

Les techniques de dépollution aval

Vincent ROCHER – SIAAP et Johnny GASPERI – LEESU

Et l'ensemble des chercheurs, ingénieurs, doctorants, techniciens qui ont contribué à ces travaux ...

R. Moilleron, G. Varrault, A. Bressy, G. Chebbo, M. Cladière, A. Bergé, S. Gilbert, D. Géara, S. Deshayes, S. Zedek et C. Soarès (LEESU)

D. Patureau (INRA) / E. Vulliet et A. Buleté (CNRS-ISA)

R. Mailler, S. Azimi, S. Pichon, S. Guérin-Rechdaoui, C. Briand, P. Mèche, B. Laborie (SIAAP)

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



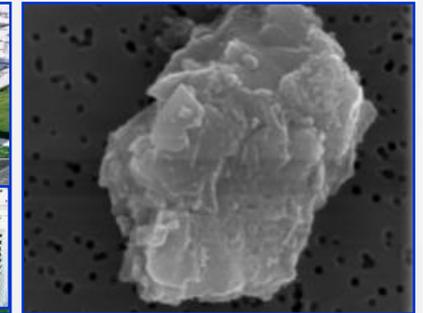
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques



Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



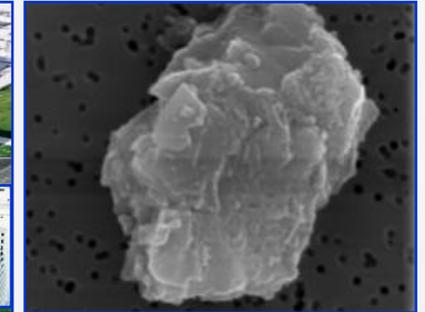
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques

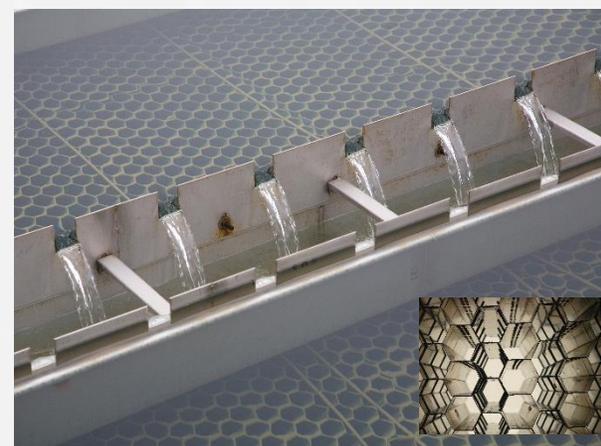
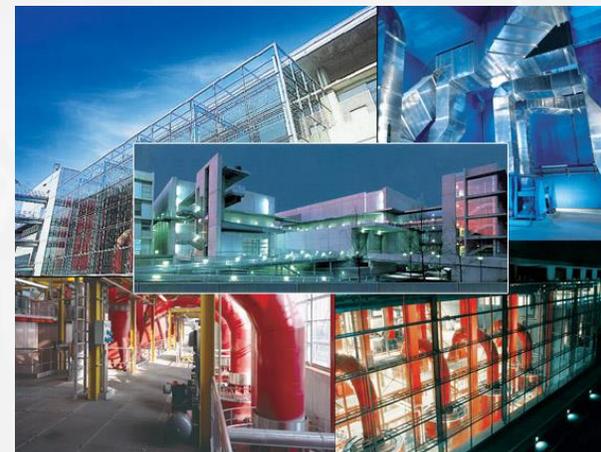
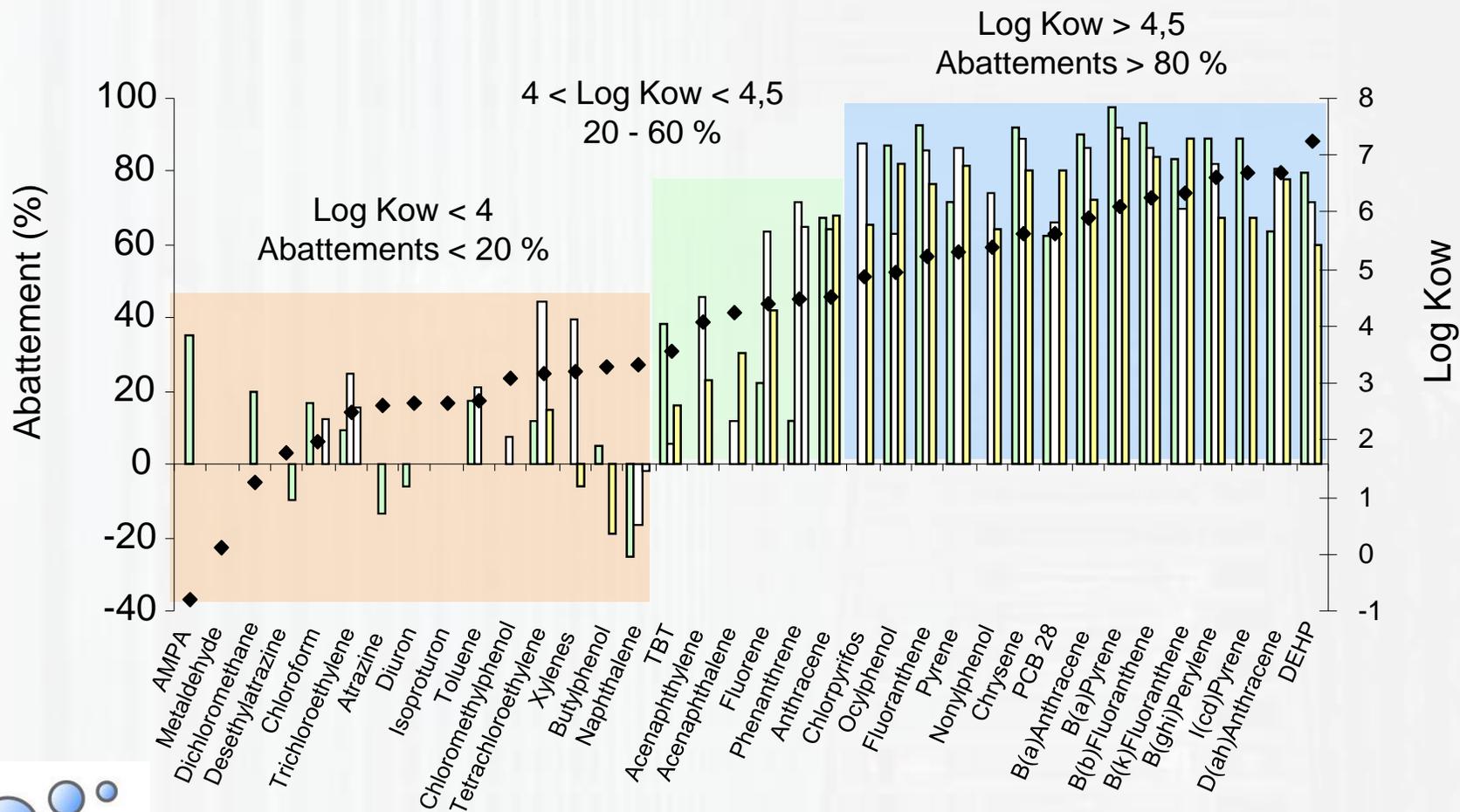


Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité des décanteurs lamellaires Focus sur les polluants organiques



Abatement des micropolluants = F(hydrophobicité)

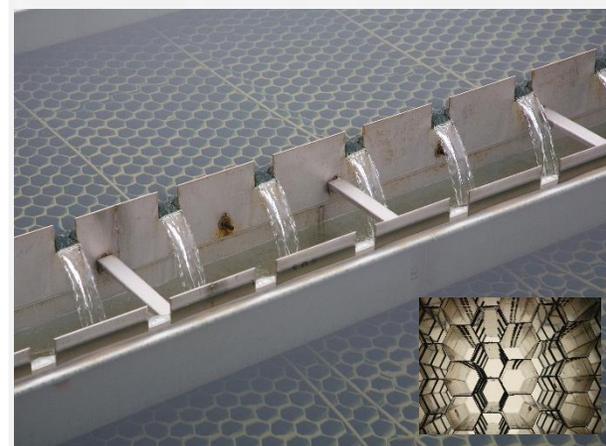
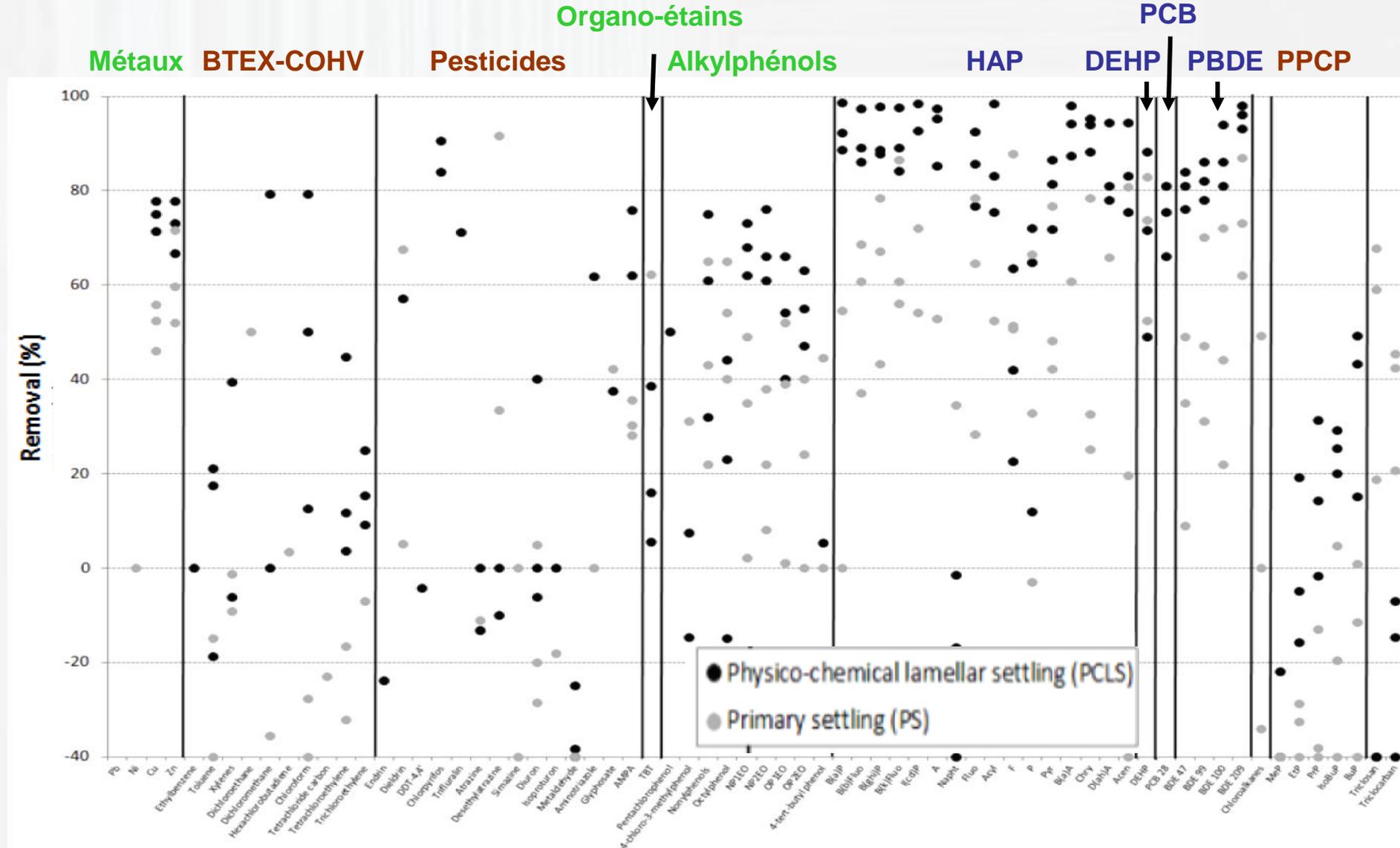
Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Efficacité des décanteurs lamellaires

