources de polluants dans les eaux pluviales ?**

# Mécanismes de mobilisation des polluants par les E.P.

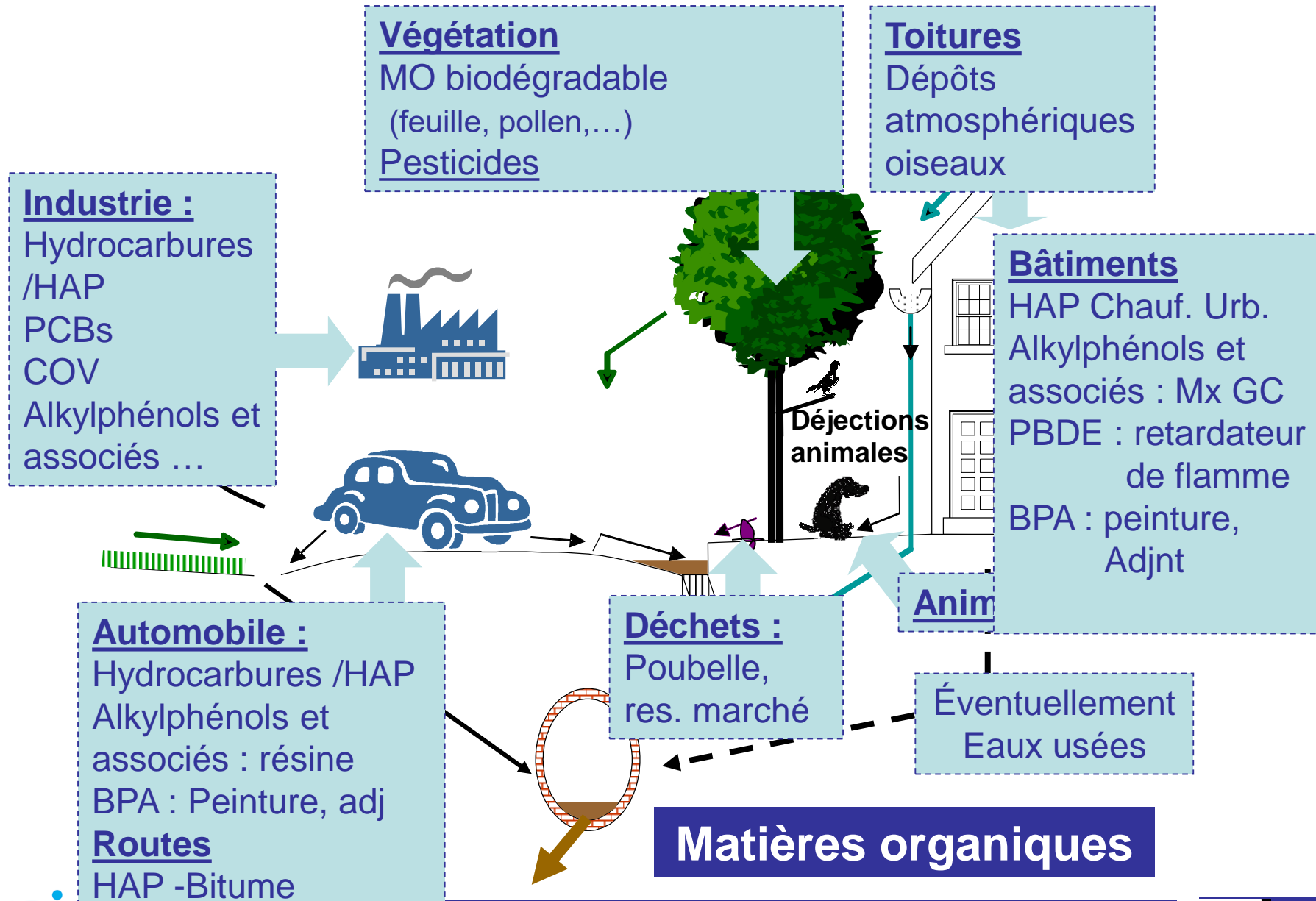


(Chocat et al, 2007)

