

*Journée scientifique OPUR – 5 juin 2012 - Cité de l'Eau (Colombes)*  
**Contaminants dans les eaux résiduaires urbaines :  
comportement au sein des filières de traitement et qualité des rejets**



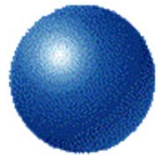
*Journée organisée par :*



**Polluants et filières de traitement :  
Focus sur les alkylphénols et  
les polybromodiphényles éthers**

S Gilbert, J Gasperi, V Rocher, C Lorgeoux, G Chebbo





# Thèse de Solène Gilbert

---

Devenir des PBDE et des AP dans les filières de traitement des eaux usées : Cas des fonctionnements optimisés par temps sec et dégradés par temps de pluie

- ① Qualité des effluents ?
- ② Efficacité du traitement primaire (décantation physico-chimique lamellaire et décantation classique) ?
- ③ Efficacité du traitement secondaire (biofiltration et boues activées) ?

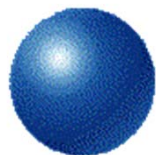
Polybromodiphényléth.



Alkylphénols éthoxylés

Fonct optimal (tps sec) / Fonct dégradé (tps pluie)





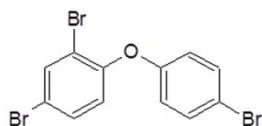
# PBDE et AP : quelles substances ?

PBDE (9 congénères) analysés par GC-MS

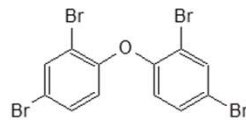
AP (6 congénères) analysés par LC-MSMS

Dosage par étalonnage interne

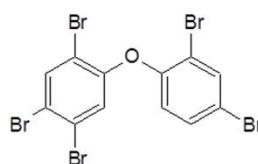
BDE-28



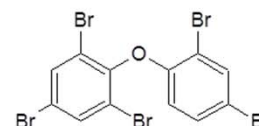
BDE-47



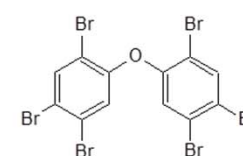
BDE-99



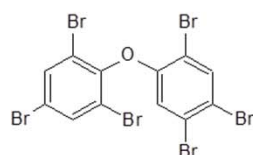
BDE-100



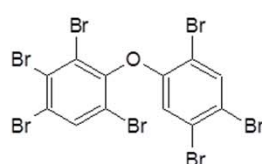
BDE-153



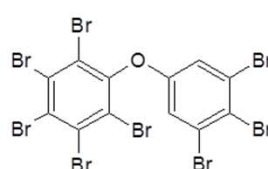
BDE-154



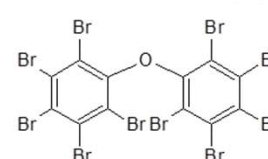
BDE-183



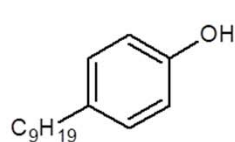
BDE-205



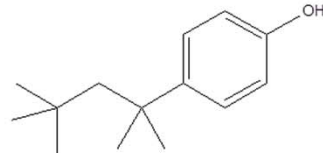
BDE-209



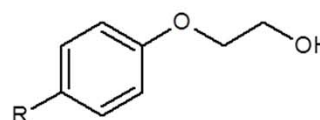
4-NP



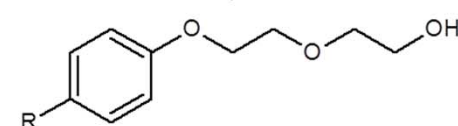
OP

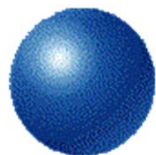


NP1EO, OP1EO



NP2EO, OP2EO





# Sites d'échantillonnage et procédés

## Traitement primaire

↓  
Décantation  
classique

↓  
Déc. physico-  
chim lamellaire

## Traitement biologique

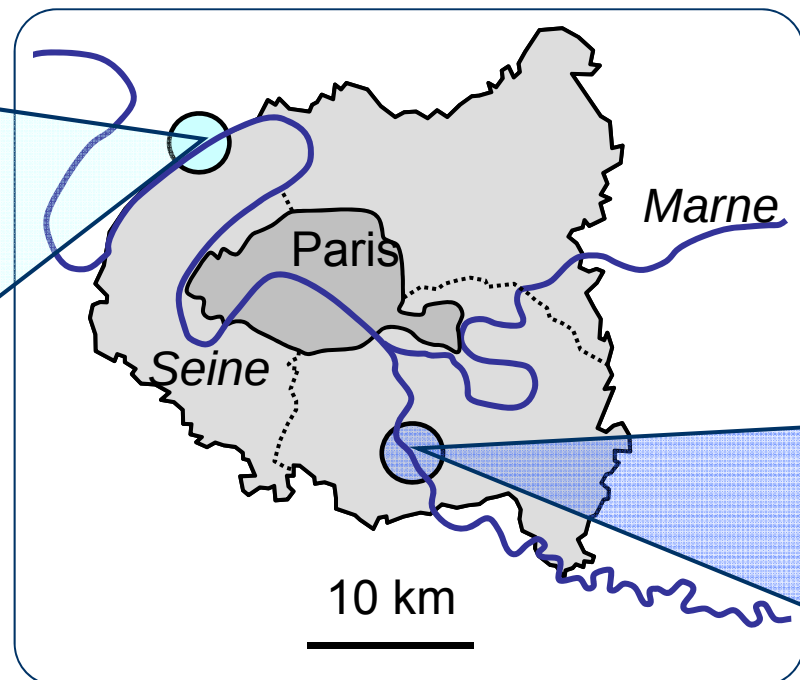
↓  
Biofiltration  
(C/N/DN)

