



ENGEES
FORMATION CONTINUE

SESSION 807/05

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE
Metz

"Epuration des petites collectivités"

"Assainissement non collectif"

20 au 22 juin 2005

Support de cours

Intervention de Catherine BOUTIN
Mission d'Appui Technique - CGGREF

Le lagunage naturel



Définitions
 Processus (Oxygène?, macrophytes?)
 Conception (études de sol)
 Performances (en flux et en concentration)
 Exploitation (dysfonctionnement et curage)
 Moyens de mise en oeuvre

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Les lagunages : définition

- ☛ processus anaérobie : lagune anaérobie
 - ☛ processus de décantation : lagune de décantation
 - ☛ processus aérobie :
 - * avec apport extérieur d'O₂
lagunage aéré, lagunage à haut rendement
 - * sans apport extérieur d'O₂
lagunage à microphytes
lagunage à macrophytes : ↗ végétaux enracinés
↘ végétaux flottants
- lagunage naturel : série de lagune facultative et lagunes de maturation.
lagunage de finition (lagunage tertiaire) : série de lagunes de maturation

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Lagune de décantation (1/2)

à l'amont des infiltrats/percolation

■ Critères de dimensionnement

$100 \text{g DBO}_5 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1} < \text{Cv} < 400 \text{g DBO}_5 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1}$; $\text{Ts} > 2$; $2,5 \text{m} < \text{h} < 4 \text{m}$

■ En Allemagne

$V = 0,5 - 1 \text{m}^3/\text{EH}$ et $V_{\text{min}} = 300 \text{m}^3$; vidange boues 1X par an;
 $h > 1,5 \text{m}$ et h libre parois $0,5 - 0,7 \text{m}$ = stockage épisodes pluvieux

■ A Saint Symphorien de Lay (500EH)

2 lagunes de décantation à l'amont d'une infiltration-percolation;
fonctionnement alterné par périodes de 6 mois

$\text{Cv} = 65 \text{g DBO}_5 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1}$; $V = 225 \text{m}^3$ soit $0,5 \text{m}^3/\text{EH}$; $\text{Ts} > 1,5$ à 3j ;
 $h_{\text{max}} = 3,5 \text{m}$; vidange boues 2X par an;
rendements attendus: $\text{DCO} = 25 - 30\%$; $\text{MES} = 45 - 50\%$

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Lagune de décantation (2/2)

Fonctionnement de la lagune de décantation
après 190j d'alimentation

			Entrée mg.l ⁻¹	Sortie mg.l ⁻¹	Rendement %
1 ^{er} jour	Q = 84m ³ .j ⁻¹	DCO	435	375	14
		MES	177	102	42
3 ^{ème} jour	Q = 76m ³ .j ⁻¹	DCO	268	346	- 29
		MES	89	118	- 32
4 ^{ème} jour	Q = 87m ³ .j ⁻¹	DCO	451	468	- 4
		MES	176	195	- 10

A n'installer QUE si assurance de la gestion stricte des boues primaires → vidange 2X par an : août et février

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

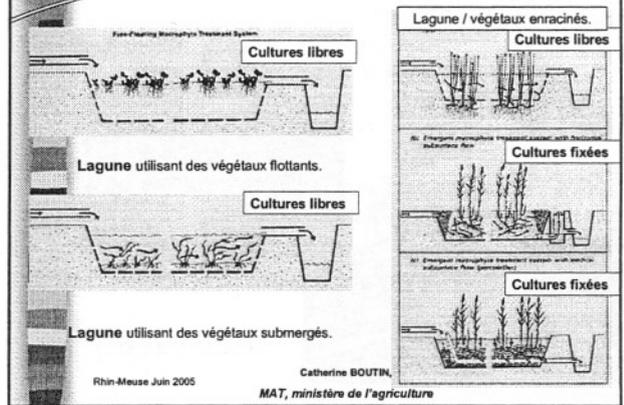
Les lagunages : définition

- ☞ processus anaérobie : lagune anaérobie
 - ☞ processus de décantation : lagune de décantation
 - ☞ processus aérobie :
 - * avec apport extérieur d'O₂
lagunage aéré, lagunage à haut rendement
 - * sans apport extérieur d'O₂
lagunage à microphytes
lagunage à macrophytes : ↗ végétaux enracinés
↘ végétaux flottants
- lagunage naturel : série de lagune facultative et lagunes de maturation.
lagunage de finition (lagunage tertiaire) : série de lagunes de maturation

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

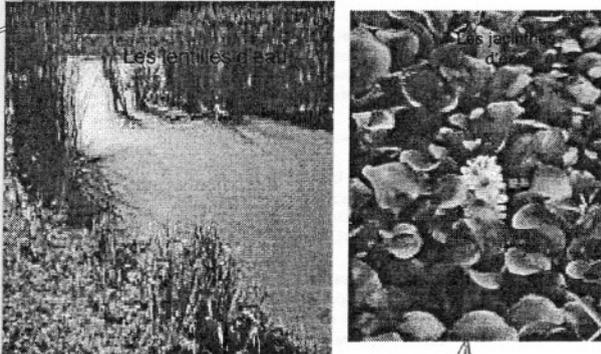
Les macrophytes en épuration d'après Vymazal, 1998.



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Quelques exemples de végétaux flottants



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Le rôle des macrophytes

- réduction des MES par ombrage (moins d'algues)
ralentissement de la vitesse (meilleure décantation)
- réduction de la DCO dissoute par bactéries épiphytes
- réduction de N par macrophytes pour leur développement
- réduction de P par macrophytes pour leur développement

processus prouvés en laboratoire

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

lentilles d'eau
système LENTINA
Risque exportation

Jacinthes d'eau
= peste d'eau
⚠ à proscrire
risque d'invasion du milieu naturel
d'exportation vers

Le rôle des macrophytes

Comparaison de 3^{ème} bassin à macrophytes et à microphytes :
Méthode : traitement statistique de données de terrain critiquées et jugées comme représentatives des données nationales
Conclusion : aucune différence significative.

En situation réelle, l'apport des végétaux enracinés vis à vis de la qualité de l'eau traitée **n'est pas quantifiable**.
Faucardage indispensable (maintien des conditions aérobies) **MAIS très pénible**: problèmes d'exploitation du lagunage à macrophytes clairement identifiés

⇒ Le lagunage à macrophytes n'est plus recommandé

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
 MAT, ministère de l'agriculture

Exemple de lagune à macrophytes



évacuation mécanique des végétaux

Salesse 38

Extrait, Racault et al 2004

Rhin-Meuse Juin 2005

MAT, ministère de l'agriculture



Salesse 38

Installation du lagunage en France

1^{ère} lagune en Europe à Munich en 1920
 230ha= 30bassins de 7ha
 Ensuite, Danemark en 1940
 1^{ère} enquête = 1964 utilisation dans 34 pays

France

1964 Grau du Roi pour 12 000 EH
 Fort développement dans les années 1980
 et jusque dans le milieu des années 90
 Plus grande lagune à Rochefort = 35000EH

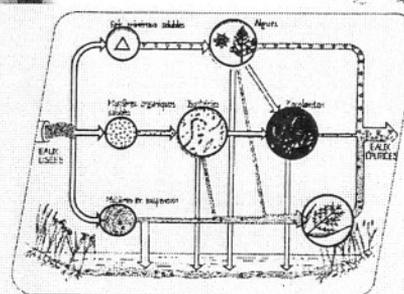
Aujourd'hui
 3000 installations en France soit 20% du parc total de STEP
 Traitent environ 10% de la pollution domestique
 Taille moyenne= 600-700EH

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
 MAT, ministère de l'agriculture

Processus

Principe de fonctionnement du lagunage naturel

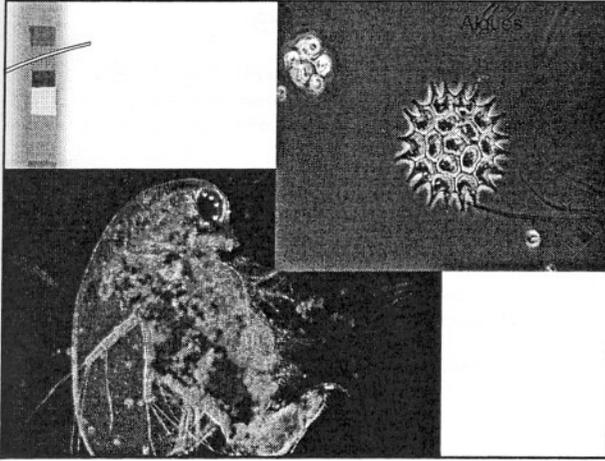


Ce schéma fait apparaître les principaux facteurs de la dégradation de la charge polluante

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
 MAT, ministère de l'agriculture

Équilibre
 biologique
 complexe



Processus

Eaux usées + Bactéries → boues + eau traitée
oxygène O₂

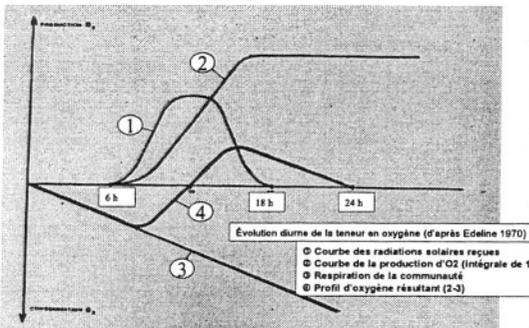
masse végétale + sels minéraux + CO₂ → masse végétale + O₂
lumière (UV)

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Processus

Évolution de l'O₂ au cours de la journée



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Lagunage naturel

- ◆ Oxygénation naturelle (par les microphytes)
- ◆ Fractionnement du traitement
- ◆ Maintien d'une hauteur d'eau (< 1,2 m)
- ◆ Surface utile totale de plans d'eau
(6 + 2,5 + 2,5 = 11 m²/éq.hab.)

