

# ARMISTIQ

## Action D Traitements des boues (DA, compostage et séchage, lit de séchage)

Réunion de projet

Sophie BESNAULT  
Jean Marc CHOUBERT

15/01/2013



# Choix des STEPs

- **ASE1-Boue** : Sécheur thermique HT  
⇒ *Limay (78), Juin 2010*
- **ASE2-Boue** : Sécheur thermique BT  
⇒ *Espagne, Septembre 2010*
- **ASE3-Boue** : Sécheur solaire  
⇒ *Bellecombe (74), Mai-Juin 2011*
- **ASE4-Boue** : Compostage + DA  
⇒ *Corbeil Essonnes (91), Février-Mars 2011*
- **ASE5-Boue** : Compostage  
⇒ *Moulin sous Touvent (60), Juin-Juillet-Août 2011*
- **ASE6-Boue** : Compostage rustique  
⇒ *Cuverville (27), Mai-Juin 2012*
- **ACA2-Boue** : Lit de séchage planté de roseaux  
⇒ *Andancette (26) et Beaujeu (69)*  
*1 campagne en Décembre 2010*  
*1 campagne en Septembre 2012*  
*(comparaison aux résultats Ampères mars 2007)*

# Avancement des analyses

Campagne	Site	Numéro	Date de prélèvement	Description	Résultats CIRSEE PAS	Résultats LPTC PCB	Résultats LPTC PBDE	Résultats LPTC AKP	Résultats LPTC HAP	Résultats Cemagref Métaux	Résultats Cemagref Hormones
ASE1-Boue	Limay	AMQ-01	23/06/2010	Boue entrée sécheur BVT	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE1-Boue	Limay	AMQ-02	23/06/2010	Boue sortie sécheur BVT	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE1-Boue	Limay	AMQ-03	23/06/2010	Condensat BVT	Ok		Ok		Ok	Ok	Ok
ASE1-Boue	Limay	AMQ-04	22/06/2010	Boue entrée sécheur BVA	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE1-Boue	Limay	AMQ-05	22/06/2010	Boue sortie sécheur BVA	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE2-Boue	Besos	AMQ-11	21/09/2010	Boue entrée sécheur J1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE2-Boue	Besos	AMQ-12	21/09/2010	Boue sortie sécheur J1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE2-Boue	Besos	AMQ-13	21/09/2010	Condensat J1	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE2-Boue	Besos	AMQ-14	22/09/2010	Boue entrée sécheur J2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE2-Boue	Besos	AMQ-15	22/09/2010	Boue sortie sécheur J2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue1	Corbeil	AMQ-51	02/02/2011	Boue flottée J1 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue1	Corbeil	AMQ-52	02/02/2011	Boue digérée J1 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue2	Corbeil	AMQ-53	08/02/2011	Boue flottée J6 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue2	Corbeil	AMQ-54	08/02/2011	Condensat J6	Ok				Ok		Ok
ASE4-Boue2	Corbeil	AMQ-55	09/02/2011	Boue digérée J7 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue2	Corbeil	AMQ-56	09/02/2011	Retour en tête J7	Ok	Ok	Ok		Ok		Ok
ASE4-Boue3	Corbeil	AMQ-57	16/02/2011	Boue flottée J14 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue3	Corbeil	AMQ-58	16/02/2011	Boue digérée J14 (boue liquide)	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE4-Boue3	Corbeil	AMQ-59	16/02/2011	Retour en tête J14	Ok	Ok	Ok		Ok		Ok
ASE4-Boue4	Corbeil	AMQ-60	04/03/2011	Boue digérée deshydratée	Ok			Ok		Ok	Ok
ASE4-Boue4	Corbeil	AMQ-61	04/03/2011	Refus de criblage	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
ASE4-Boue4	Corbeil	AMQ-62	04/03/2011	Déchets verts	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
ASE4-Boue4	Corbeil	AMQ-63	04/03/2011	Mélange à fermenter	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
ASE4-Boue5	Corbeil	AMQ-64	14/03/2011	Condensat 1	Ok	Ok	Ok		Ok		Ok
ASE4-Boue5	Corbeil	AMQ-65	15/03/2011	Condensat 2	Ok	Ok	Ok		Ok		Ok
ASE4-Boue6	Corbeil	AMQ-66	18/03/2011	Mélange fermenté	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
ASE4-Boue6	Corbeil	AMQ-67	25/03/2011	Mélange en maturation	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
ASE4-Boue7	Corbeil	AMQ-68	04/04/2011	Compost	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		Ok

# Avancement des analyses

Campagne	Site	Numéro	Date de prélèvement	Description	Résultats CIRSEE PAS	Résultats LPTC PCB	Résultats LPTC PBDE	Résultats LPTC AKP	Résultats LPTC HAP	Résultats Cemagref Métaux	Résultats Cemagref Hormones
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-69	19/05/2011	Boue état 0	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-70	19/05/2011	Boue deshydratée	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-71	24/05/2011	Boue en cours de séchage 1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-72	27/05/2011	Boue en cours de séchage 2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-73	01/06/2011	Boue en cours de séchage 3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-74	09/06/2011	Boue en cours de séchage 4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE3-Boue	Bellecombe	AMQ-75	15/06/2011	Boue séchée	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-76	27/06/2011	Boue brute	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-77	27/06/2011	Refus de criblage 1	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-78	27/06/2011	Mélange à composter	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-79	29/06/2011	Condensat 1	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-80	04/07/2011	Boue en cours de fermentation 1	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-81	04/07/2011	Condensat 2		Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-82	11/07/2011	Boue en cours de fermentation 2	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-83	18/07/2011	Mélange avant criblage	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-84	18/07/2011	Mélange criblé	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-85	18/07/2011	Refus de criblage 2	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-86	01/08/2011	Boue en cours de maturation	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE5-Boue	Moulin	AMQ-87	23/08/2011	Compost	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-88	09/05/2012	Boue brute	Ok						
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-89	09/05/2012	Refus de criblage	Ok						
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-90	15/05/2012	Mélange à composter	Ok						
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-91	09/05/2012	Déchet vert	Ok						
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-92	14/06/2012	Mélange en compostage	Ok						
ASE6-Boue	Cuerville	AMQ-128	27/06/2012	Compost	Ok						
ACA2-Boue1	Beaujeu-Andancette	AMQ-255	29/11/2010	Brut (boue pâteuse)	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ACA2-Boue1	Beaujeu-Andancette	AMQ-256	29/11/2010	Brut (boue pâteuse)	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ACA2-Boue1	Beaujeu-Andancette	AMQ-257	29/11/2010	Brut (boue pâteuse)	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ACA2-Boue1	Beaujeu-Andancette	AMQ-258	29/11/2010	Brut (boue pâteuse)	Ok	Ok	Ok		Ok	Ok	Ok
ACA2-Boue2	Beaujeu-Andancette			Brut (boue pâteuse)							

# Campagnes séchage

- ▶ Drying processes : sampling campaigns on 3 sites
  - ▶ High temperature NARA palette dryer [120 C] (France) *21 to 24 June 2010*
  - ▶ Low temperature STC belt dryer [72 C] (Spain) *20 to 24 September 2010*  
4 sludge samples, 1 condensate sample
  - ▶ Heliantis greenhouse (France) *May 2011*  
6 sludge samples, 0 condensate samples