↓  
Boues  
activées

### Seine Centre (SEC)

Réseau unitaire

- 800 000 éq. hab.
- 2,8 m<sup>3</sup>/s TS
- 8,5 m<sup>3</sup>/s max. TP

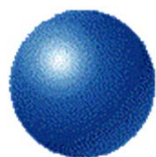


### Seine Amont (SAM)

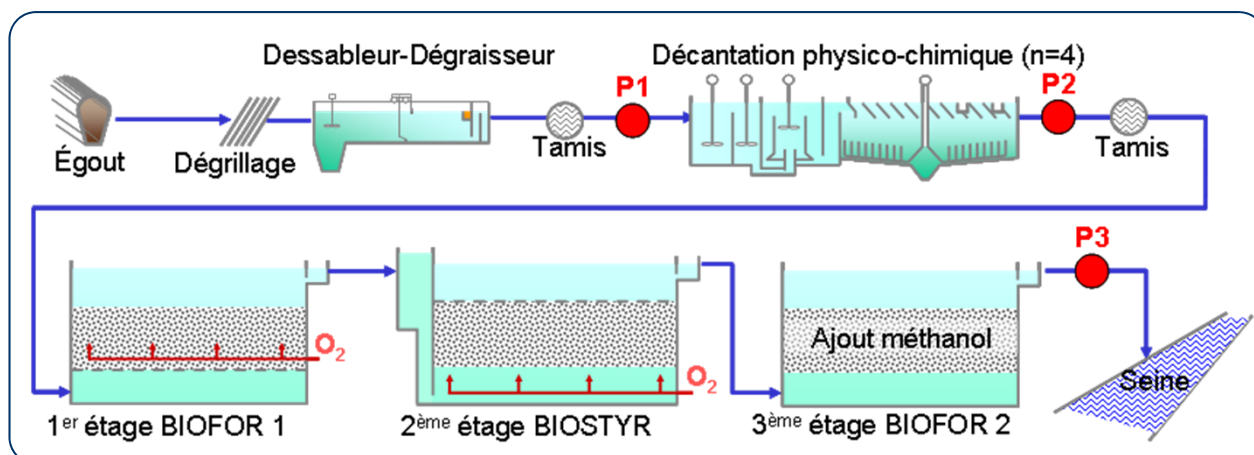
Réseau mixte

- 2 400 000 éq. hab.
- 6,9 m<sup>3</sup>/s TS
- 21 m<sup>3</sup>/s max. TP





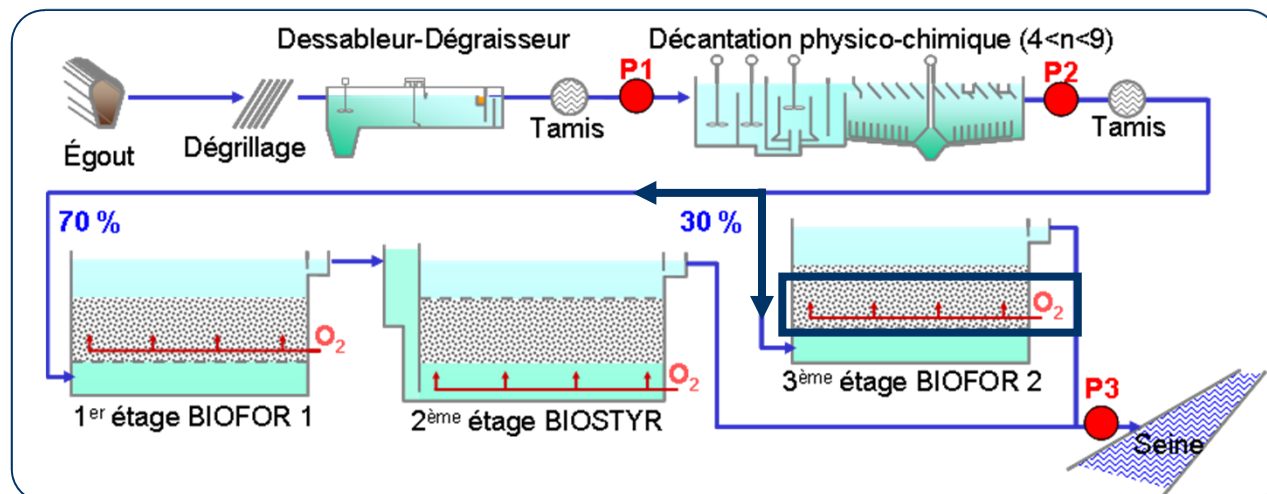
## Configuration temps sec (n=5) : 2,8 m<sup>3</sup>/s