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Études de sol

- L'aspect qualitatif du sol :
 - hydrogéologie : nappe (niveau, protection,...)
 - géotechnique : hétérogénéité, texture,...
- Étude de perméabilité nécessaire :

$$(V_{\text{eaux usées}} + V_{\text{pluie}}) > (V_{\text{infiltration}} + V_{\text{évaporation}})$$

$$K = 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$$
 - Si $K < 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$: étanchéité naturelle suffisante
 - Si $10^{-6} \text{ m.s}^{-1} < K < 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$: mesures complémentaires pour possibilité d'atteindre 10^{-6} m.s^{-1}
 - Si $K > 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$: étanchéité artificielle indispensable

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Nécessité d'une bonne mise en oeuvre

exemple:

- 1000 hab à 150 L/j/ha
- taux de raccordement = 75 %
- pluie : 0 mm/j
- évaporation = 5 mm/j (été)

BILAN: (eaux usées + pluie) > (évaporation + infiltration)

eaux usées : $1000 \times 0,150 \text{ m}^3/\text{j} \times 0,75 = 112,5 \text{ m}^3/\text{j}$
 surface des plans d'eau = $11\,000 \text{ m}^2$
 évaporation = $5 \times 10^{-3} \times 11\,000 = 55 \text{ m}^3/\text{j}$
 infiltration maxi : $q < 112,5 - 55 = 57,5 \text{ m}^3/\text{j}$

$K_{\text{max}} = Q/S = 57,5 / 11000 = 6,05 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
 on néglige l'infiltration dans les pentes dans une première approche
 C'est pourquoi on fixe $K < 10^{-6} \text{ m/s}$

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Nécessité d'une bonne mise en oeuvre

Si **BON** compactage

Infiltration = $KS = 10^{-8} S = 9,5 \text{ m}^3/\text{j}$
 Q sortie = $112,5 - 55 - 9,5 = 48 \text{ m}^3/\text{j}$

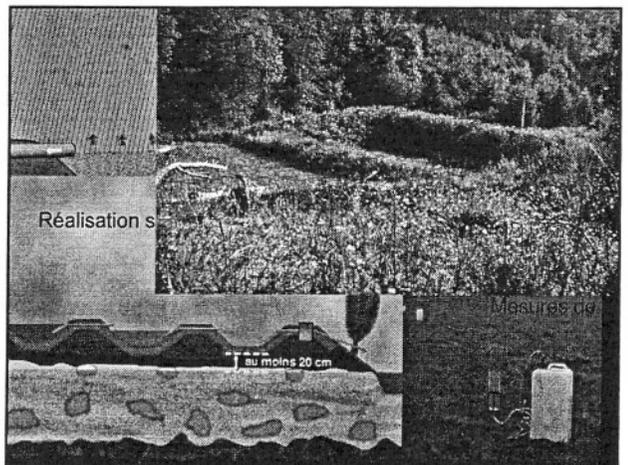
Si **MAUVAIS** compactage sur 5% de la surface totale et maintien de la perméabilité initiale à 10^{-6} m/s

Infiltration = $KS = 10^{-8} \times (0,95S) + 10^{-6} \times (0,05S)$
 $= 0,9510^{-8} S + 510^{-8} S = 5,9510^{-8} S$
 $= 56 \text{ m}^3/\text{j}$

Q sortie = $112,5 - 55 - 56 = 1,5 \text{ m}^3/\text{j}$

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture



Objectifs de qualité européen et français

Charge > 120kgDBO₅.j⁻¹

Législation française
(Arrêté du 22 dec 1994)
et européenne

DCO_{filtré} = 120 mg.L⁻¹

MES = 150 mg.L⁻¹

Charge < 120 kgDBO₅.j⁻¹

Législation française
(circulaire 17 février 1997)
niveau D3

Rendement en flux :
60%
pour DCO et N-NK

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al 2004

Performances en mg.L⁻¹

		DCO brute	DCO filtrée	DBO ₅ brute	DBO ₅ filtrée	MES	NKj	N-NH ₄	Pt
Tous réseaux	Moyenne	162	99	43	23	60	22	14	8,5
Réseaux séparatifs	Moyenne	198	123	53	24	69	25	17	10
	écart-type	109	61	44	24	57	17	15	8
Autres réseaux	Moyenne	141	85	37	22	54	19	12	7,5
	écart-type	69	37	26	18	41	11	9	6

étude Cemagref Bordeaux 1995 à partir de 280 bilans en flux

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Performances à partir des rendements en flux %

$$R = \frac{\text{Flux}_{\text{entrée}} - \text{Flux}_{\text{sortie}}}{\text{Flux}_{\text{entrée}}}$$

	DCO	MES	NK	Pt
Moyenne	78	79	72	66
Écart type	16	20	23	24

Dans 90 % des cas, Rdt en DCO > 60 %
Dans 50 % des cas, Rdt en DCO > 80 %

étude Cemagref Bordeaux 1995 à partir de 280 bilans en flux

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Performance des lagunages

Résultats Bretagne (2002),

• 317 mesures, taux de charge moyen de l'échantillon 25-27kg DBO₅/ha.j (= 50% de la charge nominale)



		DCO _{filtré}	MES	N-NK	N-NH ₄ ⁺	TP
Juin-Septembre	Moyenne	95	74	16.3	9.6	6.6
	Ecart-type	38	68	10.6	10	3.6
Octobre - Mai	Moyenne	71	50	18.8	12.6	5.7
	Ecart-type	29	45	11.2	10	2.9
Total année	Moyenne	78	57	18.0	11.6	6.0
	Ecart-type	34	54	11	10.1	3.1

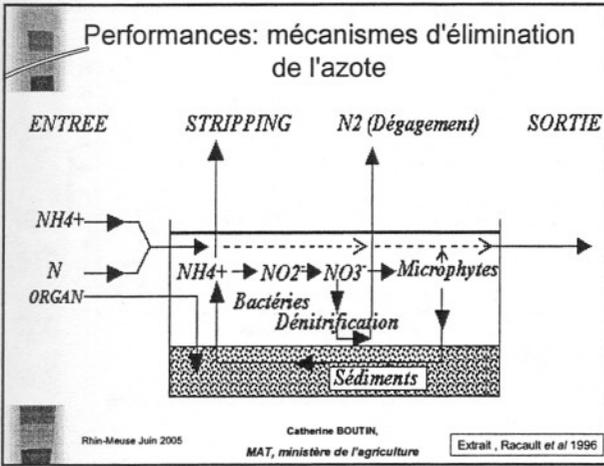
Résultats de l'enquête Cemagref in France (1996)

Total année	Moyenne	99	60	22	14	8.5
-------------	---------	----	----	----	----	-----

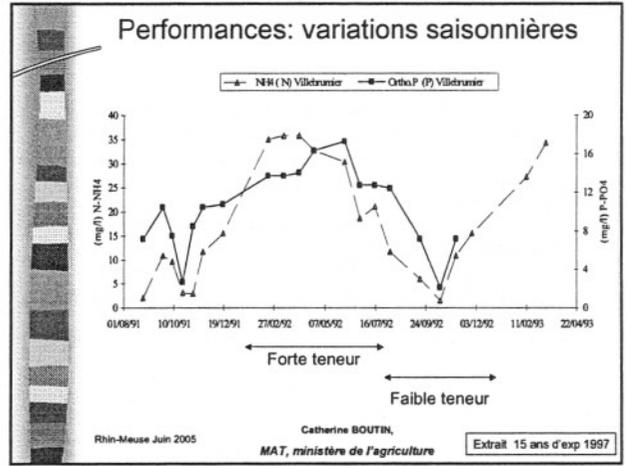
Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

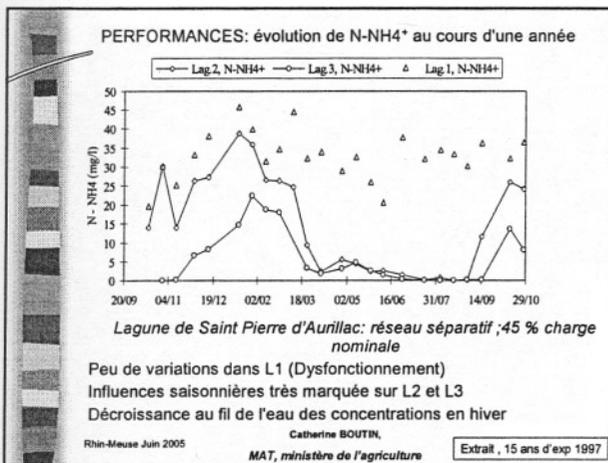
Extrait, Racault et al 2004



En lagunage NK = NGL
↳ pas de rejet de NO₃



bonne corrélat° / teneur en algues.

