

ARMISTIQ

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

Réunion de projet

Sophie BESNAULT

9/02/2012



Action D : Filières de traitement des boues

Contexte :

- Plupart des micropolluants éliminées de l'eau (70%) adsorbés sur boues
- Abattement possible grâce aux procédés de traitement des boues

Objectifs :

- Etudier le devenir des SPE à travers les procédés biologiques (compostage, lits de séchage planté de roseaux, DA) et thermiques (séchages thermiques et solaires)
- Mettre en regard coûts et contexte (capacité, exigences)
- Evaluer l'impact environnemental de ces procédés



Molécules suivies

AKP (6)	4-t-butylphenol, 4-t-OP, 4-NP, 4-NP1EO, 4-NP2EO, 4-NP1EC
HAP (16)	Naphtalène, acenaphtylène, acenaphtène, fluorène, phenanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(g,h,i)perylène, indeno(1,2,3-cd)pyrène
Hormones (5)	Oestrone (E1), 17 α -oestradiol (Ea2), 17 β -oestradiol (Eb2), oestriol (E3), ethinylestradiol (EE2)
PCB (8)	CB 28, CB 50, CB 52, CB 101, CB 118, CB 153, CB 138, CB 180
Métaux (14)	Al, Ti, Cr, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Se, As, Ag, Cd, Pb, Hg
PBDE (38)	BDE-3, -7, -15, -17, -28, -47, -49, -66, -71, -77, -85, -99, -100, -119, -126, -138, -153, -154, -156, -183, -184, -191, -196, -197, -206, -207, -209, -194, -195, -198, -199, -200, -201, -202, -203, -204, -205, -208
Autres (8)	DEHP, benzothiazole, n-dibutyl phthalate, pentachlorophénol, bisphénol A, triclosan, galaxolide, tonalide

95 substances

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
⇒ *Cuverville (27), Avril-Mai-Juin 2012 ?*
- **ACA2-Boue** : Lit de séchage planté de roseaux (LSPR)
=> *Andancettes (26), Beaujeu (69): Décembre 2010 (ACA2-Boue1)*
=> *Idem juillet 2010 (ACA2-Boue2), Vidange (curage andancette)*

Campagnes

ASE1-Boue : Sécheur thermique haute température

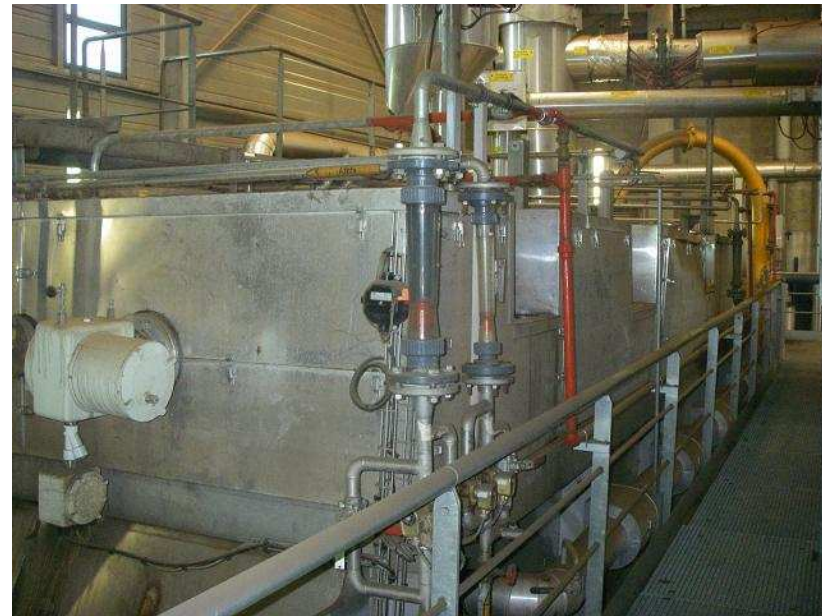
FAITE du 21 au 24 juin 2010

Objectif :

- Déterminer les évolutions des concentrations en substances à travers le séchage HT

Sécheur HT

4 boues, 1 condensat



Campagnes

ASE2-Boue : Sécheur thermique basse température

FAITE du 20 au 24 septembre 2010

Objectif :

- Déterminer les évolutions des concentrations en substances à travers le séchage BT