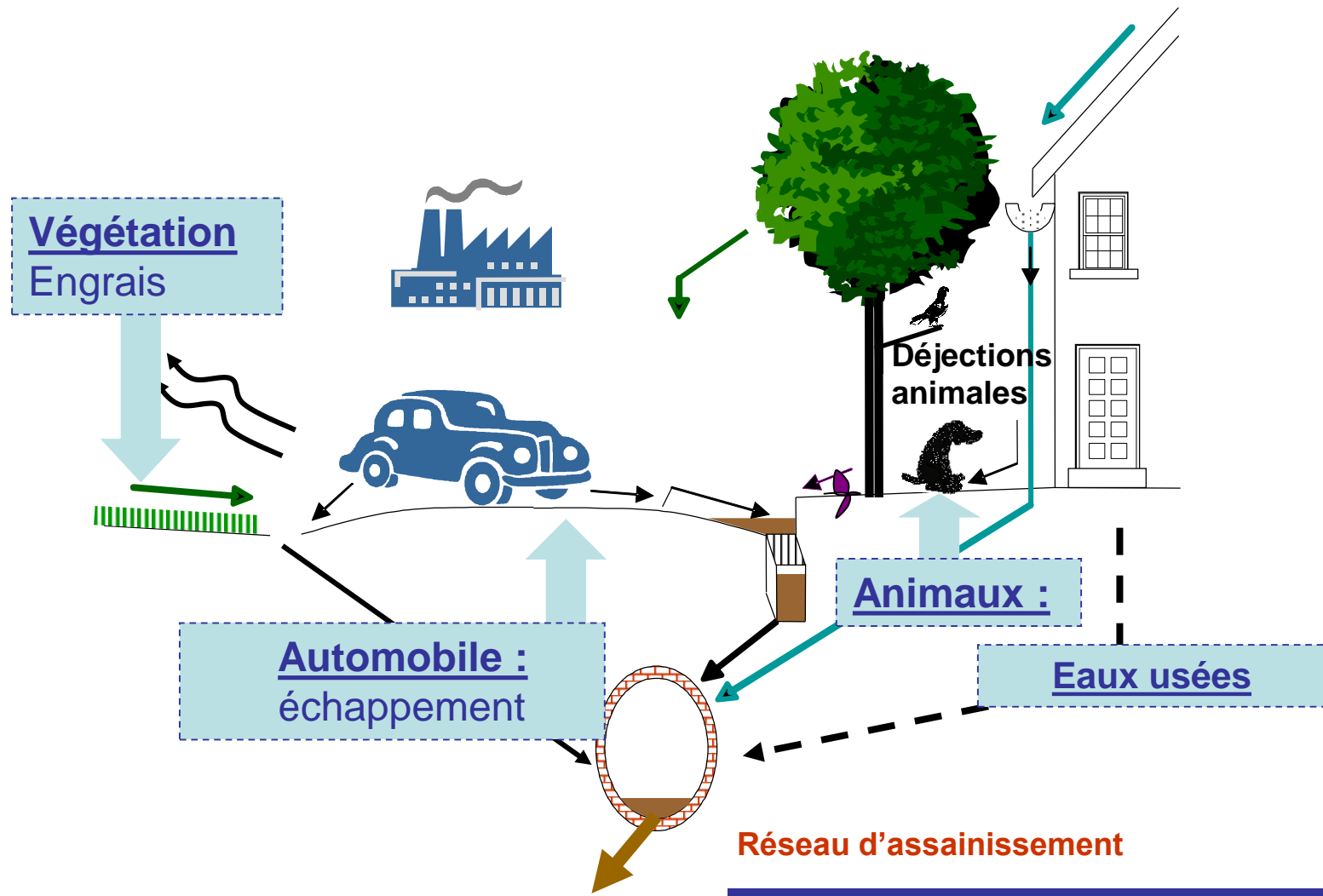
# Origine des polluants issus des E.P



# Origine des polluants issus des E.P



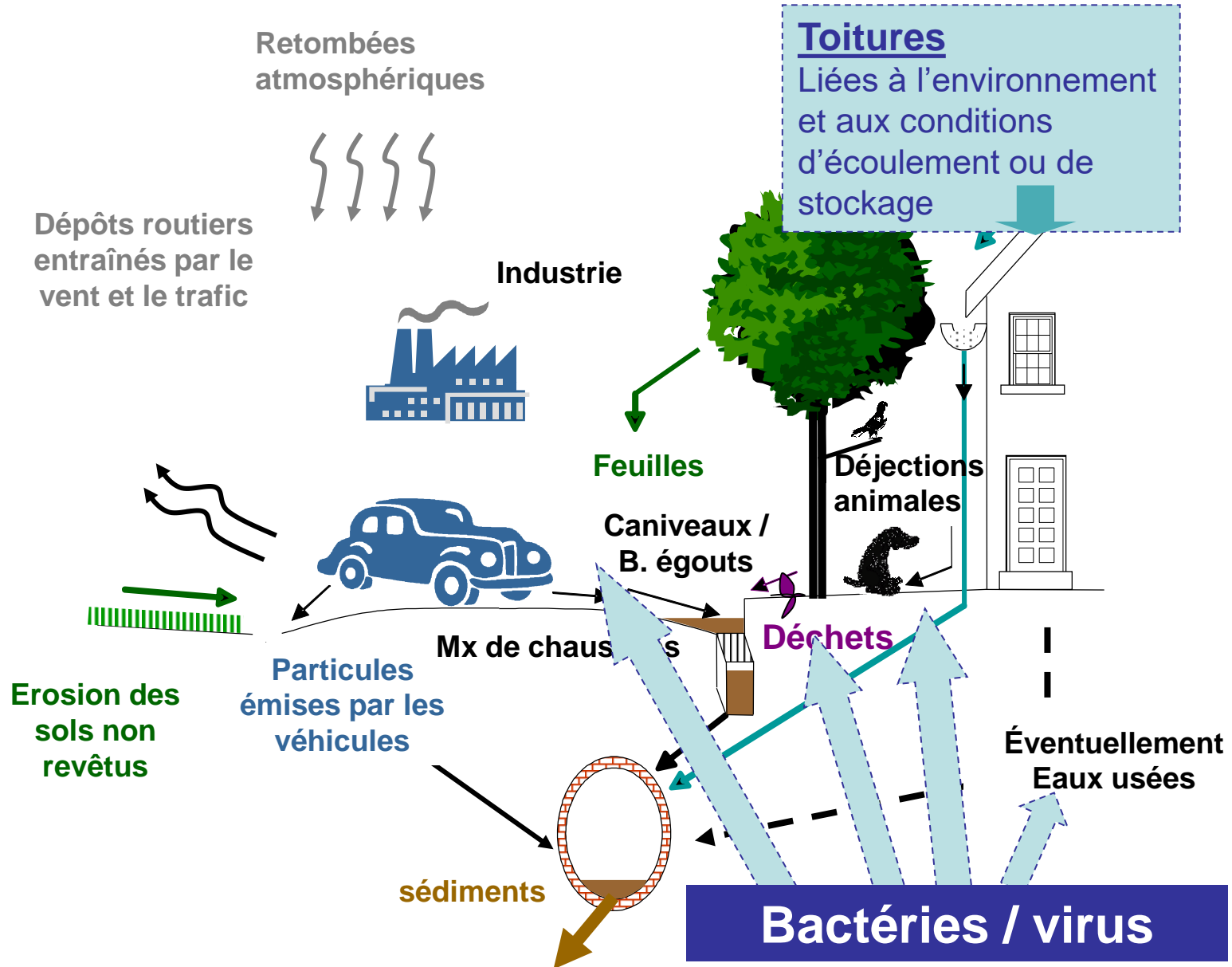
# Origine des polluants issus des E.P



Réseau d'assainissement

**Nutriments :  
Azote, Phosphore**

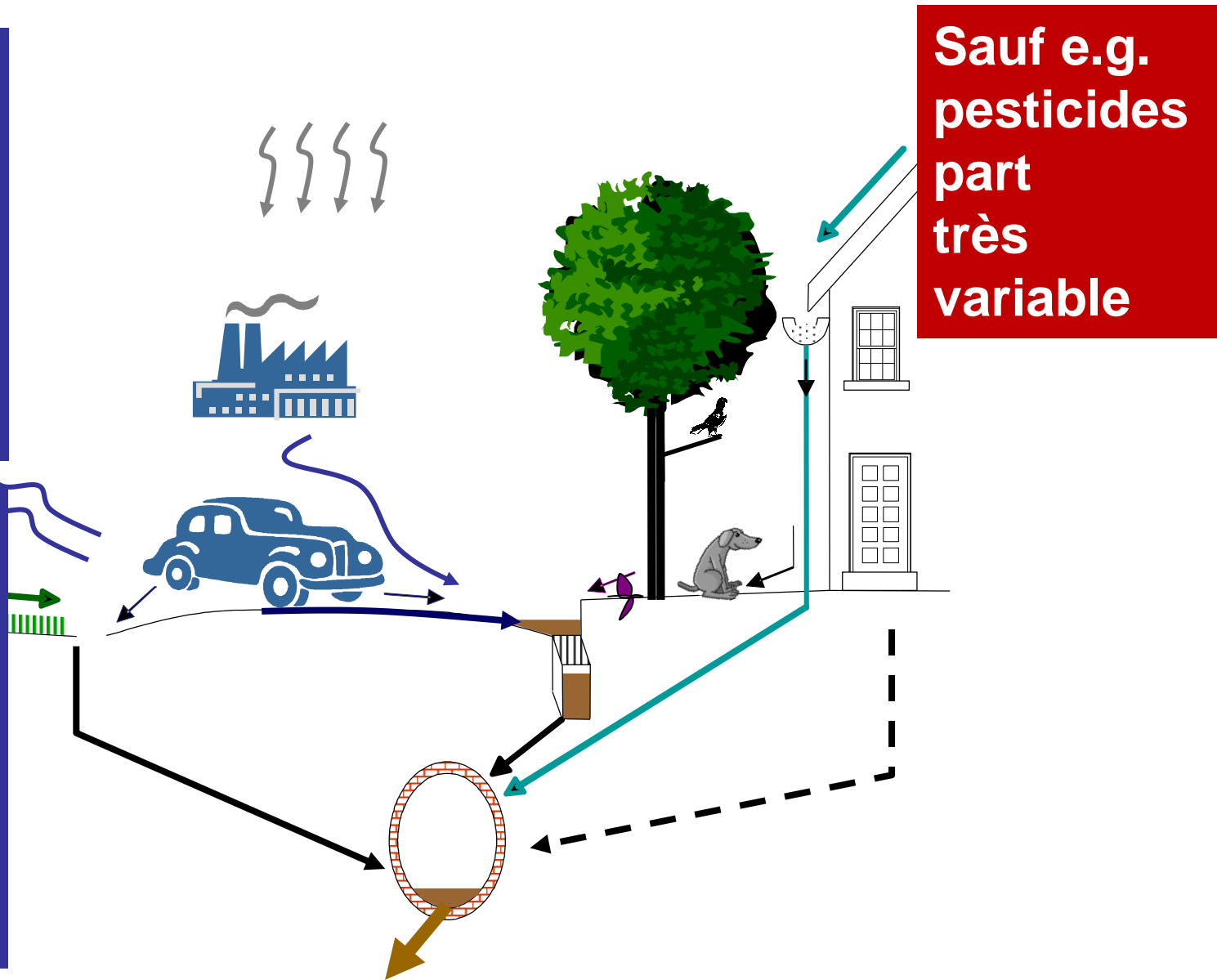
# Origine des polluants issus des E.P



# Origine des polluants issus des E.P

Eaux  
météoriques  
15 à 25%

Eaux de  
ruissellement  
75 à 85%



Sauf e.g.  
pesticides  
part  
très  
variable



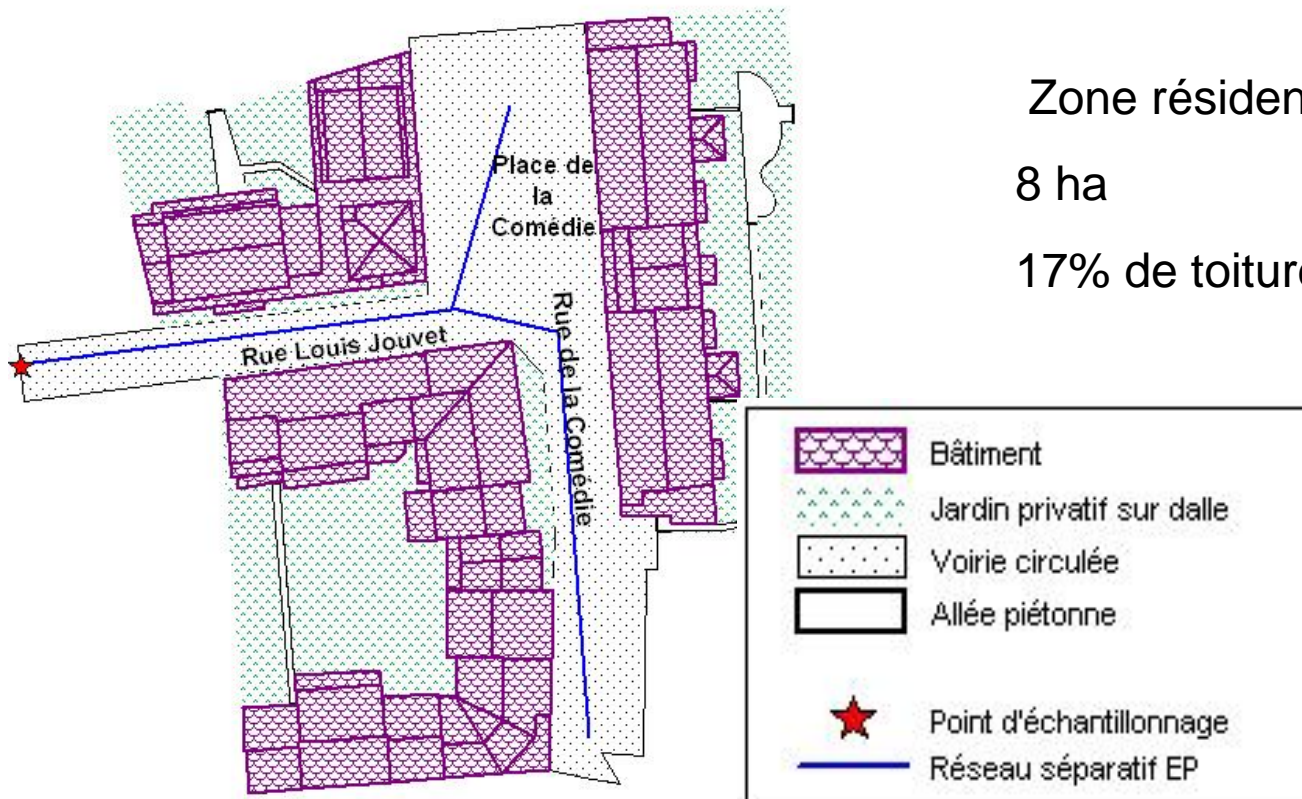
# Quelles sont les caractéristiques des pollutions liées aux eaux pluviales?

# Principales caractéristiques de la pollution liée aux EP

- Une contribution significative à la pollution diffuse en micropolluants des milieux aquatiques
  - Sources de contamination multiples
  - Volumes en jeu très importants
- Des concentrations très variables
  - Dans l'espace (d'un site à l'autre, d'une échelle à l'autre)
  - Dans le temps (d'un événement à l'autre, au sein d'un événement)
- Principalement sous forme particulaire
  - ... mais une phase dissoute dominante pour certains micropolluants
  - ... des formes dissoutes ou peu décantables souvent dominantes dans le ruissellement amont

► Pollution non négligeable et plutôt moins élevée sur de petites surfaces (contrôle à la source)

Exemple 1 – Région Parisienne

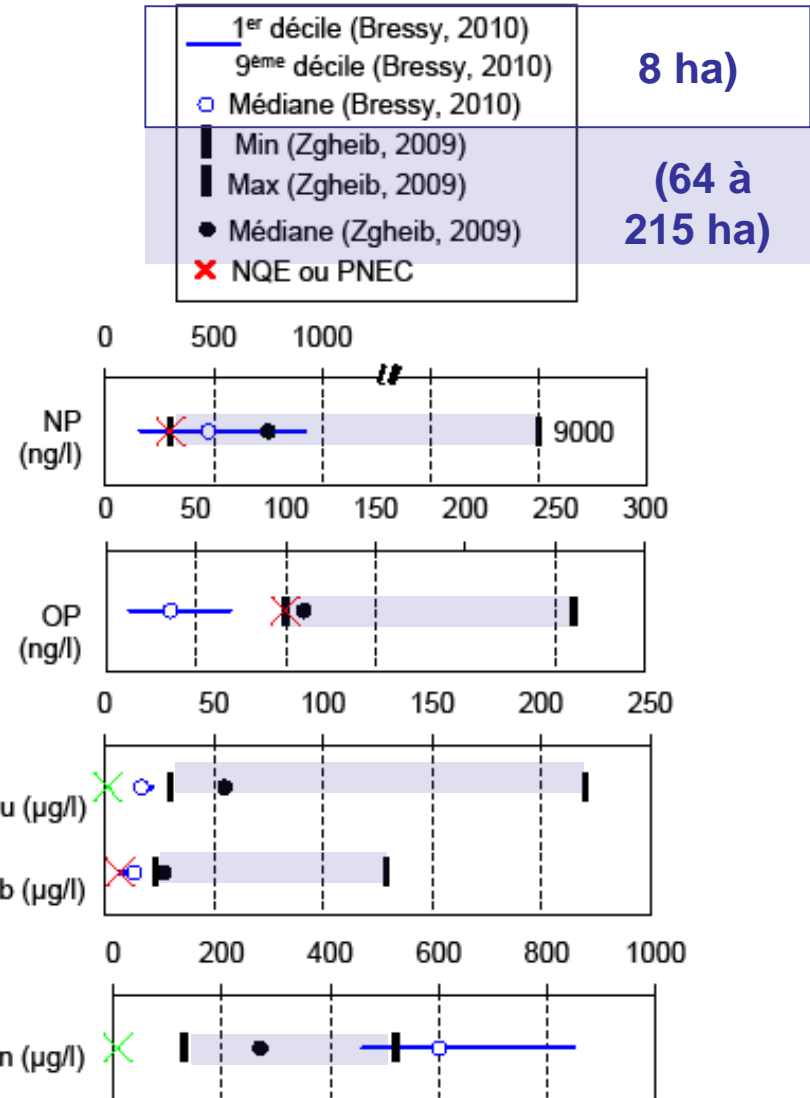
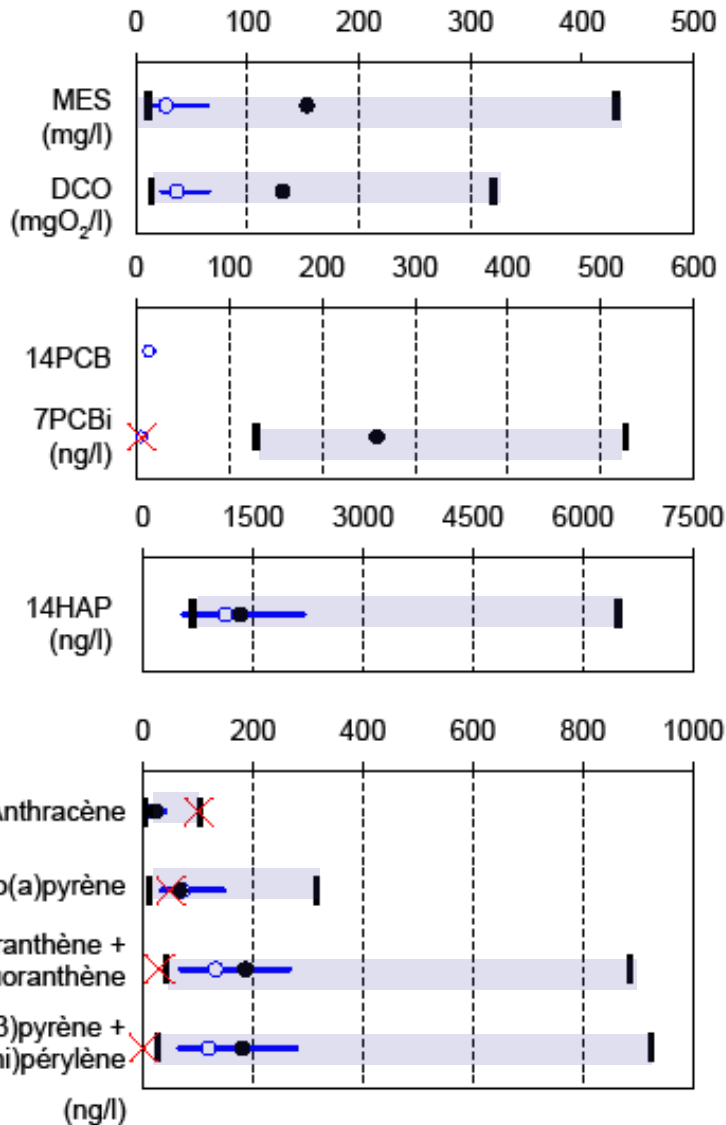


Zone résidentielle (Noisy le Grand)  
8 ha  
17% de toitures en Zinc

Adèle Bressy (2010) – LEESU / OPUR

► Pollution plutôt moins élevée sur de petites surfaces (Contrôle à la source) + variabilité

Exemple 1 – Région Parisienne



► Pollution plutôt moins élevée sur de petites surfaces (Contrôle à la source)

**Exemple 2 – Région Lyonnaise**



BV Zone industrielle  
185 ha, Cimp~70%, Cr=35%



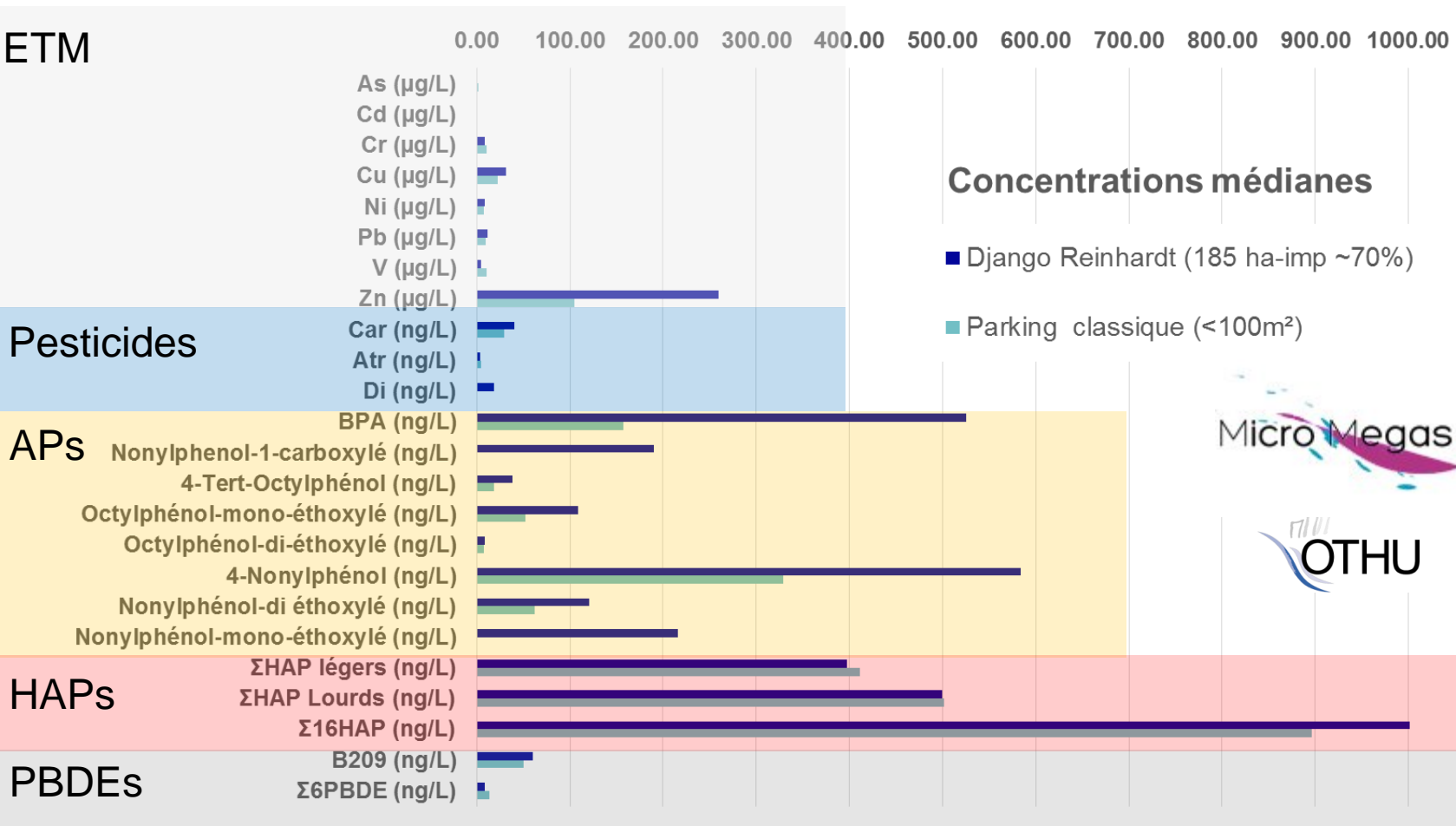
BV Parking imperméable  
94 m<sup>2</sup>

Micro Megas

OTHU

► Pollution plutôt moins élevée sur de petites surfaces mais moins flagrant (Contrôle à la source)