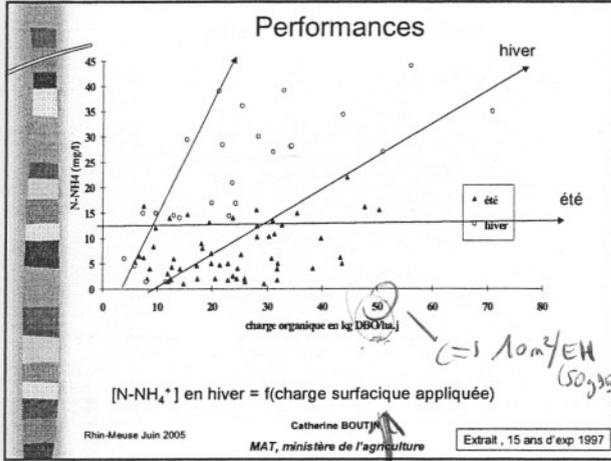


PERFORMANCES: évolution de N-NH₄⁺ au cours d'une année

	Printemps	Été	Automne	Hiver
Température	↗	θ = MAX	↘	θ = min
Soleil	↗	≈ MAX	↘	≈ min
Teneur en algues	↗	forte et ≈ stable	↘	faible et ≈ stable
		Stratification thermique	Destratification thermique	
N-NH ₄ ⁺	↗	≈ min	↗	≈ MAX

Des enregistrements ont très clairement montré la relation:
N-NH₄⁺ = f(chloro active)

Rhin-Meuse Juin 2005
Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

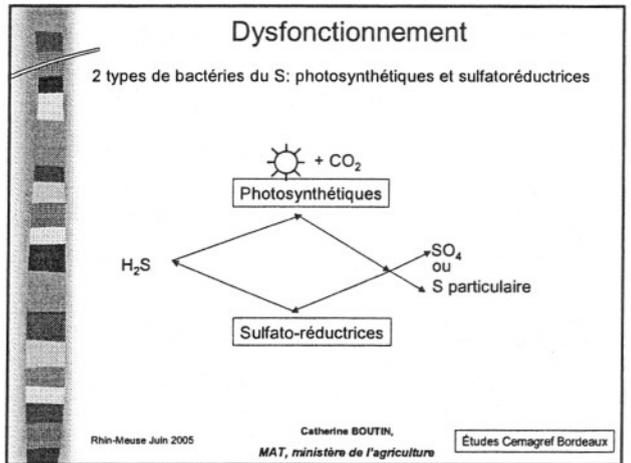
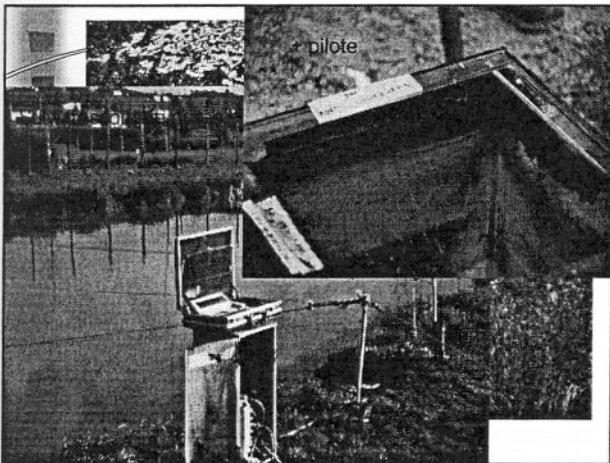


Performances: conclusion N

- N résiduel essentiellement sous forme N-NH₄⁺
- Variations saisonnières très marquées : un rapport = 10 entre les concentrations d'hiver et d'été est fréquent
- le rendement d'élimination varie entre 60 et 70 % sur un échantillon de 178 lagunes à 50 % de leur taux de charge nominale et âgées de moins de 4 ans
- Les concentrations mesurées en été sont *indépendantes* de l'âge des installations et de la charge organique admise
- Les concentrations mesurées en hiver sont *dépendantes* de l'âge des installations ou (et) de la charge organique admise
- Les meilleures performances sont obtenues pendant la période d'étiage

Rhin-Meuse Juin 2005
Catherine BOUTIN, MAT, ministère de l'agriculture
Extrait, Rocault et al 1996

Charge surfacique de projet
≠ charge surfacique réelle.



Stratification thermique

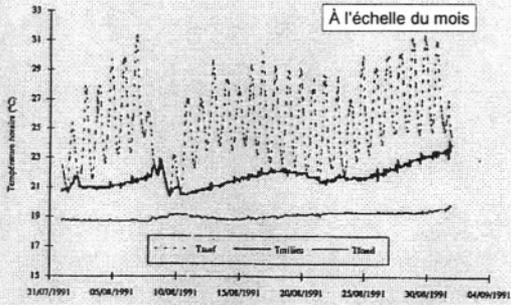


Figure 13 : Evolution de la température à Saint-Aignan sur une série de cycles journaliers

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,

MAT, ministère de l'agriculture

Lagune de Villebrumier - Bassin N°1

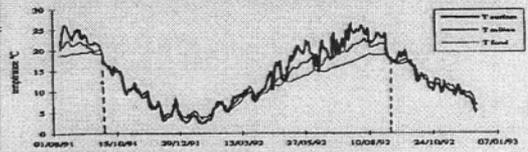


Figure 13 : Evolution de la température moyenne journalière de l'eau dans le bassin n°1 de Villebrumier

Stratification thermique à l'échelle de l'année



Figure 14 : Evolution de la température moyenne journalière de l'eau dans le bassin n°1 de Nègrepeisse

Dysfonctionnement

- Odeur et virage au rouge:
Développement de bactéries photosynthétiques du S au détriment de la biomasse algale.
- Origine:
FACTEURS MULTIPLES
Eaux concentrées
Eaux septiques
Charges appliquées élevées sur le 1^{er} Bassin (>65 kgDBO₅/ha.jour)
Entretien insuffisant
Conception: forme très allongée, hauteur d'eau importante.

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Études Cemagref Bordeaux

Dysfonctionnement : Solutions préventives

- Augmentation de 20% de S du 1^{er} Bassin (5m²/EH ⇨ 6m²/EH)
- Éviter les réseaux séparatifs; les réseaux « sous-vide » sont exclus.
- Attention aux effluents concentrés (réseau court et/ou mélange eaux domestiques + Industrielles)
- Attention aux charges appliquées (en variation de pop et en traitement conjoint d'eaux domestiques et agro-alimentaire)
- Conception: forme du 1^{er} Bassin: L/l<3 et h d'eau = 1m

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Études Cemagref Bordeaux

Dysfonctionnement : Solutions curatives

- Dilution contrôlée des effluents: $DCO < 350 \text{ mg.L}^{-1}$
- Recyclage du dernier bassin vers le 1^{er} Bassin
- Traitement des sulfures dans le réseau
- Micro-aération: recours ultime car perte du caractère « rustique » du procédé.

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Études Cemagref Bordeaux

Entretien: un passage hebdomadaire est nécessaire



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Curage des boues

- Curage: Opération lourde de faible fréquence
 - A cause de sous-charge organique, le premier curage est retardé
 - Enquête dans 5 départements
 - Caractéristiques de l'échantillon
 - Environ 15% du parc de lagunage
 - Taille moyenne : 590 EH
- Lagunes curées
- ✓ Mise en eau : entre 1977 à 1998
 - ✓ Correspond à 20 % du parc complet



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004

Curage des boues

- Difficultés dans le traitement des données
 - Pas de données d'évolution du taux de charge avec le temps
 - La charge accumulée n'est généralement pas calculable
 - ratio comparant production de boues/charge n'est disponible
- Estimation du volume de boues
 - Mesures bathymétriques de la hauteur de boues
 - estimation difficile à proximité des berges
 - Volumes pompés
 - concentration moyenne inconnue de la boue pompée
 - technique d'extraction retenue induit des variations importantes en volume

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004

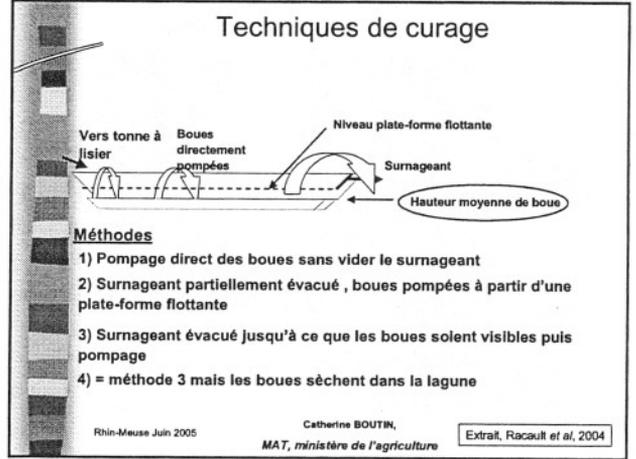
1^{er} curage : après 13 ans fonctionn^{er} (1^{er} bassin)
2^e curage : 1^{er} et 2^e bassin

Curage : résultats

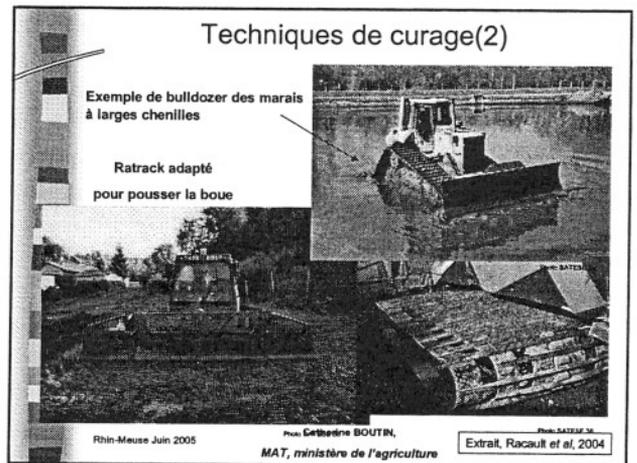
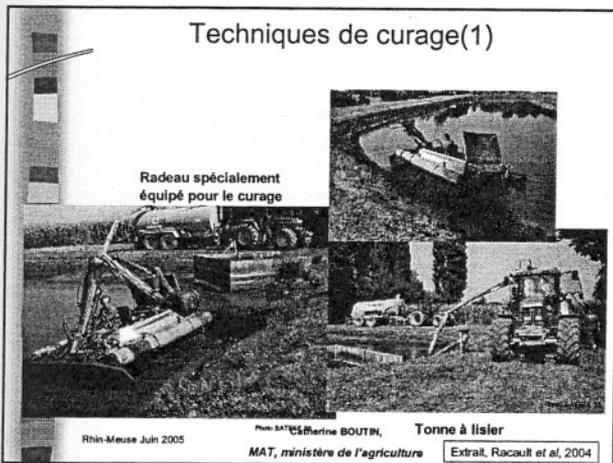
Statistiques à partir des données globales