# Fonctionnement des sécheurs

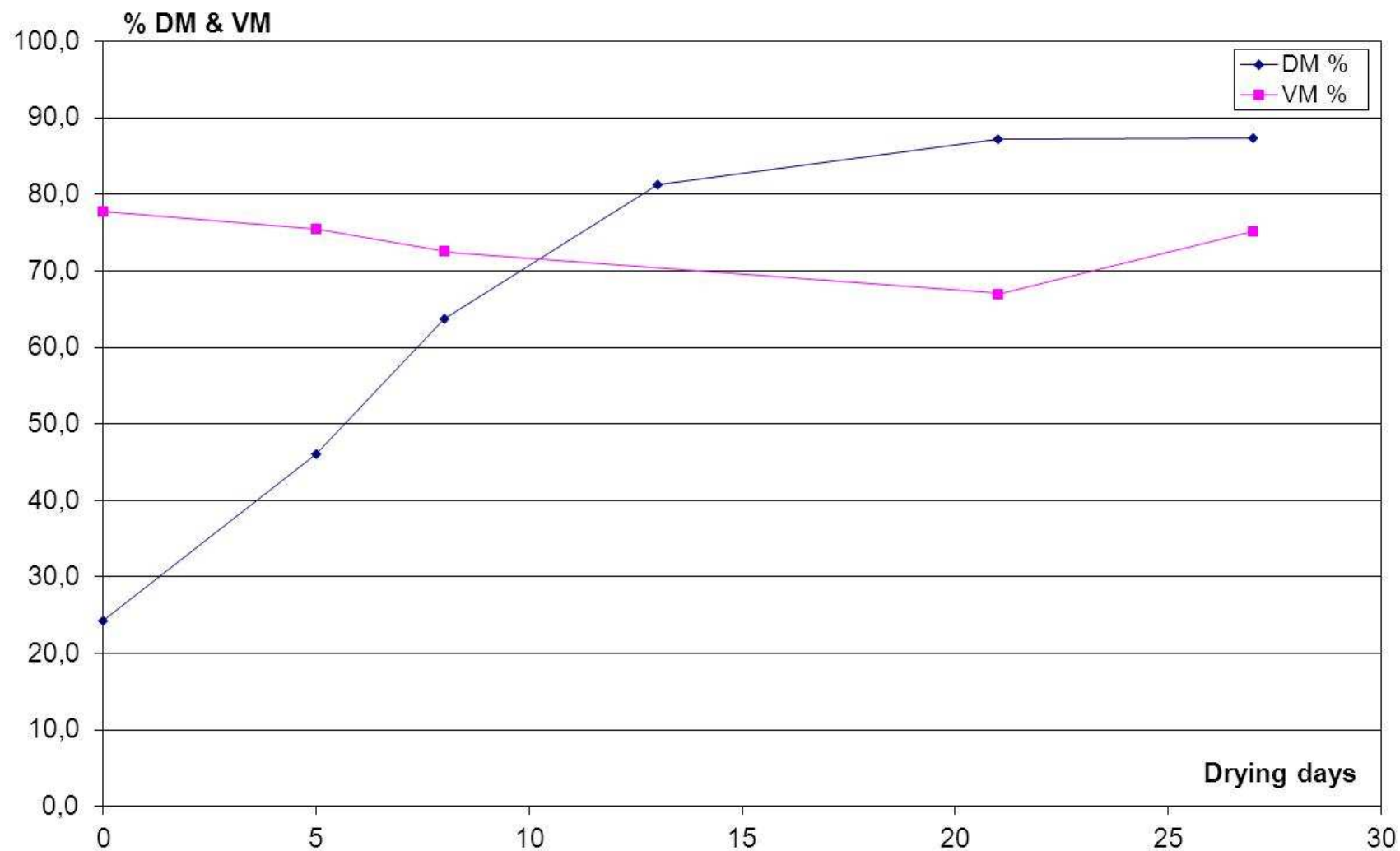
		MS %	MV %	MM
AMQ-01	Boue entrée sécheur ligne 2	36,5	65,4	34,6
AMQ-02	Boue sortie sécheur ligne 2	97,9	64,1	35,9
AMQ-04	Boue entrée sécheur ligne 1	20,5	63,8	36,2
AMQ-05	Boue sortie sécheur ligne 1	91,5	58,4	41,6
AMQ-11	Boue entrée sécheur J1	31,3	68,5	31,5
AMQ-12	Boue sortie sécheur J1	88,8	69,9	30,1
AMQ-14	Boue entrée sécheur J2	32,6	65,7	34,3
AMQ-15	Boue sortie sécheur J2	92,1	66,4	33,6

Marque	GMF
Type de sécheur	NARA 14 W 190
Nombre	2
Type de sécheur	Sécheur strictement indirect
Capacité évaporatoire	3,4 T H <sub>2</sub> O/h
Surface d'échange	190 m <sup>2</sup>
Temps de séjour	5h
Température	120°C
Recirculation des boues	Pas de recirculation
Charge entrante	76 m <sup>3</sup> /j
Charge entrante	27840 kg MS/j
Condensats	48 m <sup>3</sup> /j

Marque	STC
Type de sécheur	Sécheur à bande direct
Nombre	4
Capacité évaporatoire	4 T H <sub>2</sub> O/h
Temps de séjour	1,8 h
Température	72°C
Recirculation des boues	Pas de recirculation
Charge entrante	144 m <sup>3</sup> /j
Charge entrante	45072 kg MS/j
Condensats	90 m <sup>3</sup> /j