### Temps sec

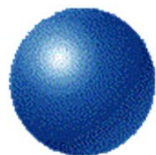
- ⇒ 5 campagnes
- ⇒ Éch. moyen 24h
- ⇒ Monoflacon
- ⇒ Asservissement  $\Delta t$

## Configuration temps de pluie (n=5) : 0,8 m<sup>3</sup>/s

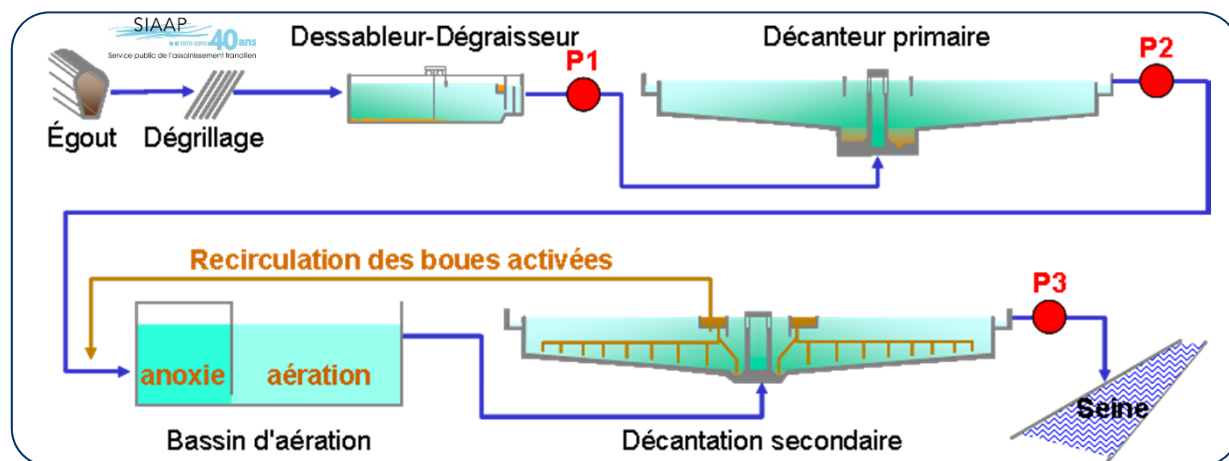


### Temps de pluie

- ⇒ Éch. sur 2-3h
- ⇒ 5 campagnes
- ⇒ Suivi conductivité



Configuration temps sec et temps de pluie (V2, file 2-6) :



Déclenchement et durée des prélèvements :



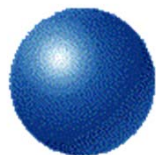
## Temps sec

- ⇒ Échantillons moyen 24h
- ⇒ 5 campagnes
- ⇒ Déclenchement programmé



## Temps de pluie

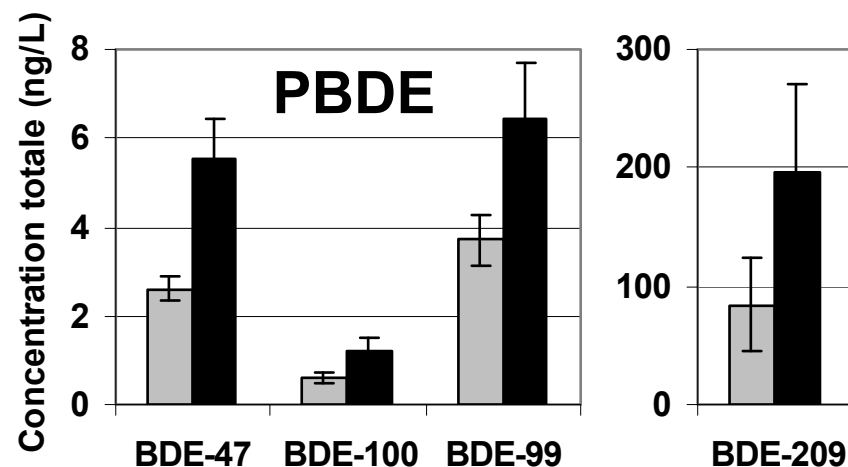
- ⇒ Échantillonnage sur 2,5-6h
- ⇒ 4 campagnes
- ⇒ Déclenchement manuel
- ⇒ Décalage P1/P2 et P3 : 22 - 24h