Classique versus physico-chimique

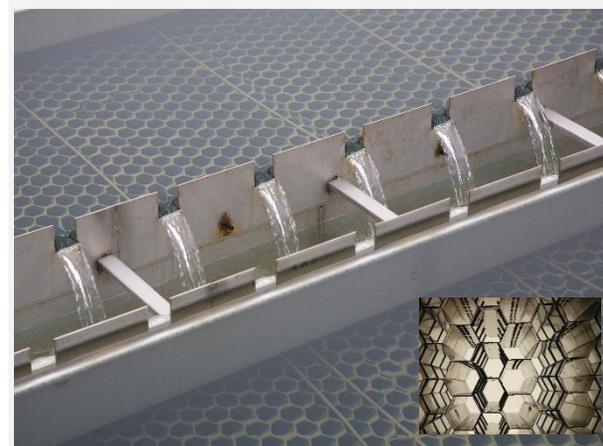
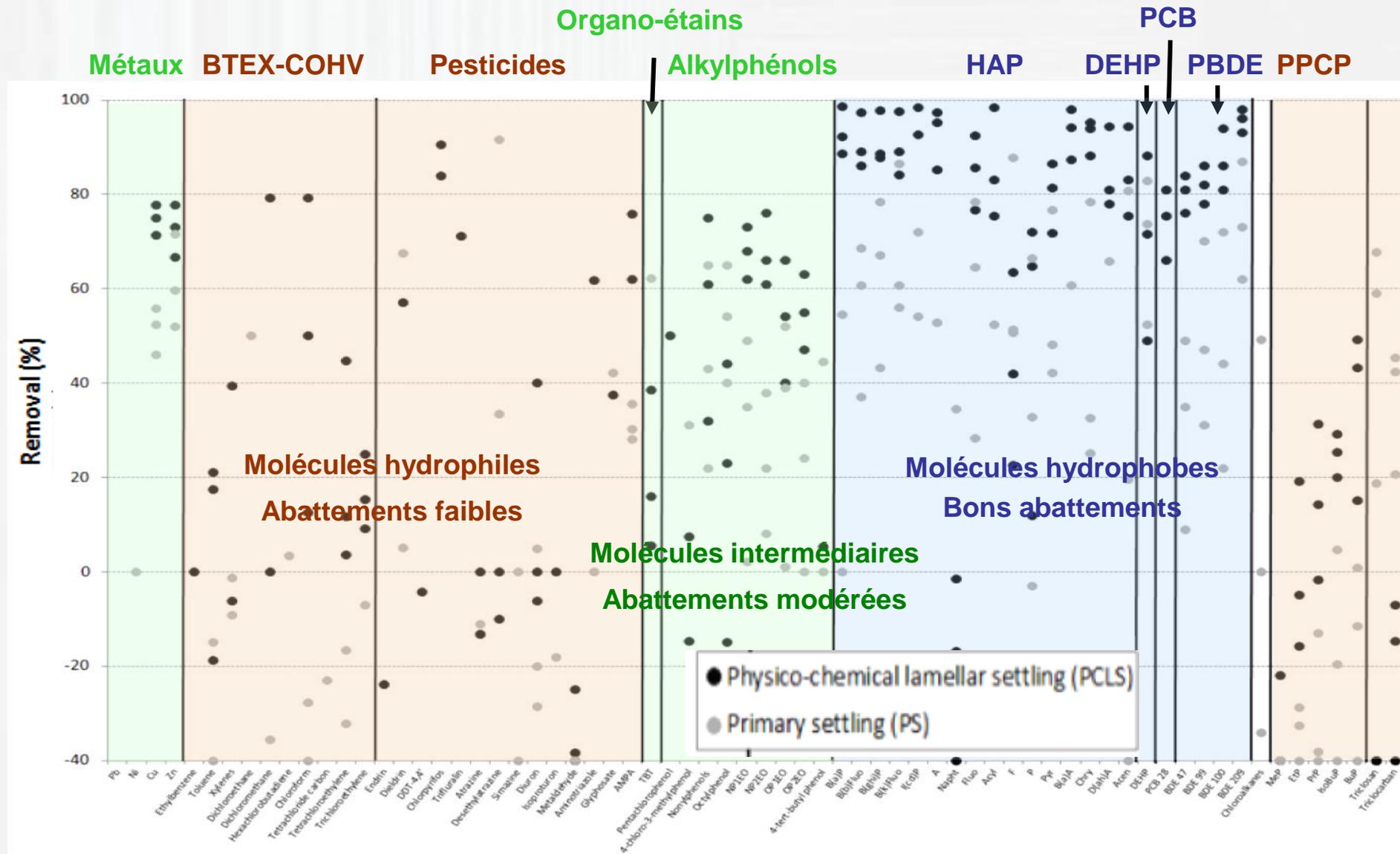


Environmental Science and Pollution Research, 2014

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité des décanteurs lamellaires Classique versus physico-chimique

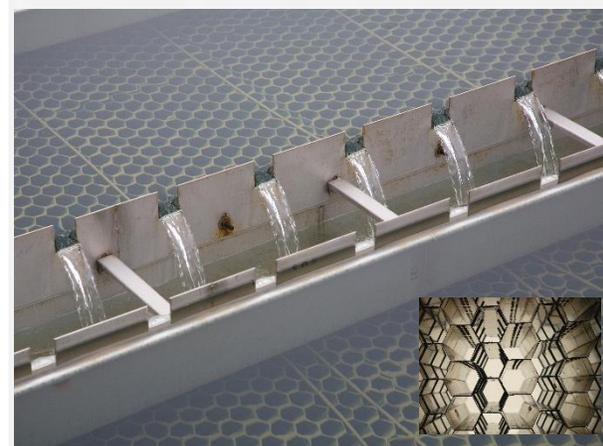
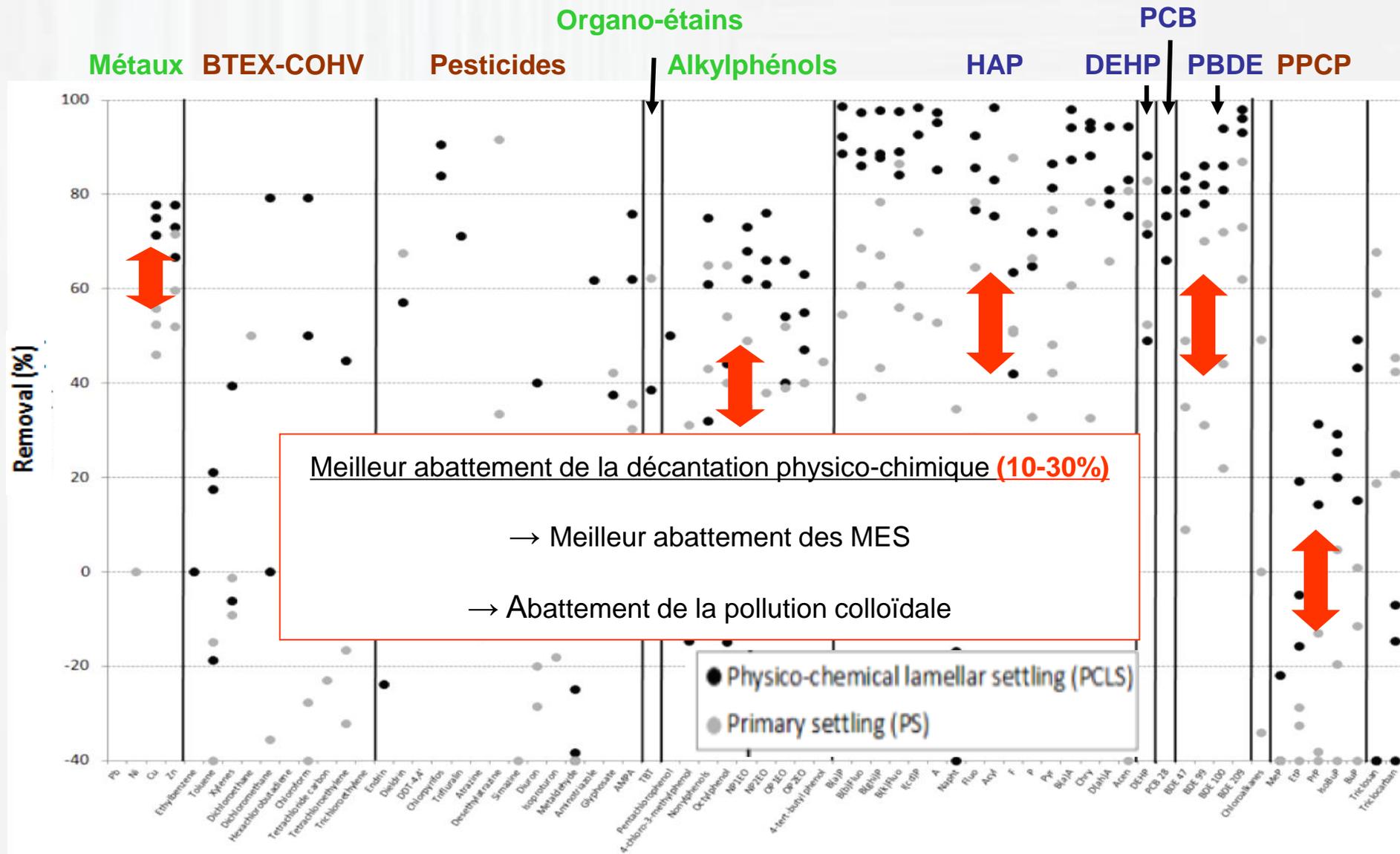


Environmental Science and Pollution Research, 2014

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité des décanteurs lamellaires Classique versus physico-chimique



Environmental Science and Pollution Research, 2014

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



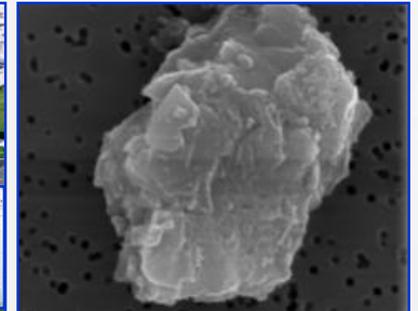
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques



Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants



Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants

Rétention des particules

Volatilisation

Adsorption

Biodégradation



Filtration MES

Composés hydrophobes
(Log Kow > 4)

Injection air
Composés volatils
($K_H > 10^{-4} \text{ atm.m}^{-3}.\text{mol}^{-1}$)

Interactions électrostatiques
Espèces chargées positivement

Biomasse épuratrice
Composés facilement
biodégradables



Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants

Rétention des particules

Volatilisation

Adsorption

Biodégradation



Filtration MES

Composés hydrophobes
(Log Kow > 4)

Injection air
Composés volatils
($K_H > 10^{-4} \text{ atm.m}^{-3}.\text{mol}^{-1}$)

Interactions électrostatiques
Espèces chargées positivement

Biomasse épuratrice
Composés facilement
biodégradables



Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants

Rétention des particules

Volatilisation

Adsorption

Biodégradation

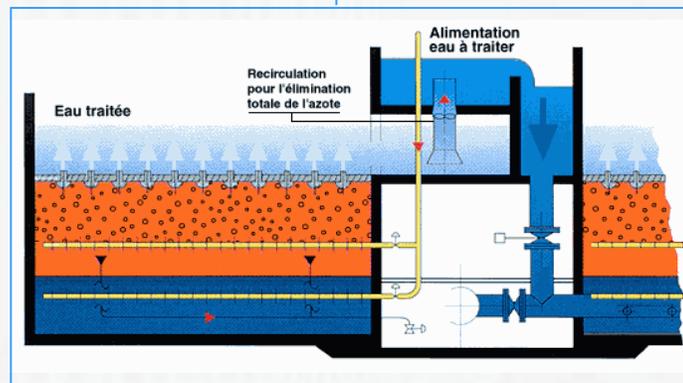
Filtration MES

Composés hydrophobes
(Log Kow > 4)