Exemple 2 – Région Lyonnaise



Données Micromegas – DEEP – INSA OTHU

## Dans EP présence avérée (exemple 2)

### ■ Métaux / métalloïdes

>> NQE : As, Cd<sup>SPD</sup>, Pb<sup>SP</sup>, Cr, Cu, Zn

### ■ Hydrocarbures (HAPs)

>> NQE : Fluoranthene<sup>SP</sup>, Benzo(b)fluoranthène<sup>SPD</sup>  
Benzo(k)fluoranthène<sup>SPD</sup>, Benzo(g,h,i)pérylène<sup>SPD</sup>

### ■ Alkylphénols

>> NQE : 4-Tert-Octylphénol<sup>SP</sup>, Octylphénol-mono-éthoxylé

### ■ BPA

### ■ PBDE (B209)

### ■ Pesticides (Carbendazime, Mecoprop, Isoproturon, Diuron<sup>SP</sup>, Atrazine<sup>SP</sup>)

Robin Garnier (2020) – DEEP – INSA OTHU



## ► Variabilité d'un site à l'autre

	Zone d'habitat		Zone commerciale		Zone industrielle	
	Moyenne	CV	Moyenne	CV	Moyenne	CV
MES mg/l	109	147%	64	52%	100	72%
Ptotal mg/l	0,66	79%	0,67	54%	0,93	83%
DCO mg/l	104	96%	58	61%	117	105%
DBO5 mg/l	18	179%	6,5	92%	24	86%
COD mg/l	19	148%	7	56%	15	80%
Cu µg/l	145	103%	63	74%	117	105%
Zn µg/l	235	69%	310	55%	597	115%
Pb µg/l	52	89%	39	51%	185	222%
Cd µg/l	1,35	65%	3	151%	3,7	137%
Cr µg/l	18	171%	11	41%	10	100%
HC totaux mg/l	0,02	150%	0,02	200%	0,03	167%
HAP ng/l	3201	102%	1341	64%	1647	49%

(Rossi, 1998)

**Sans tendance exploitable en fonction du type d'urbanisation**



**INOGEV**



## ► Pollution principalement particulaire (aval réseau pluvial)

<u>Paramètres</u>	Fraction particulaire
NTK	48 – 80 %
Pb	> 80 %
Zn	15 – 65 %
Cu	35 – 85 %
Cd	20 – 60 %
HAP	>80 %
PBDE	> 80 %
APs	< 50 %
BPA	< 20 %
Pesticides	< 20 %

Même tendance à  
la source

Gaspery et al. 2005, Gonzalez et al. 2000; Sébastien 2013, Garnier, 2020, Flanagan 2019, Bressy, 2009

▶ **Quand particulaire → Pollution décantable**  
(moins vrai à l'amont)

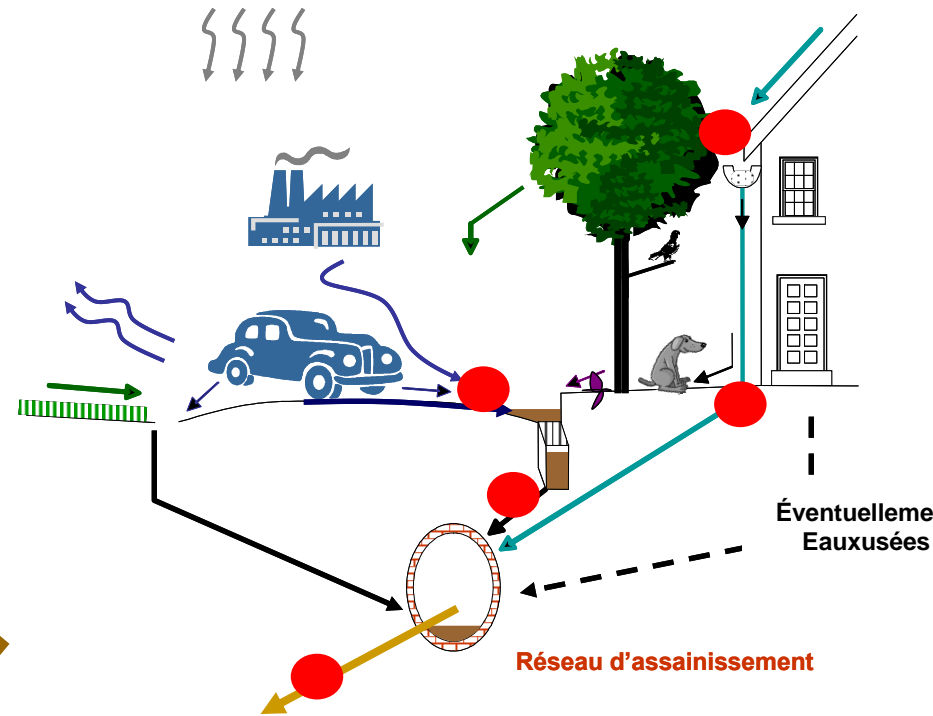
- **Granulométrie fine ( $D_{50} < 50 \mu\text{m}$ ) voire très fine en amont ( $D_{50} < 10 \mu\text{m}$ )**  
particules fines fixant la plupart des micropolluants
- **Plutôt forte décantabilité même si variable**  
 $V_{50} \in [ 0.6 - 9 \text{ m/h } ]$  (Chocat & al, 1997)

# Que faire pour lutter contre la pollution ?

- **Limiter l'entraînement des polluants**
  - Agir le plus en amont possible (éviter le lessivage)
  - Agir sur les volumes
- **Favoriser leur piégeage**
  - Interception
  - « Tranquilliser » les flux → **Décantation**
  - « Filtration » → **Infiltration**
- **Limiter les émissions**
  - Agir sur nos pratiques (matériaux, limitation des phytosanitaires, trafic,...)

### **3- Quelle efficacité des dispositifs à la source vs dispositifs centralisés ?**

# Performances dépendent de la position dans le cycle de l'eau



# Quelles efficacités ?

# Efficacité / Abattement

- Efficacité en termes de concentrations (%)

$$E_c = (CME_{ref} - CME_{so}) / CME_{ref}$$

➔ Aptitude à traiter  
(processus interne de dépollution)

- Efficacité en termes de masses (%)

$$E_m = (M_{ref} - M_{so}) / M_{ref}$$

➔ Aptitude à limiter les rejets polluants

$CME_{ref}$  : Conc. moyenne évènementielle des eaux issues des surfaces de référence

$CME_{so}$  : Concentration moyenne évènementielle en sortie d'ouvrage

$M_{ref}$  : Masse évènementielle des eaux issues des surfaces de référence au m<sup>2</sup> actif

$M_{so}$  : Masse évènementielle des eaux en sortie d'ouvrage au m<sup>2</sup> actif



# Sites

Exemple de résultats



EcoCampus Lyon Tech  
La Doua



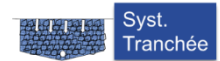
Chassieu –  
BR Django Reinhardt



Bassin de retenue



Dispo. décentralisés

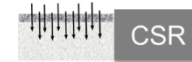
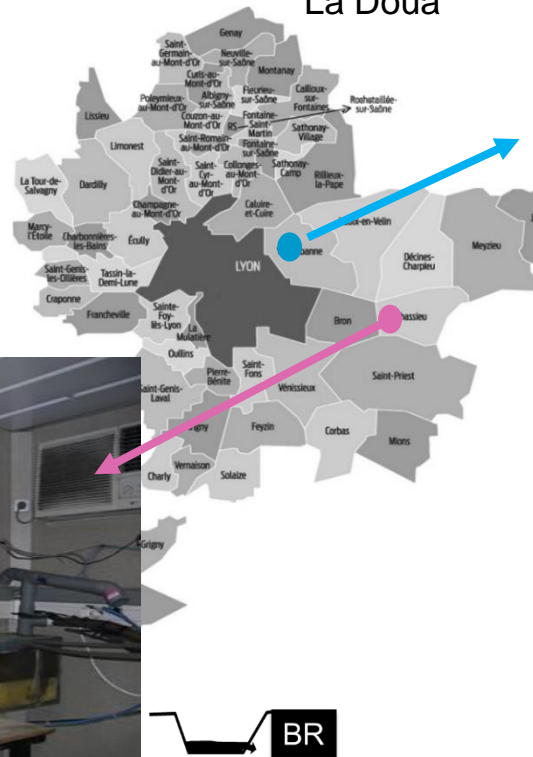




# Métronologie



EcoCampus Lyon Tech  
La Doua



Très compliqué  
Pb de la référence  
Souvent peu d'eau

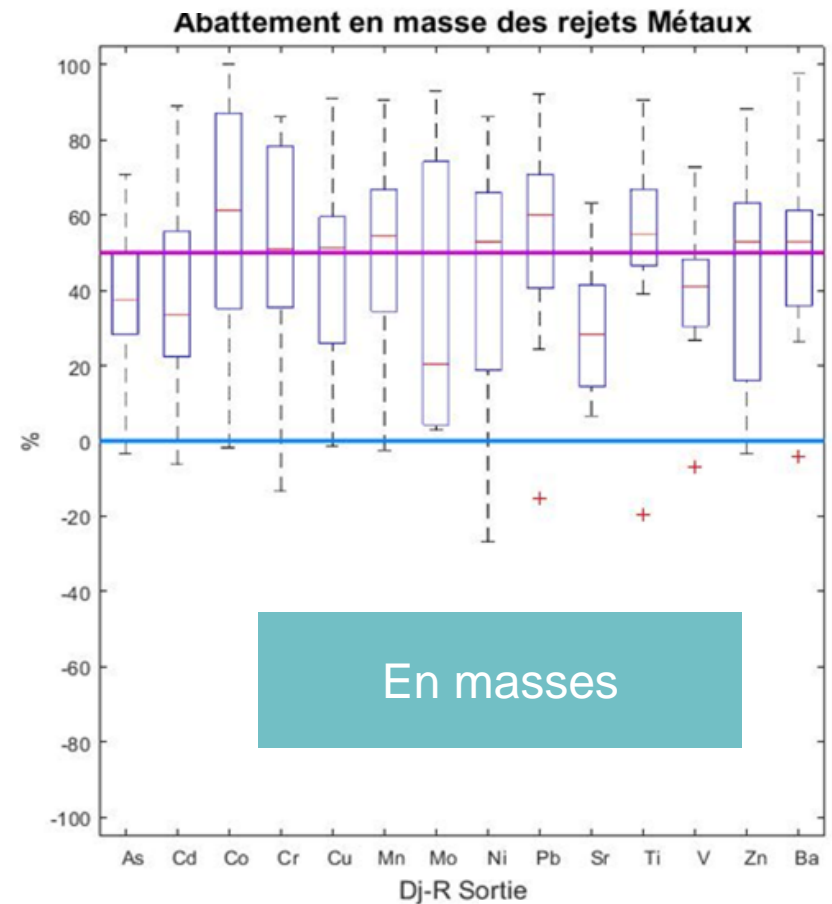
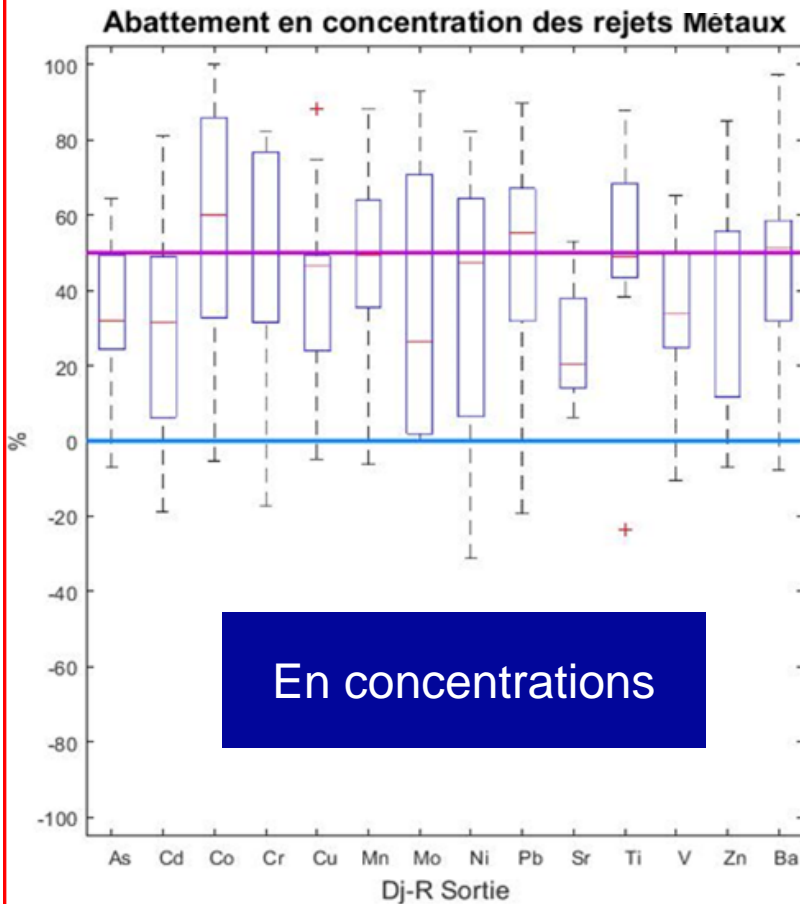
Garnier et al, 2019)



# Abattements en Métaux et Métalloïdes

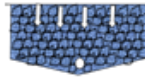


Syst. centralisé



(Garnier, 2020)