Sécheur BT

4 boues, 1 condensat



Méthodes de calcul des rendements

ASE 1 & 2-Boue : Sécheur thermique BT & HT

Deux méthodes de calcul :

— Rendement boue :

$$R = \frac{F_{part, inlet}^{sludge} - F_{part, outlet}^{sludge}}{F_{part, inlet}^{sludge}}$$

— Rendement global :

$$NR = \frac{F_{sludge, inlet} - F_{sludge, outlet} - F_{condensate, part+sol}}{F_{sludge, inlet}}$$

En pratique, peu de valeurs de NR exploitables car LoQ très différentes pour boues et condensats

Transfert des micropollutants au condensats évalué indépendamment :

— Coefficient de transfert de la boue à la phase soluble :

$$K_{transfert} = \text{charge condensats} / \text{charge boue entrée}$$

— Coefficient de répartition en sortie :

$$K_{boue, sortie} = \text{charge condensats} / \text{charge boue sortie}$$

Caractéristiques des sécheurs

ASE 1 & 2-Boue : Sécheur thermique BT & HT

Marque	GMF
Type de sécheur	NARA 14 W 190
Nombre	2
Type de sécheur	Sécheur strictement indirect
Capacité évaporatoire	3,4 T H ₂ O/h
Surface d'échange	190 m ²
Temps de séjour	5h
Température	120°C
Recirculation des boues	Pas de recirculation
Charge entrante	76 m3/j
Charge entrante	27840 kg MS/j
Condensats	48 m3/j

Marque	STC
Type de sécheur	Sécheur à bande direct
Nombre	4
Capacité évaporatoire	4 T H ₂ O/h
Temps de séjour	1,8 h
Température	72°C
Recirculation des boues	Pas de recirculation
Charge entrante	144 m3/j
Charge entrante	45072 kg MS/j
Condensats	90 m3/j

Résultats

ASE 1 & 2-Boue : Sécheur thermique BT & HT

- Résultats incomplets
- 53 substances détectées en entrée et en sortie sur 59 analysées (Mn et Se en plus)
- Non détectés : tertbutylphénol, pentachlorophénol, BDE 119, BDE 153, acénaphthylène, pérylène

Résultats préliminaires

ASE 1 & 2-Boue : Sécheur thermique BT & HT

"R > 30%"	Concentration réduite significativement
"- 50% < R < 30%"	Pas de changement significatif
"R < -50 %"	Accumulation potentielle dans la boue

Familles de substances	Sécheur HT indirect	Sécheur BT direct
PCBs	CB101, CB138, CB153, B180	-
PBDEs	-	BDE99
HAPs	Naphtalene	
	Acenaphtylene, Acenaphtene	Acenaphtylene, Acenaphtene
	Fluorene	
	Autres HAPs : Comportement variable	
Alkylphenols et dérivés	NP1EO	NP1EO
	NP2EO	
	-	4-Nonylphenol
	Galaxolide, tonalide	Galaxolide, tonalide
Muscs		
Autres organiques	DEHP, triclosan	
Métaux	Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Pb	
	Hg	Hg

Sécheur HT tend à réduire la concentration dans la boue d'un nombre plus élevé de substances mais phénomènes complexes.

Résultats préliminaires

ASE 1 & 2-Boue : Sécheur thermique BT & HT

"R > 30%"	Concentration réduite significativement
"- 50% < R < 30%"	Pas de changement significatif
"R < -50 %"	Accumulation potentielle dans la boue

Semi-volatiles : Cste de Henry 1 - 50 Pa m3/mol	Sécheur HT		Sécheur BT	
	T = 120°C, TSB = 5h		T = 72°C, TSB = 1,8 h	
	Ligne 1	Ligne 2	Jour 1	Jour 2
Galaxolide	64	49	1	-1
Tonalide	48	36	-2	-1
Hg	47	13	-17	-2
Naphtalene	36	38	-20	61
Acenaphtene	NC	61	8	26
Phenanthrene	-6	-82	-29	40
Anthracene	NC	-91	-25	56
Fluoranthene	15	-16	-5	51
Pyrene	16	-75	-7	35
DEHP	-19	-88	-22	22
NP1EO	42	2	25	27
NP2EO	42	40	40	35

Phénomènes complexes. Les facteurs clés sont :

- Température et temps de séjour (cste de Henry)
- Type de sécheur : forces d'adhésion et d'adsorption
- Historique du sécheur