Injection air
Composés volatils
($K_H > 10^{-4} \text{ atm.m}^{-3}.\text{mol}^{-1}$)

Interactions électrostatiques
Espèces chargées positivement

Biomasse épuratrice
Composés facilement
biodégradables



Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants

Rétention des particules

Volatilisation

Adsorption

Biodégradation



Filtration MES

Composés hydrophobes
(Log Kow > 4)

Injection air
Composés volatils
($K_H > 10^{-4} \text{ atm.m}^{-3}.\text{mol}^{-1}$)

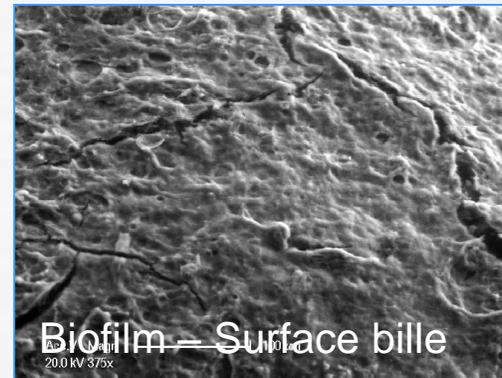
Interactions électrostatiques
Espèces chargées positivement

Biomasse épuratrice
Composés facilement
biodégradables



Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011



Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique

Boues activées *versus* biofiltres

Différents processus impliqués dans l'élimination des micropolluants

Rétention des particules

Volatilisation

Adsorption

Biodégradation



Filtration MES

Composés hydrophobes
(Log Kow > 4)

Injection air
Composés volatils
($K_H > 10^{-4} \text{ atm}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{mol}^{-1}$)

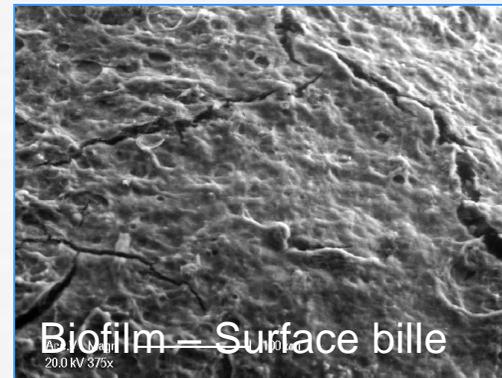
Interactions électrostatiques
Espèces chargées positivement

Biomasse épuratrice
Composés facilement
biodégradables



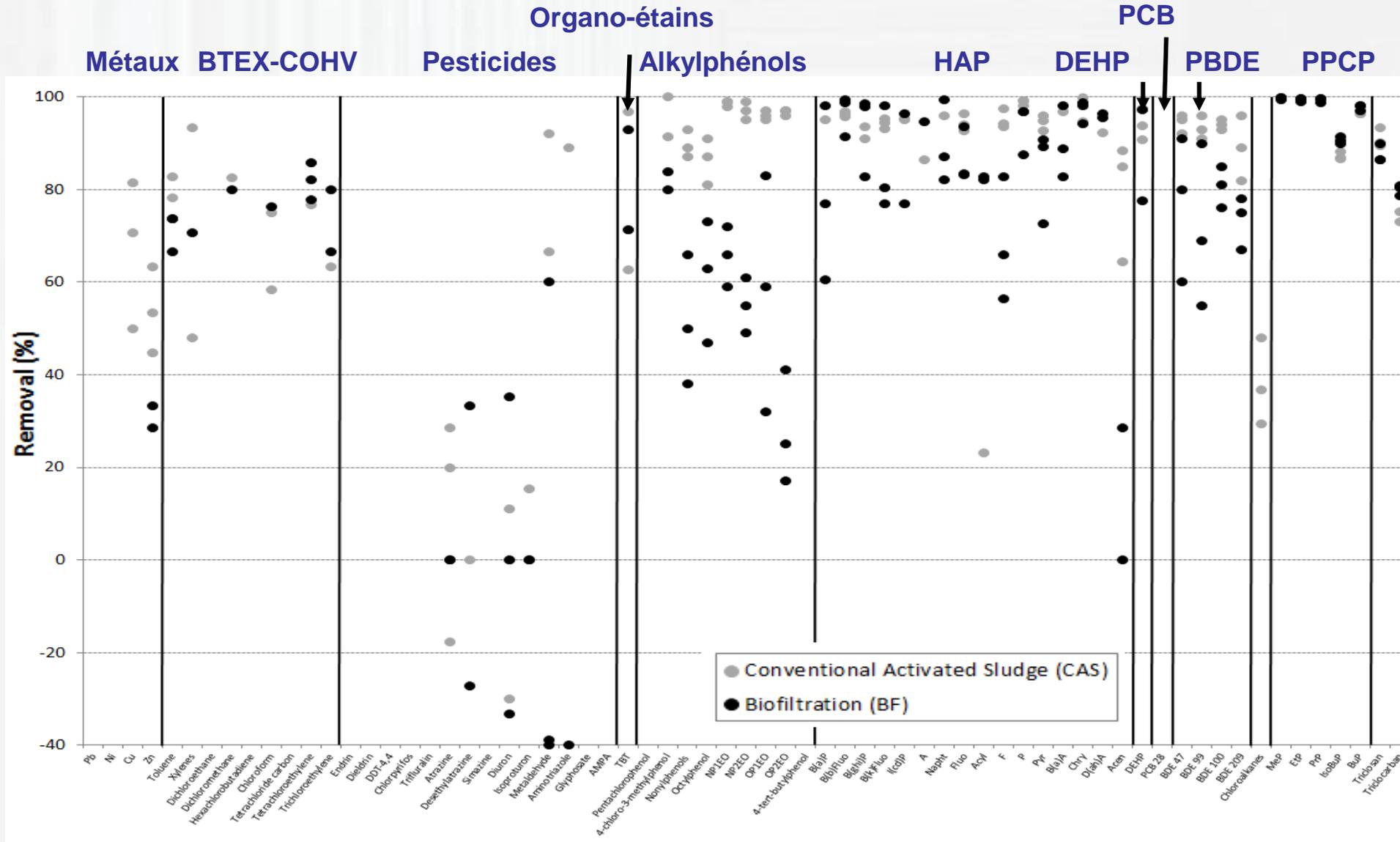
Water Research, 2010

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011



Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

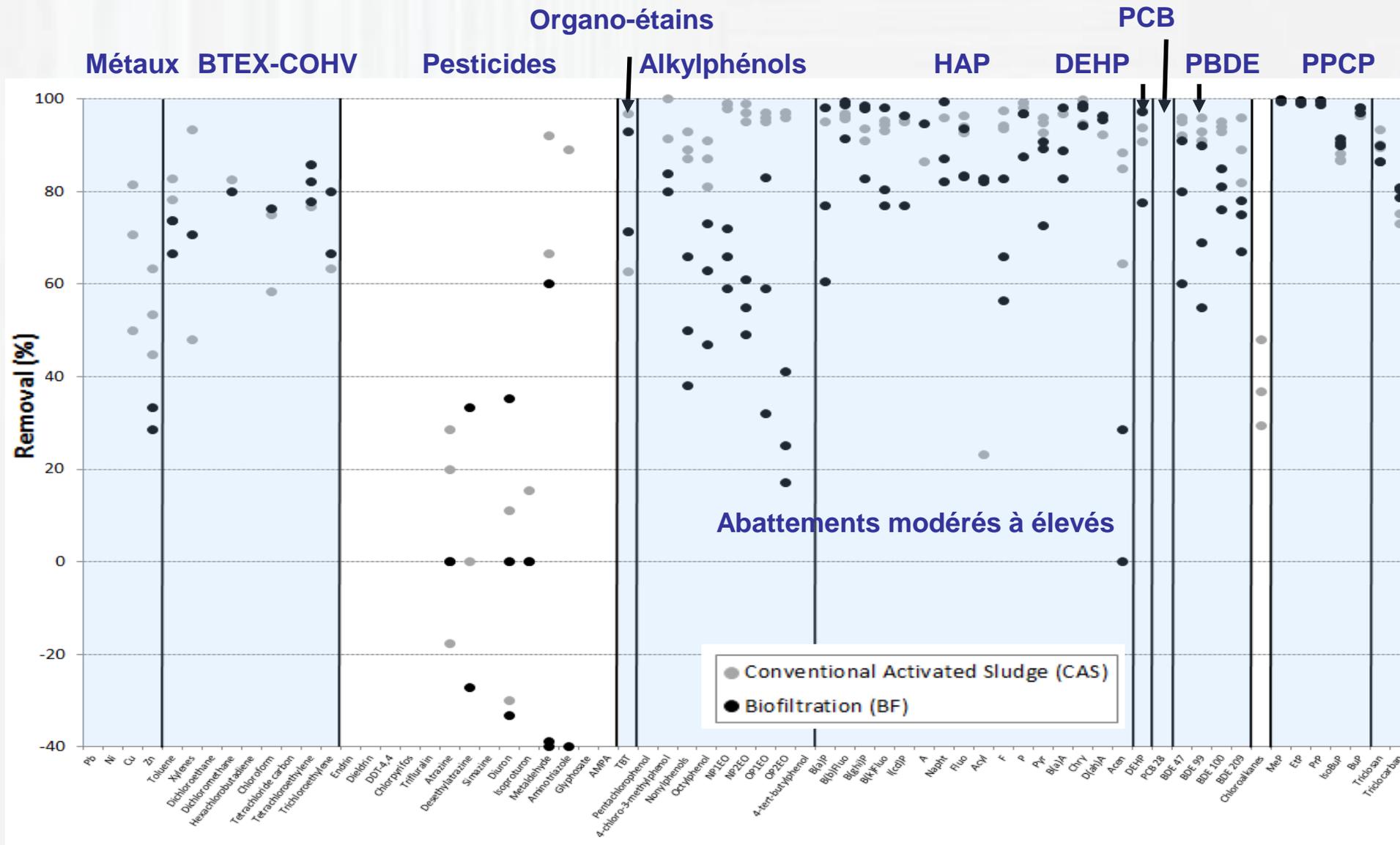
Efficacité du traitement biologique Boues activées *versus* biofiltres



Water Research, 2010
Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Effacité du traitement biologique Boues activées *versus* biofiltres