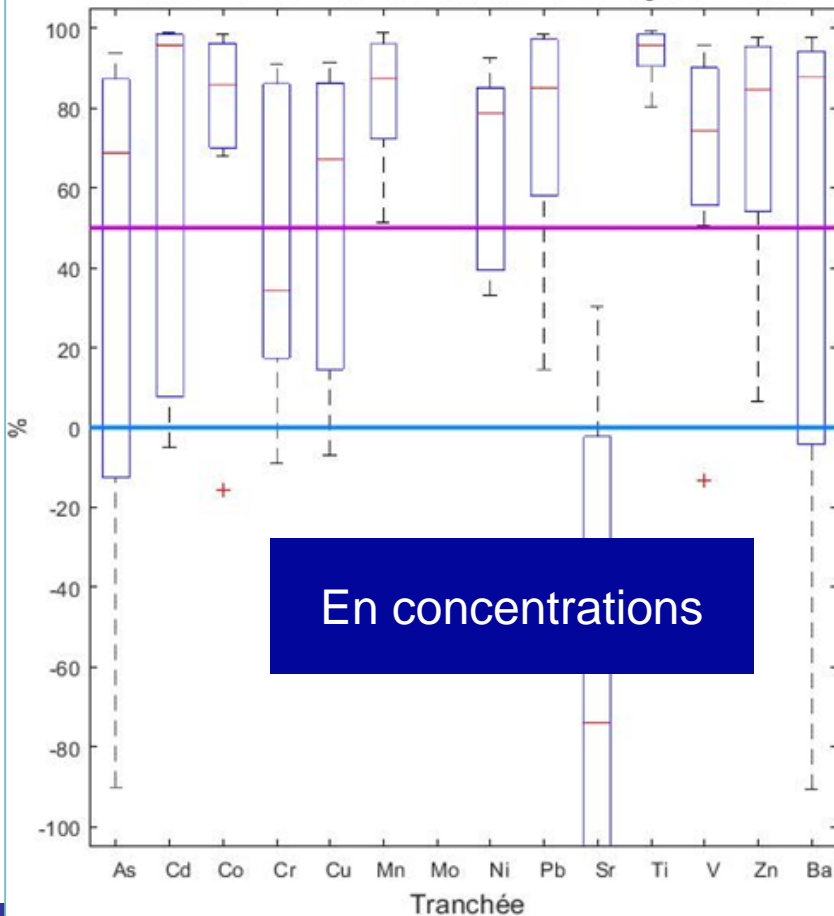
# Abattements en Métaux et Métalloïdes



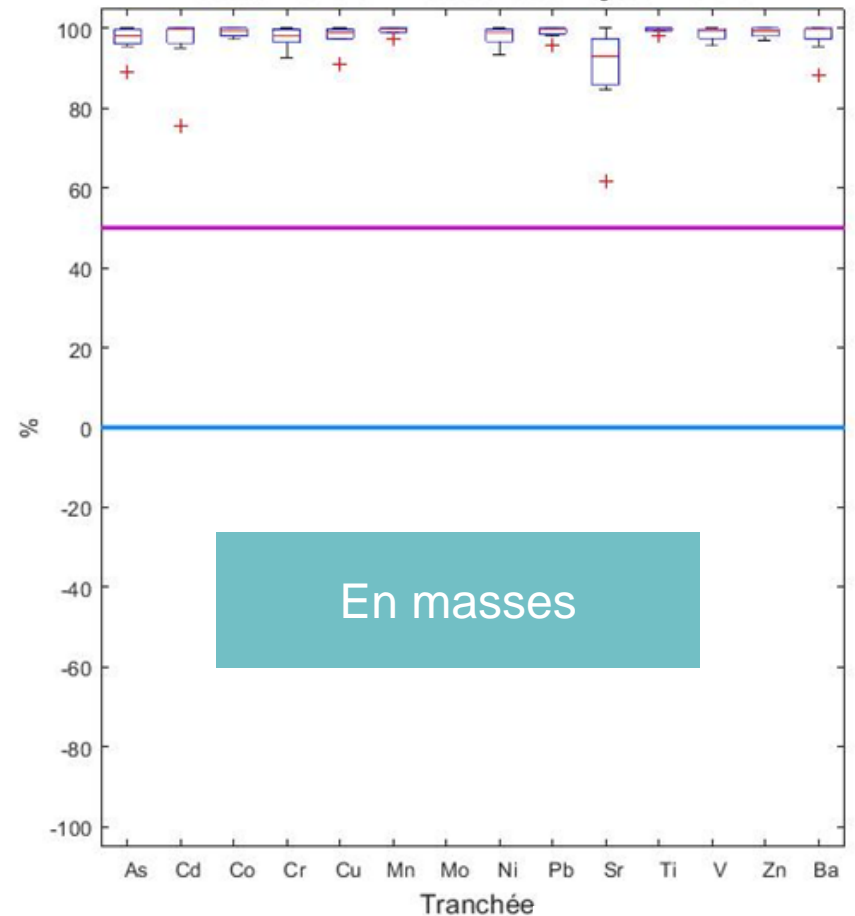
Tranchée

Syst. centralisé

Abattement en concentration des rejets Métaux



Abattement en masse des rejets Métaux



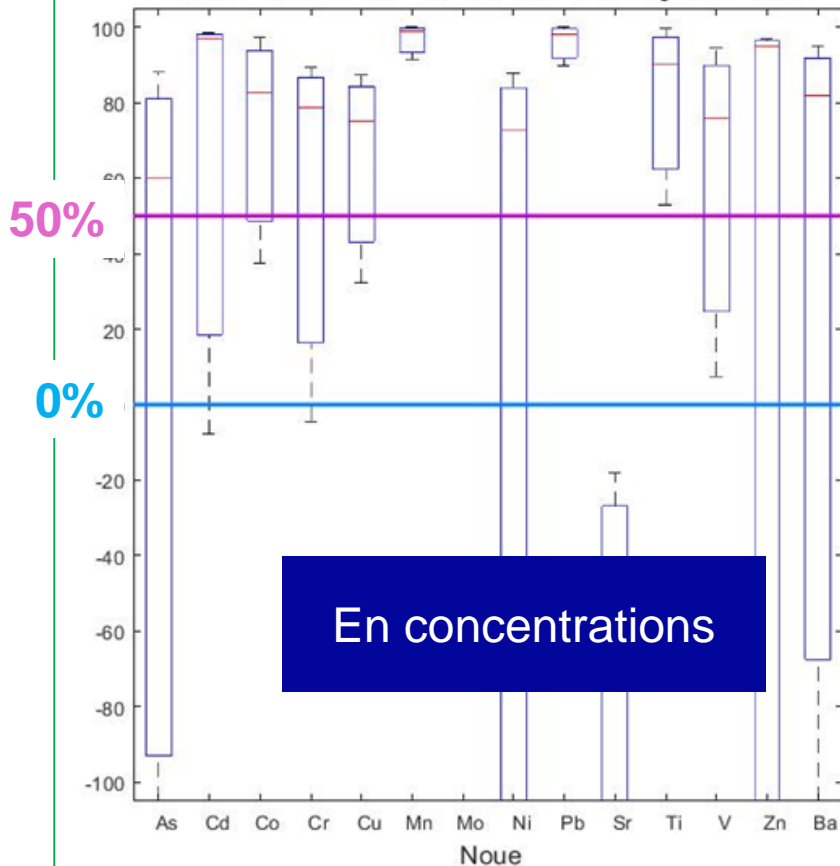
# Abattements en Métaux et Métalloïdes



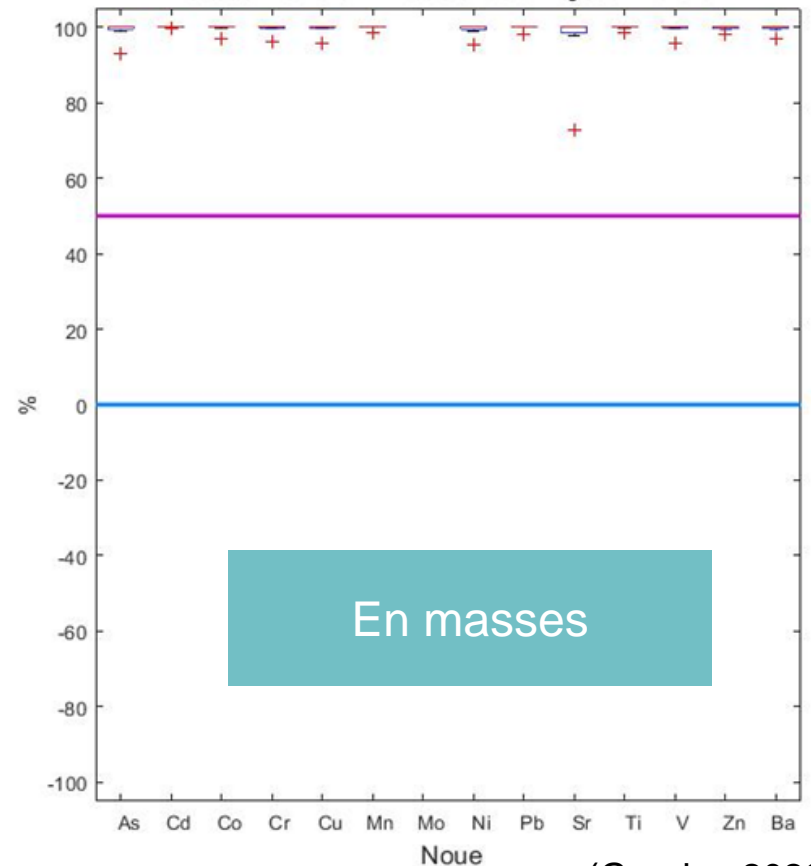
Noe

Syst. centralisé

Abattement en concentration des rejets Métaux



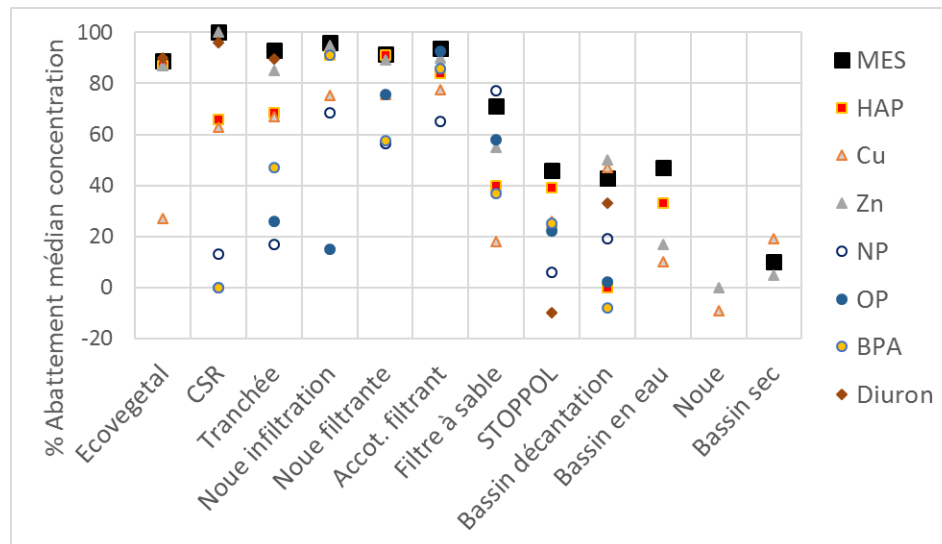
Abattement en masse des rejets Métaux



(Garnier, 2020)

# Efficacité en concentrations sur ensemble de dispositifs

## ■ Le cas des micropolluants

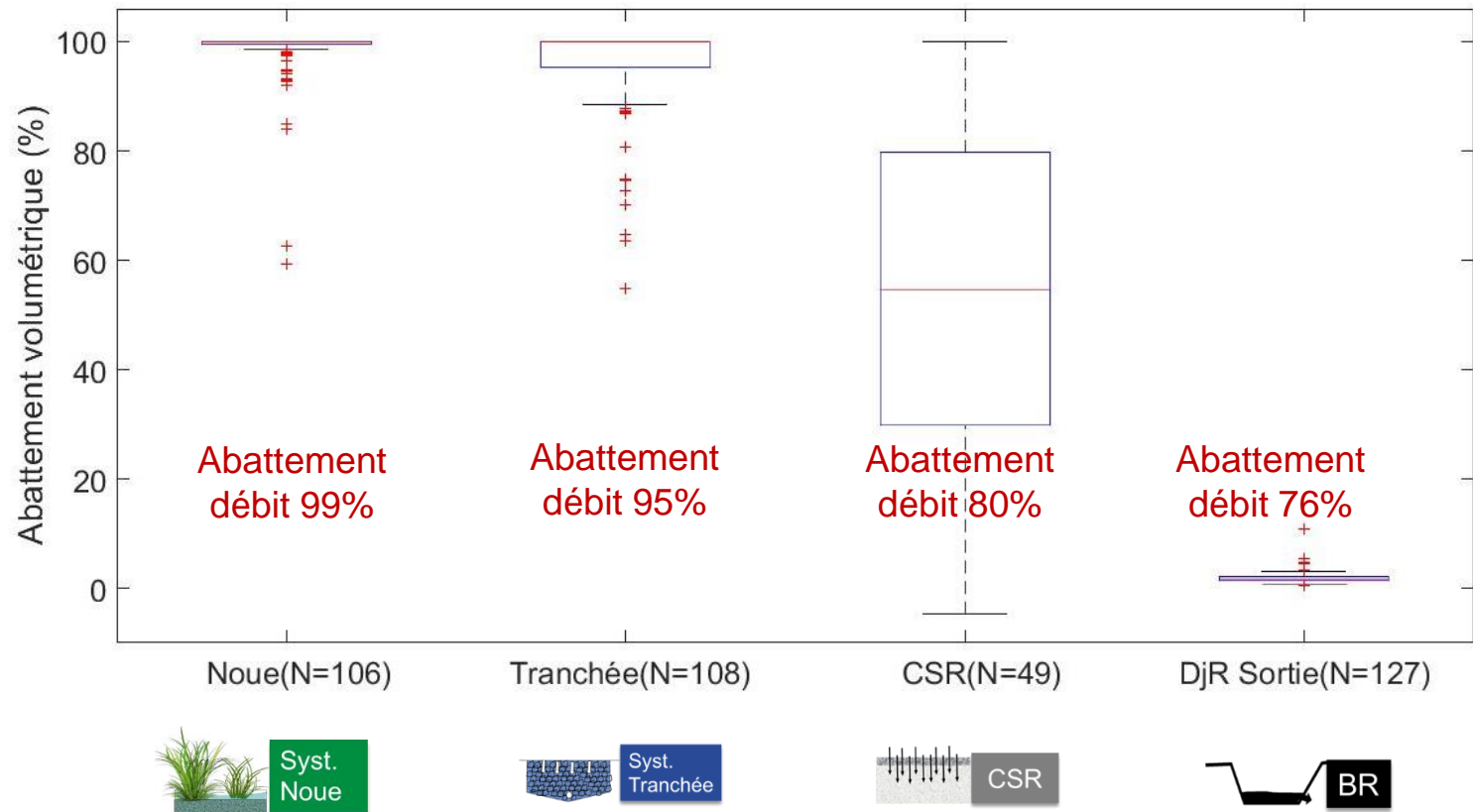


Flanagan et al., 2019

- Des abattements généralement inférieurs aux MES
- Variables :
  - D'un micropolluant à l'autre (↗ affinité pour la phase solide)
  - D'un ouvrage à l'autre (↗ adsorption sur les sols, ↘ relargages par matériaux de construction)

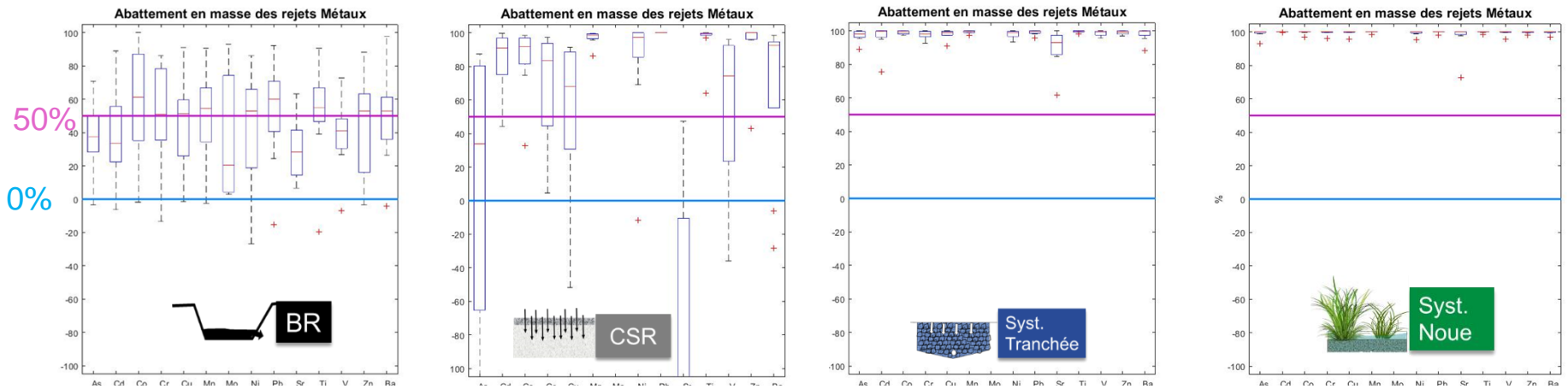


# Caractéristiques des flux d'eau



(Garnier, 2020)