Campagnes

ASE3-Boue : Sécheur solaire Bellecombe

FAITE du 19 mai au 15 juin 2011

Objectif :

- Déterminer les évolutions des concentrations en substances à travers le séchage solaire

6 boues, pas de condensats



Stratégie d'échantillonnage

ASE3-Boue : Sécheur solaire Bellecombe



Description de l'installation :

Boues de la STEP de Bellecombe (32 000 EH), deux sécheurs Héliantis avec machine de scarification

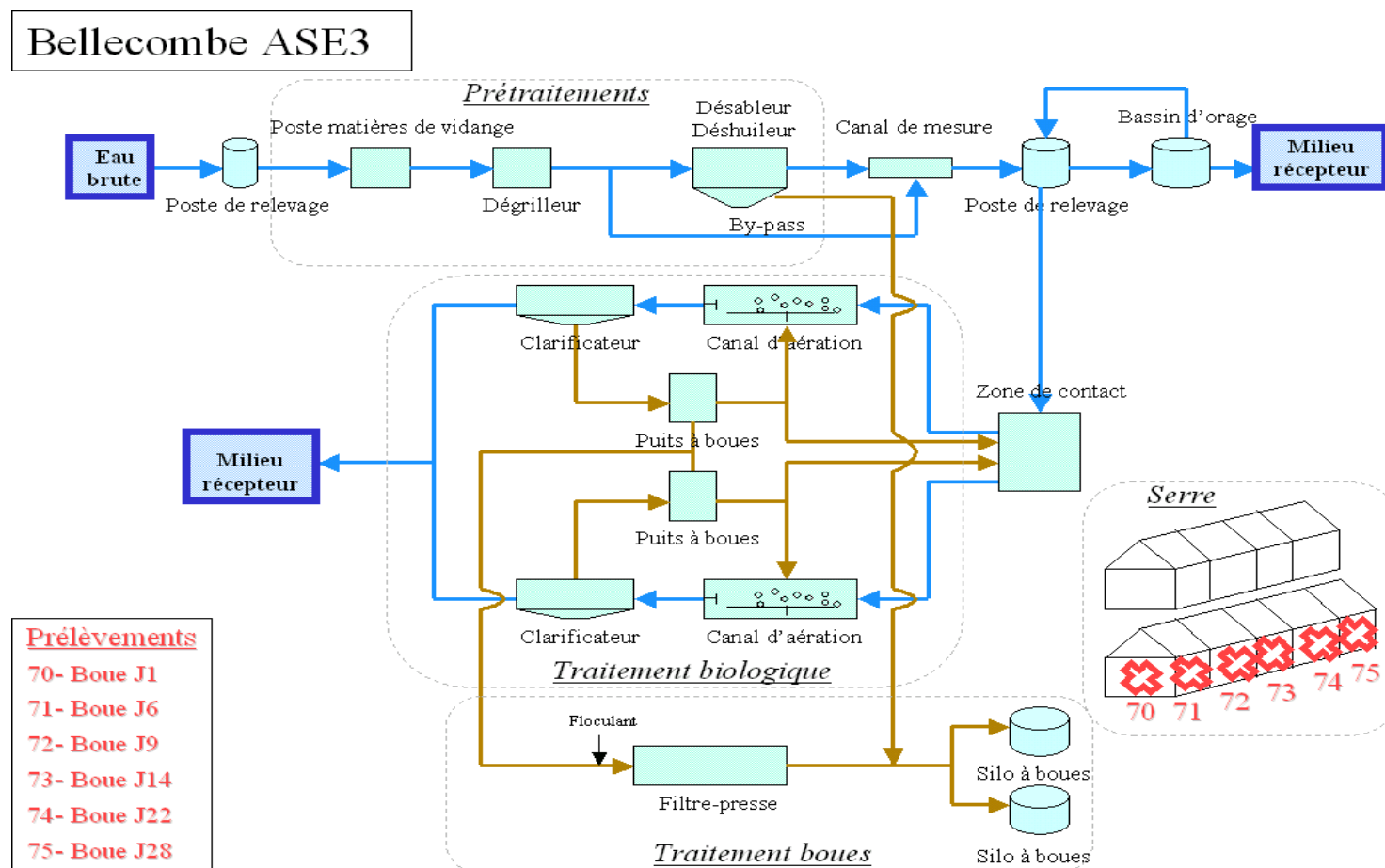
Échantillons moyens espace, suivi d'un lot de boue (~ 10 T) séparé par un intervalle physique (1 à 2 m d'écart entre différents lots)