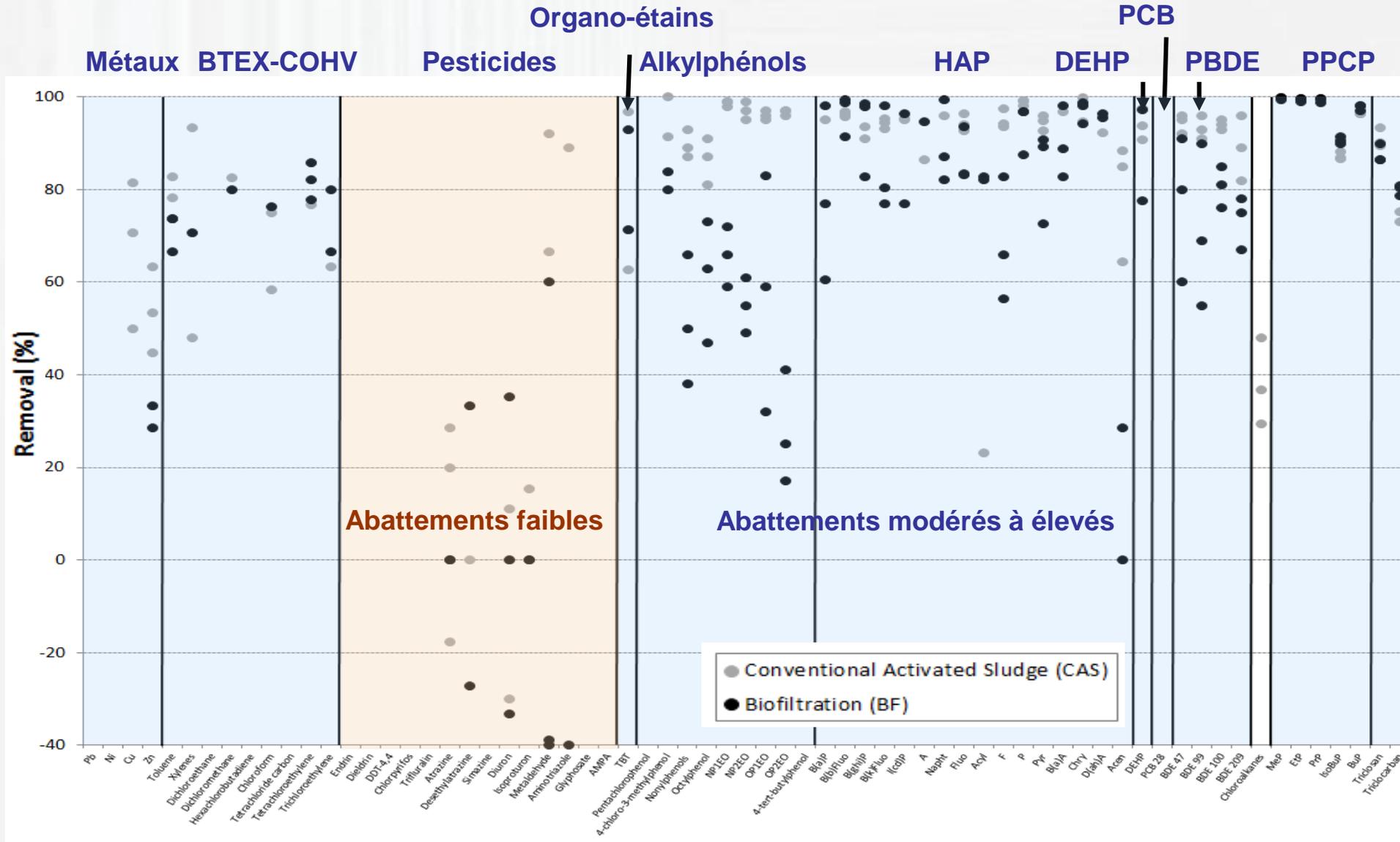


Environmental Science and Pollution Research, 2014

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Efficacité du traitement biologique Boues activées *versus* biofiltres



Environmental Science and Pollution Research, 2014

Techniques, Sciences et Méthodes, 2011

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



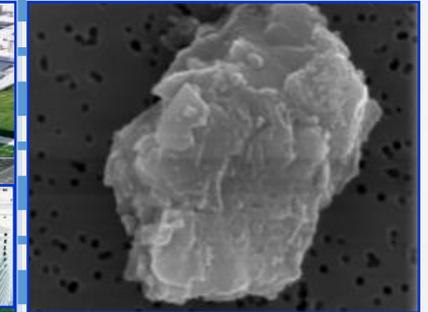
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques



Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



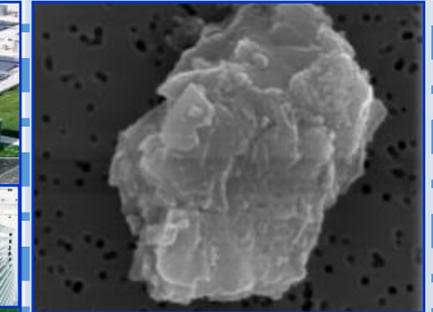
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques



Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires

Le regard porté vers l'avenir

(1) Etat des lieux sur le niveau de contamination des rejets de STEP

(2) Evaluer l'efficacité des technologies de traitement

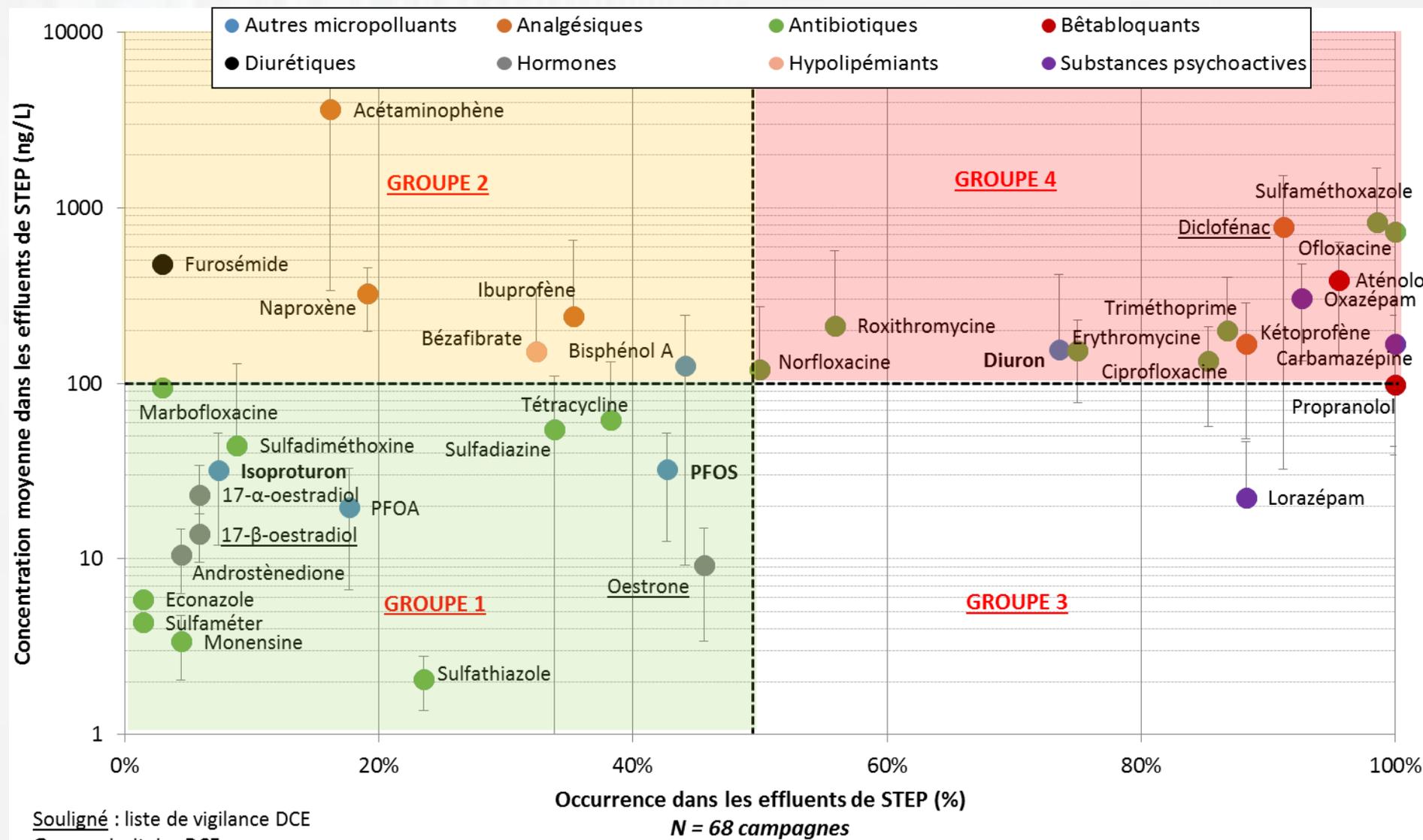
- Process : Efficacité vis-à-vis des micro et macro-polluants
- Exploitation : Facteurs clés d'exploitation et de dimensionnement
- Economie : Coût d'exploitation (Optimum technico-économique)



Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires Le regard porté vers l'avenir

(1) contamination des rejets de STEP

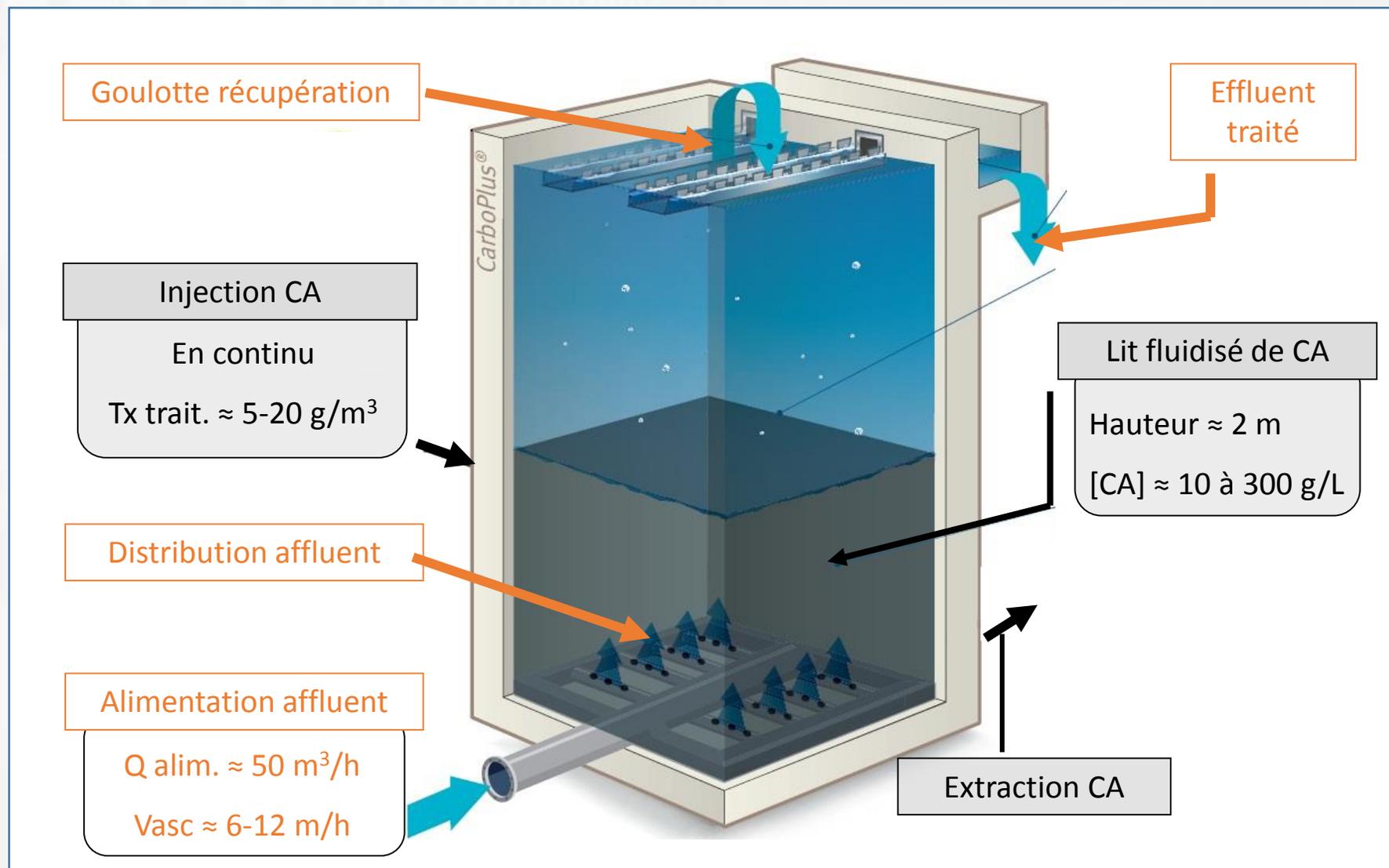


Laboratoires partenaires

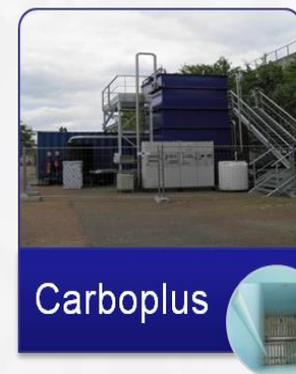


Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires Le regard porté vers l'avenir