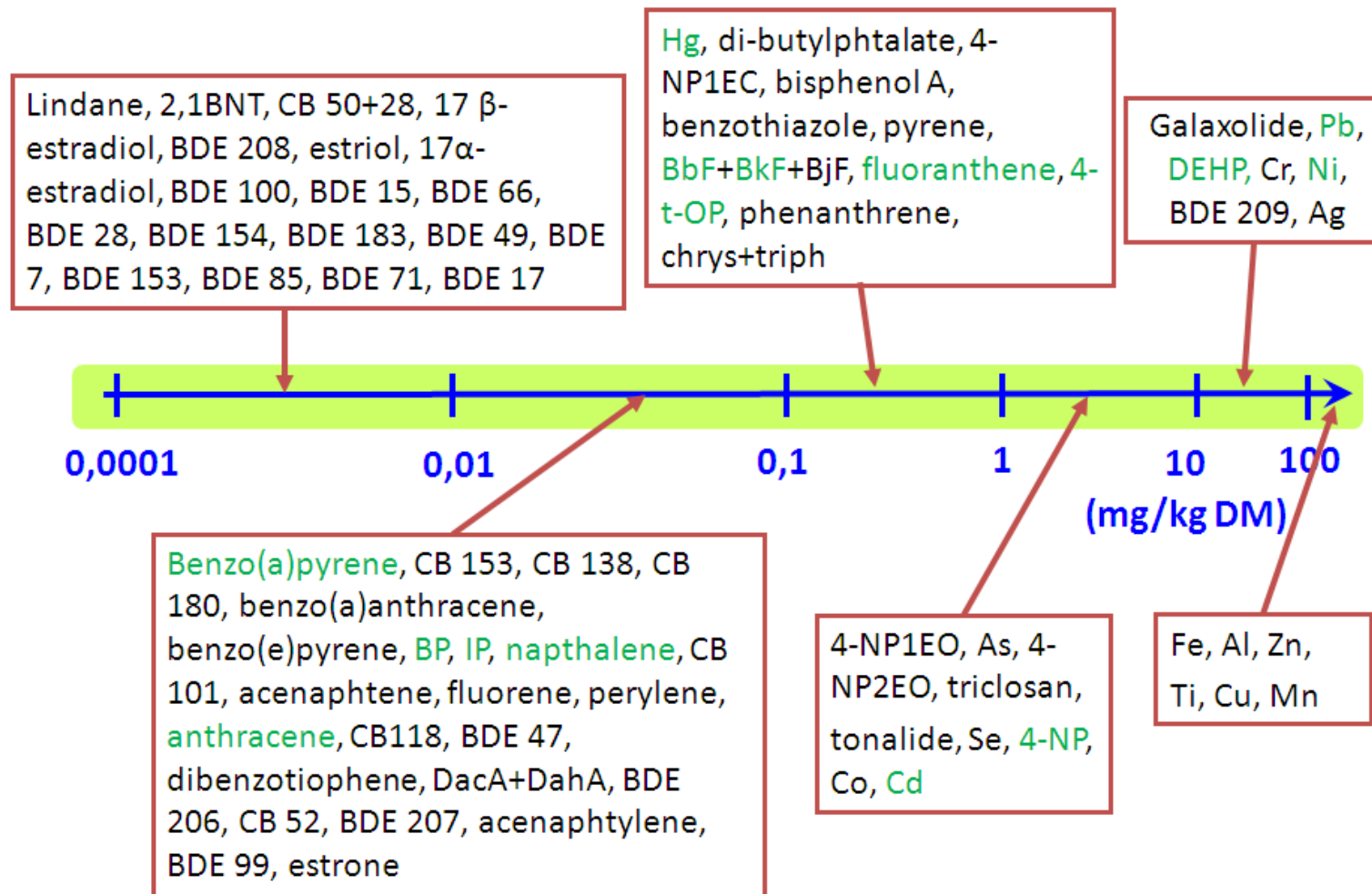


# Fonctionnement des sécheurs



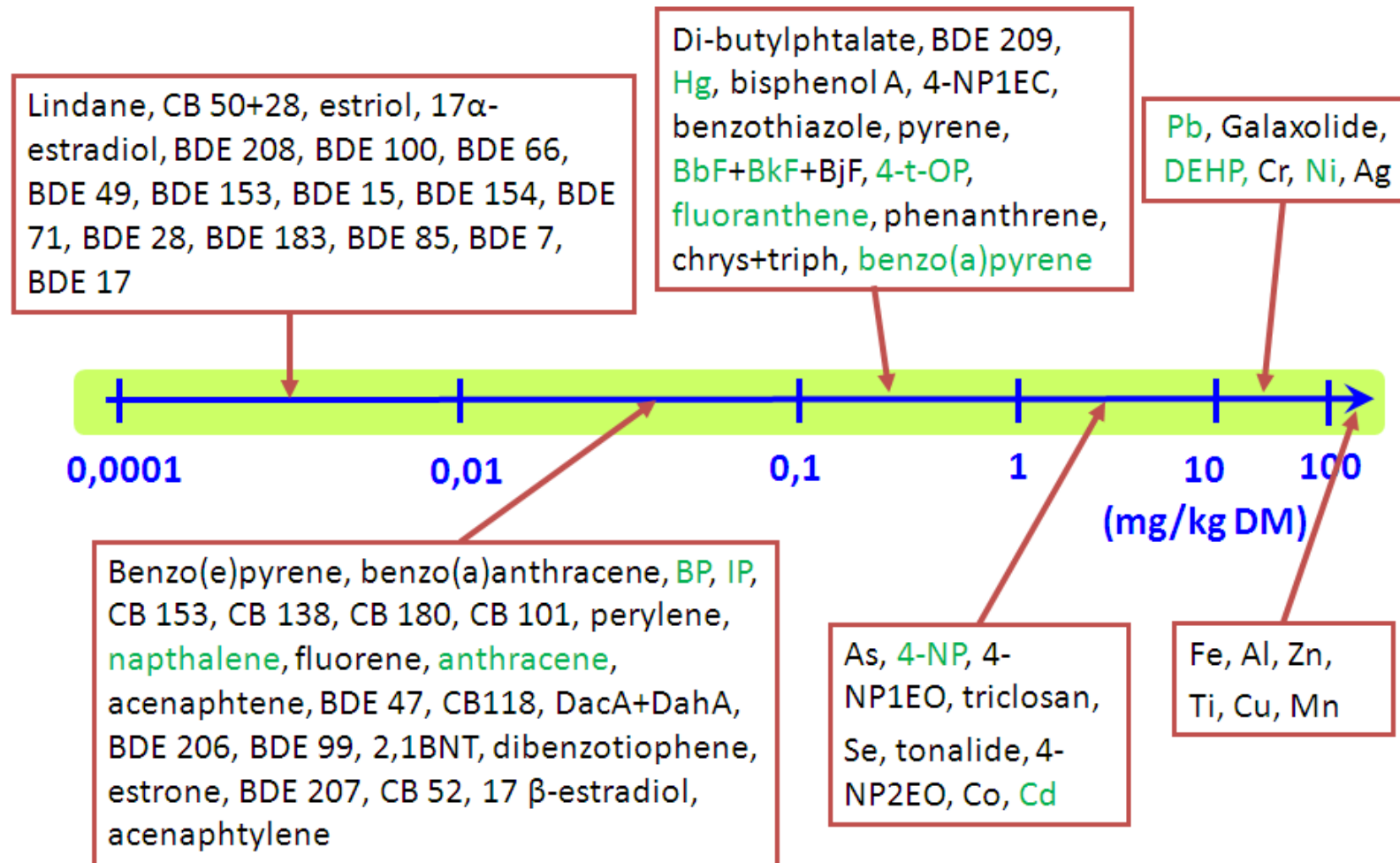


# Concentrations dans les boues en entrée de séchage

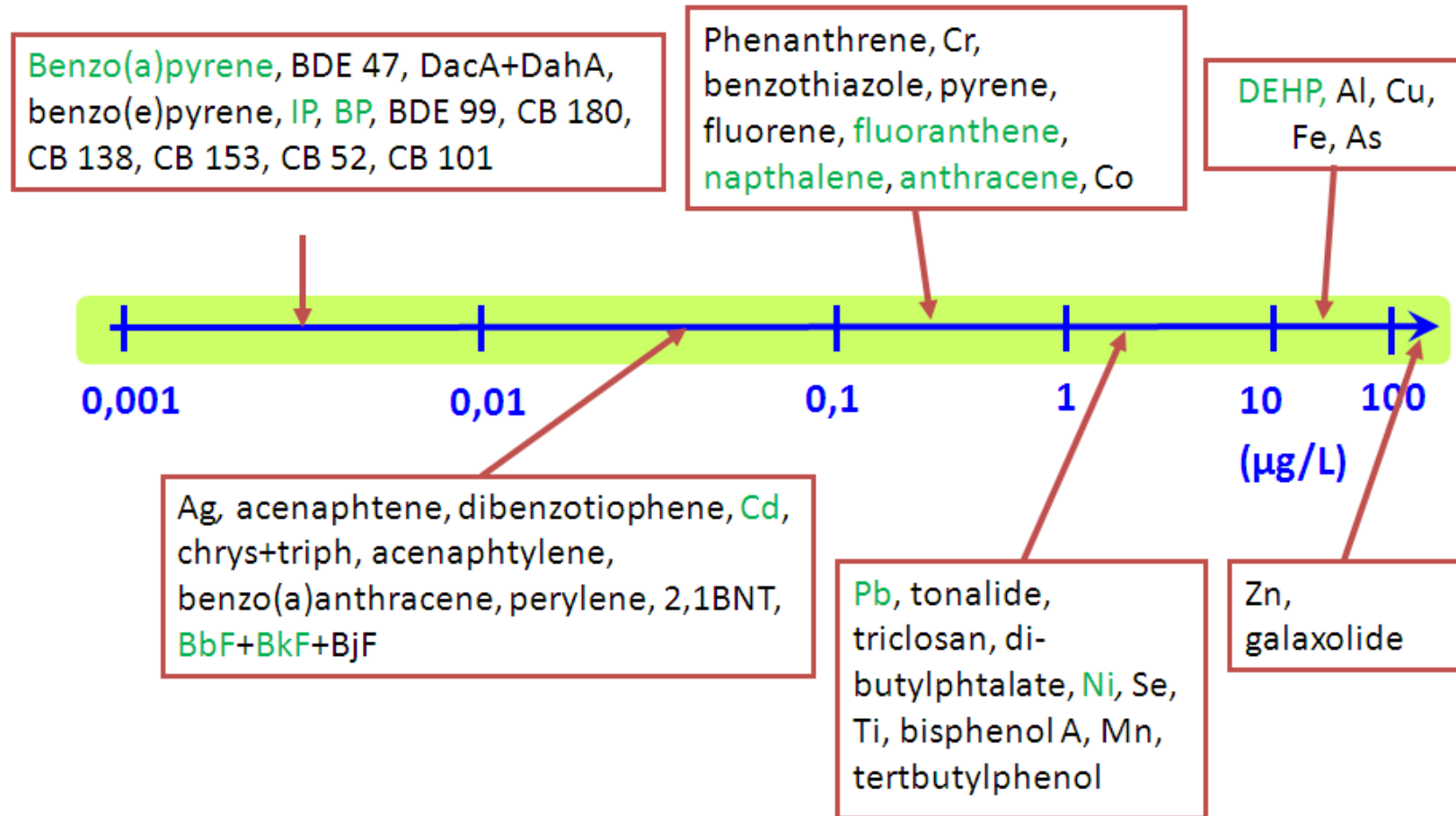




# Concentrations dans les boues en sortie de séchage



# Concentrations dans les condensats de séchage



# Reproductibilité et influence c° entrée

Même catégorie pour la plupart mais exceptions

Concentration plus élevée → meilleure élimination

Line 2, C° plus élevées en PCBs, meilleure élimination

Line 1, C° plus élevées en HAP mais moins bonne élimination

Site	Low T° (B)	Low T° (B)
Substance	Day 1	Day 2
Napthalene	52	65
Dibenzothiophene	19	27
Anthracene	15	26
Acenaphtene	46	48
Fluorene	32	45
Chrysene + Triphenylene	61	111
BDE 208	1.7	3.1
Di-Butylphtalate	423	738