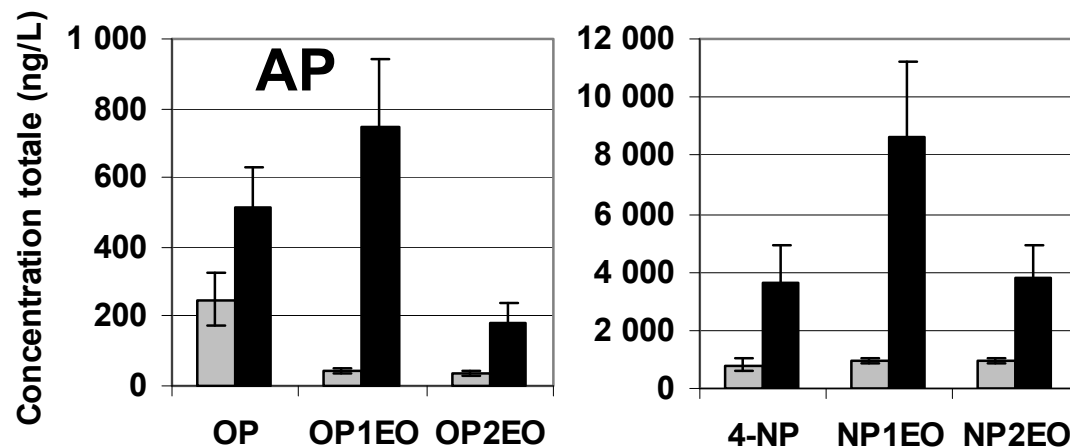
# Résultats

|                                                                                        |                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PG  | <b>PBDE, AP </b> |
| PG  | PBDE, AP         |

## 1 Qualité des effluents

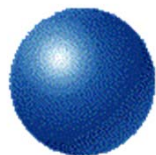


BDE-209 > 90 %  
Phase part. > 80 %  
Gamme basse littérature  
[SEC] < [SAM]



NP, NPEO > 90 %  
Phase part. : 60-80 %  
Gamme basse littérature  
[SEC] < [SAM]

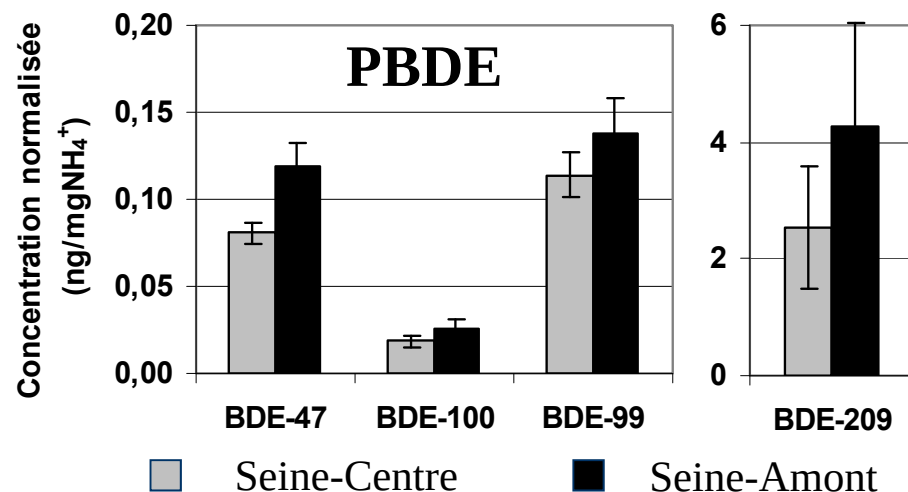
■ Seine-Centre    ■ Seine-Amont



# Résultats

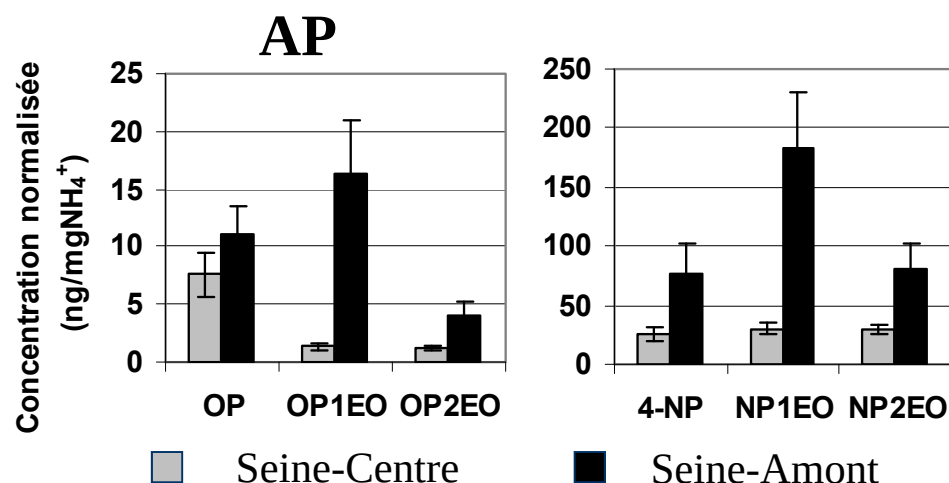
|    |          |
|----|----------|
| PG | PBDE, AP |
| PG | PBDE, AP |

## 1 Qualité des effluents

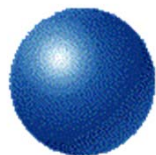


Écarts persistent en dépit  
normalisation  $\text{NH}_4^+$

Apports industriels  
probables (RSDE, 2007)



| Flux           | BDE-209<br>( $\mu\text{g/j/EH}$ ) | 4-NP<br>( $\mu\text{g/j/EH}$ ) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| SEC            | $30 \pm 13$                       | $297 \pm 72$                   |
| SAM (file 2-6) | $51 \pm 21$                       | $930 \pm 294$                  |
| AMPERES        | $179 \pm 120$                     | $2\,107 \pm 91$                |