(1) Efficacité des procédés traitement

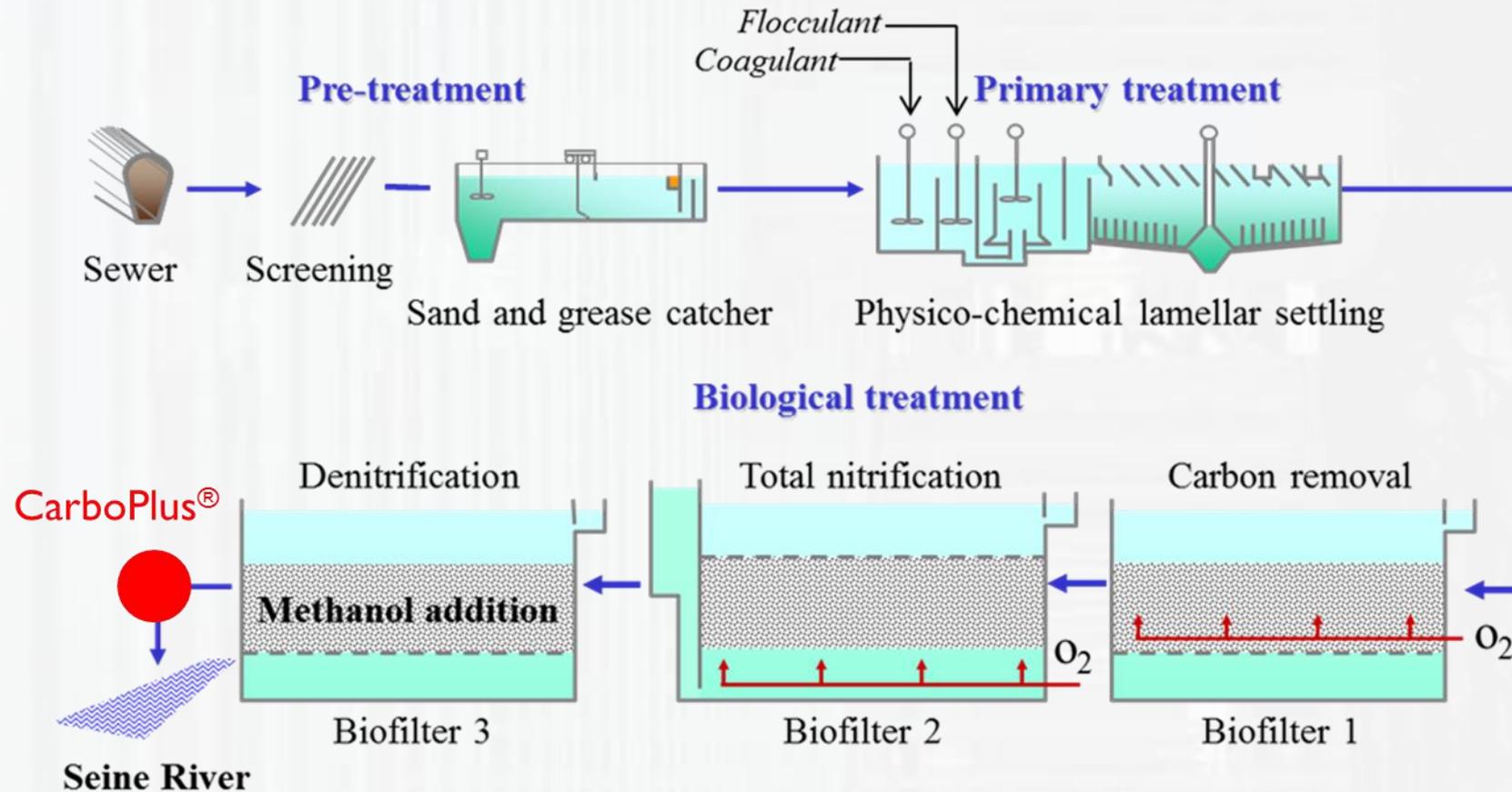


Water Research, 2015

Techniques, Sciences et Méthodes, 2016

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires Le regard porté vers l'avenir



(1) Efficacité des procédés traitement



Capacité temps sec = 240 000 m³/j (900 000 EH)

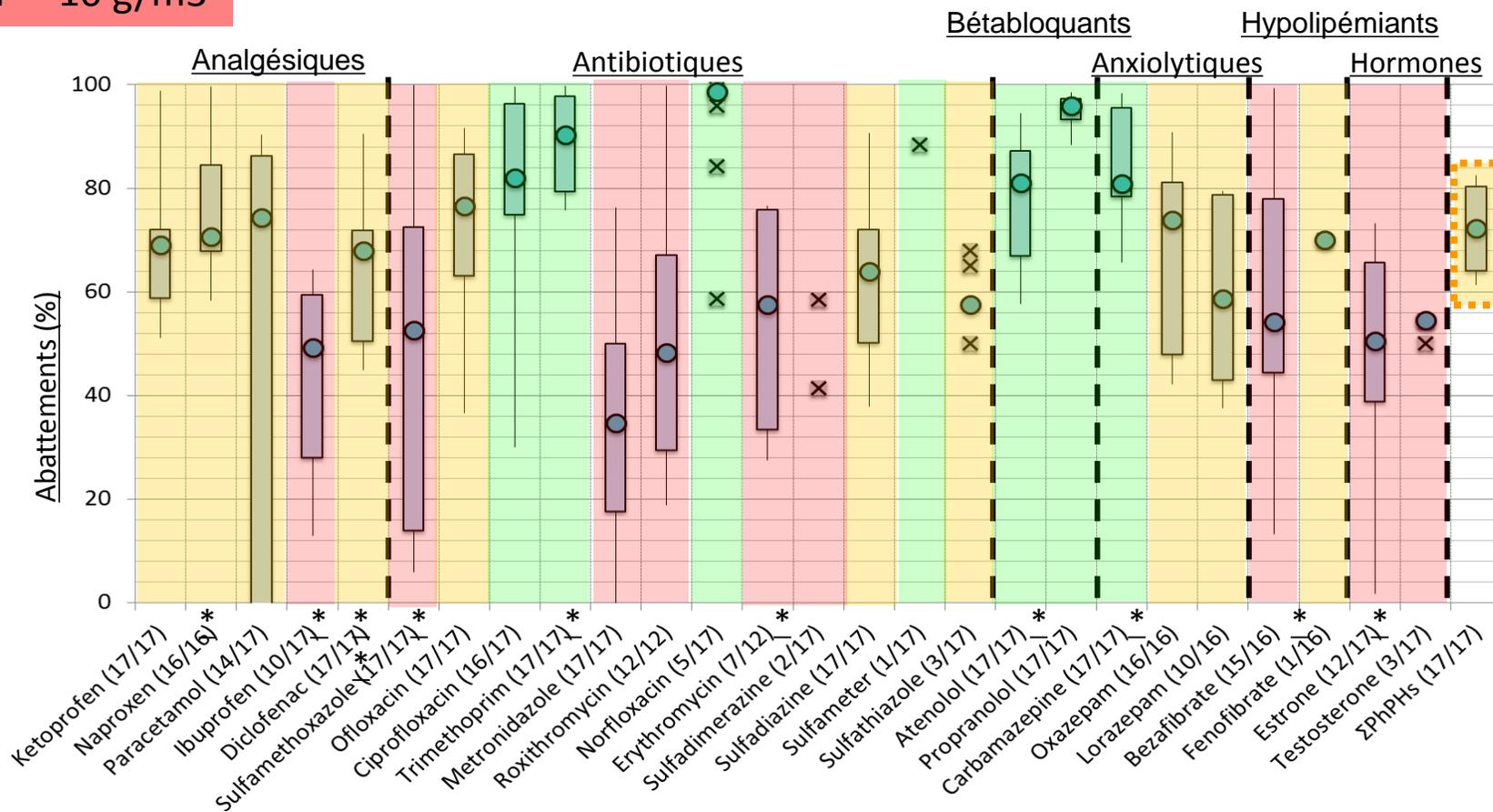
Water Research, 2015

Techniques, Sciences et Méthodes, 2016

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires Le regard porté vers l'avenir

CAP – 10 g/m3



Toutes les molécules abattues – Rdts de 50 à 95 %

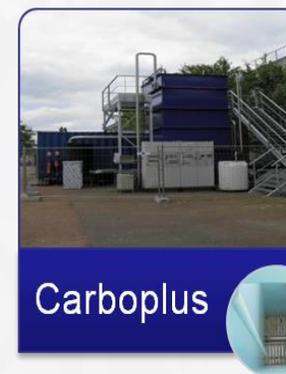
50-60%

60-80%

> 80%

Abattement médian Σ 26 molécules > 70%

(1) Efficacité des procédés traitement



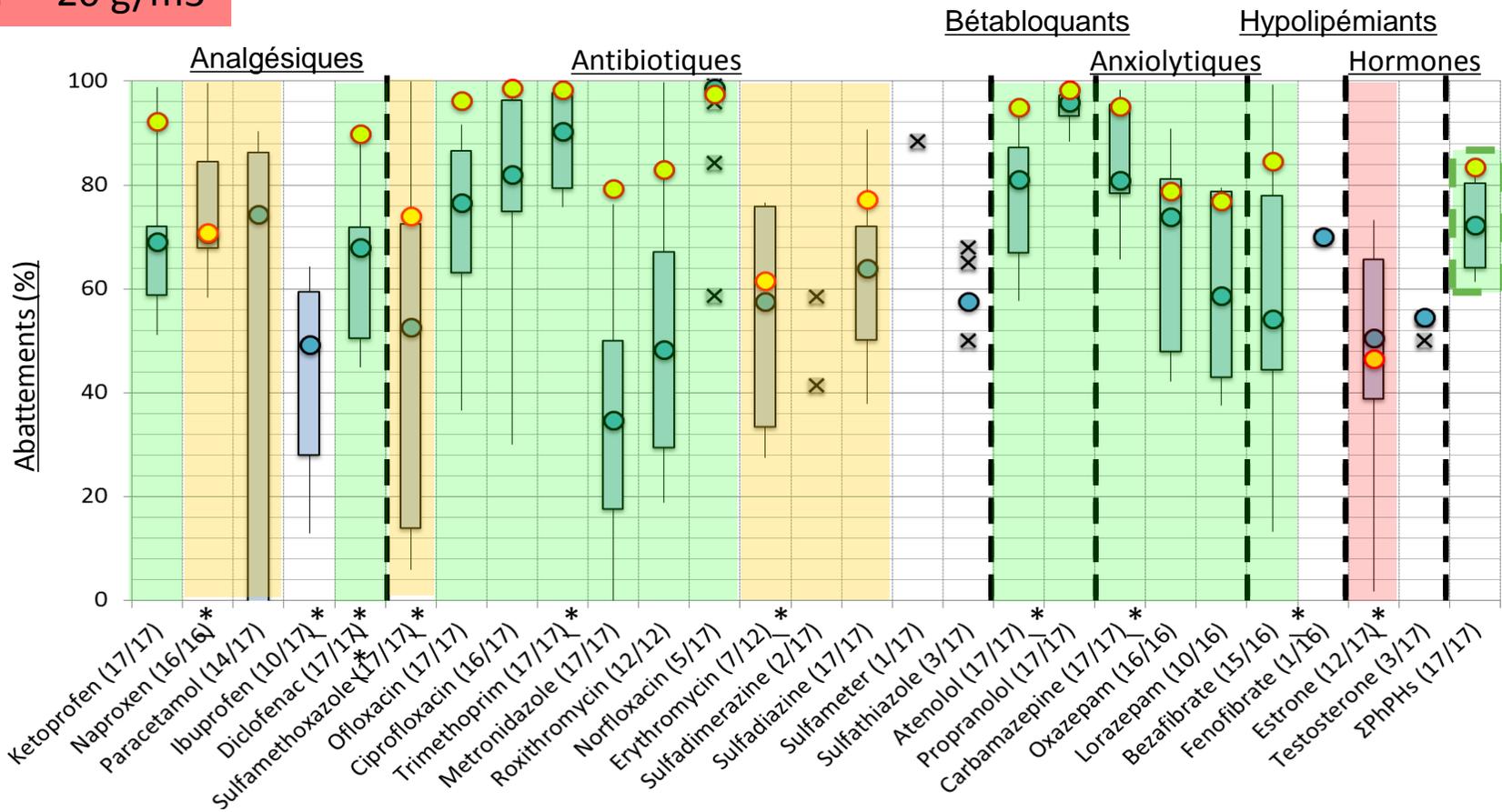
Water Research, 2015

Techniques, Sciences et Méthodes, 2016

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Les traitements tertiaires Le regard porté vers l'avenir

CAP – 20 g/m3



Toutes les molécules abattues – Rdts de 50 à 95 %

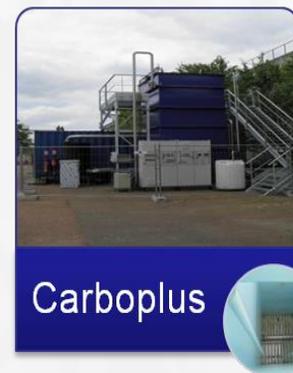
50-60%

60-80%

> 80%

Abattement médian Σ 26 molécules > 80%

(1) Efficacité des procédés traitement



Water Research, 2015

Techniques, Sciences et Méthodes, 2016

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Les techniques de dépollution aval quelques questions ...