R<-30%	-30%<R<30%	>30%

Site	High T° (A)	High T° (A)
Substance	Line 1	Line 2
Napthalene	41	11
Dibenzothiophene	21	4
Phenanthrene	219	33
Anthracene	47	6
Acenaphthylene	26	5
Acenaphtene	23	9
Fluorene	42	3
Fluoranthene	269	85
Pyrene	362	128
Benzo(a)anthracene	137	62
Chrysene + Triphenylene	221	87
CB 101	20	135
CB 118	19	27
CB 153	25	369
CB 138	19	330

# Influence de la T° et du temps de séjour

Sécheur HT permet une meilleure élimination des molécules volatiles et semi-volatiles (cste de H >1)

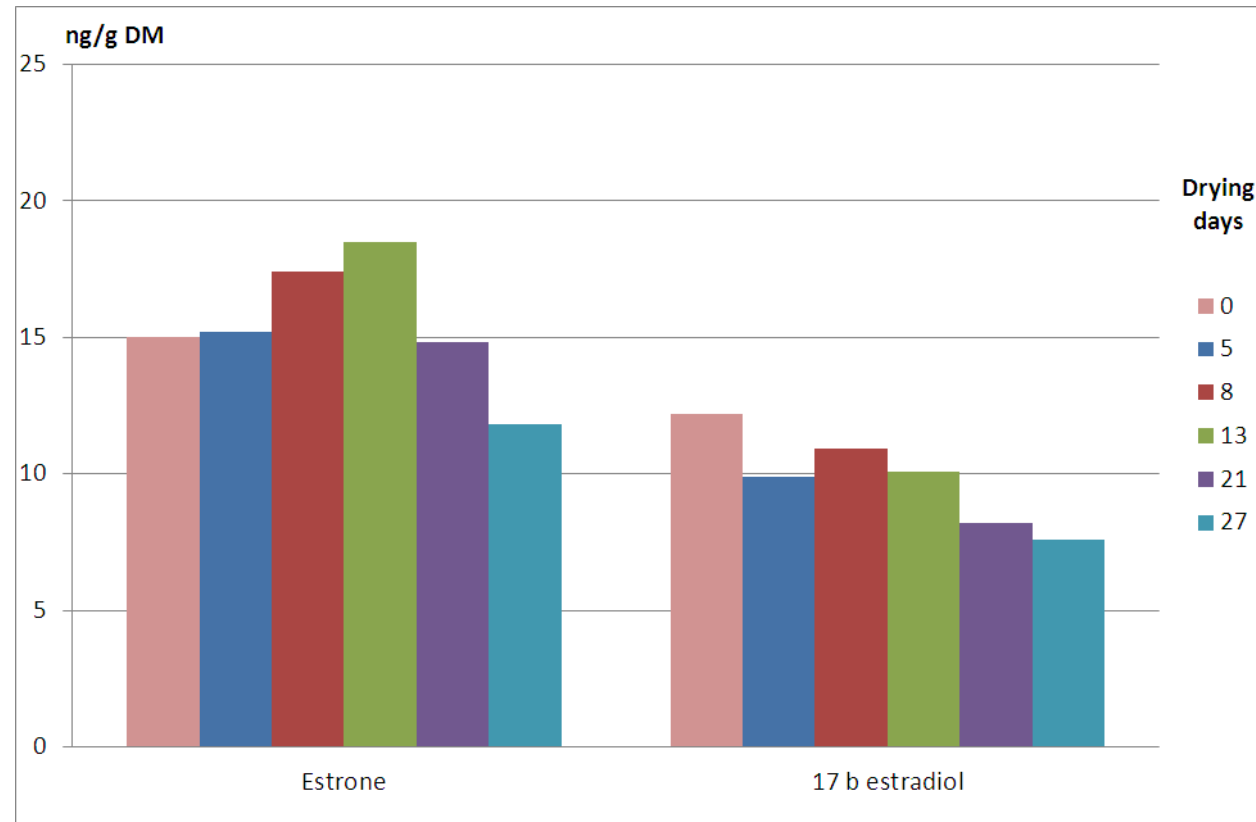
Site	Henry's law constant	High T° (A)	Low T° (B)
Substance	Pa.m <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup>	Line 2	Day 1
Hg	1,54*10 <sup>-3</sup>		
Napthalene	44,6		
Acenaphtene	14,7		
Fluorene	9,2		
4-Nonylphenol monoethoxylate	11		
4-ter octylphenol	0,7		
CB 50+28	12,6/20,3		
Galaxolide	13,2		
Tonalide	14,1		
Bisphenol A	4,03*10 <sup>-6</sup>		

R<-30%	-30%<R<30%	>30%

# Rendements d'élimination par famille

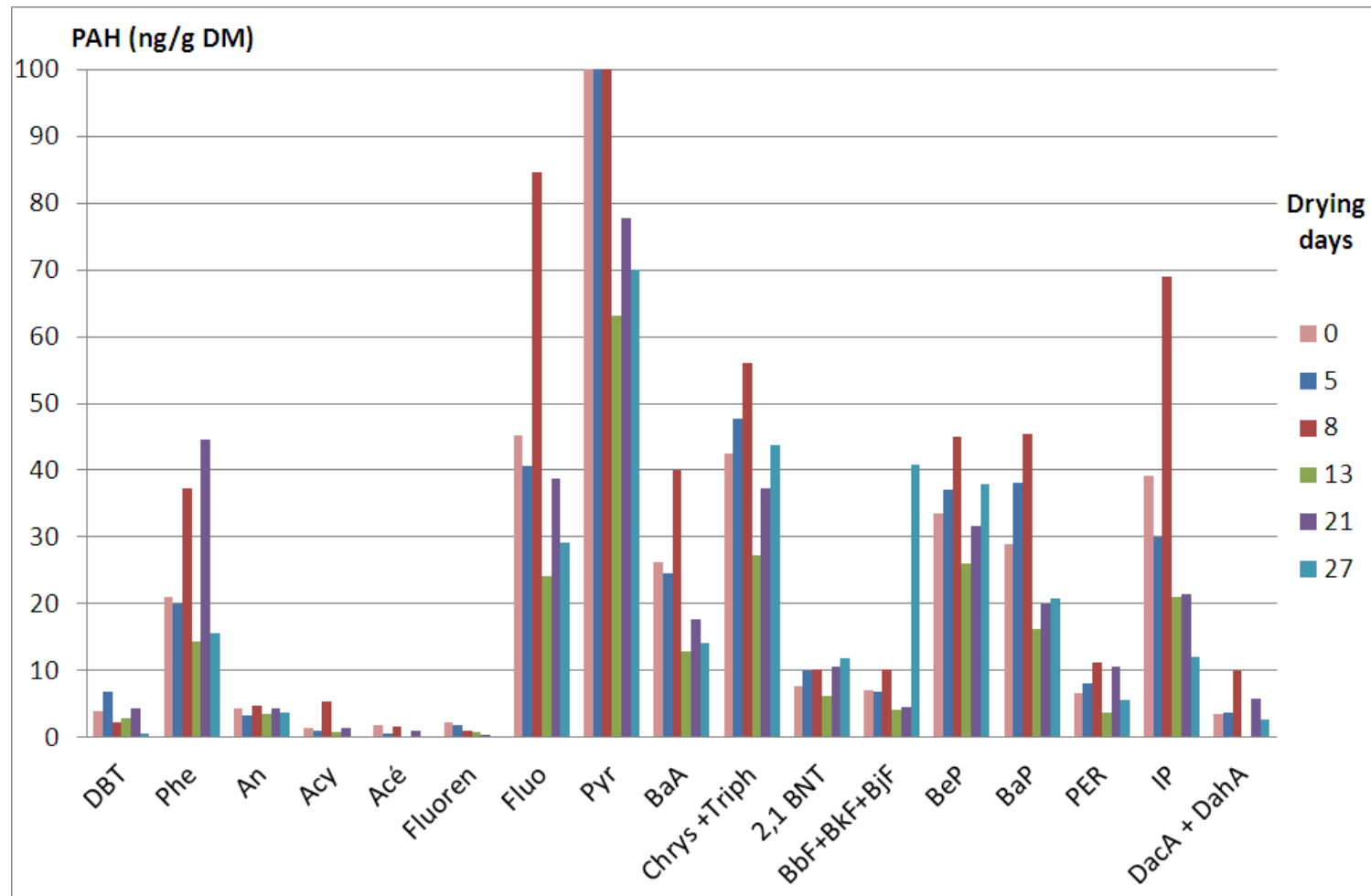
Family	High T° dryer	Low T° dryer	Solar dryer
Metals	No effect (except Hg volatised)	No effect	No effect
Hormones	No effect (very low concentrations)	Not calculable	Very slight decrease (very low concentrations)
PAH	Variable behaviour (initial concentration). Low molecular weight PAH are well removed	Variable behaviour	Low molecular weight PAH are well removed
Alkylphenols	4NP2EO and 4NP1EC are well removed, degraded in 4 NP 4 tOP is partly removed	4NP2EO and 4NP1EC are well removed, degraded in 4 NP 4 tOP accumulates in sludge	4NP2EO and 4NP1EO are well removed, degraded in 4 NP
PCB	Partly removed, variable behaviour according to initial concentration	No effect, except CB 50+28 which accumulates	Partly removed (possible biodegradation)
PBDE	Variable behaviour	Variable behaviour	High molecular weight PBDE are degraded in low molecular weight ones
Others	Galaxolide and tonalide are well removed, bis A accumulates in sludge	No effect	No effect, except di-butylphtalate, DEHP and bis A which accumulate in sludge