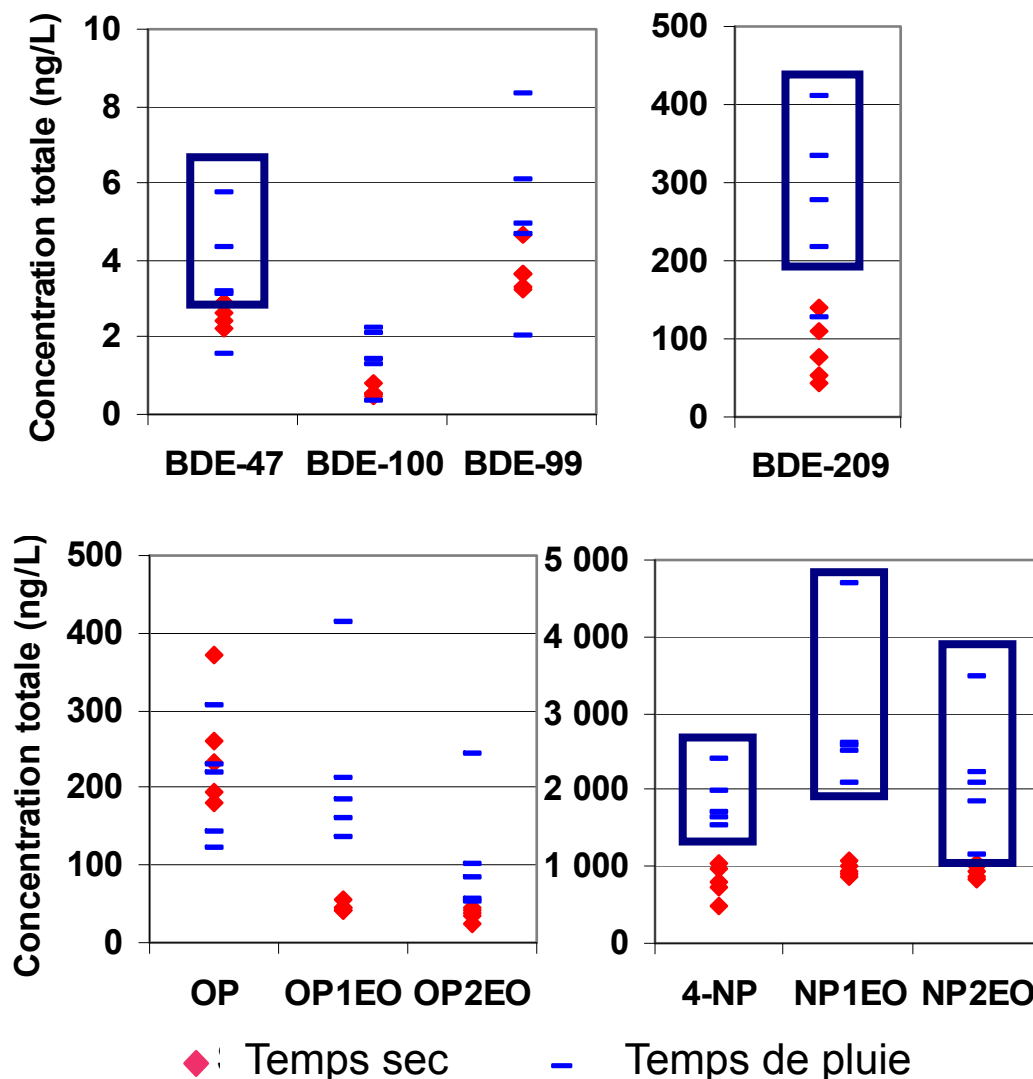


# Résultats

|      |            |
|------|------------|
| PG ☀ | PBDE, AP ☀ |
| PG ☁ | PBDE, AP ☁ |

## 1 Qualité des effluents

### Seine-Centre



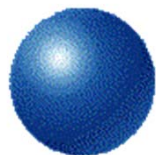
↗ [PBDE] par TP

↗ [AP] par TP

➔ Remise en suspension des dépôts dans le réseau  
(40-60% MES  
Gasperi et al., 2010)

➔ Lessivage surfaces urbaines (béton, véhicules)