# Abattements en masse au m<sup>2</sup> actif en Métaux et Métalloïdes



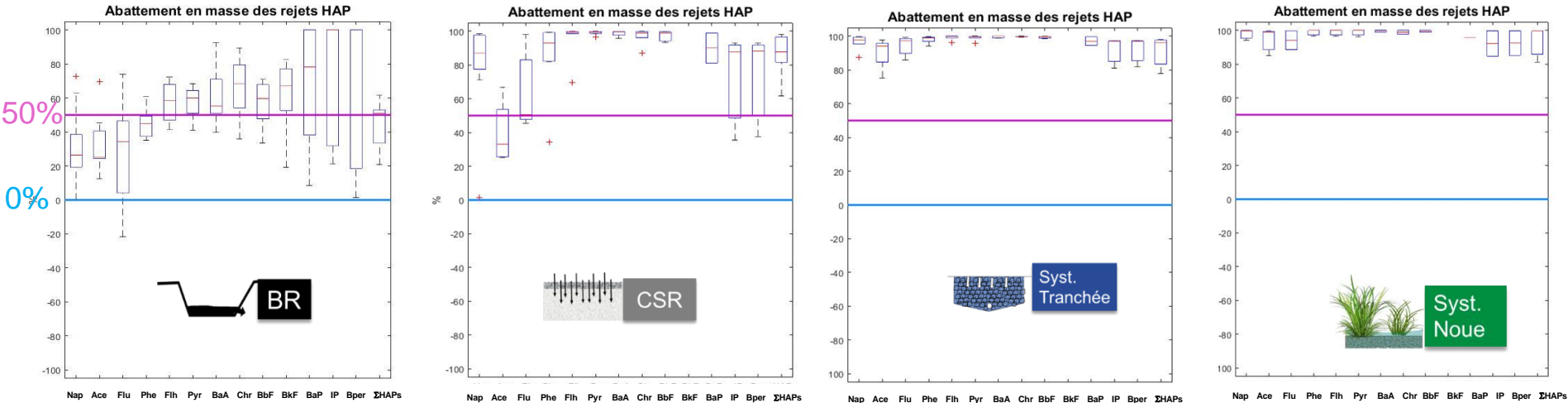
Dans l'ordre des abscisses :

As Cd Co Cr Cu Mn Mo Ni Pb Sr Ti V Zn Ba

Garnier (2020)



# Abattements en masse au m<sup>2</sup> actif en HAP



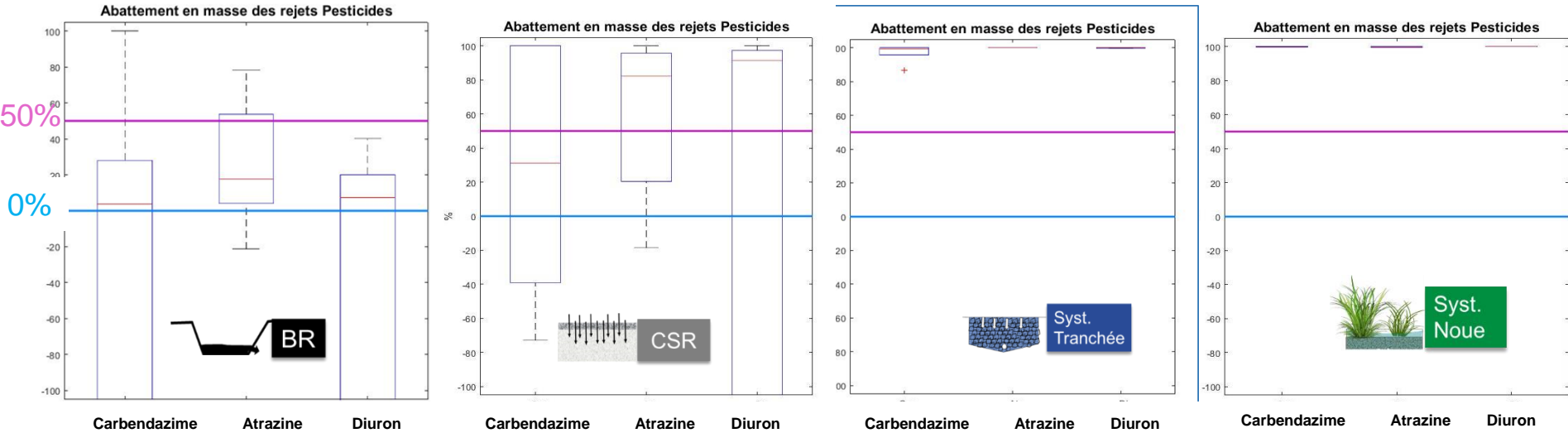
Dans l'ordre des abscisses : Nap Ace Flu Phe Flh Pyr BaA Chr BbF BkF BaP IP Bper ΣHAPs

<b>Nap</b>	Naphtalène	<b>Flh</b>	Fluoranthène	<b>BkF</b>	Benzo(k)fluoranthène
<b>Acy</b>	Acénaphthylène	<b>Pyr</b>	Pyrène	<b>BaP</b>	Benzo(a)pyrène
<b>Ace</b>	Acénaphtène	<b>BaA</b>	Benzo(a)anthracène	<b>IP</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyrène
<b>Flu</b>	Fluorène	<b>Chr</b>	Chrysène	<b>D(a,h)A</b>	Dibenzo(a,h)anthracène
<b>Phe</b>	Phénanthrène	<b>BbF</b>	Benzo(b)fluoranthène	<b>Bper</b>	Benzo(g,h,i)pérylène
<b>A</b>	Anthracène				

Garnier (2020)



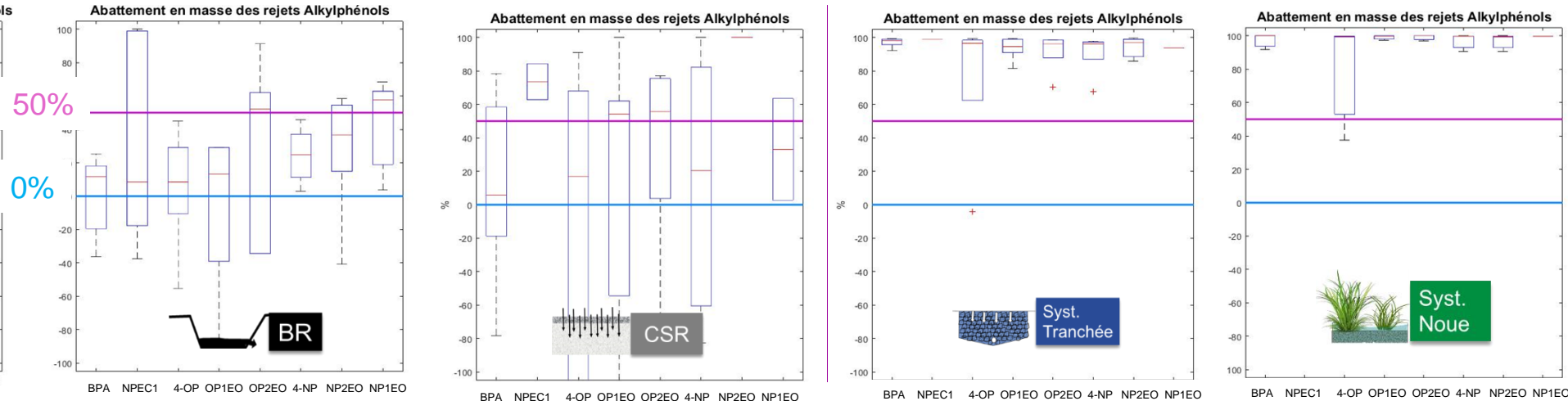
# Abattements en masse au m<sup>2</sup> actif en pesticides



Dans l'ordre des abscisses :  
**Carbendazime      Atrazine      Diuron**

Garnier (2020)

# Abattements en masse au m<sup>2</sup> actif en Alkylphénols



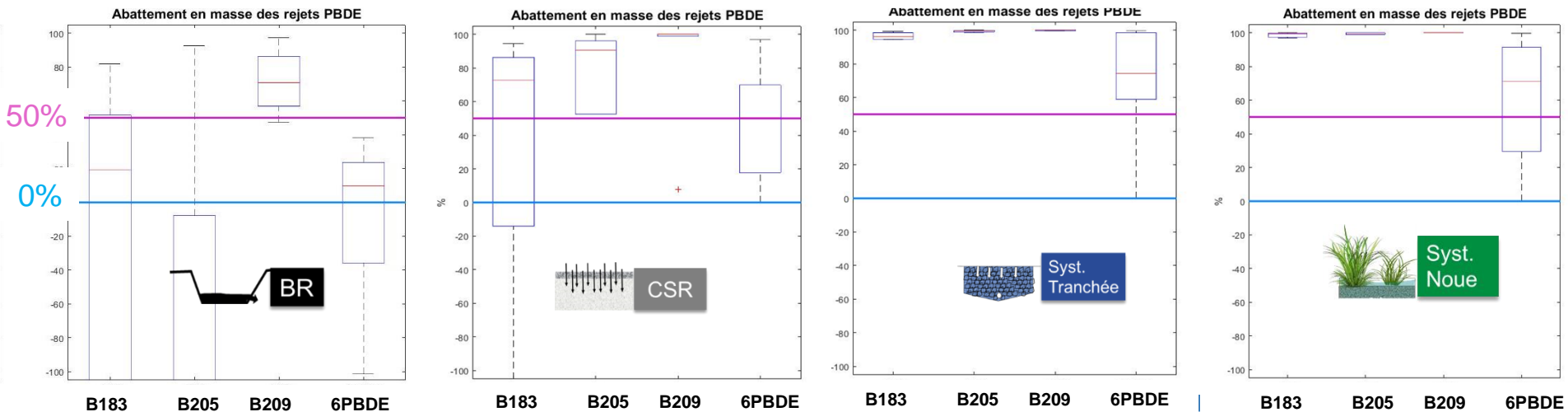
Dans l'ordre des abscisses :

BPA NPEC1 4-OP OP1EO OP2EO 4-NP NP2EO NP1EO

<b>BPA</b>	Bisphénol A	à surveiller	<b>OP2EO</b>	Octylphénol-di-éthoxylé	
<b>NPEC1</b>	Nonylphenol-1-carboxylé	DCE, SP	<b>4-NP</b>	4-Nonylphénol	DCE, SPD
<b>4-OP</b>	4-Tert-Octylphénol	DCE, SP	<b>NP2EO</b>	Nonylphénol-di éthoxylé	DCE, SP
<b>OP1EO</b>	Octylphénol-mono-éthoxylé		<b>NP1EO</b>	Nonylphénol-mono-éthoxylé	DCE, SP

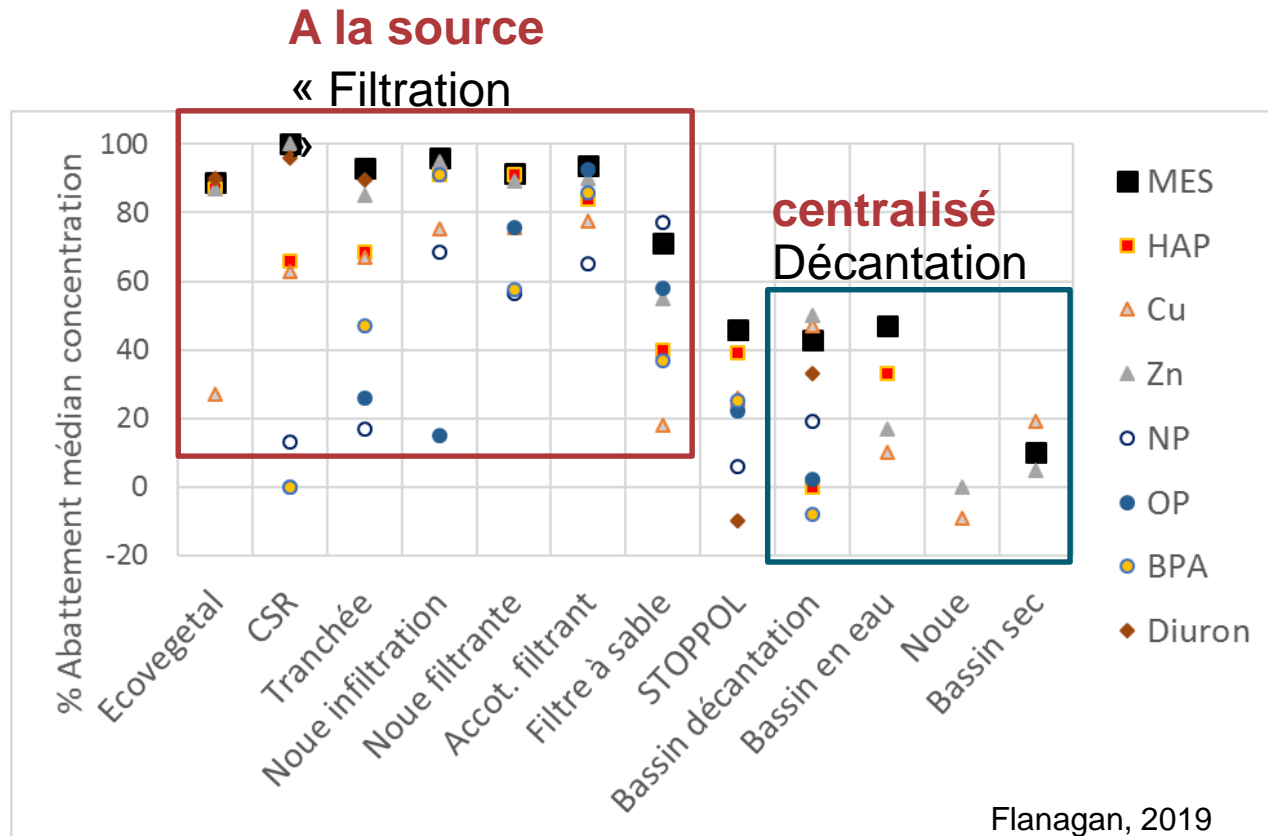
Garnier (2020)

# Abattements en masse au m<sup>2</sup> actif en PBDE



Garnier (2020)

# Effucacité des dispositifs en concentration plus élevée dans les dispositifs de « Filtration »...





# Effacité événementielle de traitement (bassins de retenue des EP)

## Polluants Abattement

- **MES** 83 % à 90 %
- **DCO** 70 % à 91 %
- **DBO5** 75 % à 91 %
- **HCT** 69 %
- **PB / Zn** 78 / 85 %
- **Cd** 85 %