# Rendements d'élimination par famille



- > Hormones présentes en très faibles concentrations dans la boue
- > Légère réduction lors du séchage solaire

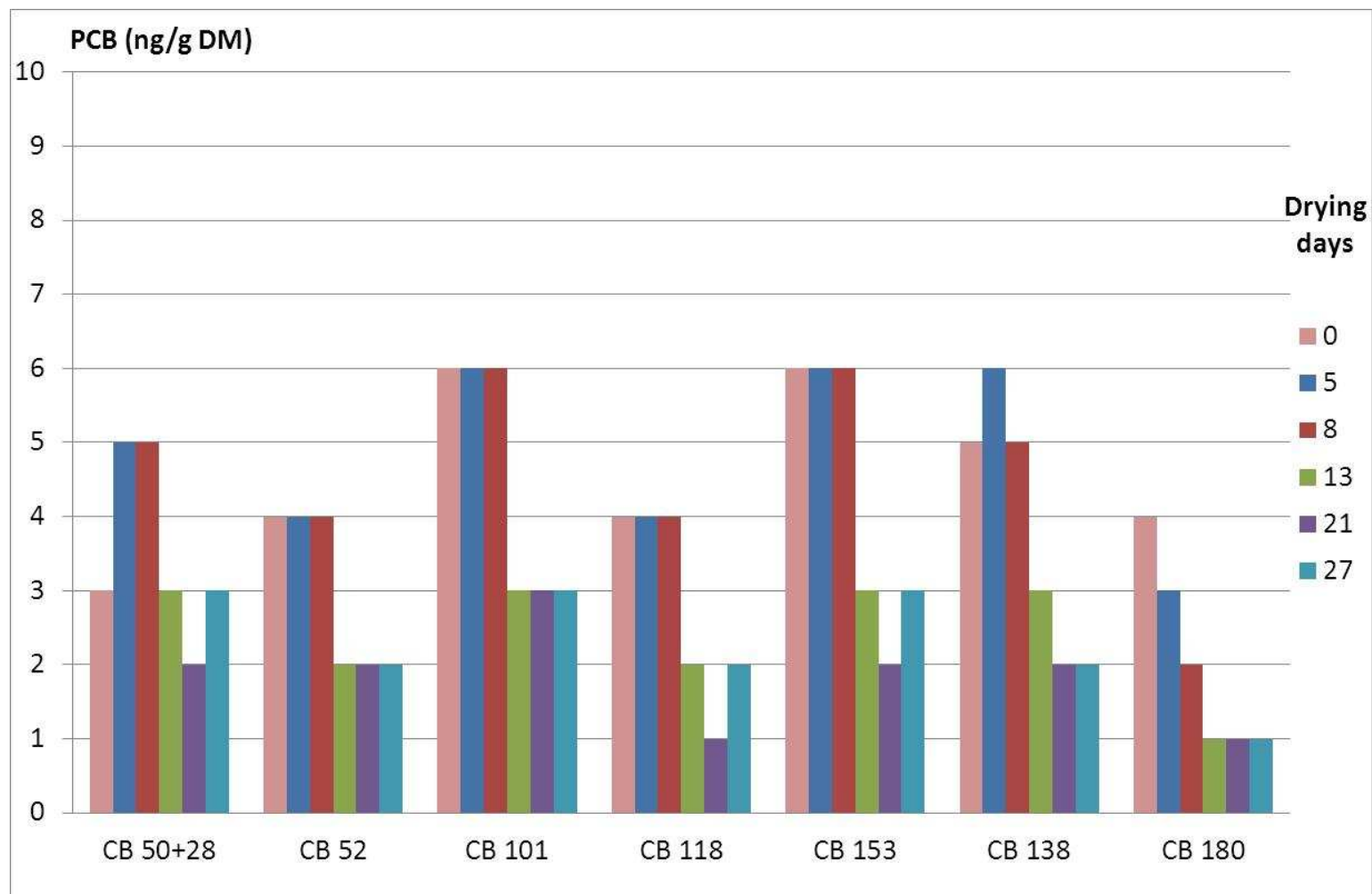
# Rendements d'élimination par famille



- > Comportement variable des HAPs lors du séchage solaire
- > Globalement, concentrations en sortie < C° en entrée



# Rendements d'élimination par famille



- > Volatilization of PCB (biodegradation ?) during solar drying
- > Biodégradation possible entre 12 et 25°C selon l'INERIS
- > C° très faibles

# Coefficient de transfert vers la phase soluble

	High T° (A) Line 2		Low T° (B) Day 1	
Site	K transfer	Removal efficiency	K transfer	Removal efficiency
Substance	Condensate/inlet sludge		Condensate/inlet sludge	
Hg	NA		NA	
Napthalene	2,83%		0,23%	
Acenaphtene	3,02%		0,10%	
Fluorene	28,20%		0,13%	
4-Nonylphenol monoethoxylate	NA		NA	
4-ter octylphenol	NA		NA	
CB 50+28	NA		NC	
Galaxolide	0,69%		0,07%	
Tonalide	0,54%		0,06%	
Bisphenol A	NC		1,93%	

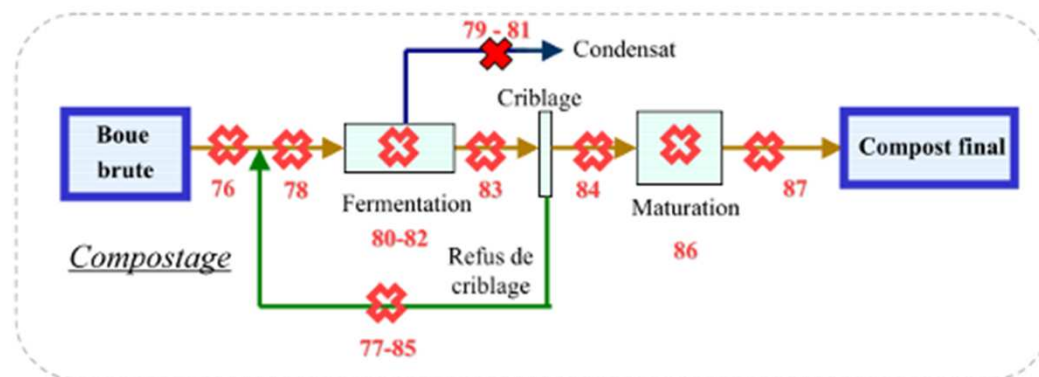
- > Coefficient de transfert très faible pour la plupart des molécules, excepté HAP à faible poids moléculaire
- > Certaines molécules bien éliminées de la phase boue ne sont pas recondensées, certaines sont volatilisées (Hg), d'autres peuvent être dégradées (4NP1EO)
- > Ktransfer sécheur HT > Ktransfer sécheur BT → plus de volatilisation et moins de fuites

# Conclusions séchage

- Malgré les précautions prises pour éviter les incertitudes liées à l'analyse et à l'échantillonnage et même si globalement les rendements sont dans les mêmes catégories pour la plupart des molécules, les résultats ne sont pas exactement reproductibles (jours 1 & 2 sécheur BT).
- Les séchages HT, BT et solaire permettent la volatilisation/dégradation de certaines molécules mais seulement partiellement
- Le sécheur HT permet de réduire la concentration dans la boue d'un nombre plus élevé de molécules, en particulier les volatiles
- Température, temps de séjour des boues et concentrations initiales sont des facteurs clés pour expliquer les rendements
- Toutes les molécules qui sont éliminées des boues ne sont pas retrouvées dans les condensats → volatilisation/dégradation