Que deviennent les micropolluants dans les files de traitement des eaux ?

Traitement primaire



Décanteurs classiques / lamellaires

Traitement biologique



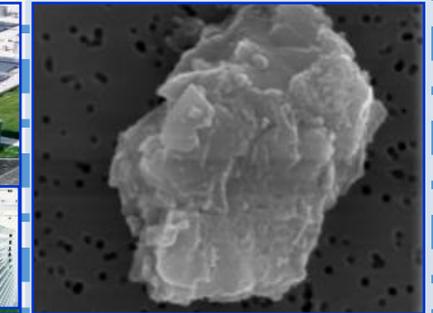
Cultures libres / fixées

Traitement ETP



Clariflocculation

Traitement tertiaire



Réacteur CAP

Que retrouve-t-on dans les boues ? Quelle efficacité des filières ?



Digesteurs



Centrifugeuses



Sécheurs thermiques



Académie de l'Eau

23 et 24 novembre 2016 - Cité de l'Eau
et de l'Assainissement du SIAAP -
Colombes

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières

Organo-étains

Triphénylétain / MBT /
DBT / TBT

Herbicides

MCPA / Oxadiazon / Alachlore
Trifluraline / Atrazine

Pesticides

Organophosphorés

Chlorpyrifos ethyl /
Chlorfenvinphos

Urées-carbamates

Isoproturon / Diuron /
Linuron / Chlortoluron

Organochlorés

Hexachlorobenzène / Alpha-Béta –
gamma-delta hexachlorocyclohexane
/ Heptachlore / Aldrine / Dieldrine /
somme DDT / Endrine / Chlordane
total / Endosulfan / Toxaphène /
Chlordécone / Isodrine ...

HAP / PCB

B(b-k)Fluo / B(a)Pyr / Fluo / IndénoPyr / B(ghi)Per
PCB 118 – 101 - 138 – 153 – 180 – 28 - 52

Phtalates / Alkylphénol / PBDE

DEHP

4-ter-OP / Para-NP / NP 10E / NP 20E / OP 10E / OP 20E
PBDE : Tri (28) / Tétra (47) / Penta (99-100) / Hexa (153-154)
/ Hepta (183) / Octa (205) / Déca (209)

Composés organiques divers

Chloroalcanes / Tributylphosphate / Hexachlorocyclopentadiène

Métaux

Zinc / Plomb / Nickel / Cuivre / Chrome / Cadmium

Composés phénoliques

Chlorophenol / Dichloro-trichloro-Pentachloro phenol / 4-chloro-
3-methylphenol

Composés benzéniques

Benzène / Toluène / Ethylbenzène / Xylènes / Monochloro-
Dichloro-trichloro-tétrachloro-Pentachlorobenzène /
Isopropylbenzene

COV

Butadiène / Chlorure de vinyle / Dichlorométhane / Chloroforme
/ Tétrachlorure de carbone / Dichloro – Trichloro – Tétrachloro -
Hexachloro éthane / Dichloro-Trichloro-Tétrachloréthylène ...

Campagnes exploratoires

Composés recherchés



Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières

Épaississement - Flottation

Digestion anaérobie

Épaississement – centrifugation

Campagnes exploratoires



Filières étudiées



Déshydratation – centrifugation

Déshydratation - filtre presse
(+cuisson)

Séchage thermique



Boue déshydratée

Boue digérée déshydratée

Boue séchée

Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

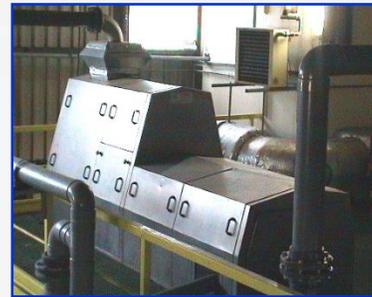
Niveaux de contamination / efficacité filières

Épaississement - Flottation

Digestion anaérobie

Épaississement – centrifugation

Campagnes exploratoires



Filières étudiées



Déshydratation – centrifugation

Déshydratation - filtre presse
(+cuisson)

Séchage thermique



1

Boue déshydratée

Boue digérée déshydratée

Boue séchée

Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières

Épaississement - Flottation



Digestion anaérobie

2



Épaississement – centrifugation



Déshydratation – centrifugation



Déshydratation - filtre presse
(+cuisson)



Séchage thermique



1

Boue déshydratée

Boue digérée déshydratée

Boue séchée

Campagnes exploratoires

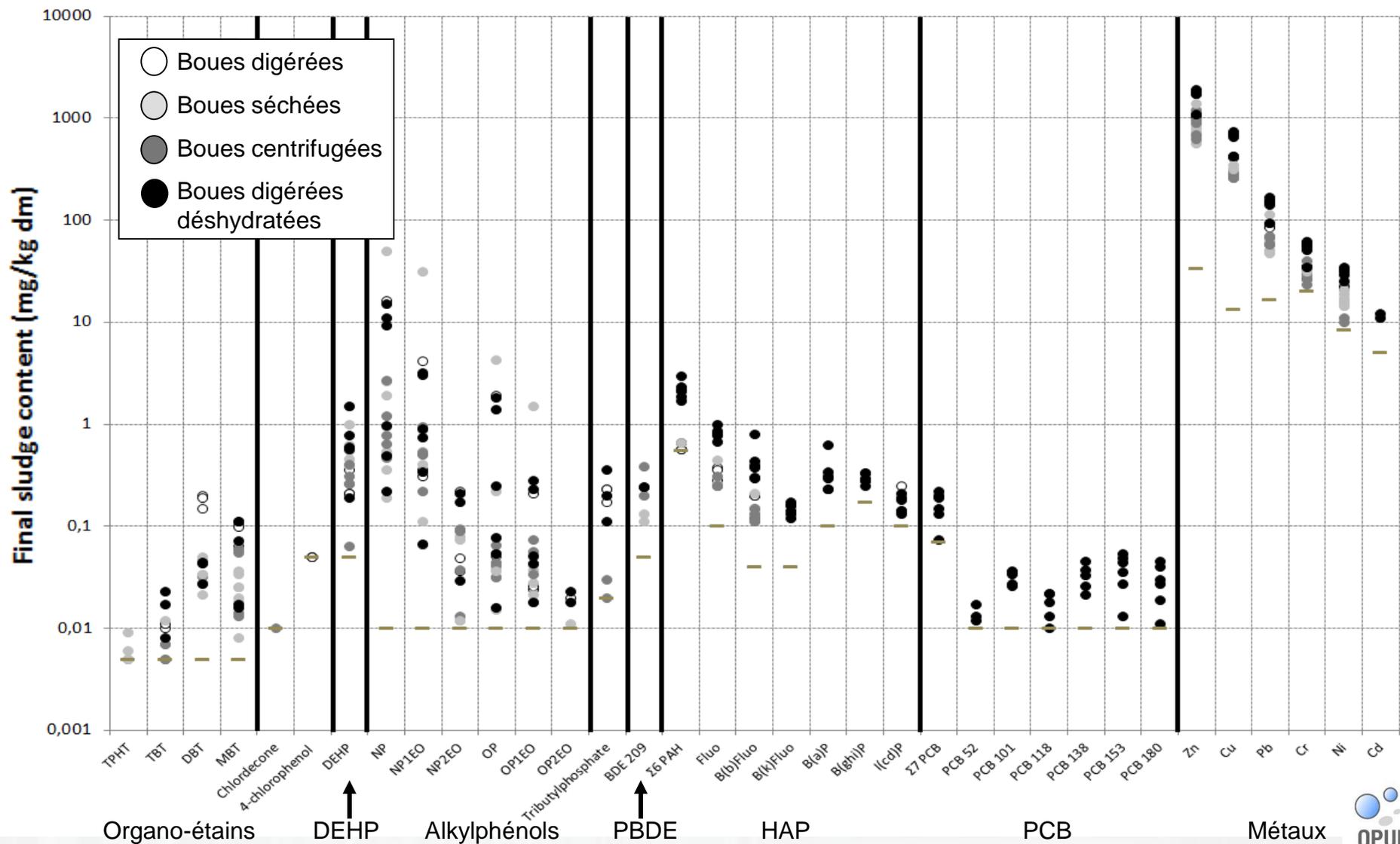
Filières étudiées



Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines
Niveaux de contamination / efficacité filières



Campagnes exploratoires

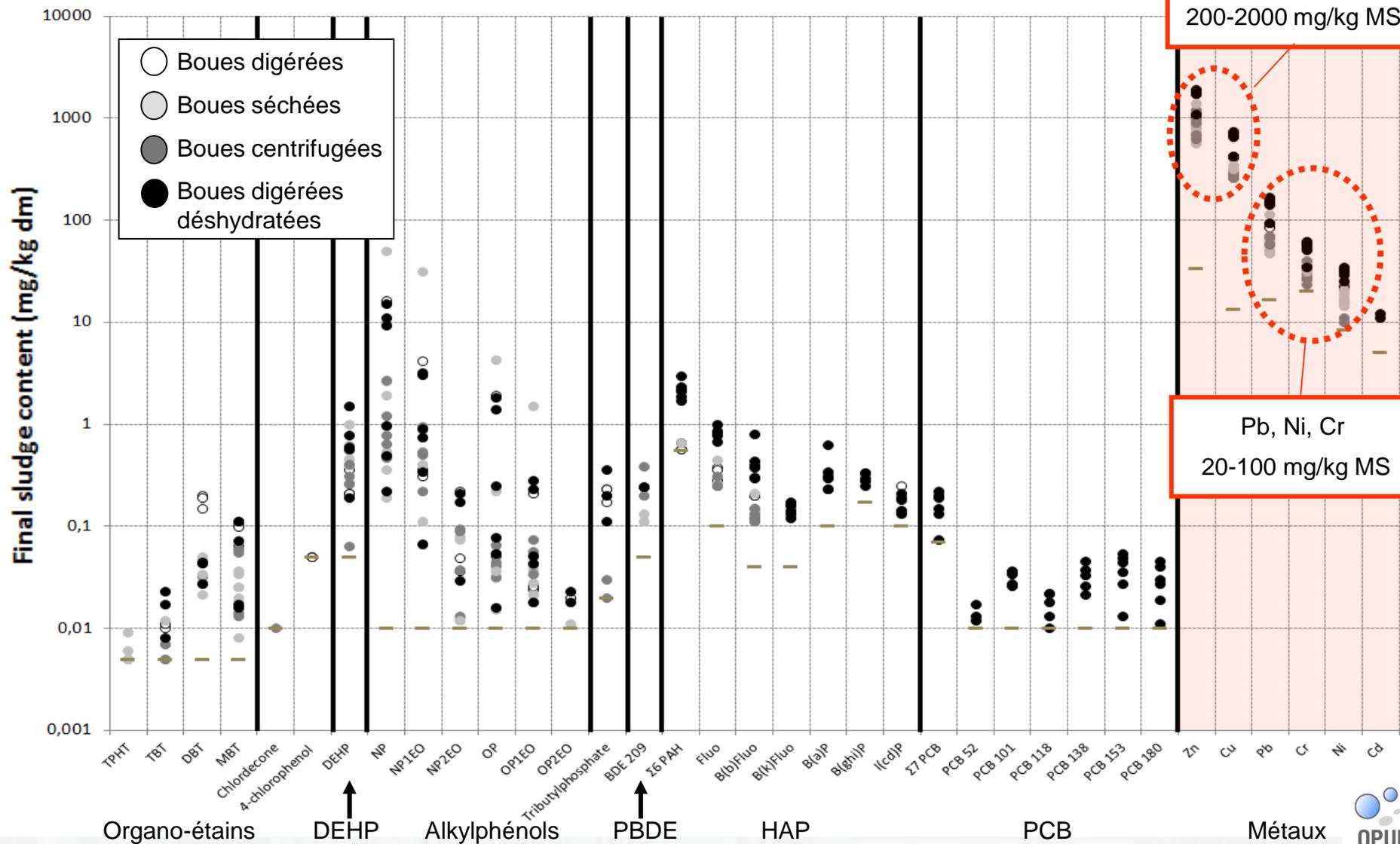
Une signature homogène



Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines
Niveaux de contamination / efficacité filières