	Age au curage		Quantité extraite du 1 ^{er} Bassin		
	Ans	Charge organique au curage %	cm	cm.an ⁻¹	L.(e.h) ⁻¹ .an ⁻¹
Moyenne	13.1	91	25.5	2.05	111
Max	26	194	57	6.6	395
min	5	17	3	0.4	21
<i>Écart-type</i>	4	37	13.7	1.4	80
Nbre de valeurs	67	45	27	27	27

Rhin-Meuse Juin 2005 Catherine BOUTIN, MAT, ministère de l'agriculture Extrait, Racault et al, 2004



Accumulation boue 1er bassin: 2cm/an



Coût du curage

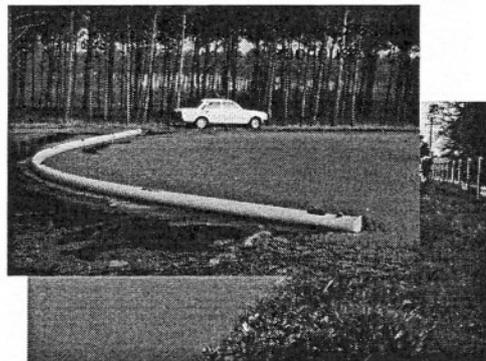
	Coût de l'opération de curage	Coût annuel par EH
	€ HT.m ³	€ HT.(EH) ⁻¹ .an ⁻¹
Moyenne	23.9	3.2
MAX	67	12
min	9.2	0.2
<i>Ecart-type</i>	15	2
Nombre de données	25	26

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004

Couverture par les lentilles d'eau



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

LENTILLES D'EAU

- Solutions curatives
 - Extraction par ramassage et pompage (5 / été)
 - 2 herbicides autorisés (ACTA): à n'utiliser qu'en cas de crise aiguë (car retour des lentilles en fond de bassin et donc curage précoce à prévoir).
- Solutions préventives
 - Implantation de canards (col vert, barbarie fousseur): couples à stabiliser et limiter la prolifération
 - A titre préventif, installer les bassins en zone ventée.

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Charges appliquées théorique et vraie en milieu rural

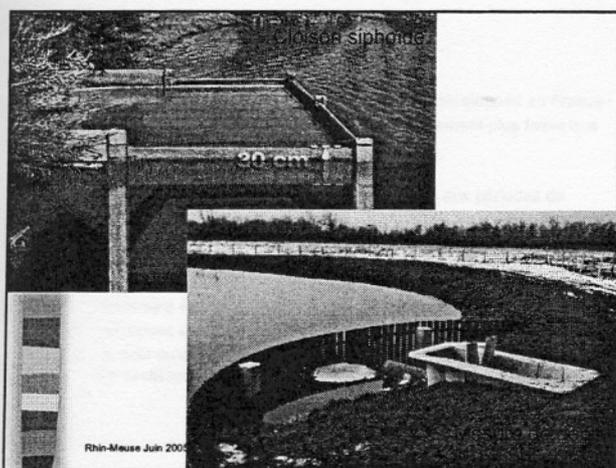
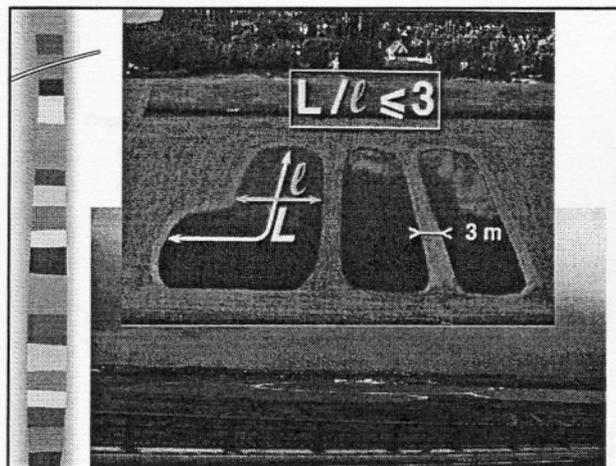
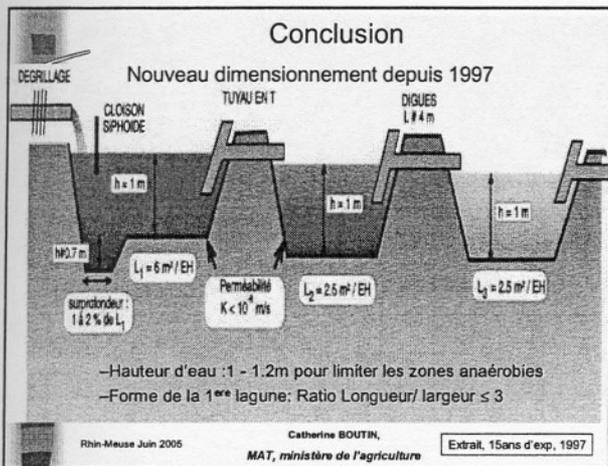
	Surface 1 ^{ère} lagune	EH en milieu rural		Charge sur la 1 ^{ère} lagune	
		<i>Théorique</i>	<i>Vrai</i>	<i>Théorique</i>	<i>Vrai</i>
		g DBO ₅ .j ⁻¹		kg DBO ₅ .ha ⁻¹ .j ⁻¹	
Avant 1997	5	50		100	70 à 80
Après 1997	6	50	35 à 40	83	60 à 70

Surface augmentée jusqu'à 7 m².EH⁻¹ si réseau drainant + faible coût pour l'étanchéification

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004





Le lagunage n'est pas adapté
aux effluents industriels et/ou concentrés

Le lagunage présente
un fort pouvoir tampon hydraulique mais

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Installation du lagunage en France

Depuis 10 ans : déclin

Petites communautés sont déjà équipées

Accroissement des objectifs de qualité

Désintérêt de la filière par certains consultants dans certaines zones

Mauvaise expérience suite à un dimensionnement et/ou une exploitation inapproprié(s)

Néanmoins, le lagunage reste un procédé très apprécié du monde rural

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004

Conclusion

- Le lagunage reste une technique largement développée en France
- Le taux de charge organique moyen est clairement plus faible que les valeurs nominales.
- Le lagunage fournit un rejet de niveau D3
Avec un très haut rendement en nutriments aux périodes de faible étiage
- Le lagunage présente des résultats plus fiables s'il est alimenté par un effluent dilué
- En conséquence du taux de charge réduit, le premier curage est désormais à prévoir après 13 ans de fonctionnement.
- Les boues accumulées sont de l'ordre de 110 L (EH.)⁻¹.an⁻¹
- Le coût du curage pourrait représenter 2 à 3% du coût d'investissement.

Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Extrait, Racault et al, 2004



Rhin-Meuse Juin 2005

Catherine BOUTIN,
MAT, ministère de l'agriculture

Association d'un lagunage naturel et d'infiltration – percolation : résultats de pilotes et dimensionnement de la station de démonstration d'AURIGNAC

Catherine BOUTIN, Alain LIÉNARD Cemagref
 Nathalie BILOTTE, Syndicat des eaux Barousse-Comminges-Save,
 Jean-Pierre NABERAC, Bureau d'études DUMONS

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Pourquoi ?

- Plus de 2 500 lagunages naturels en France
- Niveau de qualité moyenne vis à vis de la DCO (en été surtout)

		DCO	DCO _{libre}	MES
Tous réseaux	Moy.	162	99	60
Réseaux séparatifs	Moy.	198	123	69
	Écart-type	109	6	5
Autres réseaux	Moy.	141	85	54
	Écart-type	69	37	41



- Réseaux unitaires en totalité ou pour partie

Association des capacités hydrauliques du lagunage et des performances de l'infiltration-percolation (MO et NK)

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Objectifs

- Réhabiliter le parc des lagunages :
transformer le 3^{ème} bassin existant en 1 infiltration-percolation
- Proposer deux nouvelles filières :
 - 1 lagune (6 m²/EH) +
 - 1 lagune (2.5 m²/EH) +
 - 1 infiltration (dimensionnement = ?),
- 1 lagune (6 m²/EH) + 1 infiltration (dimensionnement = ?)