Prélèvement des condensats envisagé mais pas de condensation sur les parois de la serre. Trop d'incertitudes et de contamination possibles pour prélever avec une extraction de l'air + condensation

Stratégie d'échantillonnage

ASE3-Boue : Sécheur solaire Bellecombe

Points de prélèvement



Résultats préliminaires

- Résultats incomplets
- Non détectés : benzothiazole, tertbutylphénol, pentachlorophénol

ASE3-Boue : Sécheur solaire Bellecombe

µg/kg	Galaxolide	Tonalide	Di-Butylphtalate	Triclosan	DEHP	Bisphenol A
Boue déshydratée	77445	3648	651	1587	24118	168
Boue en cours de séchage 1	76943	3557	852	1663	22994	156
Boue en cours de séchage 2	80480	3277	930	1500	21998	171
Boue en cours de séchage 3	96123	3474	1353	1472	27479	314
Boue en cours de séchage 4	92904	2843	813	1684	26528	506
Boue séchée	83482	2898	1257	1715	37408	335

Pas de variation significative au cours de séchage pour galaxolide, triclosan, certains HAPs (AN, chrys, BEP, PER)

	AMQ 70 Boue Déshydratée	AMQ 71 Boue en cours de séchage 1	AMQ 72 Boue en cours de séchage 2	AMQ 73 Boue en cours de séchage 3	AMQ 74 Boue en cours de séchage 4	AMQ 75 Boue séchée sortie
	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g	ng/g
NAPHT	< blc manip	< blc manip	0,5	< blc manip	< blc manip	< blc manip
DBT	4,0	6,9	2,3	2,9	4,3	0,5
PHE	20,9	20,0	37,3	14,3	44,5	15,6
AN	4,4	3,2	4,7	3,5	4,3	3,6
ACENAPHTHYLENE	1,4	1,0	5,3	0,7	1,3	nd
ACENAPHTENE	1,9	0,6	1,5	nd	0,9	nd
FLUORENE	2,3	1,8	1,0	0,7	0,4	nd
FLUO	45,2	40,7	84,7	24,2	38,8	29,2
PYR	107,0	117,0	153,5	63,2	77,8	70,0
BAA	26,3	24,5	40,0	12,9	17,7	14,2
CHRYL +TRIPH	42,5	47,8	56,1	27,3	37,3	43,8
2,1 BNT	7,6	9,9	10,1	6,2	10,6	11,9
BBF+BKF+BJF	7,0	6,9	10,1	4,2	4,5	40,9
BEP	33,5	37,1	44,9	26,1	31,6	37,9
BAP	29,0	38,1	45,4	16,2	19,9	20,8
PER	6,7	8,0	11,2	3,7	10,6	5,5
IP	39,2	29,9	68,9	21,0	21,5	12,0
DacA + DahA	3,4	3,6	9,9	3,3	5,7	2,6
BP	23,0	22,8	45,2	16,2	22,8	16,7
SOMME HAP	405	420	632	247	354	325

Réduction pour tonalide, DBT, PHE, ACE, FLUO, PYR, BAA, IP...

Augmentation pour di-butylphtalate, DEHP, bis A, BBF (siccité de 30 à 90%)

Attention : résultats en cours d'exploitation, analyse en flux à faire

Campagnes

ASE4-Boue : DA + compostage Corbeil

FAITE du 2 février au 8 avril 2011

Objectif :

- Déterminer les évolutions des concentrations en substances à travers le compostage et la DA

11 boues, 2 retours en tête, 3 condensats,
2 co-produits



Campagnes

ASE4-Boue : DA + compostage Corbeil

Description de l'installation :