➔ Dépôts atmosphériques



# Résultats

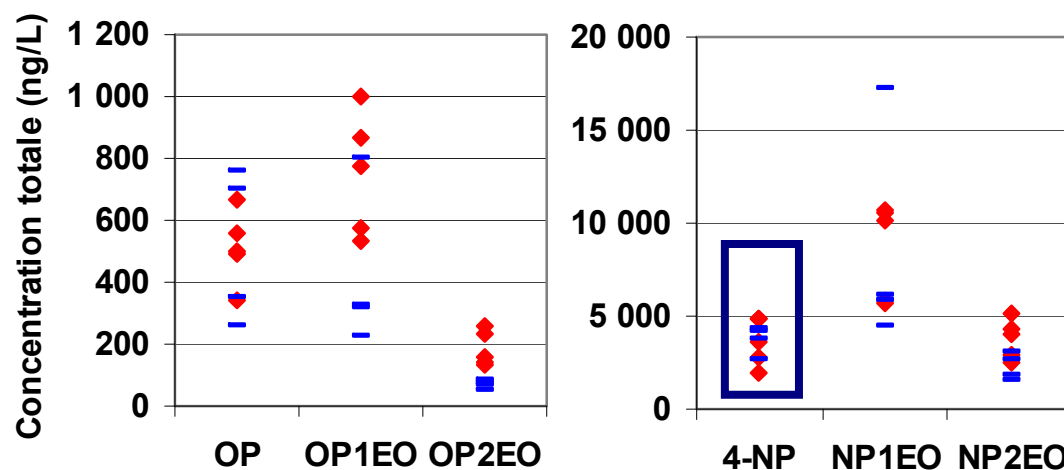
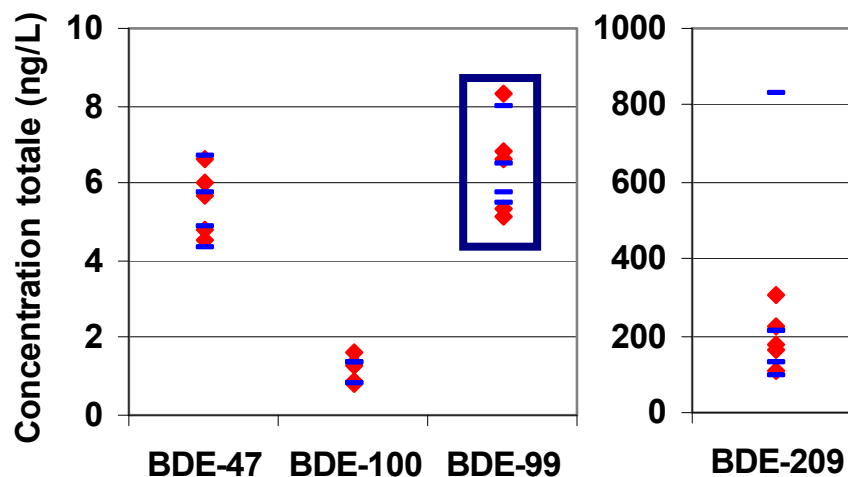
|      |            |
|------|------------|
| PG ☀ | PBDE, AP ☀ |
| PG ☁ | PBDE, AP ☁ |

## 1 Qualité des effluents

### Seine-Amont

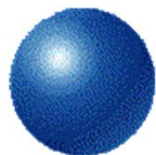
[PBDE, AP] totales  
TS/TP similaires

↘ [PBDE, AP]  
dissoutes TP (dilution)



◆ Temps sec    — Temps de pluie

Réseau mixte  
(unitaire et séparatif)  
moins impactant  
Plus faible contribution  
du réseau ?



# Résultats

SEC/SAM



SEC



SAM



2

## Efficacité du traitement primaire

|                               | Décantation physico-chimique lamellaire (SEC) | Décantation classique (SAM) |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| MES                           |                                               |                             |
| COP                           |                                               |                             |
| $\Sigma_4$ PBDE part.         |                                               |                             |
| $\Sigma_6$ AP part.           |                                               |                             |
| DBO <sub>5</sub>              |                                               |                             |
| DCO                           |                                               |                             |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                                               |                             |
| COD                           |                                               |                             |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                                               |                             |
| $\Sigma_4$ PBDE dissous       |                                               |                             |
| $\Sigma_6$ AP dissous         |                                               |                             |

Abattements

|        |           |           |        |
|--------|-----------|-----------|--------|
| < 20 % | 20 - 50 % | 50 - 80 % | > 80 % |
|--------|-----------|-----------|--------|

### Pollution particulaire

SEC : forte élimination et corrélation PBDE-MES-COP

SAM : abattements modérés

### Pollution organique

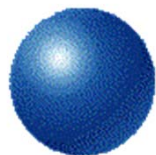
SEC : moy. 50-80 % (+)

SAM : moy. 50-80 % (-)

### Pollution dissoute

SEC : faible sauf PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>  
PBDE/AP : colloïdes (Song et al., 2006)

SAM : < 20 % avec valeurs < 0 fréquentes et fluctuantes



# Résultats

|         |  |
|---------|--|
| SEC/SAM |  |
| SEC     |  |
| SAM     |  |

## ② Efficacité du traitement primaire

|                               | Décantation physico-chimique lamellaire (SEC) |                |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|
|                               | Temps sec                                     | Temps de pluie |
| MES                           |                                               |                |
| COP                           |                                               |                |
| $\Sigma_4$ PBDE part.         |                                               |                |
| $\Sigma_6$ AP part.           |                                               |                |
| DBO <sub>5</sub>              |                                               |                |
| DCO                           |                                               |                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                                               |                |
| COD                           |                                               |                |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                                               |                |
| $\Sigma_4$ PBDE dissous       |                                               |                |
| $\Sigma_6$ AP dissous         |                                               |                |

Performances maintenues  
Voire améliorées (AP part.,  
DBO<sub>5</sub>, DCO et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Nature part. de la pollution TP  
et meilleure décantabilité

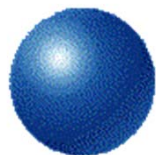
Mise en œuvre opérationnelle

Faible élimination pollution  
dissoute (valeurs < 0)

Colloïdes  
temps sec / temps de pluie ??