# Compostage

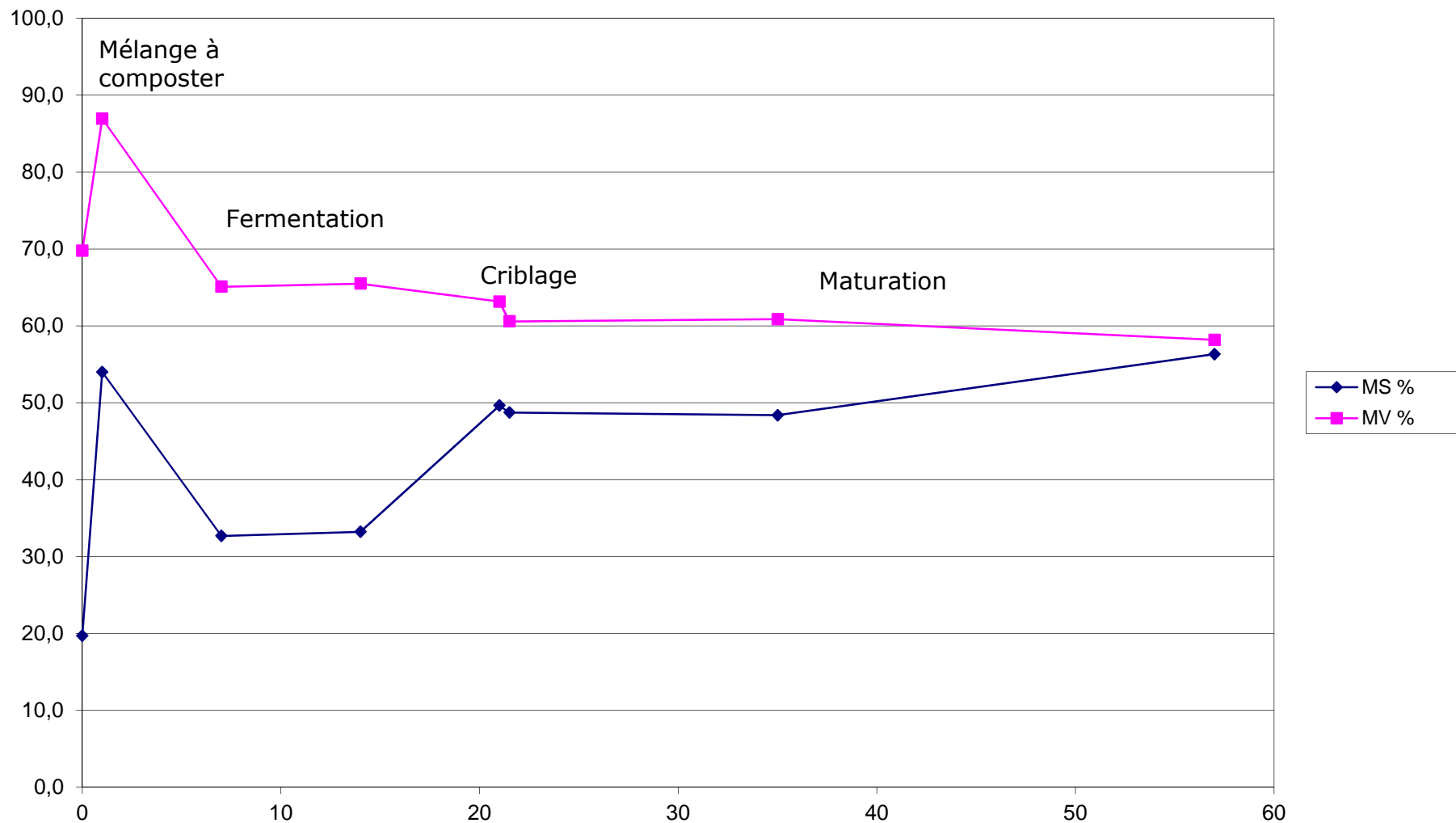
## Site E (Compostage)



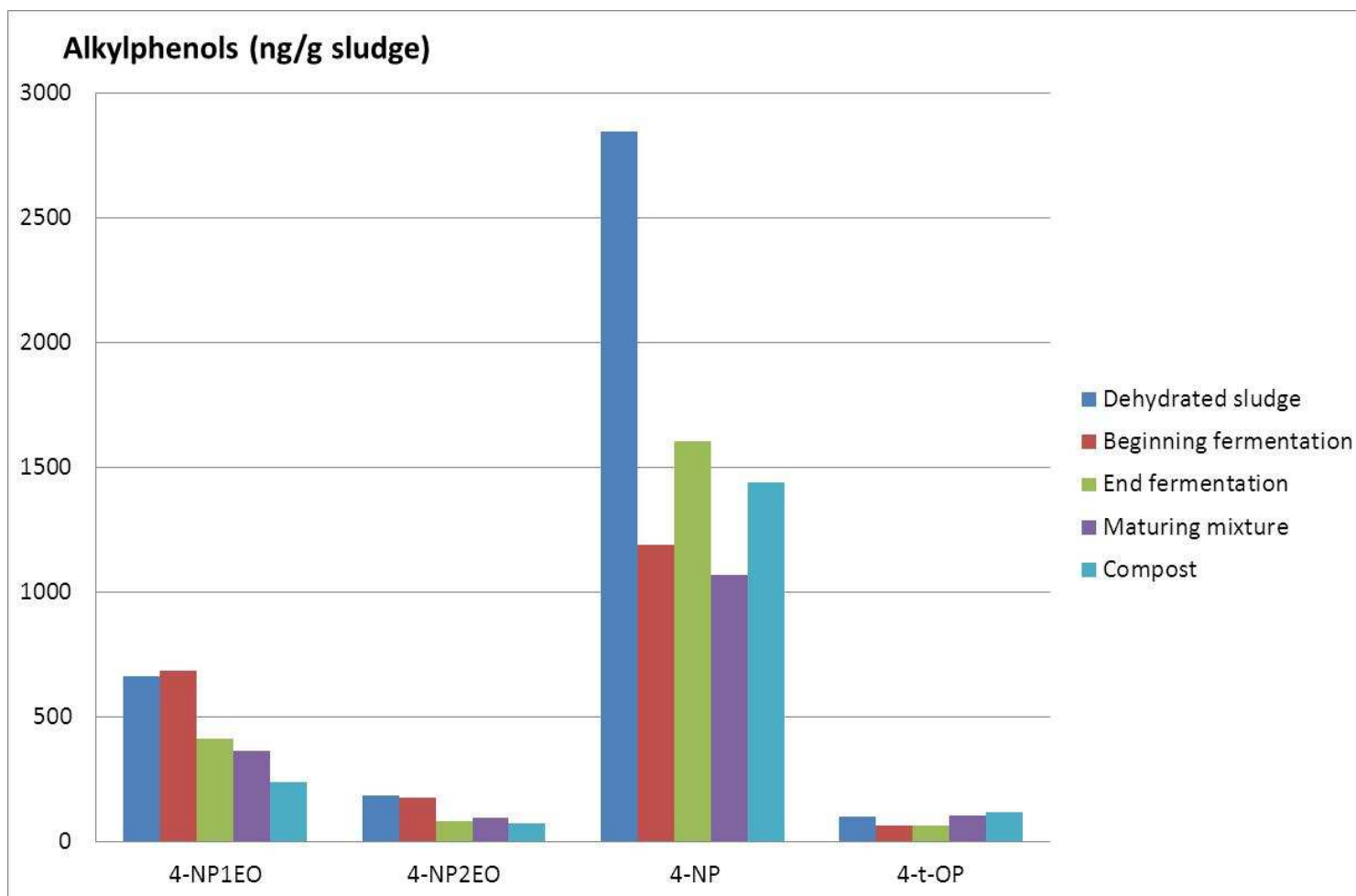
### Prélèvements

- 76 Boue brute
- 77-85 Refus de criblage
- 78 Mélange initial
- 79-81 Condensat
- 80-82 Mélange en fermentation
- 83 Mélange avant criblage
- 84 Mélange criblé
- 86 Mélange en maturation
- 87 Compost final