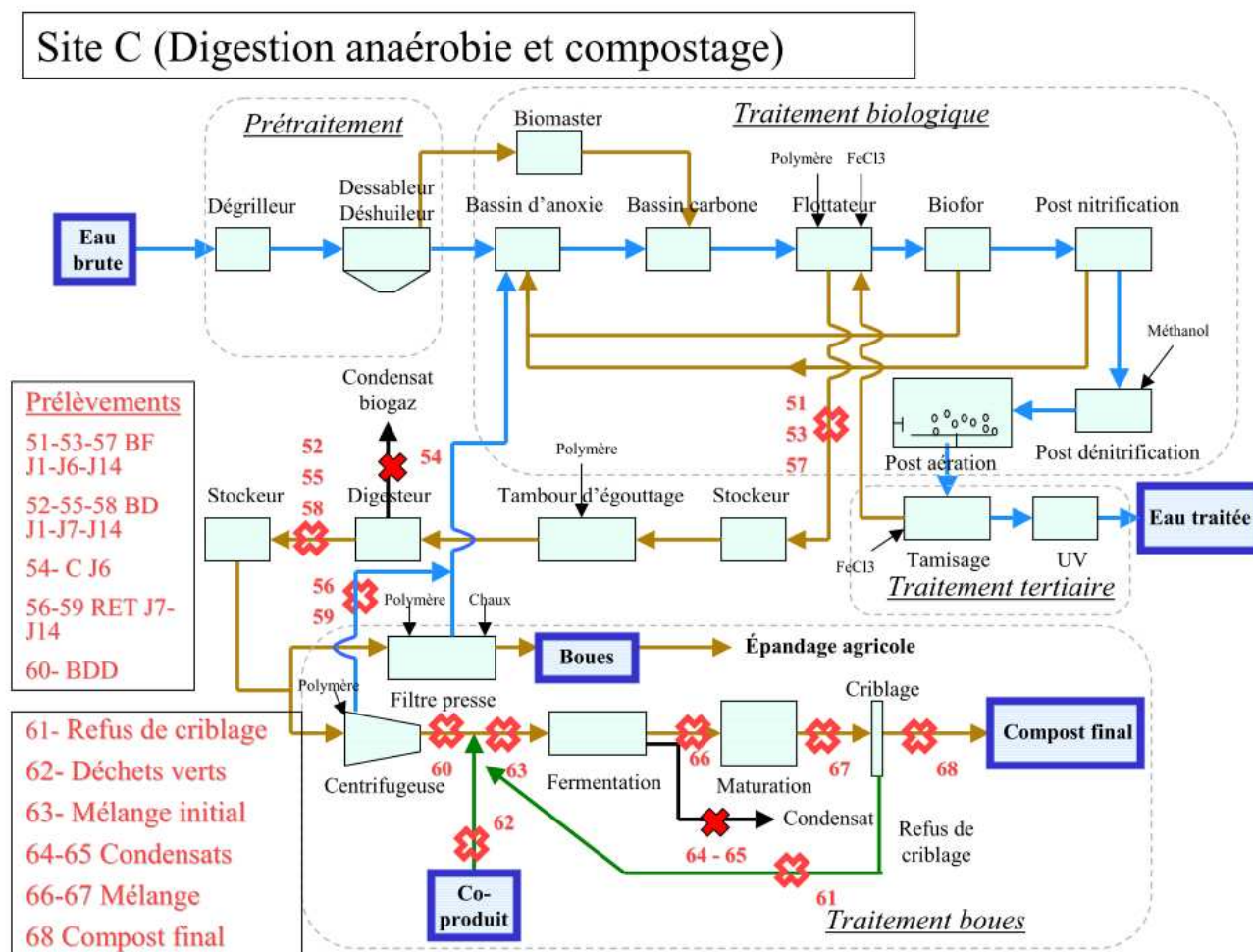
Corbeil possède pour le traitement des boues un digesteur anaérobie ainsi qu'un compostage, ce qui est plutôt rare. Digesteur mésophile avec une capacité de 2400 m³. Compostage Amendor : tunnels fermés ventilés, recirculation d'air chaud, 3150 T/an de compost produit. Compostage accéléré : fermentation 7 jours, maturation 14 jours puis criblage



Stratégie d'échantillonnage

ASE4-Boue : DA + compostage Corbeil

Points de prélèvement



BF : Boues flottées ; BD : Boues digérées liquides ; C : Condensat ; RET : Retour en tête ;
BDD : Boues digérées déshydratées

Résultats préliminaires

ASE4-Boue : DA + compostage Corbeil

- Résultats incomplets
- Non détectés : benzothiazole, pentachlorophénol et tertbutylphénol (dans les boues)