### Abattements

|        |           |           |        |
|--------|-----------|-----------|--------|
| < 20 % | 20 - 50 % | 50 - 80 % | > 80 % |
|--------|-----------|-----------|--------|



# Résultats

|         |  |
|---------|--|
| SEC/SAM |  |
| SEC     |  |
| SAM     |  |

## ② Efficacité du traitement primaire

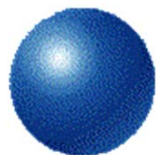
|                               | Décantation classique (SAM) |                |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|
|                               | Temps sec                   | Temps de pluie |
| MES                           |                             |                |
| COP                           |                             |                |
| $\Sigma_4$ PBDE part.         |                             |                |
| $\Sigma_6$ AP part.           |                             |                |
| DBO <sub>5</sub>              |                             |                |
| DCO                           |                             |                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                             |                |
| COD                           |                             |                |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                             |                |
| $\Sigma_4$ PBDE dissous       |                             |                |
| $\Sigma_6$ AP dissous         |                             |                |

Performances maintenues pour tous les paramètres voir améliorées pour certains AP en phase part.

Nature part. de la pollution TP et meilleure décantabilité

### Abattements

|        |           |           |        |
|--------|-----------|-----------|--------|
| < 20 % | 20 - 50 % | 50 - 80 % | > 80 % |
|--------|-----------|-----------|--------|



# Résultats

SEC/SAM



SEC



SAM



2

## Efficacité du traitement secondaire

|                               | Biofiltration (SEC) | Boues activées (SAM) |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| MES                           |                     |                      |
| COP                           |                     |                      |
| $\Sigma_4$ PBDE part.         |                     |                      |
| $\Sigma_6$ AP part.           |                     |                      |
| DBO <sub>5</sub>              |                     |                      |
| DCO                           |                     |                      |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                     |                      |
| COD                           |                     |                      |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                     |                      |
| $\Sigma_4$ PBDE dissous       | -                   | -                    |
| $\Sigma_6$ AP dissous         |                     |                      |

### Abattements

|        |           |           |        |
|--------|-----------|-----------|--------|
| < 20 % | 20 - 50 % | 50 - 80 % | > 80 % |
|--------|-----------|-----------|--------|

### Pollution particulaire

SEC : abattements modérés,  
Corrélation PBDE-MES

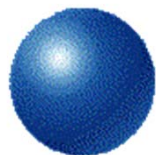
SAM : abattements > 80 %  
(sorption sur boues + clarification)

### Pollutions organique et dissoute

SEC : abattements élevés (bactéries  
+ piégeage particules)

SAM : abattements > 80 %  
(biodégradation + sorption)