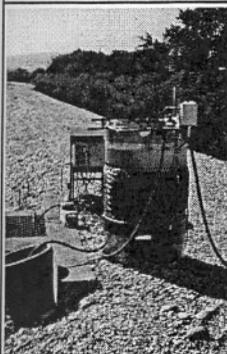
Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Plan

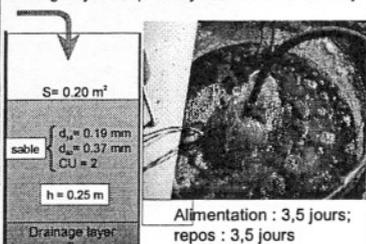
- Essais pilote
- Suivi d'un siphon
- Développement de la filière en France
- Station de démonstration
- Conclusion

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Pilote de CERTINES (1/2)



Conditions de suivi :
3 mois, en été,
charge hydraulique moyenne de 30 à 60 cm/j



Alimentation : 3,5 jours;
repos : 3,5 jours

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Pilote de Certines (2/2)

• Conclusion

un sable peut retenir les algues;
l'alternance est nécessaire

• Dimensionnement

en 3 unités (au lieu de 2) ;

sur la base d'une charge organique maximale pour une bâchée (120 g DCO) ;

l'influence de la charge hydraulique sur les performances n'est pas visible ;

	Nbre de valeurs	Concentrations mg.L ⁻¹		Rdt %
		Entrée	Sortie	
MES	17	50	20	59
DCO	18	135	61	50
DCO _{filtrée}	17	57	41	26
N-NH ₄ ⁺	7	15,25	3,55	
N-NO ₃ ⁻	7	0,15	9,8	

extrapolation : 1 m²/EH en 3 plateaux

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Siphon de Joudes (1/4)

Objectif : alimenter les 3 filtres sans utiliser d'énergie

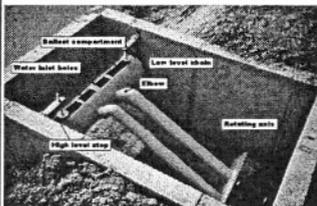
Moyen : tester un siphon installé directement dans un deuxième bassin de lagunage

1 cm d'eau de L2 (2,5 m²/EH) correspond à 7,5 cm d'eau sur le filtre en fonctionnement (0,33 m²/EH)

Nécessité de tester la fiabilité d'un tel dispositif

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Siphon de Joudes (2/4)

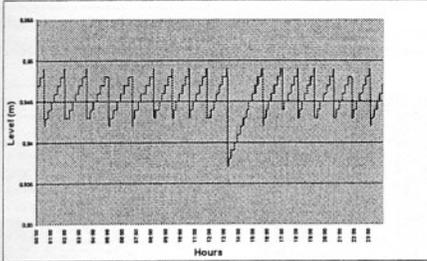


Phase	Hauteur de marnage	Période de suivi	Événements climatiques
1	1.4 cm	25/10 au 03/11	Pluie importante
2	2.6 cm	4/11 et 5/11	
3	0.6 cm	4/12 au 18/12	Gel Dégel pluie

Suivis des hauteurs d'eau d'un siphon développé par la société SINT dans une lagune 2 :
hauteurs d'amorçage,
hauteurs de désamorçage,
hauteurs de marnage exacte (par différence)

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Siphon de Joudes (3/4)

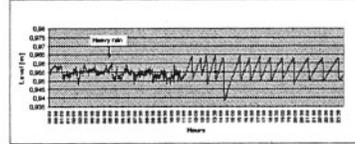


marnage = 0,6cm
niveaux haut et bas stables mais épisode de remontée tardive

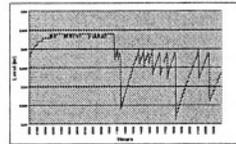
Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Siphon de Joudes (4/4)

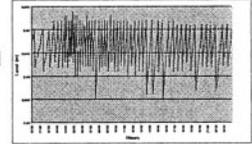
Sensibilité aux intempéries



Pluie diluvienne



Gel



Dégel

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Développement en France (1/4)

Enquête nationale sur le lagunage naturel associé à l'infiltration percolation

➤ Enquête en 1998

Taux de réponse = 80 %
74 stations dans 29 départements
moyenne = 600 EH (max = 2000 EH ; mini = 50 EH)

➤ Objectif

- Rejet en surface : 36 % niveau D4
- Rejet en sous sol : 47 %
- Autres (talwegs, fosses...) : 17 %
- Aucune construction dans le cadre de la réhabilitation de site

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Développement en France (2/4)

Dimensionnement des ouvrages

Lagune en m ² /EH	1	2	3	Totale
Moyenne	5.18	2.65	2.43	8.08
Ecart-type	1.92	0.97	0.53	2.94
Valeur min/Max	0.8 / 12	0.42 / 6	0.8 / 3.26	1.6 / 14

Lagunage naturel

Surface totale du massif en m ² /EH	
Moyenne	1.41
Ecart-type	1.12
Valeur min / Max	0.12 / 6.25

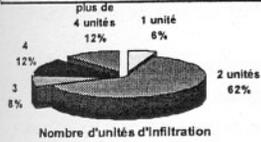
Infiltration-percolation

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

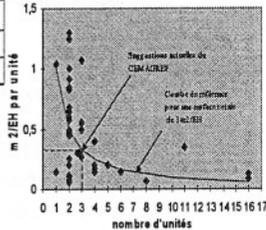
Cemagref Développement en France (3/4)

Dimensionnement des unités d'infiltration en m²/EH

Moyenne	0.54
Ecart-type	0.42
Valeur min / Max	0.06 / 2.11



Relation entre le nombre d'unités et la base de dimensionnement d'une unité



Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Cemagref Développement en France (4/4)

☒ Problèmes principaux :

- Impossibilité de contrôler le rejet car les filtres ne sont pas drainés (40 %)
- Infiltration médiocre voir inexistante (34 %)
- Aucun rejet en sortie des lagunes (8.5 %)
 - du à une station sous chargée hydrauliquement (5 %)
 - ou
 - à une mauvaise étanchéité de celle ci. (6.9 %)

☒ Colmatage (19 sites / sur 56) :

- nécessité d'une bâchée / alimentation au fil de l'eau
- dispositif de vidange
- alimentation en plusieurs points

☒ Aucun site identifié pour faire l'objet d'un suivi.

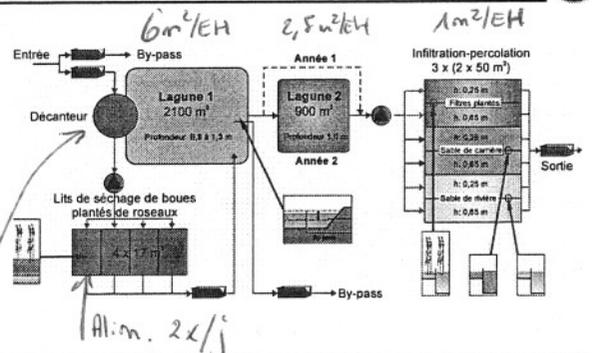
Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Cemagref Station de démonstration 1/2

- Partenaires : Syndicat des eaux du Barousse Comminges
Cemagref
Agence de l'Eau Adour Garonne
Conseil Général de Haute Garonne
Union européenne (programme LIFE Environnement)
- Construction : Automne 2002
- Taille : 300 – 350 EH
- Durée : 38 mois
- Coût : 700 000 € (investissement) +
230 000 € (suivi) +
85 000 € (diffusion)

Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Cemagref Station de démonstration 2/2



Journée ARPE, Antibes, 23 Octobre 2002

Zone de décantation = approfondiss + lagune 1
Lagune 1 : marnage 0,5 m => volume
tampon TP

1 - Infiltration-percolation :

Les filtres sont garnis de **trois matériaux différents**
sur **2 hauteurs différentes**

> Objectif global :

Accroître la qualité du rejet / à celle d'un lagunage naturel

> Objectif spécifique du projet :

Comparer les différents matériaux et
confirmer les charges organique et hydraulique appliquées

2 - Lits de séchage de boues plantés de roseaux :

Les **boues primaires** sont régulièrement traitées
par des lits de séchage de boues plantés de roseaux

> Objectif global :

Réduire les coûts d'exploitation

> Objectif spécifique du projet :

- confirmer la possibilité des lits de séchage de boues
plantés de roseaux de traiter les boues primaires et
- confirmer leurs bases de dimensionnement

3 - Lagunage naturel :

La hauteur d'eau dans la première lagune varie entre
0.8 m et 1.3 m

> Objectif global :

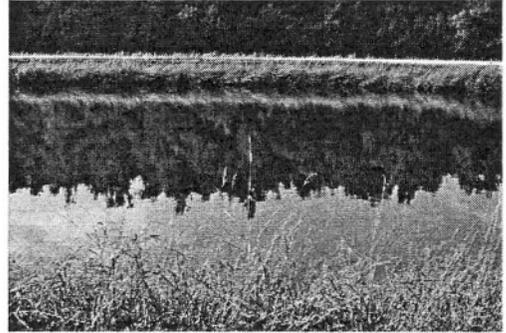
Traiter une partie des eaux pluviales

> Objectif spécifique du projet :

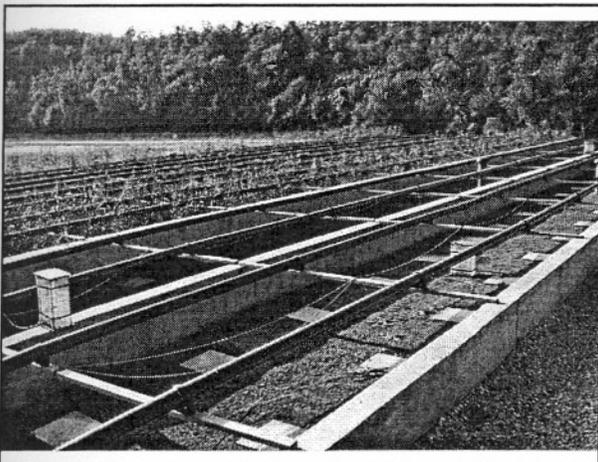
Définir précisément les limites hydrauliques