µg/kg (boues) et ng/L (condensats)	Terbutylphénol	Galaxolide	Tonalide	Di-Butylphthalate	Triclosan	DEHP	Bisphenol A
Boue digérée déshydratée	<LOQ	138889	6019	1942	9034	89725	447
Refus de criblage	<LOQ	26678	1308	501	1502	41857	379
Déchets verts	<LOQ	2502	1014	966	274	3865	82
Mélange à fermenter	<LOQ	56314	2355	696	2330	22007	269
Condensat 1	1869	16375	601	1239	281	3889	55
Condensat 2	2126	16277	574	2271	258	3518	53
Mélange fermenté	<LOQ	54590	2310	671	2686	21623	275
Mélange en maturation	<LOQ	54558	2483	424	2721	26170	246
Compost	<LOQ	63466	2561	720	3763	29667	725

Attention : résultats non consolidés, en cours d'exploitation, analyse en flux à faire

Campagnes

ASE5-Boue : Moulins Sous Touvent

FAITE du 27 juin au 23 août 2011

Objectif :

- Déterminer les évolutions des concentrations en substances à travers le compostage

12 boues, 2 condensat, 3 co-produits



Campagnes

ASE5-Boue : Moulins Sous Touvent

Description de l'installation :

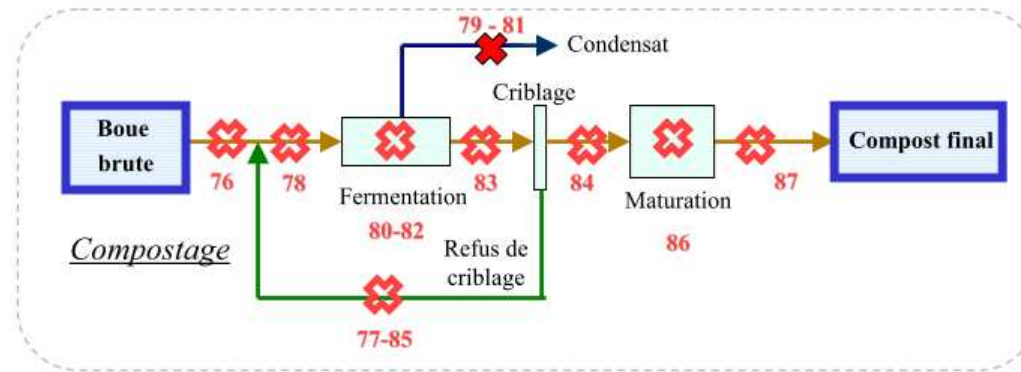
Casiers semi-fermés (ventilés sous une toiture), boues de la STEP de Compiègne, compost produit Organosol (15 000T/an soit 50T/j), fermentation de 4 à 6 semaines, maturation de 6 à 8 semaines puis criblage



Stratégie d'échantillonnage

ASE5-Boue : Moulins Sous Touvent

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

Campagnes

ASE6-Boue : Cuverville

PREVUE pour février-mars-avril 2011

Description de l'installation :

Andains en extérieur non ventilés, compost produit Fertiseine (8500 T/an),
durée de compostage d'environ 2 à 3 mois