# Fonctionnement du compostage



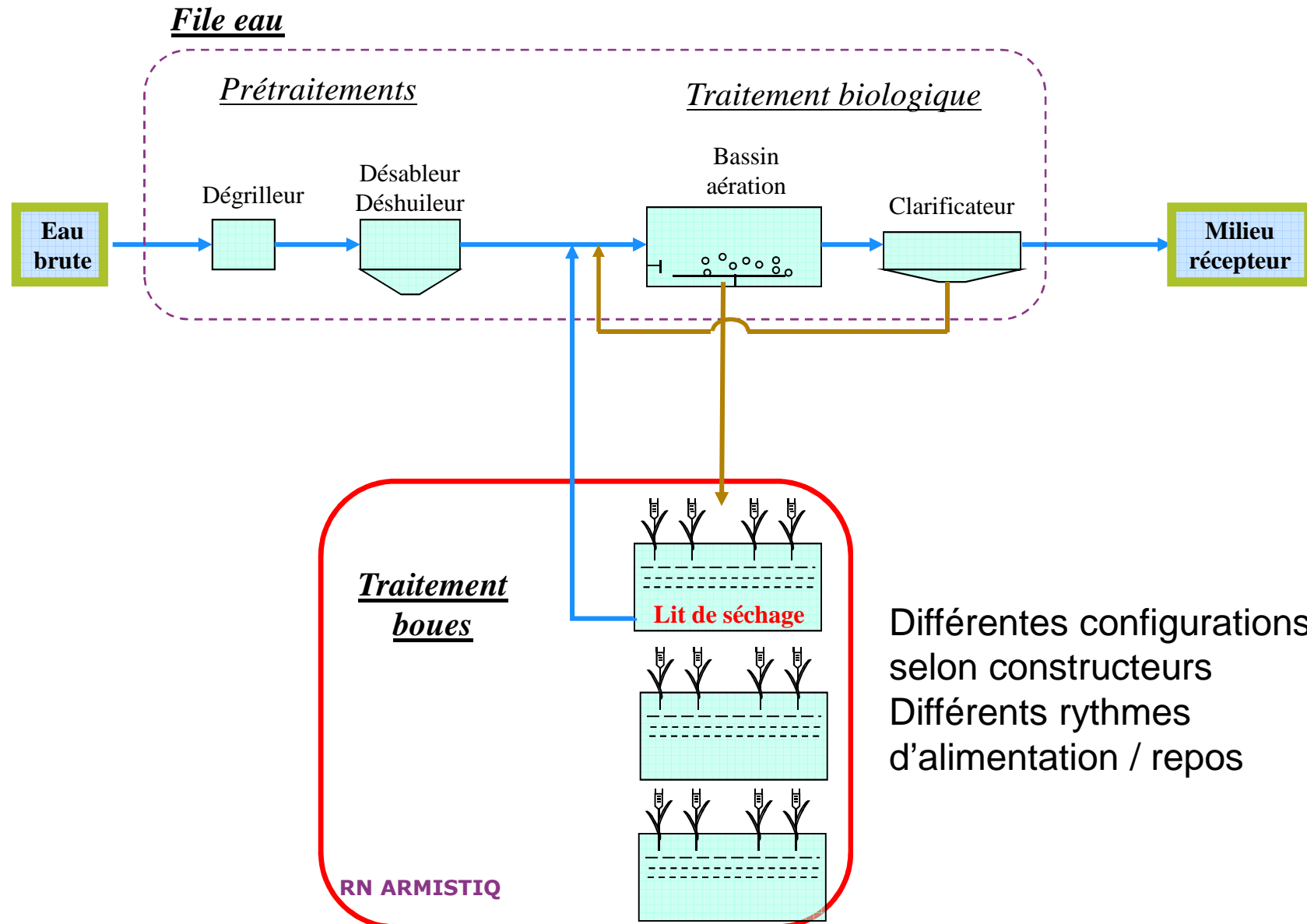
# Compostage



Production of NP from NP1EO and NP2EO degradation during composting but also partial NP degradation

# Lit de séchage, planté de roseaux

## filière de traitement de boues petites collectivités





# Lit de séchage, planté de roseaux

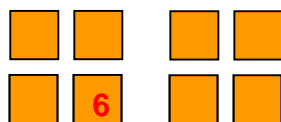
## filière de traitement de boues petites collectivités



# Lits de séchage, planté de roseaux

## STEP Beaujeu (2.900 EH)

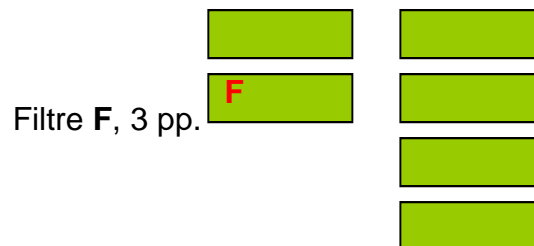
8 lits, 75 m<sup>2</sup> chacun  
30 kgMS/m<sup>2</sup>.an  
Procédé SAUR



Filtre 6, 1 pp.

## STEP Andancette (13.000 EH)

8 lits de 470 m<sup>2</sup> chacun  
50 kgMS/m<sup>2</sup>.an  
Procédé SINT

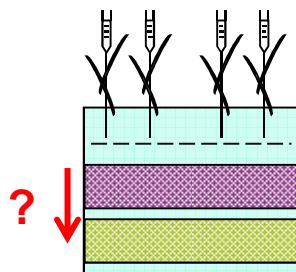


Filtre F, 3 pp.

## Campagne de prélèvements

**Déc. 2010**

(50-60 cm de boues)



2 horizons étudiés

Milieu

Fond

**ACA2-Boue1**

Temps séjour boues 6 ans

## Echantillonnage :

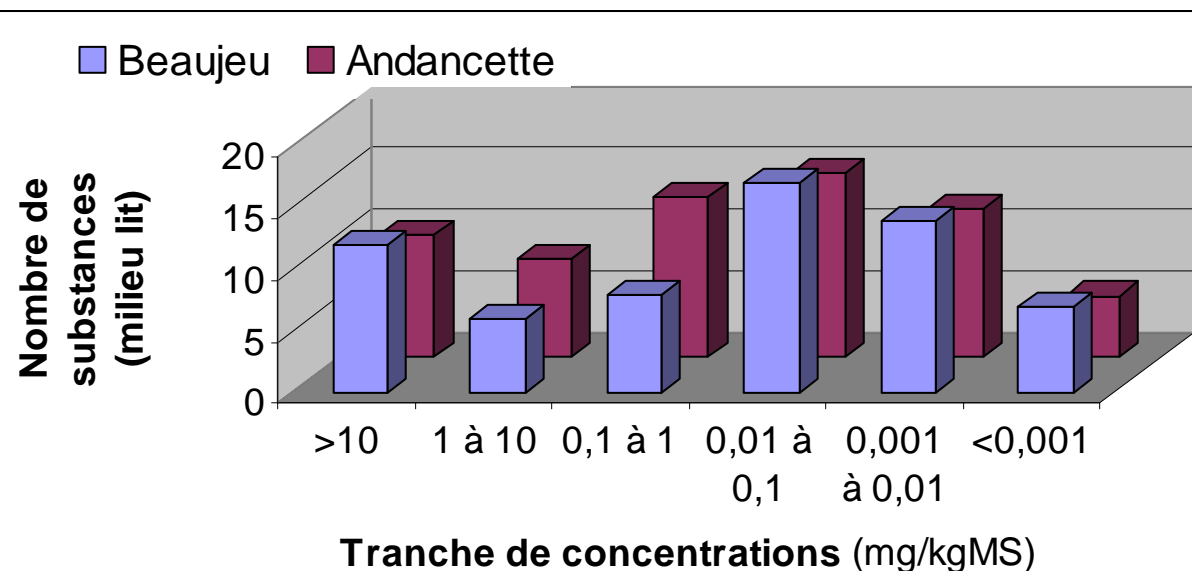
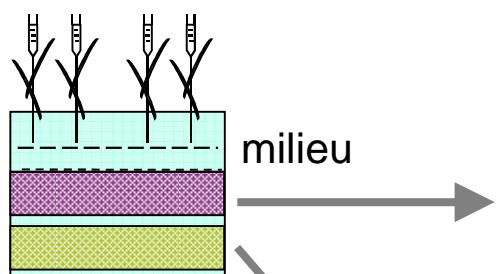
→ échantillon représentatif par horizon (mélange d'échantillons individuels)



# Lit de séchage, planté de roseaux

Longs temps séjour → réduction micropolluants hydrophobes ?