Aurignac
Août 2003- Juillet 2004

Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004



Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004



		Sable roulé (RS)	Sable concassé (CS)	Sable roulé + Macrophytes
d10	mm	0.25	0.19	0.25
CU		4.7	9.3	4.7
Teneur en fine	%	2.1	4.0	2.1
Densité	kg.m ⁻³	2684	2753	2684
Porosité		0.42	0.44	0.42
Vitesses d'infiltration Milieu vierge m.s ⁻¹	25cm	>1.5 10 ⁻⁴	>1.5 10 ⁻⁴	No data
	65cm	>1.5 10 ⁻⁴	110 ⁻⁴	No data

1. Suivi continu (données via modem)

- Données station météorologique
- Débit entrée station
- Débit bypass lagune
- Temps de fonctionnement des pompes d'alimentation des 6 filtres
- Débit sortie station

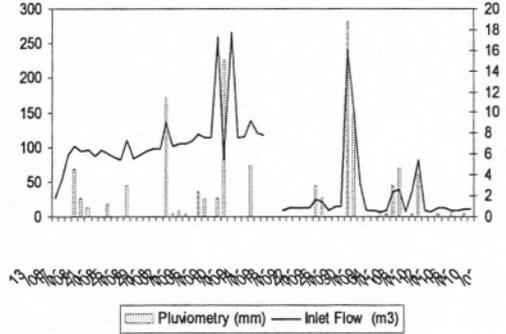
- SUR LES 6 FILTRES: hauteurs d'eau, températures

- Temps de fonctionnement des pompes d'alimentation des 4 lits séchage

Enregistrement continu
Chaque semaine traitement données

Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

Débit Journalier entrant



Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

Débit journalier

Moyenne: 62,1 m³/j Max: 267,0 m³/j – min: 3,0 m³/j
(charge nominale: 45 m³/j)

Lagune: capacité « tampon »

Réglage vanne lagune-filtres: Théorique 6 « bâchées » par jour constant

Le Bypass n'a pas fonctionné de suite.

Marnage possible: Volume= 1050 m³

Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

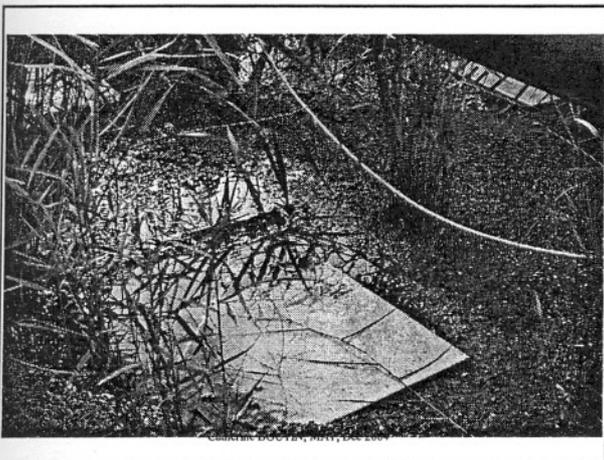
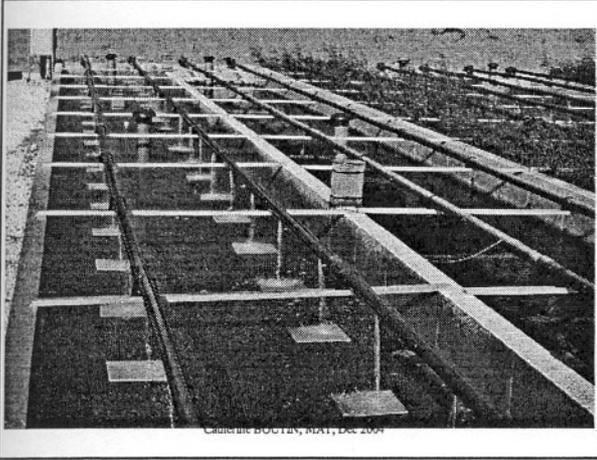
FILTRES

1. Charge hydraulique

(4,9 m³/bâchée)

	Réel	Théorique
Nombre de « Bâchées »	Moy 6,4 Max 24,0-min 0,0 Médiane: 5,0	≅ 6
Débit (m ³ /j)	Moy 40,1 Max 331,2-min 0,0	≅ 40
h (cm/m ² filtre en fonctionnement)	Moy 40 Max 331	

Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004



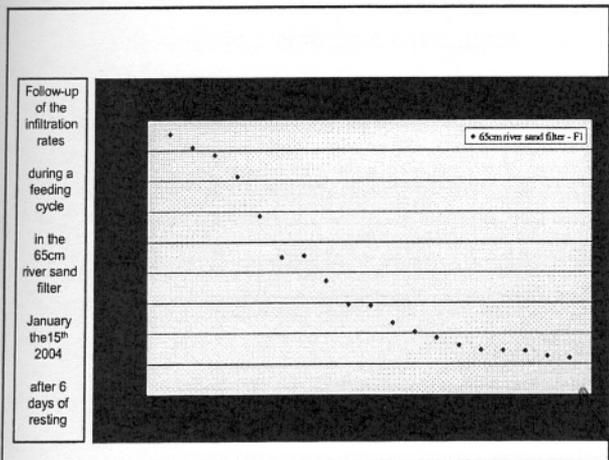
FILTRES

2. Évolution des filtres (capacité infiltration)

2.1. Vitesse infiltration

- sondes de hauteur: → V_{in}
- Comparaison garnissage et hauteur des filtres
- Évolution (bâchée, cycle alimentation, temps)
- Relation $V_{in} = f(\text{charge hydraulique, température})$

Perméabilité



18.10.6

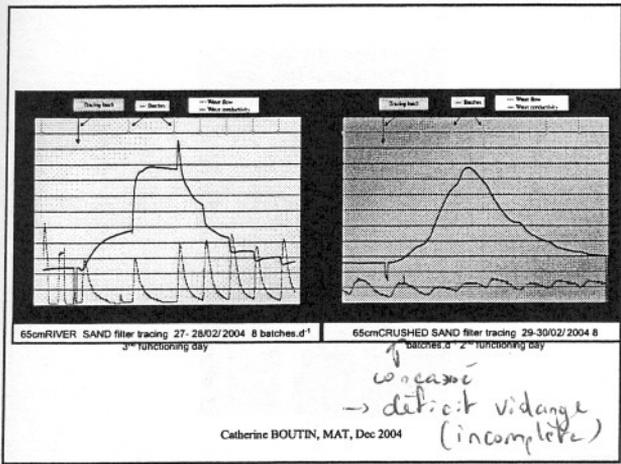
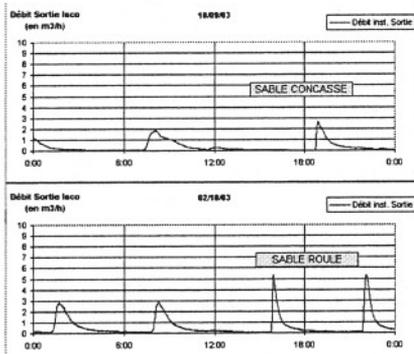
2.10.6

20 baches -

⇒ traduct^o de la perte de la capacité d'infiltrat si alim. continue
 ⇒ nécessité alim par baches

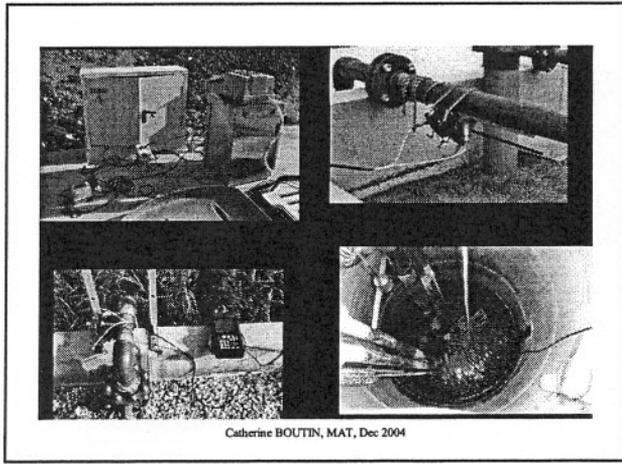
FILTRES

2.2. Débit instantané sortie



concassé
 → déficit vidange (incomplète)

⇒ mauvaise oxygénat.



Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

Charges traitées et performances de la lagune

	JOUR 1			JOUR 2			MOYENNE		
	Entrée Kg/j	Sortie Kg/j	Rendement (%)	Entrée Kg/j	Sortie Kg/j	Moyenne (%)	Entrée Kg/j	Sortie Kg/j	Moyenne (%)
MES	6.90	0.91	87	4.90	1.06	78.5	5.9	0.98	83
DCO	11.70	2.45	79	13.20	2.39	82	12.4	2.42	81
DCOF	6.40	1.66	74	6.10	1.36	78	6.3	1.51	76
NH ₄	1.10	0.09	92	1.40	0.10	93	1.3	0.10	92
TKN	1.60	0.22	87	2.00	0.25	87	1.8	0.23	87
Pt	0.30	0.06	82	0.30	0.06	80	0.3	0.06	80

Charge nominale 15 kg/DBO₅/j

≅ 30- 35 % Charge organique nominale

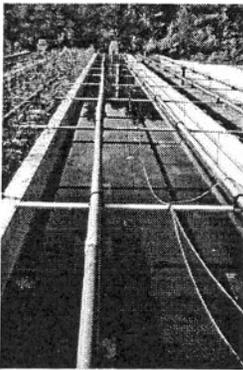
Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