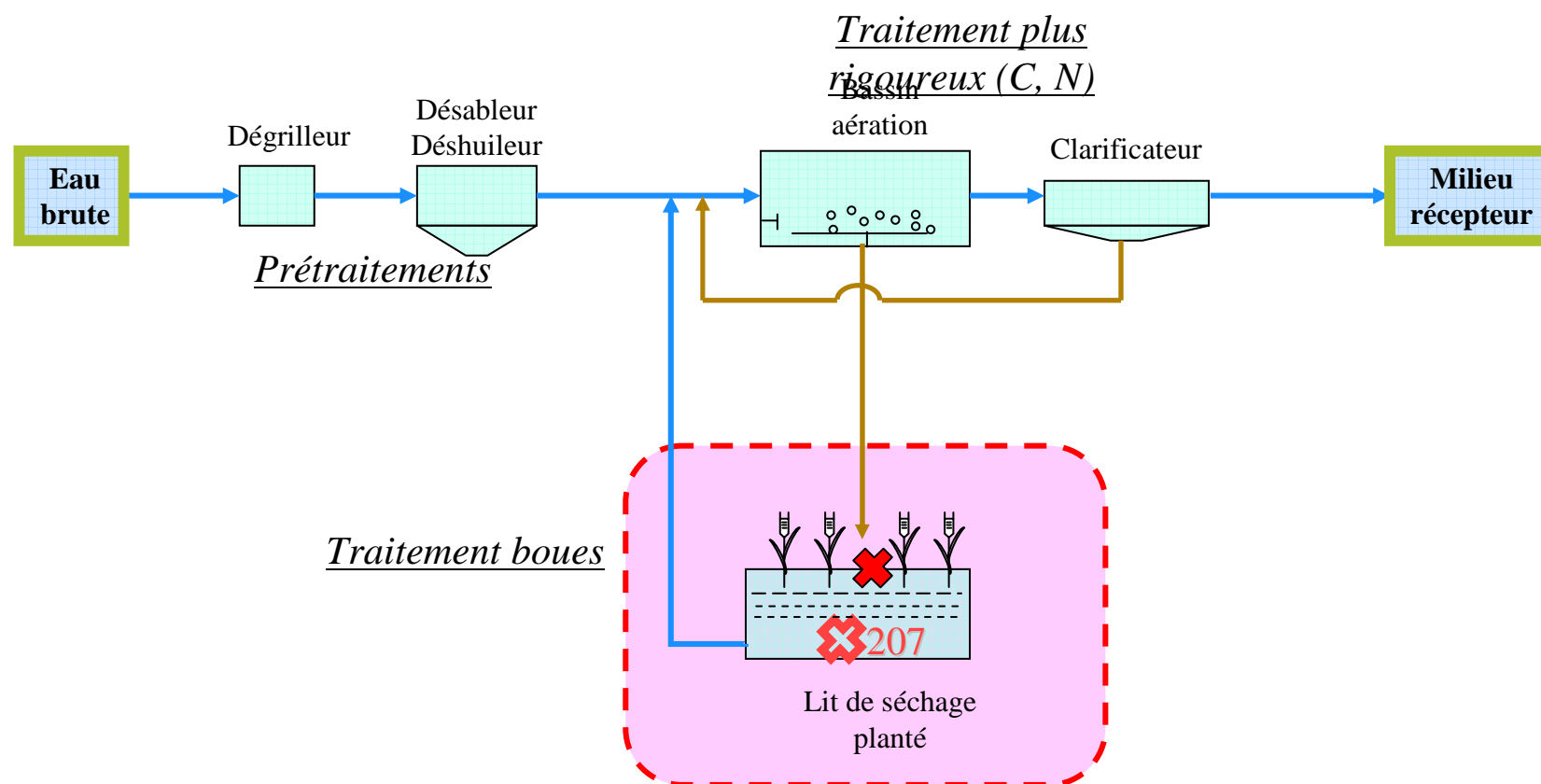
AMQ-88	Semaine 1	Boue brute
AMQ-89	Semaine 1	Refus de criblage
AMQ-90	Semaine 1	Mélange à composter
AMQ-91	Mois 2	Mélange en compostage
AMQ-92	Mois 3	Compost



Campagne : Lits de séchage planté de roseaux

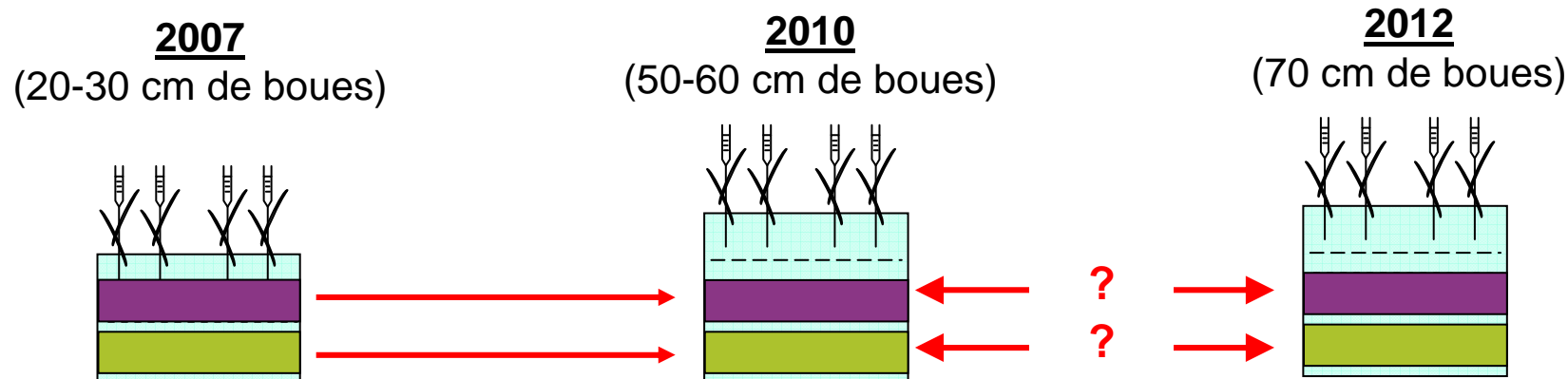
Objectif : évolutions des concentrations en substances dans les boues de LSPR (comparaison teneurs 2007, 2010, 2012)