Bassin de Béquigneaux -  
Bordeaux. *Bassin sans  
débit traversier permanent  
(Bachoc, 92)*

## Polluants Abattement

- **MES** 57 %
- **DCO** 30 %
- **COT** 3 %
- **HCT** 76 %
- **Plomb / Zinc** 50 / 19 %
- **Cd** 31 %

Bassin de Vénissieux  
*Débit traversier permanent  
(Bardin, 96)*



# Efficacité événementielle de traitement (bassins de retenue des EP)

Polluants	Abattement
• <b>MES</b>	<b>83 % à 90 %</b>

Polluants	Abattement
• <b>MES</b>	<b>57 %</b>

**Ne pas confondre stockage  
et traitement (piégeage)**

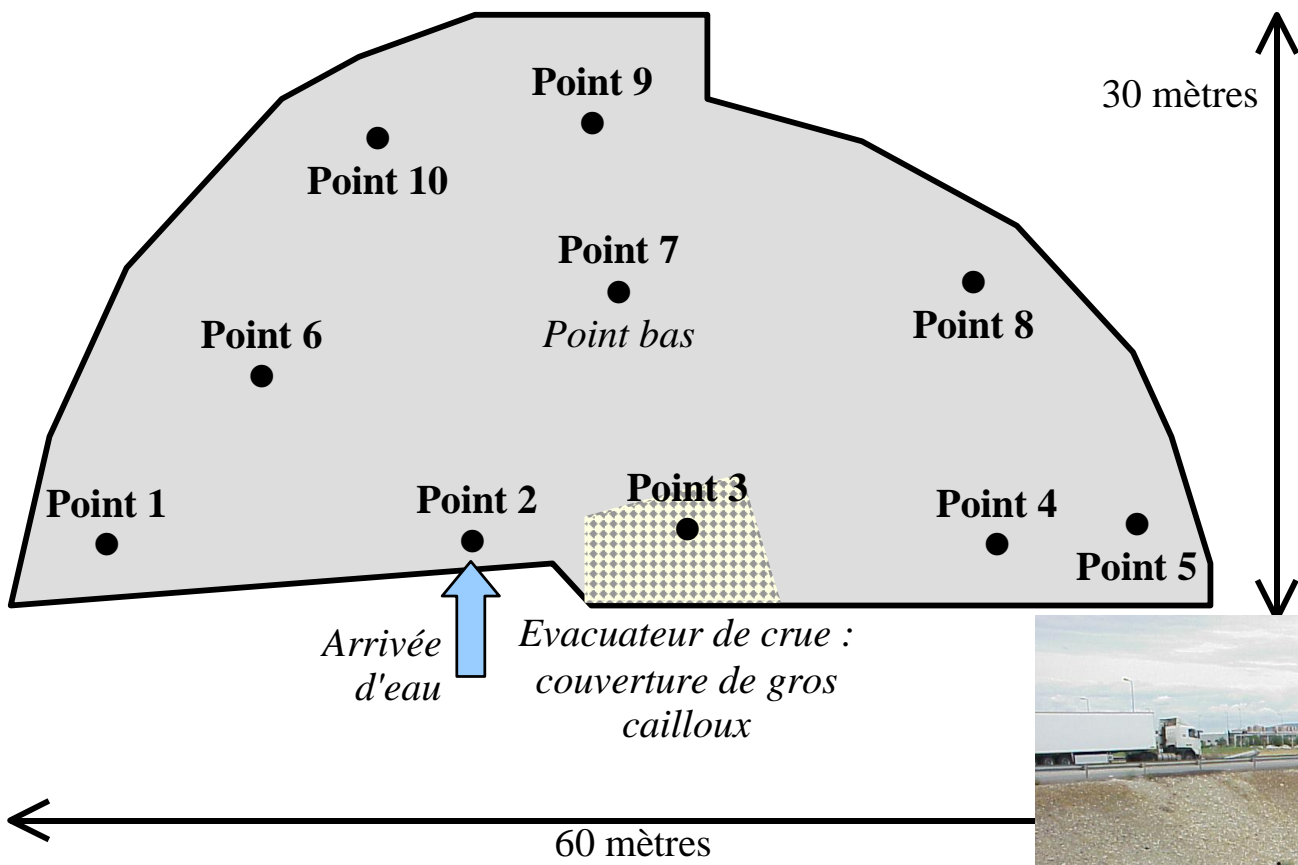
• <b>PB / Zn</b>	<b>78 / 85 %</b>
• <b>Cd</b>	<b>85 %</b>
<p><u>Bassin de Béquigneaux - Bordeaux. Bassin sans débit traversier permanent (Bachoc, 92)</u></p>	

• <b>Plomb / Zinc</b>	<b>50 / 19 %</b>
• <b>Cd</b>	<b>31 %</b>
<p><u>Bassin de Vénissieux</u> <i>Débit traversier permanent (Bardin, 96)</i></p>	



# Pollution & bassin d'infiltration

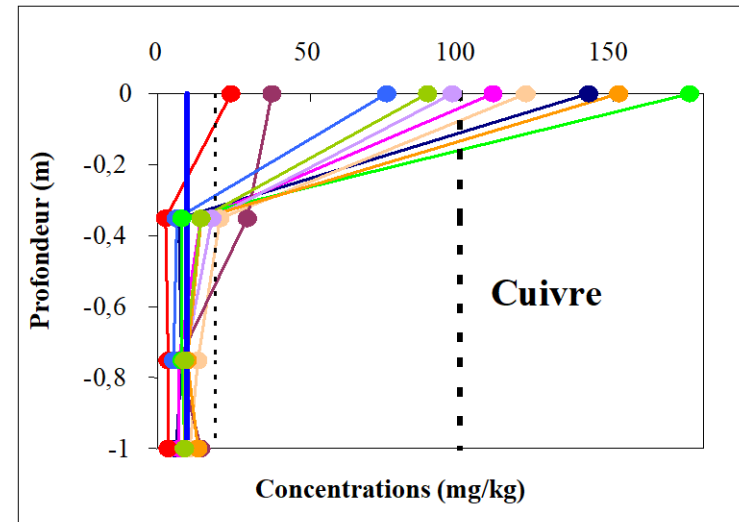
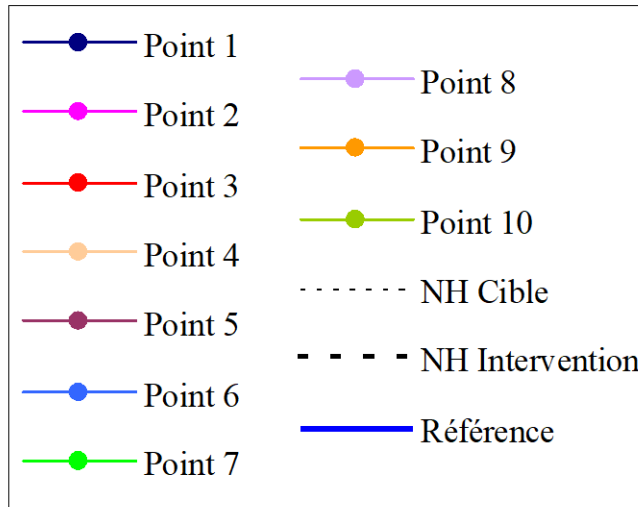
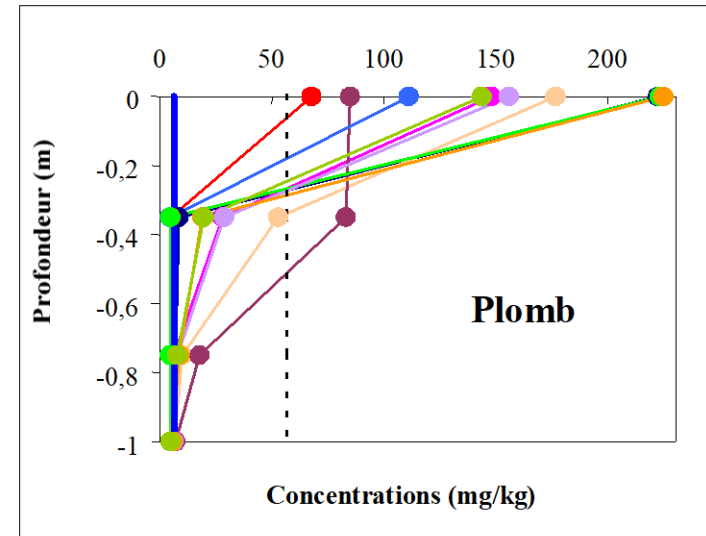
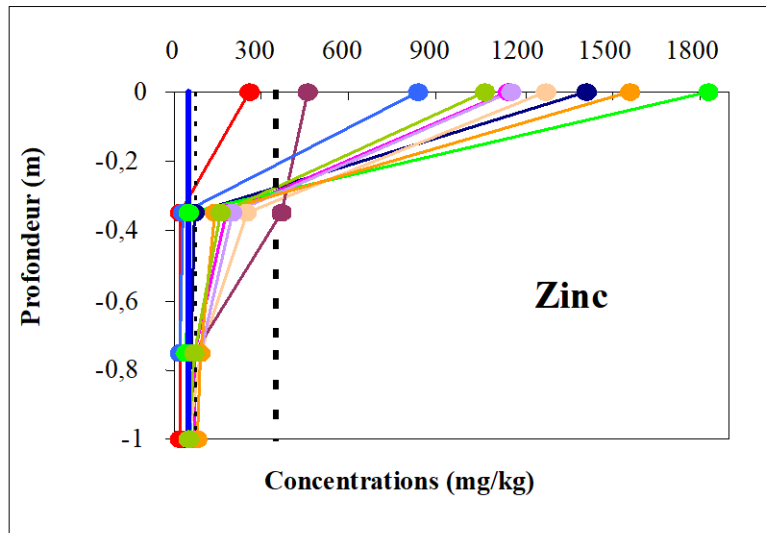
## Répartition spatiale



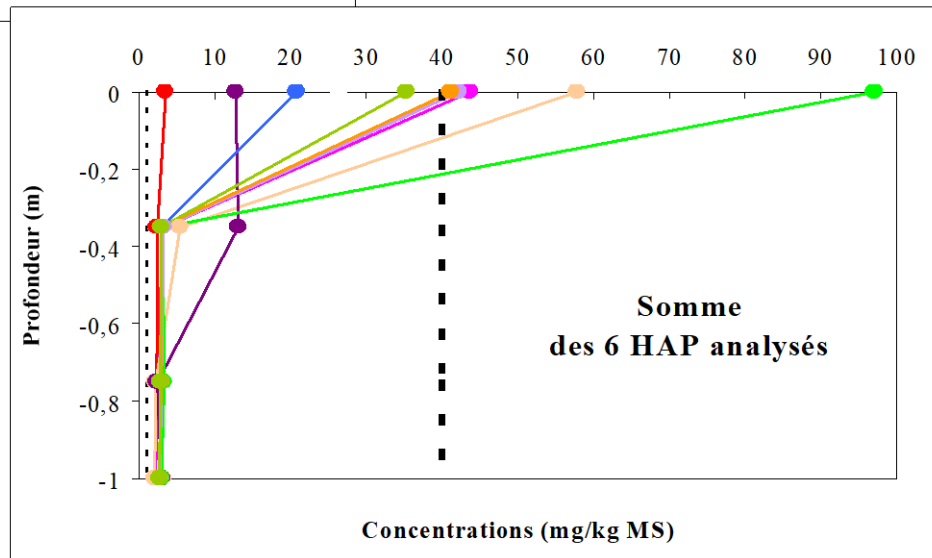
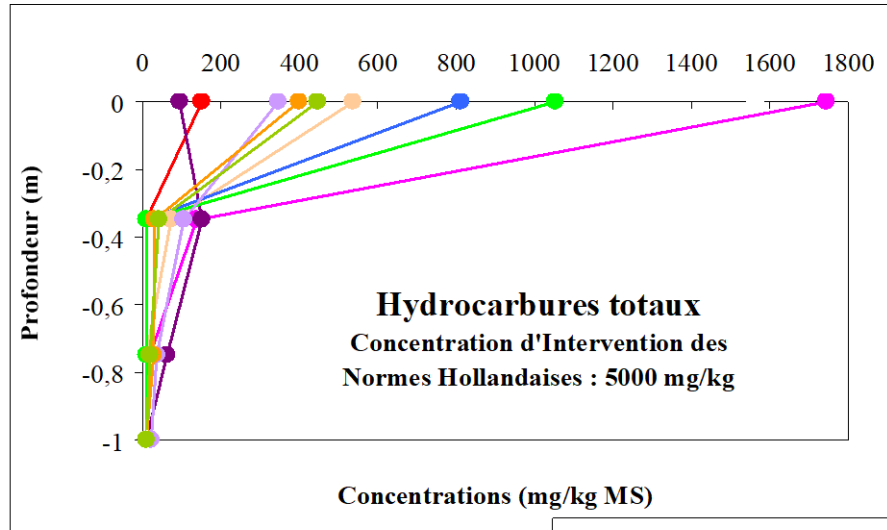
(INSA- Dechesne, 2002)



# Pollution des sols (x,y) - résultats



(INSA- Dechesne, 2002)