Campagnes exploratoires

Une signature homogène

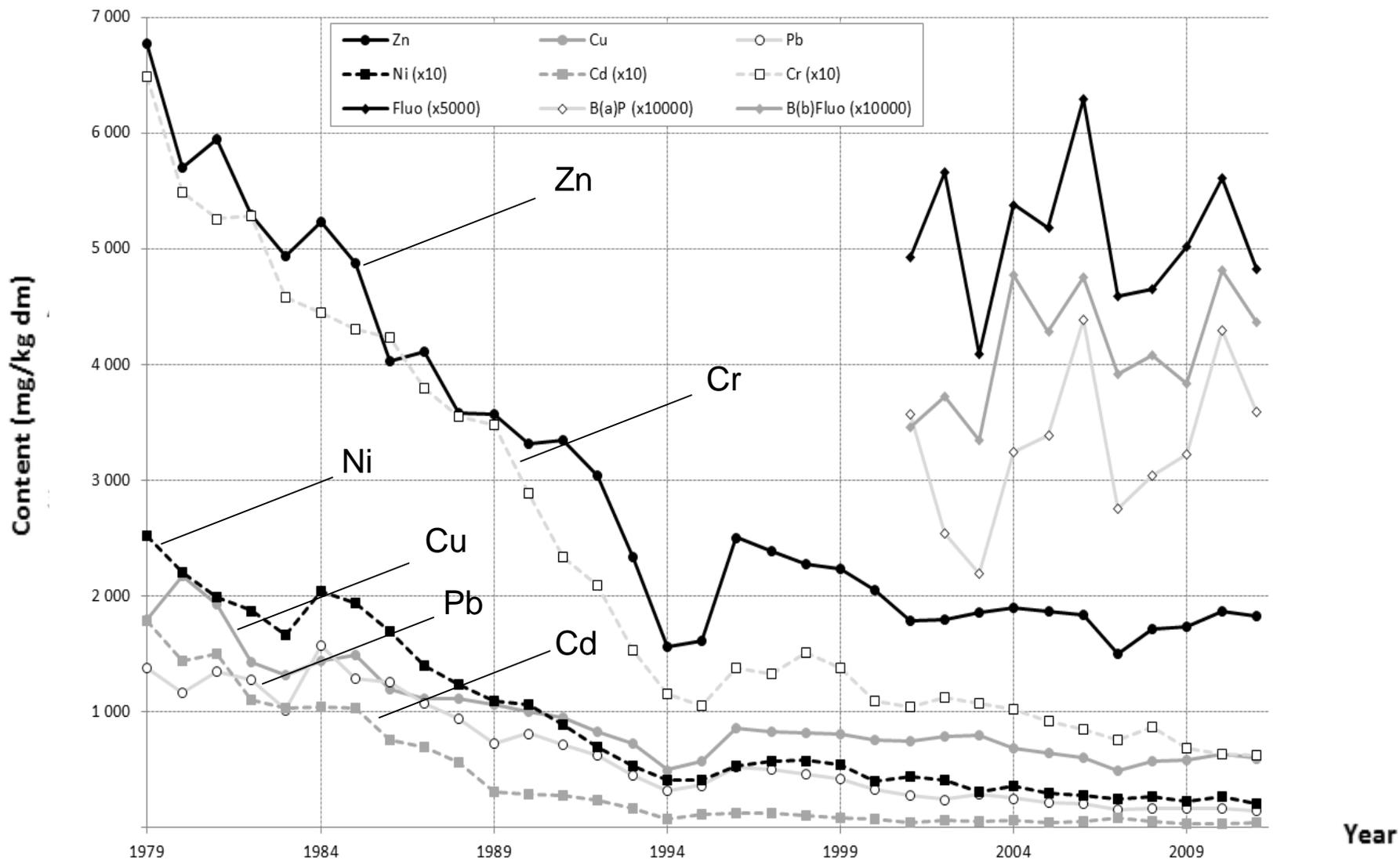


Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

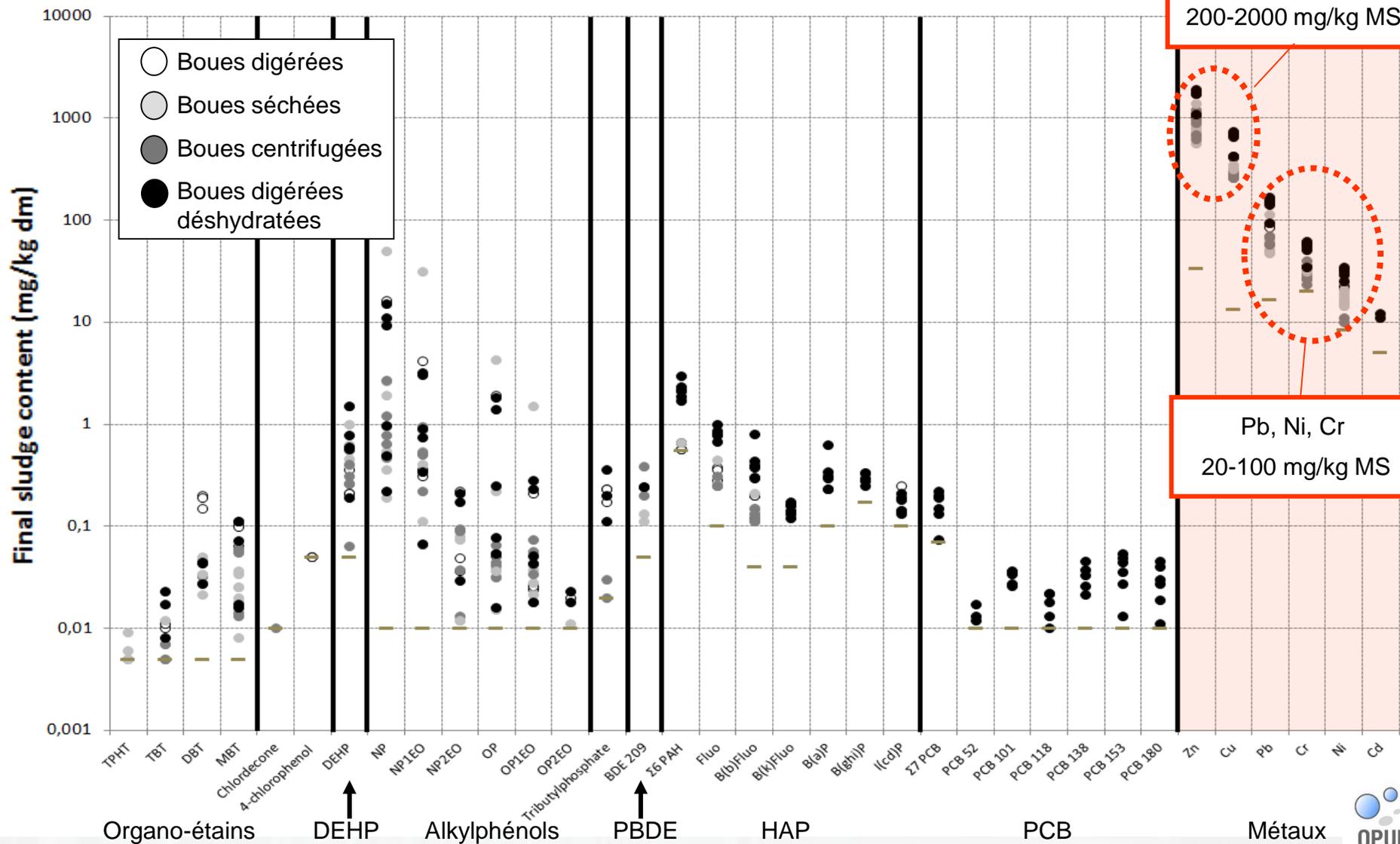
Niveaux de contamination / efficacité filières



Coup d'oeil sur le passé,
pour se rassurer ...

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines
Niveaux de contamination / efficacité filières