Contexte



Campagne : Lits de séchage planté de roseaux

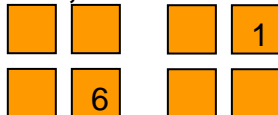
Objectif : Déterminer les évolutions des concentrations en substances au sein de la filière LSPR (comparaison teneurs 2007, 2010, 2012)



Campagnes : ACA2-Boue1 (Déc 2010, 4 boues pâteuses)
ACA2-Boue2 (mi-2012, 4 boues pâteuses)

Beaujeu (2.900 EH)

8 lits, 75 m² chacun



30 gMS/m².an

Filtre 1, 1 pp.

Filtre 6, 1 pp.

Andancette (13.000 EH)

8 lits de 470 m² chacun



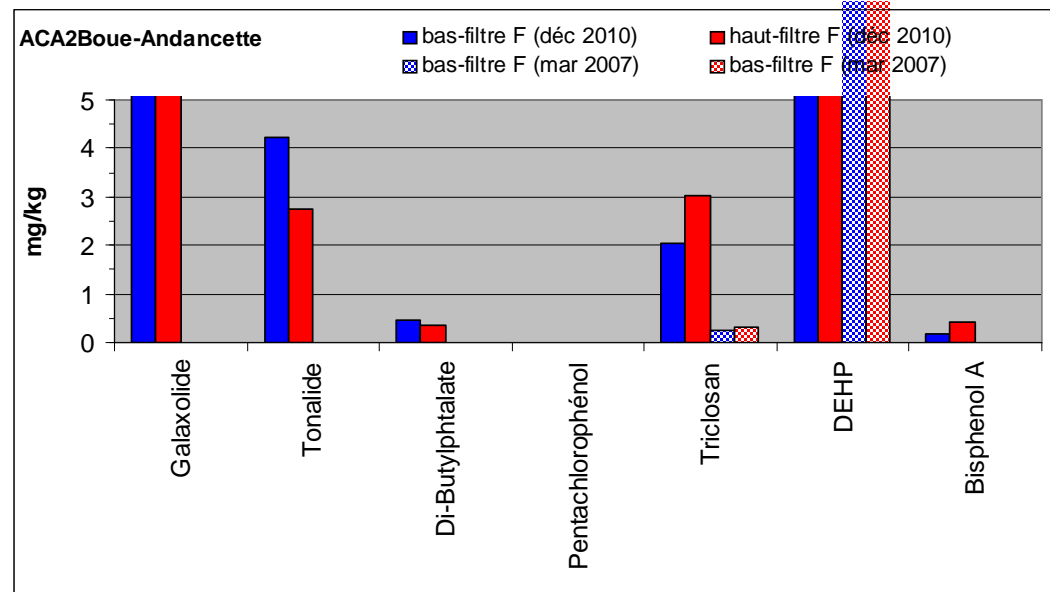
50 gMS/m².an



Observations

(pas de nouveauté depuis 07/11)

- Résultats reçus: Cirsee et Cemagref-métaux
- Substances quantifiées :
 - 6 organiques (dont triclosan et DEHP commun avec données 2007)
 - 14 métaux
- Observations sur les concentrations 2010 par rapport à 2007 :
 - Concentration plus faible pour Ag, Hg
 - Concentration plus forte pour triclosan
 - Concentration inchangée pour Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb
 - Observation contradictoire pour DEHP
- Prochaine campagne :
 - été 2012 (vidange)



Conclusions

- Campagnes boues bientôt terminées (dernière campagne CIRSEE en février 2012, CEMAGREF/Irstea dernière campagne été 2012)
- La plupart des substances analysées sont détectées dans les boues en entrée et en sortie de séchage à des concentrations similaires à celles retrouvées dans AMPERES et la littérature
- Certaines tendances sont observées (sécheur HT tend à réduire la concentration dans la boue d'un nombre plus élevé de substances que sécheur BT), d'autres sont à consolider (compostage, séchage solaire)