Charges traitées et performances des filtres

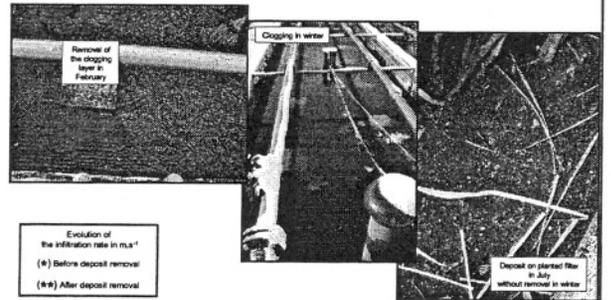
	Jour 1 Sable roulé Macrophytes (25 - 65 cm)			Jour 2 Sable roulé (25 - 65 cm)		
	Entrée Mg/L	Sortie Mg/L	Rendement	Entrée Mg/L	Sortie Mg/L	Rendement (%)
MES	58	6-3	89-95	58	14-5	78-92
DCO	144	47-25	68-83	59-40	58-72	
DCOF						
NO ₃	Non détectables	13-13.5		31-37		
NH ₄	5.4	Non détectables		Non détectables		
NK	14	2.1-1.4		2.6-1.5		
PO ₄						
Pt	3.4	0.7-0.4	78-88	1.3-0.4	62-82	

Charge journalière sur LE FILTRE EN FONCTIONNEMENT: 20,3 g DCO.m²

≅ 3,6 bûches = 5,7 g DCO.m²/bûche



Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004



Evolution of the infiltration rate in m.s⁻¹
 (*) Before deposit removal
 (**) After deposit removal

	February	March	June
Planted filters	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
25cm RS filter	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷ (-)	1,5 10 ⁻⁴ (-)	



Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

1- En milieu vierge, les vitesses d'infiltration sont équivalentes.

2- Les principales différences entre sables ronds et concassé portent sur leur forme géométrique et le CU. Leur comportement hydraulique est similaire pour 25 cm et fort différent pour 65cm

3- L'évacuation du dépôt superficiel a conduit à une augmentation de façon très significative les vitesses d'infiltration= 100X. Pour les filtres plantés, il a fallu attendre juin pour atteindre de meilleures vitesses et une augmentation de 10X par rapport à Mars sans intervention humaine.

4- L'écoulement de l'eau est plus rapide dans les 25cm que 65cm. Un hauteur supplémentaire de 40cm accroît sensiblement les temps de séjour (1 à 2 bâchées soit 3 à 5 h en plus).

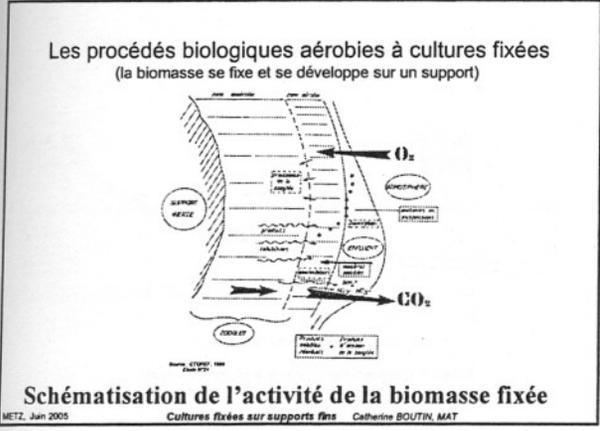
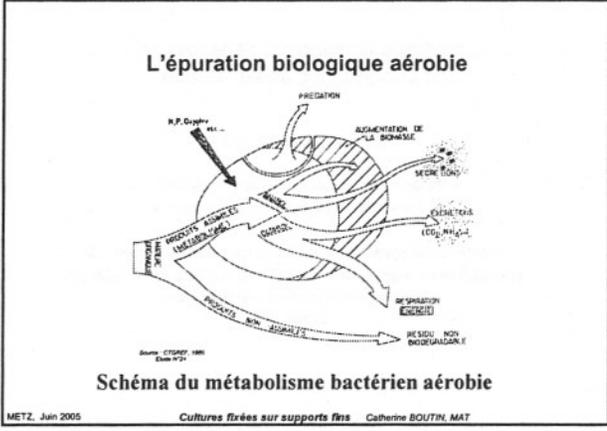
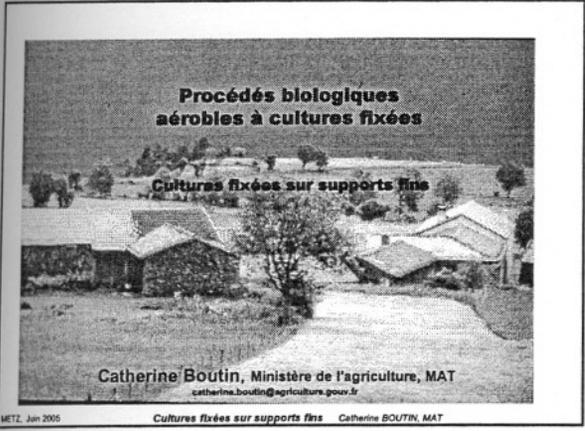
Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004

Les meilleur dimensionnement, mise en oeuvre et conditions de fonctionnement ne sont pas encore définies. Il est évidemment nécessaire de compiler les données hydrauliques, physico-chimiques et bactériologiques pour disposer d'une vision globale.

Pendant l'hiver prochain, la charge hydraulique appliquée moyenne sera de $0.25\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{j}^{-1}$.

Le but du suivi de l'installation dans ces conditions est de confirmer la faisabilité technique et économique d'une telle association.

Catherine BOUTIN, MAT, Dec 2004



Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins

C'est une filtration biologique sur des supports de petite taille (sable, gravier, sol)

- 2 Processus prépondérants:

FILTRATION SUPERFICIELLE: rétention des MES (colmatage superficiel)

OXYDATION BIOLOGIQUE: $DTO = DCO_{dissolus} + 4,5 NK$

O_2 : renouvellement de l'air par diffusion-convection
 Biomasse: auto-régulation de la biomasse

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobie à cultures fixées sur supports fins

Il est impératif de:

1. d'alterner phases d'alimentation et de repos (2 périodes de repos pour 1 d'alimentation)

POUR

- La ré oxygénation des interstices du massif filtrant
- La minéralisation des dépôts organiques superficiels

2. d'alimenter l'ouvrage en service de façon intermittente

POUR

- Assurer une bonne répartition de l'effluent sur la plage d'infiltration
- Favoriser la mise à l'air entre 2 apports et stimuler les échanges gazeux.

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobie à cultures fixées sur supports fins

Ce qui suppose de

1. disposer de plusieurs ouvrages en parallèle: 3 réacteurs en parallèle (au minimum 2)

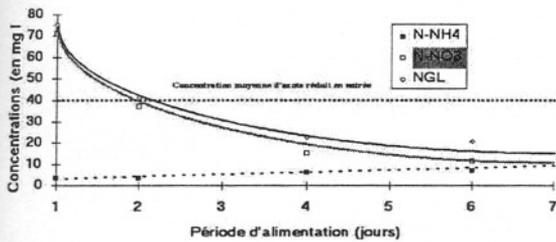
2. mettre en place un système de stockage temporaire et de délivrance d'un fort débit pendant un temps court (bâchée)

- par siphon ou electrovanne (en gravitaire)
- par pompes

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Évolution des composés azotés au cours d'une période d'alimentation



Mesures réalisées sur la station de Saint Symphorien de Lay (42)
(2 lits alimentés en alternance chaque semaine)

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Influence de l'alimentation par bâchées

	DCO	MES	N-NK	NGL	P-PT
	en % sur les charges journalières entrée-sortie lit				
Avant bâchées 5e jour d'allm.	62	55	24	10	10
Après bâchées 6e jour d'allm.	85	85	85	71 ¹	76 ²

¹ Lessivage de nitrates au début du cycle d'alimentation

² Rendement décroît avec la saturation progressive des sites d'adsorption (A₂) contenu dans le sable)

Mesures réalisées sur la station de Saint Symphorien de Lay (42)
(2 lits alimentés en alternance chaque semaine)

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Que se passe-t-il à l'interface sable - couche drainante ?

Fasciated flow mechanisms in a sloping layered soil: Laboratory investigation
 Dr. L. Metz, J. A. Nave, T.A. Sauerbrey, J. F. Pothier, A. Nolle, G. B. Simeoni, A.H. Nave, J. Bell

Flow Slope	120 mm day ⁻¹	280 mm day ⁻¹	680 mm day ⁻¹
11.7°			
7.1°			
3.5°			
0°			

En milieu non saturé, une frange capillaire se développe à l'interface de 2 matériaux de granulométries différentes

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Action néfaste de la frange capillaire sur l'aération

Convection
Possible barrière à la progression de l'air poussé par la lame d'eau

Diffusion
Barrière à la diffusion de l'air présent dans la couche drainante

des études complémentaires sont encore nécessaires pour comprendre et déterminer les capacités d'aération dans les massifs filtrants en sables propres puis colonisés par la biomasse épuratoire

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Avec une frange capillaire à la base du sable : que se passe-t-il ?

— Sable d10=0,20mm - CU=2,3 — Loire d10=0,43mm - CU=3,5
 — Hérouville d10=0,33mm - CU=2,7 — Couvres d10=0,24mm - CU=3,8

Pression (mH₂O)

Temps (s)

Pression d'air sous-jacent pour traverser un massif d'env. 20cm en colonne exp.

➤ Sables fins : Pressions capillaires et humidité plus importantes à la base des massifs filtrants

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Si on ajoute un géotextile ?

Sable de Sable sur géotextile Entendré et gravier après 21 et 230 de remuage

— 21 et Entendré — 230 et Entendré — 21 et gravier — 230 et gravier

Pression (mH₂O)

Temps (s)

Pression d'air sous-jacent pour traverser un massif d'env. 20cm en colonne exp.