Campagnes exploratoires

Une signature homogène

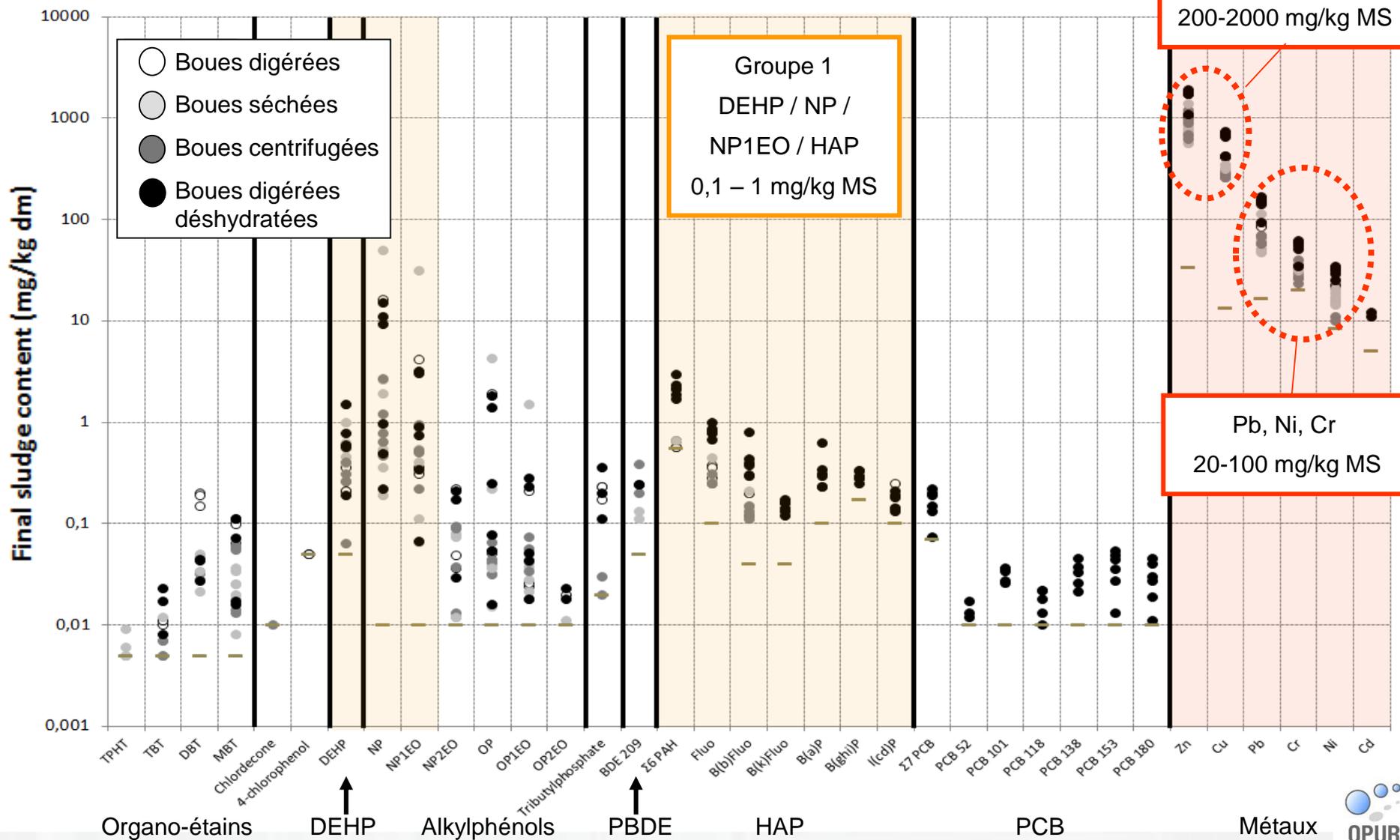


Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières



Campagnes exploratoires

Une signature homogène

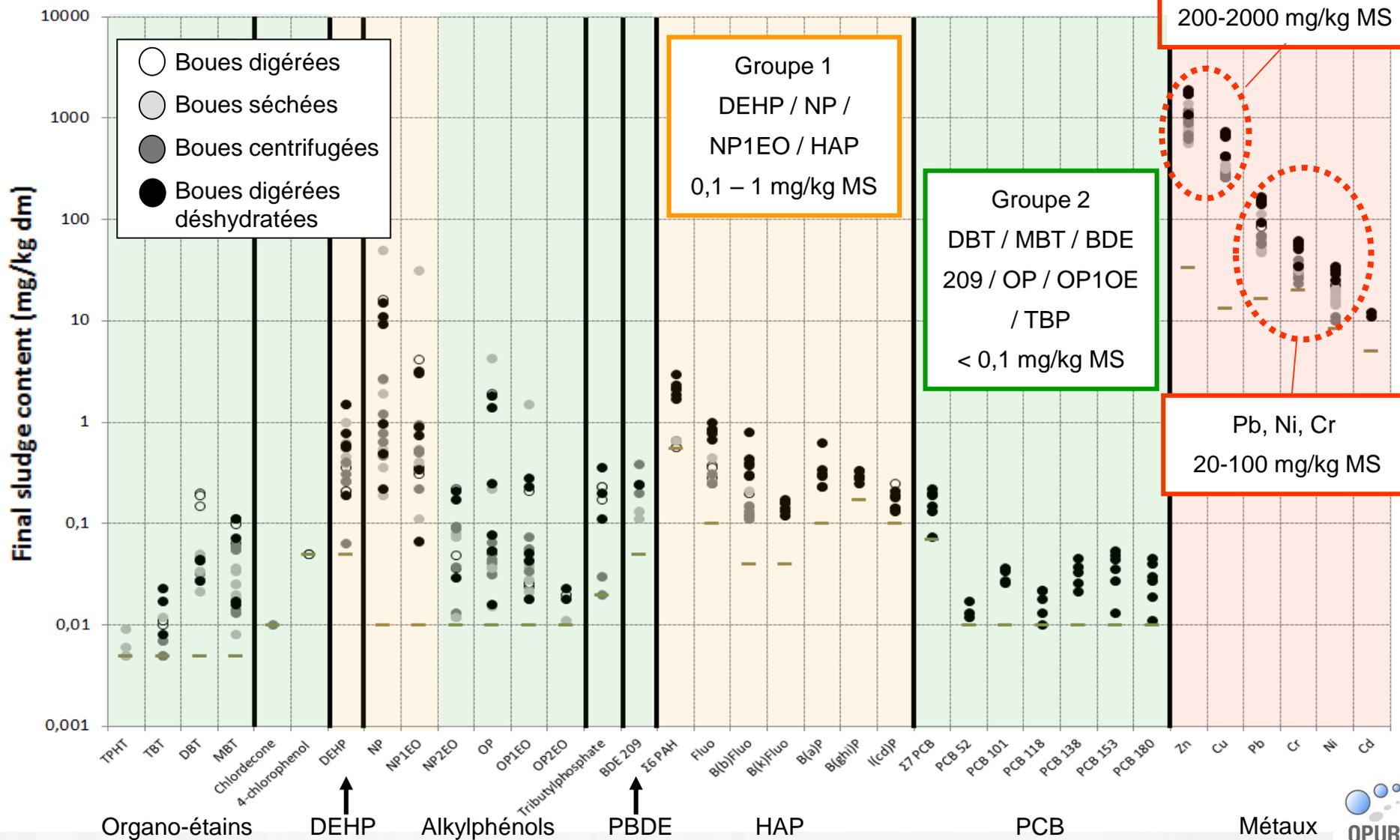


Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières



Campagnes exploratoires

Une signature homogène

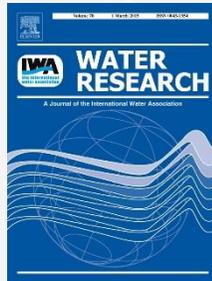


Waste management, 2014

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques et leur impact sur la santé humaine

Merci de votre attention !

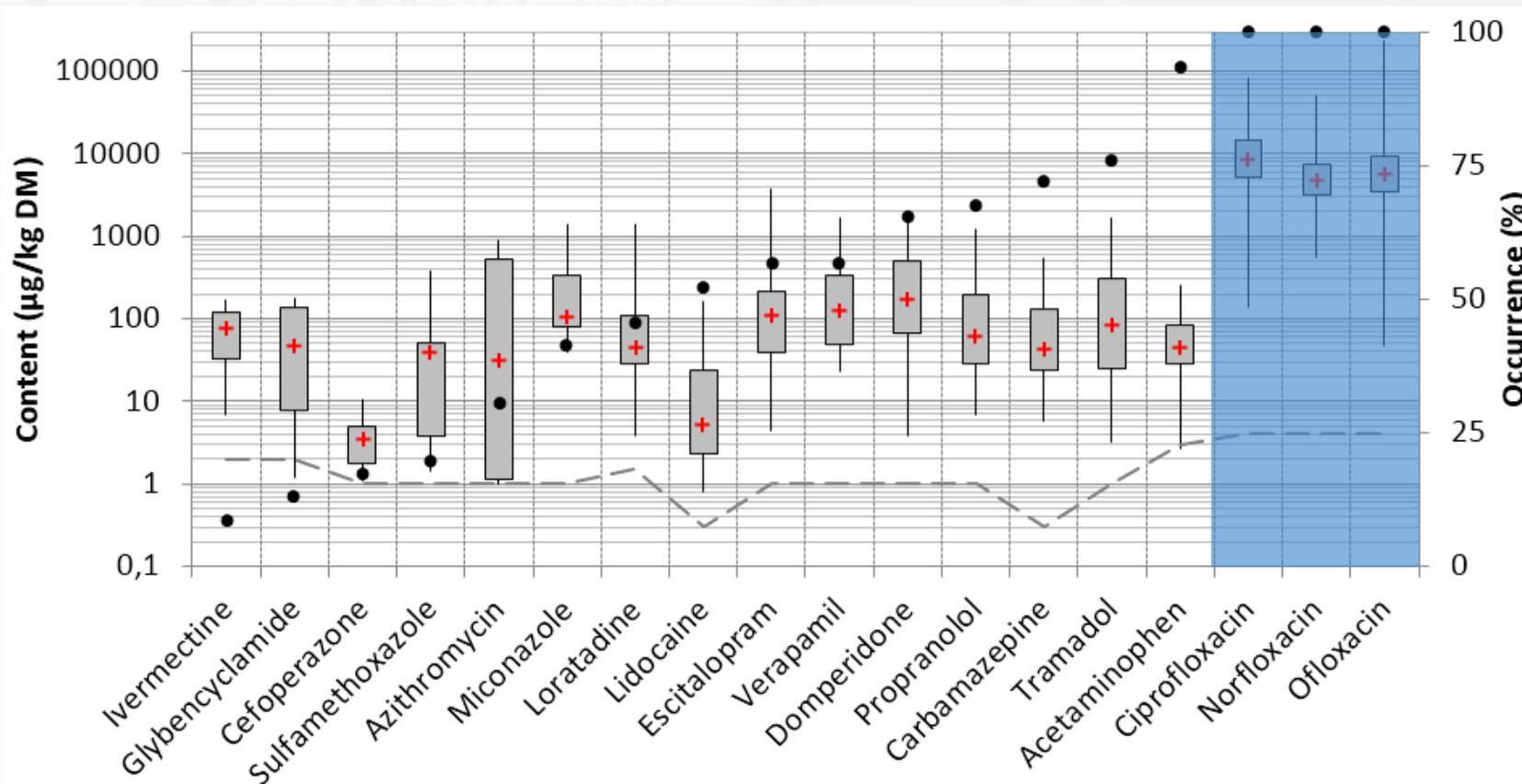
Water Research, 2010.	Occurrence and removal of priority pollutants by lamella clarification and biofiltration
Chemical Engineering Journal, 2012.	Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: Removal study of a large broad spectrum of pollutants
Water Pollution XI, 2012.	Phthalate and alkylphenol removal within wastewater treatment plants using physicochemical lamellar clarification and biofiltration
Water Science and Technology, 2012.	Removal of alkylphenols and polybromodiphenylethers by a biofiltration treatment plant during dry and wet-weather periods
Environmental Science and Pollution Research. 2014.	Biofiltration vs conventional activated sludge plants: what about priority and emerging pollutants removal?
Waste Management, 2014.	Priority and emerging pollutants in sewage sludge and fate during sludge treatment
Water Research, 2015	Study of a large scale powdered activated carbon pilot: Removals of a wide range of emerging and priority micropollutants from wastewater treatment plant effluents
Science of the Total Environment 2015	Removal of a wide range of emerging pollutants from wastewater treatment plant discharges by micro-grain activated carbon in fluidized bed as tertiary treatment at large pilot scale
Journal of Environmental Chemical Engineering, 2016.	Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater
Techniques Sciences et Méthodes, 2011.	Traitement des eaux usées de temps de pluie à la station Seine Centre. Etude des paramètres globaux, des alkylphénols et des polybromo-diphényléthers.
Techniques Sciences et Méthodes, 2011.	Comportement des substances prioritaires sur les ouvrages de traitement des eaux usées : cas de la décantation lamellaire et de la biofiltration.
Techniques Sciences et Méthodes, 2012.	Devenir des phtalates en milieu urbain : de l'égout au rejet de la station d'épuration.
Techniques Sciences et Méthodes, 2016.	Elimination des polluants émergents dans les rejets de STEP. (1) Etude du procédé CarboPlus à l'échelle du prototype
Techniques Sciences et Méthodes, 2016.	Elimination des polluants émergents dans les rejets de STEP. (2) Etude expérimentale des processus de sorption sur le charbon actif



Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine

Boues urbaines
Niveaux de contamination / efficacité filières

Campagnes μ polluants émergents



High content for fluoroquinolones, up to 200 mg/kgDM



**Micropolluants présents dans les milieux aquatiques
et leur impact sur la santé humaine**

Boues urbaines

Niveaux de contamination / efficacité filières

Campagnes μ polluants émergents

	<LD	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	$\mu\text{g}/\text{kg MS}$
<i>Pesticides</i>				t-OP	4-NP	Metals			
<i>VOCs</i>				OP ₁₋₂ EO	NP ₁ EO				
<i>Benzene derivatives</i>				NP ₂ EO	-----DEHP-----				
<i>C10-C13 chloroalkanes</i>				BDE 209					
<i>Chlorophenols</i>				-----Organotins-----	-----BBP-----				
				Hormones	DnBP				
				-----Pharmaceuticals-----	---Fluoroquinolones---				
				PFOA	-----PFOS-----				
					-----PAHs-----				
					-----PCBs-----				
				-----Tributylphosphate-----					

-----LAS-----