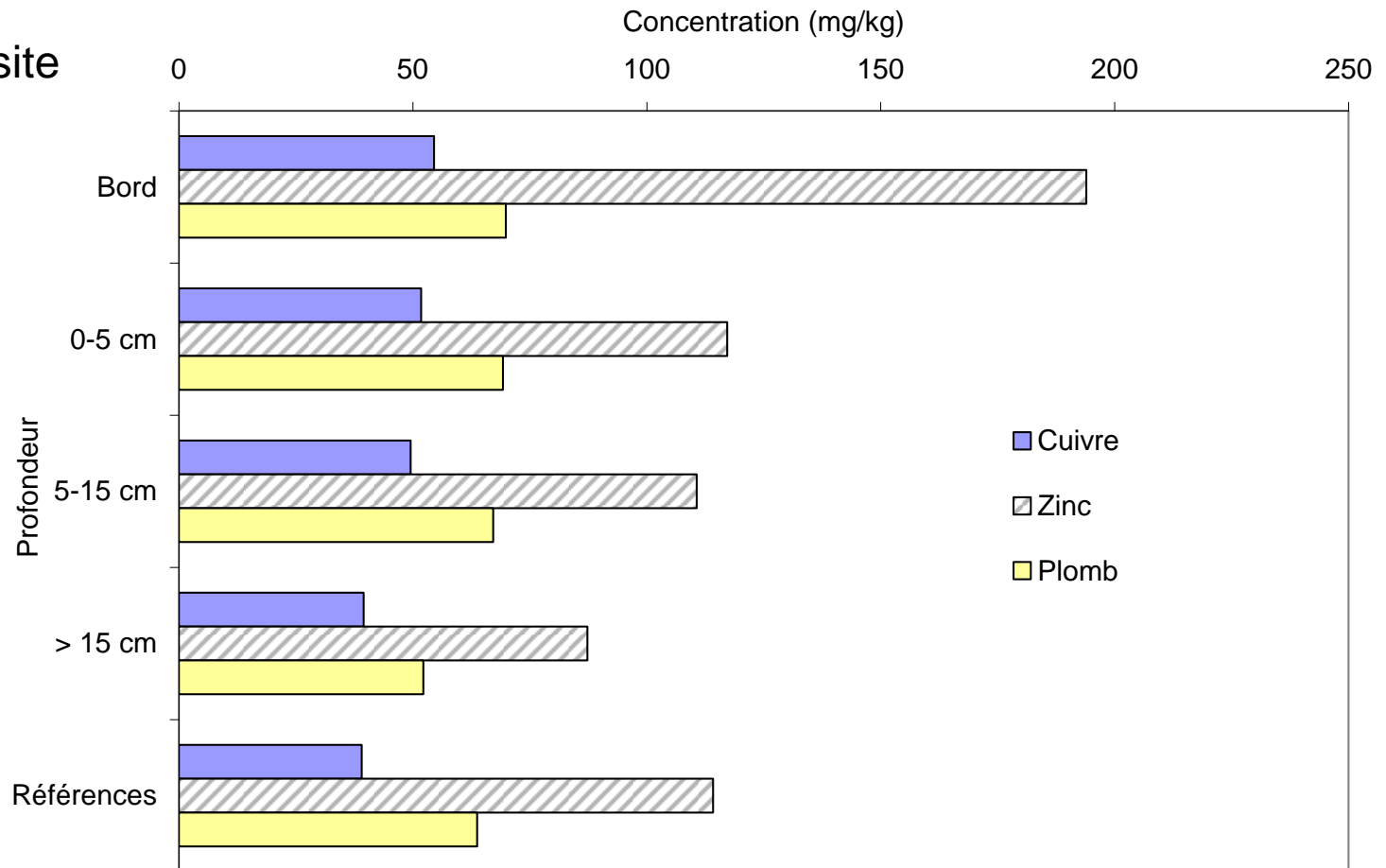
(INSA- Dechesne, 2002)

# Profil sur Noues d'infiltration

11 noues

3 points / site

15 ans



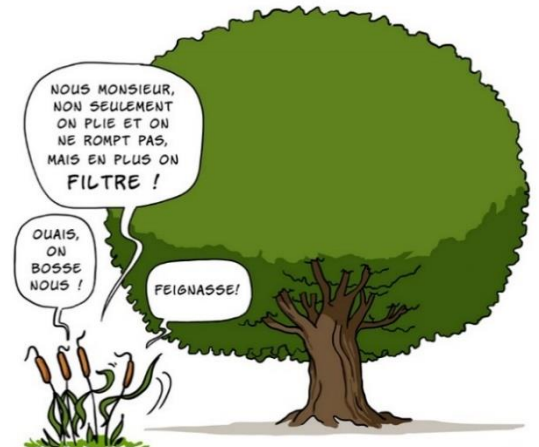
( Achleitner *et al.*, 2007)

# Végétation et pollution

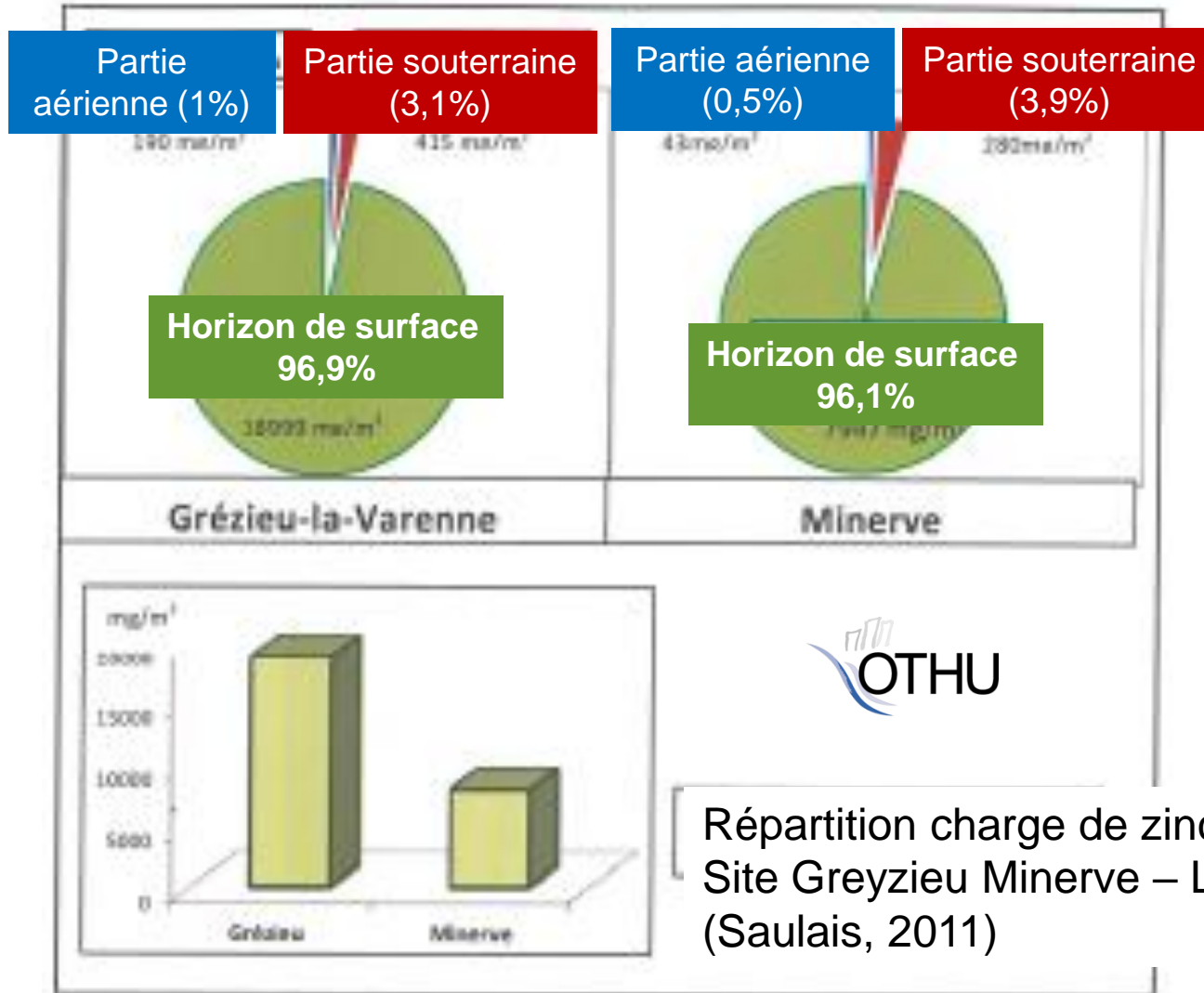
## Rôle de la végétation

Si la végétation est choisie correctement

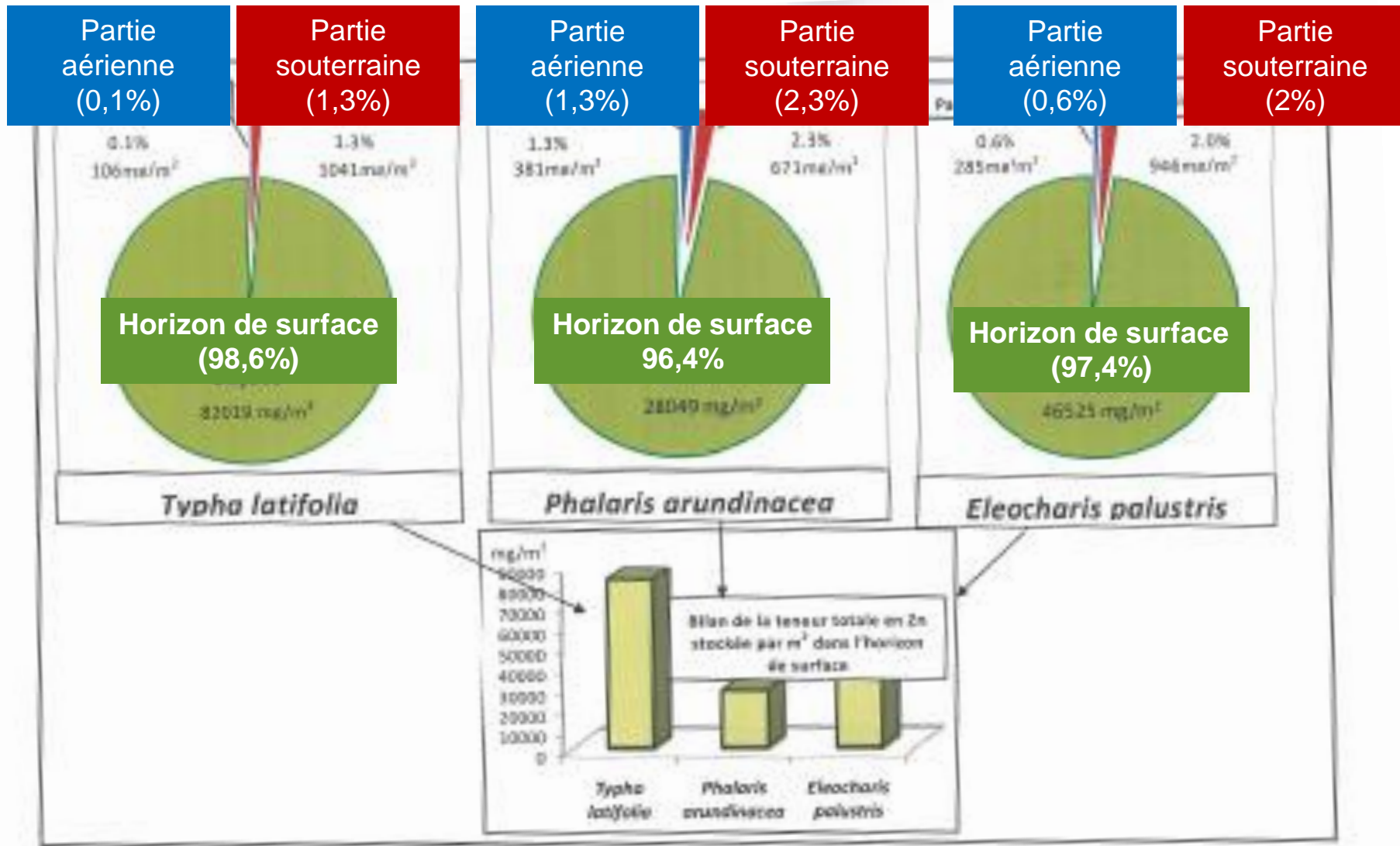
- Elle limite le développement du colmatage
- Elle permet d'aérer et d'oxygéner le sol
- Elle permet de fixer les métaux notamment dans la partie racinaire (mais très faiblement)
- Elle permet la dégradation de l'Azote et du phosphore
- L'acteur primordial est le sol



# Ne pas compter sur la phytoextraction !



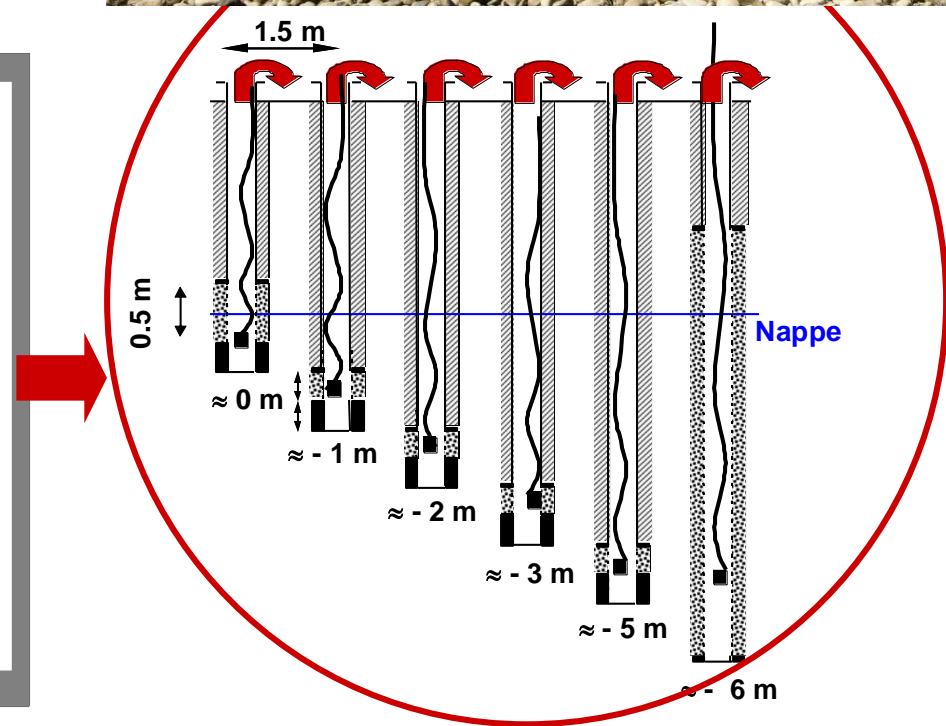
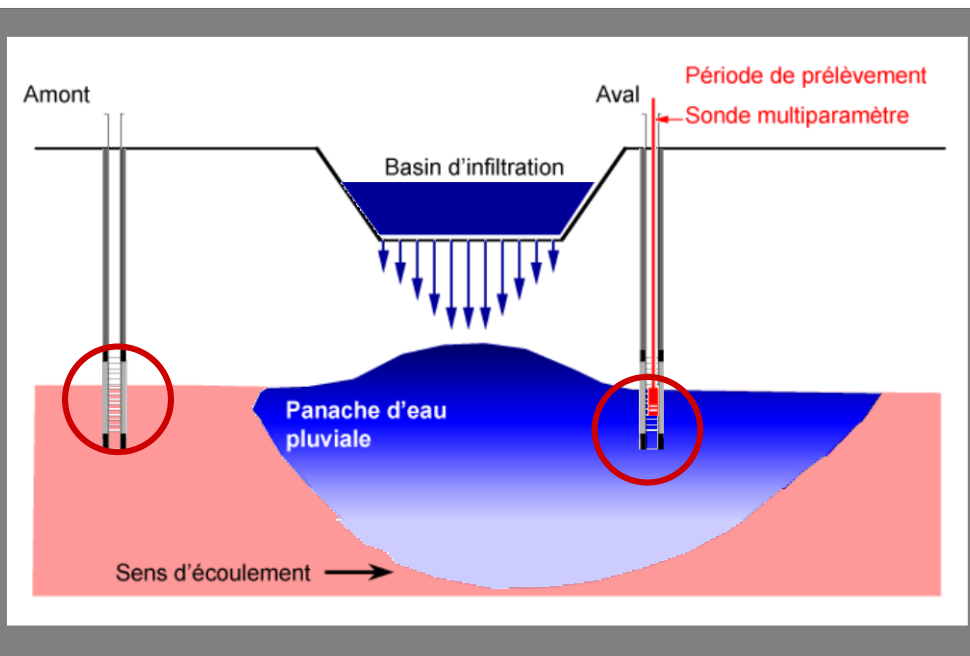
# Ne pas compter sur la phytoextraction !