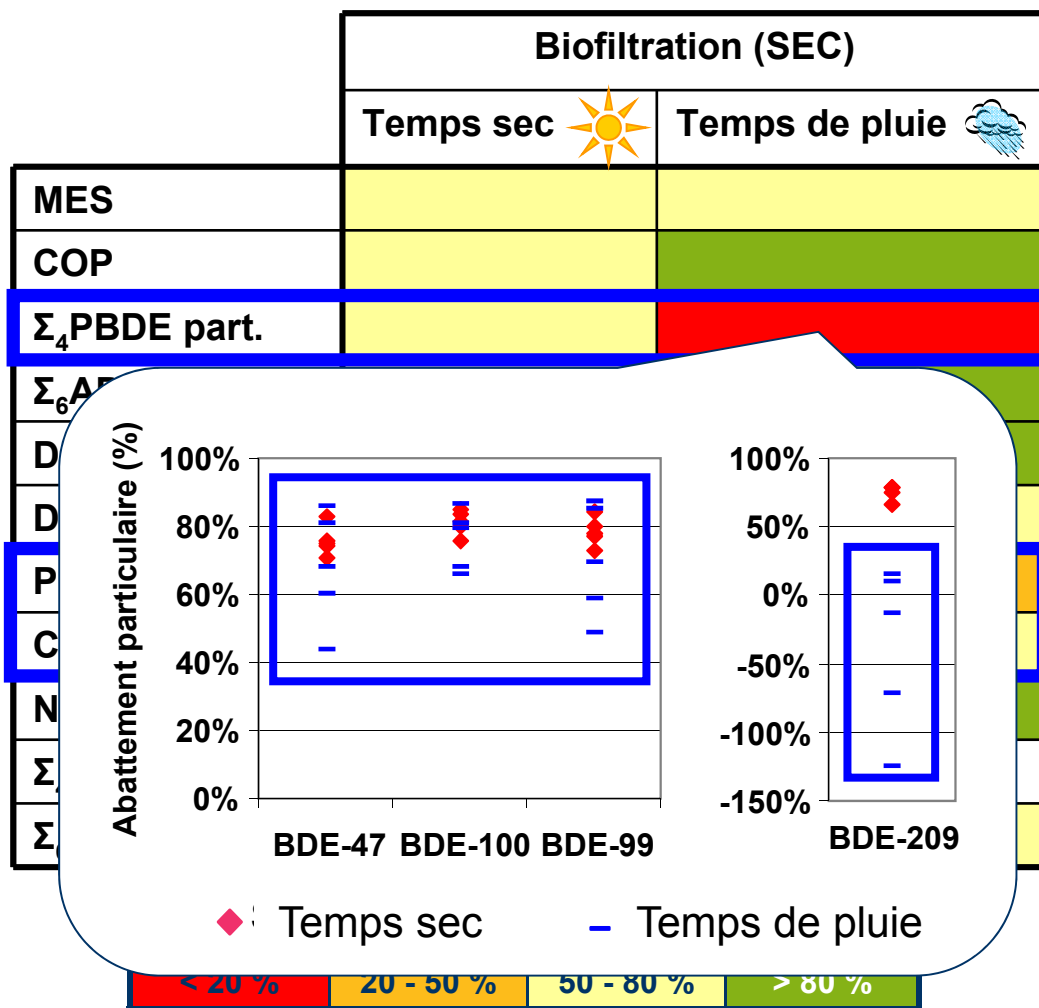
- PBDE phase dissoute < LQ



# Résultats

## ② Efficacité du traitement secondaire

|         |  |
|---------|--|
| SEC/SAM |  |
| SEC     |  |
| SAM     |  |



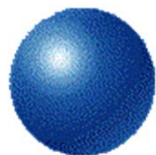
**Performances maintenues dans l'ensemble, sauf**

$\text{PO}_4^{3-}$  et  $\text{NO}_3^-$   
(dérivation : pas de dénitrification)

### Différences pour PBDE

Abattements PBDE légers similaires

Abattement BDE-209 < 15 %  
Teneurs P3 : 3-14 fois > P2  
(discrimination de particules ?)



# Résultats

|         |  |
|---------|--|
| SEC/SAM |  |
| SEC     |  |
| SAM     |  |

## ② Efficacité du traitement secondaire

|                               | Boues activées (SAM) |                |
|-------------------------------|----------------------|----------------|
|                               | Temps sec            | Temps de pluie |
| MES                           |                      |                |
| COP                           |                      |                |
| $\Sigma_4$ PBDE part.         |                      |                |
| $\Sigma_6$ AP part.           |                      |                |
| DBO <sub>5</sub>              |                      |                |
| DCO                           |                      |                |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                      |                |
| COD                           |                      |                |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  |                      |                |
| $\Sigma_4$ PBDE dissous       | -                    | -              |
| $\Sigma_6$ AP dissous         |                      |                |

### Abattements

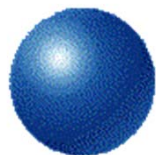
|        |           |           |        |
|--------|-----------|-----------|--------|
| < 20 % | 20 - 50 % | 50 - 80 % | > 80 % |
|--------|-----------|-----------|--------|

Plus grande variabilité

Performances TP  $\searrow$  pour  
MES, COP, DCO, DBO<sub>5</sub>,  
PBDE légers et certains AP

Diminution temps de séjour  
augmentation vitesses  
ascensionnelles

Mais abattements restent  
très élevés



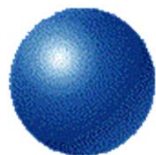
# Conclusions

①

|           | Temps sec  | Temps de pluie  |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Résultats | $[SEC] < [SAM]$                                                                               | $[SEC] \nearrow ; [SAM] \approx$                                                                   |
| SEC       | réseau dilué                                                                                  | réseau unitaire / dépôts                                                                           |
| SAM       | apports industriels                                                                           | réseau mixte, dilution                                                                             |

②

|                             | Temps sec  | Temps de pluie  |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Déc. PC lamellaire (SEC)    | Performances élevées (pollution particulaire)                                                  | Performances maintenues (vitesses asc. limitées)                                                   |
| Décantation classique (SAM) | Performances modérées (pollution particulaire)                                                 | Performances améliorées ( $\nearrow$ vitesses de chute)                                            |



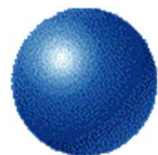
# Conclusions

| 3                    | Temps sec  | Temps de pluie  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | Biofiltration (SEC)                                                                           | Performances maintenues sauf NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et BDE-209                               |
| Boues activées (SAM) | Performances très élevées pour tous les paramètres                                            | Performances légèrement dégradées mais élevées                                                     |

## ● Problème de transfert des polluants dans les boues



Beaucoup de polluants sont transférés de la file eau à la file boues  
Quelle partie est vraiment sorbée ? (30-60% selon littérature)  
Quel devenir pour ces polluants ?



# Merci de votre attention

---