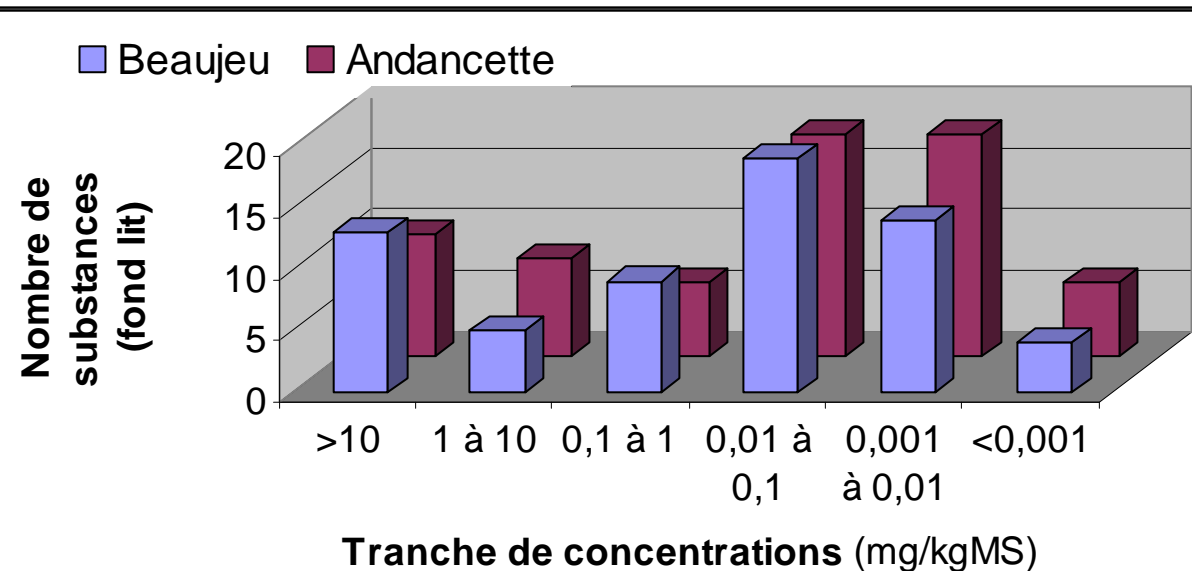
Prélèvements  
de Déc. 2010



64 – 66  
substances  
quantifiées

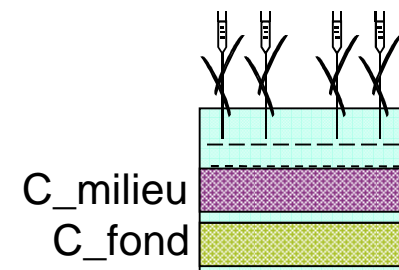
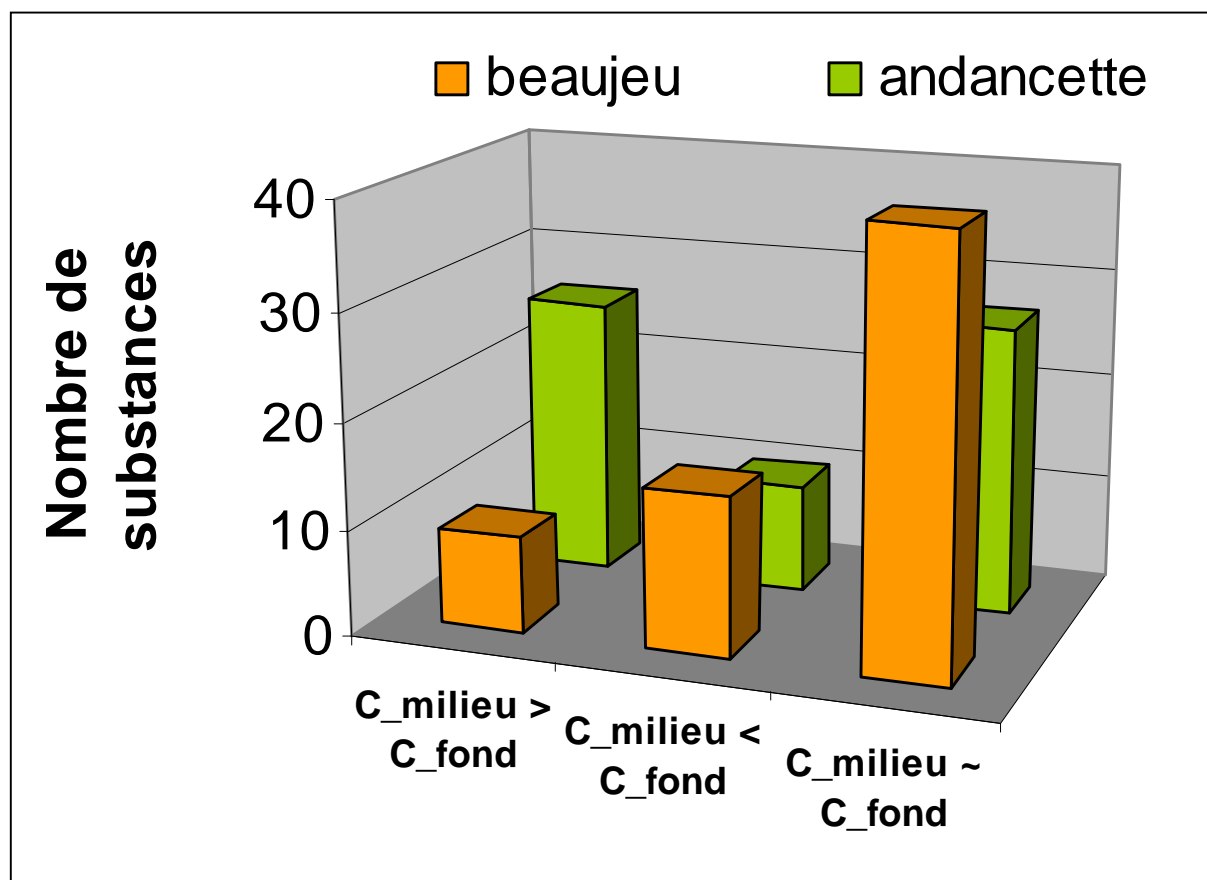
72 substances  
recherchées

(AKP analyses en  
cours)



# Lit de séchage, planté de roseaux

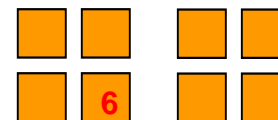
Longs temps séjour → réduction micropolluants hydrophobes ?



→  $C_{milieu} / C_{fond}$

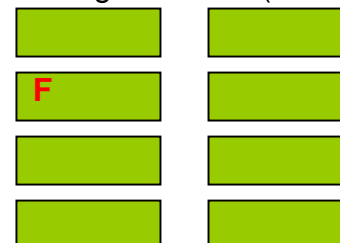
## STEP Beaujeu

8 lits, 75 m<sup>2</sup> chacun  
30 kgMS/m<sup>2</sup>.an (SAUR)



## STEP Andancette

8 lits de 470 m<sup>2</sup> chacun  
50 kgMS/m<sup>2</sup>.an (SINT)





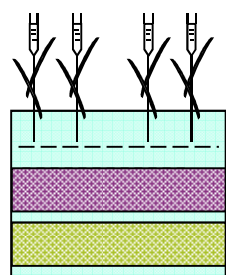
# Lits de séchage planté de roseaux

## Evolution temporelle des concentrations ?

**2<sup>e</sup> campagne réalisée en sept 2012 :**

**Déc. 2010**

(50-60 cm de boues)

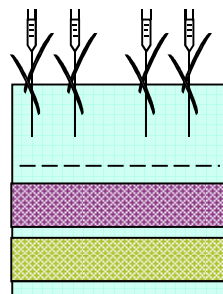


**ACA2-Boue1**

Temps séjour boues 6 ans

**Sept. 2012**

(70-80 cm de boues)



**ACA2-Boue2**

Temps séjour boues 8 ans  
(curage du lit)



2<sup>e</sup> campagne : sept-12  
Broyage, Envoi aux labo (fin déc-12)  
Analyses en cours