Répartition charge de zinc au m<sup>2</sup> - Site Chassieu (Saulais, 2011)



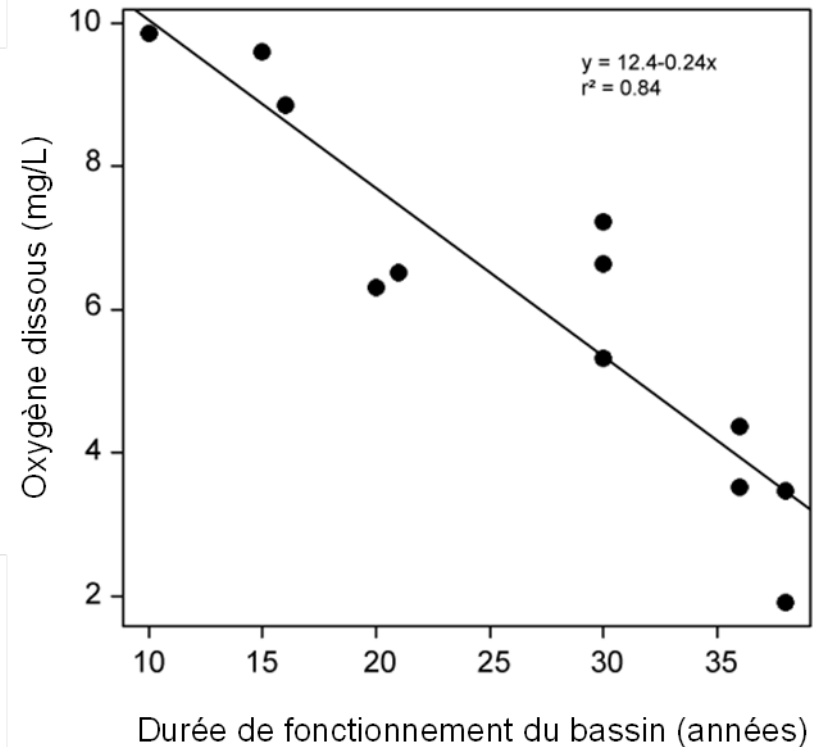
## Mesures physico-chimiques & biologiques



# Impact sur la nappe

## Sur 13 bassins

- Pas de Métaux détectés, ni d'Hydrocarbures
- Tendence :
  - Enrichissement en COD peu biodisponible
  - Diminution de l'OD après pluie (d'autant plus marqués que ZNS faible)



LEHNA (Foulquier, 2009)



# Impact sur la nappe

## Majorité des études montre que :

- Carbone Organique, Phosphore, Azote, Composés organiques (COV, HAP) et les métaux sont piégés dans les premiers cm  
Peu de risque pour la nappe (ZNS > 1m) (Datry, 2003)
- Sauf pour les composés dissous (pesticides retrouvés)  
(Marmonier et al, 2003)

# Conclusions

- La gestion alternative des eaux pluviales
  - Une approche efficace de maîtrise des flux de micropolluants
  - Favorise l'abattement des débits de pointe et des volumes
  - Favorise l'abattement des concentrations (notamment des métaux et hydrocarbures particulaires) et *a fortiori* des masses de polluants
- Attention cependant aux polluants sous forme majoritairement dissoute (pesticides par exemple) peu abattus notamment sur les dispositifs basés sur la décantation et rejets plus en phase dissoute que les référence et entrée

# Conclusions

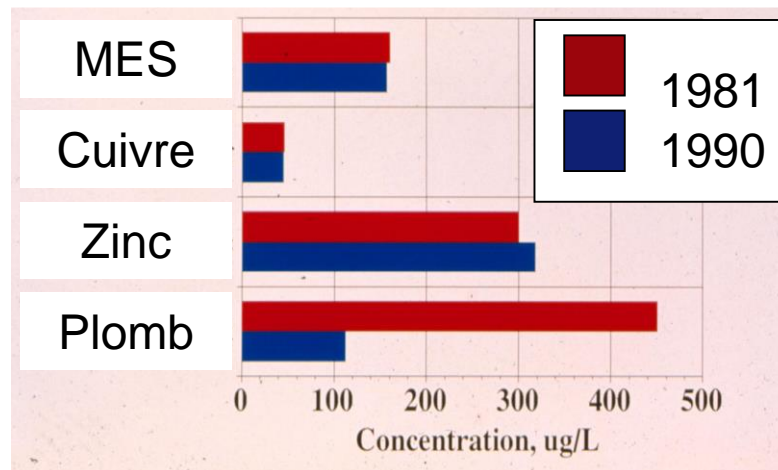
- La gestion alternative des eaux pluviales, une approche efficace de maîtrise des flux de micropolluants ... lorsqu'elle est bien conçue
  - **Adapter le type d'ouvrage** au potentiel de contamination du site (décantation ou filtration inefficaces sur ruissellement peu chargé et inutile ...)
  - **Agir sur les volumes** c'est contribuer à intercepter les flux polluants (ouvrages perméables végétalisés, **viser les faibles pluies ... nombreuses !**)
  - Favoriser les dispositifs basés sur la filtration au travers d'un sol/substrat vivant et donc les dispositifs végétalisés  
(rétention efficace de l'eau et des polluants hydrophobes dans les premiers cm de sol ... **mais pas par phytoextraction**)
  - Favoriser la gestion à la source (faibles concentrations à traiter et à piéger)

Les pollutions les plus faciles à traiter  
avec le plus d'efficacité sont celles  
...que l'on n'émet pas !...

# Efficacité de la limitation à la source

## Quelques exemples ...

- **Diminution des concentrations en Plomb**



**NURP (1981) / MS4 application data (1990)**  
Roger Bannerman, WI DNR).

Sur site EcoCampus autour de 4  $\mu\text{g/L}$   
(médiane)

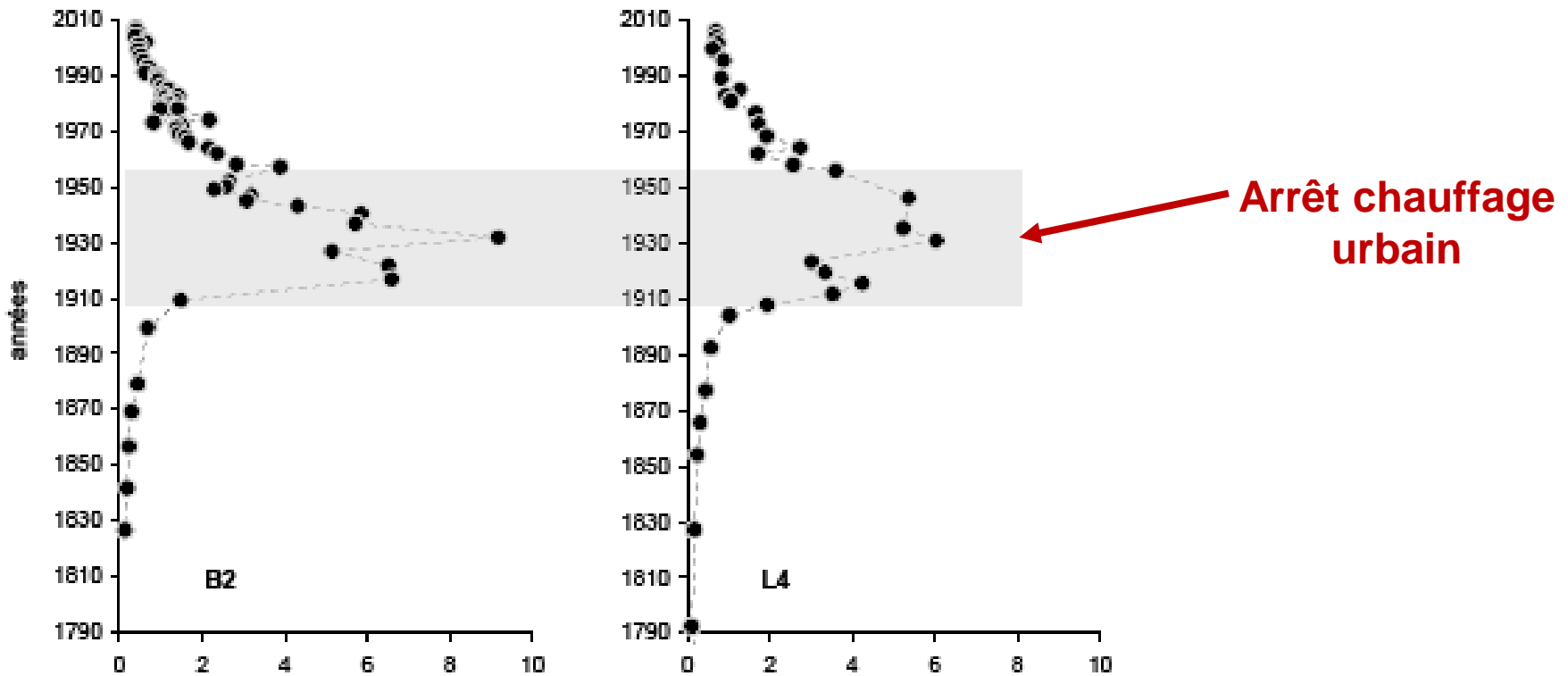
**Aujourd'hui sauf cas particuliers les concentrations moyennes évènementielles sont de quelques dizaines de  $\mu\text{g/L}$**

En France les émissions nationales ont chuté de 97 % entre 1990 et 2005 (IFEN 2008)

-Disparition progressive de l'essence plombée  
(Transport était jusque dans les années 90 la source principale d'émissions)

-Pressions faites sur les industriels ...

# Efficacité de la limitation à la source ... autre exemple ...



$\Sigma$  13 HAP (mg/kg) – Lac du Bourget

(Jung, 2009) – LEESU/ Univ. Paris Est

# Bibliographie citée

- Achleitner S., Engelhard C., Stegner U., Rauch W. (2007). Local infiltration devices at parking sites – Experimental assessment of temporal changes in hydraulic and contaminant removal capacity. *Water Science and Technology*, 2007, vol. 55, no 4, pp. 193–200.
- Bachoc A. (1992). *Le transfert des solides dans les réseaux d'assainissement unitaires*. Thèse INPT Toulouse
- Bardin, J.-P. (1999). *Contribution à une meilleure connaissance du fonctionnement qualitatif des bassins de retenue soumis à un débit traversier permanent et à la prise en compte des incertitudes*. Lyon (France) : INSA de Lyon, thèse de doctorat, 341 p.
- Bressy A. (2010) *Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines. Effets de différents modes de gestion des eaux pluviales*. Thèse – Ecole Nationale des Ponts et Chaussées -Université Paris Est
- Chocat B., Bertrand-Krajewski J.-L., Barraud S. (2007). *Chapitre* : Les eaux pluviales urbaines et les rejets urbains de temps de pluie. Les techniques de l'Ingénieur. Edition T.I. Doc. W6 800 – 8-2007. 17 p.
- Azzout Y., Barraud S., F.N.Crès, Alfakih E. (1994). *Techniques alternatives en assainissement pluvial. Choix, conception, réalisation et entretien*, Collection Tec&Doc, Edition Lavoisier, Paris, 378 p.
- Chocat, B. (coord.) (1987). *Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Paris : Tech & Doc, Lavoisier, 1124 p.
- Dartry T. (2003). *Urbanisation et qualité des nappes phréatiques- réponses des écosystèmes aquatiques souterrains aux pratiques d'infiltration d'eau pluviale*. Thèse de doctorat. Université Lyon 1. 220 p.
- Dechesne M. (2002). *Connaissance et modelisation du fonctionnement des bassins > > d'infiltration d'eaux de ruissellement urbain pour l'évaluation des performances techniques et environnementales sur le long terme*. Thèse de doctorat: INSA Lyon (France), 275 p.
- Flanagan K. (2018). *Evaluation de la rétention et du devenir d'un panel diversifié de micropolluants dans un ouvrage de biofiltration des eaux de ruissellement de voirie*. Thèse de doctorat de l'Ecole des Ponts, Université Paris Est
- Foulquier A. (2009). *Ecologie fonctionnelle dans les nappes phréatiques : liens entre flux de matière organique, activité et diversité biologiques*. Thèse de Doctorat de l'Université Claude Bernard, Lyon 1, 254 p.

# Bibliographie citée

- Garnier R. (2020). *Rôle des techniques alternatives sur la gestion des micropolluants dans les eaux de temps de pluie*. Comparaison système centralisé / systèmes à la source. Thèse INSA Lyon
- Gaspéry J., Moilleron R., Chebbo G. (2005) Variabilité spatiale de la pollution en HAP transitant dans le réseau d'assainissement parisien lors d'événements pluvieux. *La Houille Blanche*, 5, 35-40.
- Gonzalez A., Moilleron R., Chebbo G., Thévenot D. (2000) - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban runoff samples from the "Le Marais" experimental catchment in Paris centre. *Polycyclic Aromatic Compound Journal*, 20, 1-19, 2000.
- Gromaire MC, Barraud S., Rodriguez F., Bak A., Branchu Ph, Castebrunet H., Flanagan K, Garnier R., Neveu P, Paupardin J, Ramier D., Ruban V., Seidl M, Thomas E, Varnède L. (2019). How efficient are SUDS for micropollutant management? Feedback from Matriochkas, MicroMégas and Roulépur projects. *10th international conference NOVATECH*. Jul 2019, LYON, France. 5p.
- Jung S. (2009). *Impact des rejets urbains sur les milieux aquatiques : analyse historique de la contamination urbaine dans les sédiments du lac du Bourget (Savoie France) et du bassin de Pampulha (Belo Horizonte, Brésil)*. Thèse – Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - Université Paris Est
- Marmonier P., Maazouzi C., Foulquier A., Navel S., François C., Hervant F., Mermillod-Blondin F., Vieney A., Barraud S., Togola A., Piscart C. (2013). The use of crustaceans as sentinel organisms to evaluate groundwater ecological quality. *Ecological Engineering*. 57(2013), 118-132.
- Persson J. (2000). The hydraulic performance of ponds of various layouts. *Urban Water*. 2000. 2(3):243-250.
- Rossi L. (1998). *Qualité des eaux de ruissellement urbaines*. Thèse de Doctorat : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 313 p + annexes, 1998.
- Saulais M. (2011). *Colonisation végétale des bassins d'infiltration et de rétention : caractérisation de la flore et évolution des caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface végétalisé*. Thèse de l' INSA Lyon/ ENTPE.
- Sébastien C. (2013). *Bassin de retenue des eaux pluviales en milieu urbain : performance en matière de piégeage des Micropolluants*. Thèse de doctorat de l'INSA de Lyon
- Tedoldi D. (2017). *Mesure et modélisation de la contamination du sol dans les ouvrages de gestion à la source du ruissellement urbain*. Thèse Paris Est.