➤ Géotextile : Pressions capillaires et zone saturée plus importantes
 ⇒ Pas d'aération par le fond et risque de colmatage décuplé

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins



Infiltration-percolation sur sable
Matériau support de la biomasse : sable
Couche drainante



Epandage souterrain
Matériau support de la biomasse : sol en place
Couche de distribution



Filtres enterrés
Couche superficielle de graviers
Couche de distribution
Matériau support de la biomasse : sable
Couche drainante



Epandage superficiel
Matériau support de la biomasse : sol en place



Filtres plantés de roseaux
Matériau support de la biomasse
1er étage : graviers fins
2ème étage : sable
Couche drainante

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins

Charges appliquées

Calculs établis sur la base de 50 g de DBO₅ par EH et par jour et d'un abattement (sécurité) de 25 % dans le décanteur-digester [DD] ou la fosse septique toutes eaux [FSTE]

	Visibilité	Matériaux	Charge appliquée par rapport à la surface totale du massif
Infiltration-percolation	oui	sable	DD + 25 g DBO ₅ .m ² .j ⁻¹ EH
Filtres enterrés	non	sable	FSTE ou DD + 12.5 g DBO ₅ .m ² .j ⁻¹ EH
Epandage souterrain	non	sol en place	FSTE ou DD + charge surfacique selon K ^{0.4}
Epandage superficiel	oui	sol en place	DD + charge surfacique selon K ^{0.4}
Filtres plantés de roseaux	oui	gravier/sable	40g DBO ₅ / [1 m ² (1 ^{er} étage) + 0.6 m ² (2 ^{ème} étage)] j ⁻¹ EH

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins

Caractéristiques communes

- Très faibles charges surfaciques apportées (< 35 g DBO₅.m².j⁻¹)
- Alimentation alternée : 2 périodes de repos pour 1 d'alimentation
- Alimentation syncopée ou par bâchées
- Bon niveau de performances potentiellement atteint [D4]
- Nitrification importante, révélatrice de la « santé » du système
- Peu d'abattement sur les nutriments (azote et phosphore)
- Exploitation simple MAIS régulière

Connaissances encore très incomplètes des points clés du fonctionnement et dimensionnement encore imprécis

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Infiltration-percolation sur sable

Déc-Dig ou FSTE
sable
Couche drainante



Filtres enterrés

Couche superficielle de graviers
Déc-Dig ou FSTE
sable
Couche drainante



Filtres plantés de roseaux

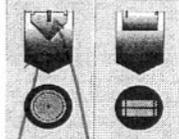
Sans Déc-Dig ni FSTE
1er étage : graviers fins
2ème étage : sable
Couche drainante



METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Le décanteur – digesteur

Filière de traitement [Niveau D1]
ou
traitement primaire avant les traitements secondaires par cultures fixées

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

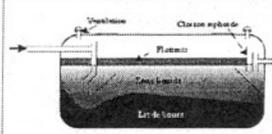
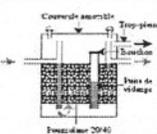
Décanteur – Digeur OU Fosse Septique Toutes Eaux

- **Décanteur**
 - Piéger 50 % MES
 - S mini : Vasc < 1.1 m / h en pointe
 - Éviter la septicité
 - V : Temps Séjour moyen < 3 h
- **Digeur**
 - Stocker la durée de stabilisation (6 mois)
 - V digesteur : temps de séjour 6 mois (avec v boues = 0.25 L / j / EH)
- **Fosse toutes eaux**
 - anaérobie sur 3 ans
 - V : Temps de séjour moyen à vide = 3 j
 - piéger 70 % des MES
 - S miroir : Vasc < 0.6 m / h en pointe
- **Préfiltre**
 - Dimensionnement arbitraire à 1 m³
 - Autres dimensions possibles
 - ➔ impact sur l'entretien

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Effluent décanté → non septique
Dimensionn^{er} / capacité stockage

La fosse septique toutes eaux [FSTE] + préfiltre
Prétraitement uniquement utilisable jusqu'à environ 100 EH avant des cultures fixées
(le plus souvent sur supports fins)

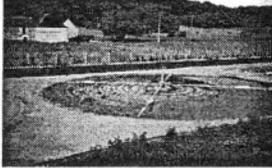
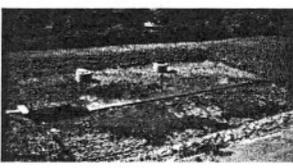



Dimensionnement : 3 jours de temps de séjour hydraulique
Vidange des boues tous les 3 ans

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins

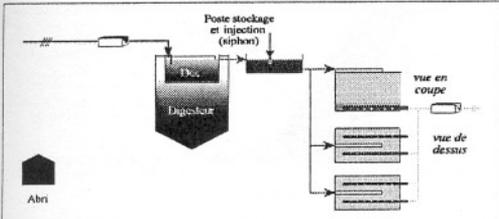
Les lits d'infiltration-percolation sur sable

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Effluent septique ⇒ trait^{er} nécessitant A aéraob > trait^{er} effluents frais

Les lits d'infiltration-percolation sur sable



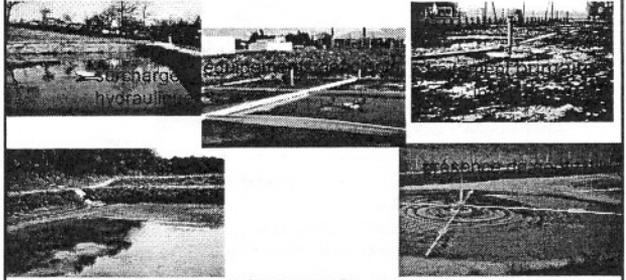
Dimensionnement

- 1.5 m² par Equivalent Habitant
- ➔ 3 x 0.5 m² (taille unitaire des lits n'excédant pas les capacités de distribution des dispositifs d'injection et répartition)

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Quelques exemples de dysfonctionnements

Plusieurs raisons possibles, difficiles à hiérarchiser



METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Les principales difficultés

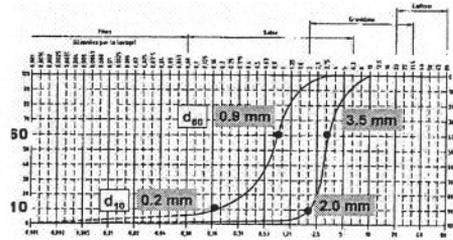
- Choix du sable
- Géogrille??
- Répartition hydraulique
- Entretien

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

A propos du sable

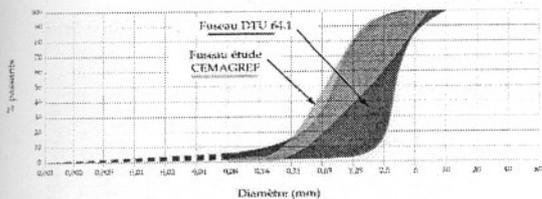
Recommandations peu précises

Fuseau du DTU 64.1 pour Ass. Non Collectif [ANC] souvent utilisé en Collectif



METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Caractéristiques du sable



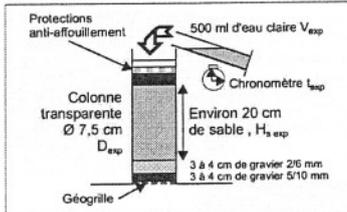
$0,25 \leq d_{10} \leq 0,40$ mm, $3 \leq C.U. \leq 6$, teneurs fines < 3%, calcaire < 4% en $CaCO_3$, C.U. < 5, sans doute plus approprié pour la perméabilité, à voir pour performances épuratoires

Travail réalisé par H. Guellaf - 1999

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Comment vérifier la qualité du sable livré sur site ?



Test dit de « Grant »

réalisé à l'eau claire et en conditions de saturation. le fond de l'éprouvette ne doit pas être limitant pour l'écoulement.

Pourquoi utiliser ce test ?

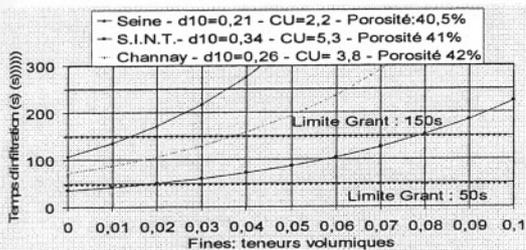
- Facile à réaliser, rapide, gamme $50 \leq t_g \leq 150$ s ($0,21 \leq d_{10} \leq 0,37$ mm)
- Permet d'obtenir une valeur approchée du K de Darcy
- Déjà utilisé en Angleterre, relation avec travaux de Beyer Allemagne

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Influence des particules fines minérales

Particules $\varnothing < 80 \mu\text{m}$ de même composition minéralogique que les sables (phénomènes d'attrition)



(d'après modèle de Revil & Cathles) - Travail réalisé par H. Guellaf - 1999

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Comment estimer, simplement, sur le terrain la conformité d'un sable en fines ?



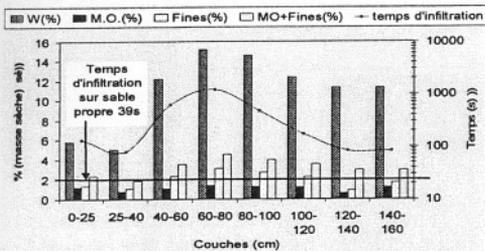
Dans 1 bouteille en verre d'un litre (jus de fruit - \varnothing ext. ≈ 90 mm), placer 500 ml de sable, remplir d'eau au 4/5, agiter vigoureusement, laisser reposer pendant 30 minutes :
 ⇒ une teneur en fines $\leq 3\%$ en masse, suppose une épaisseur de fines ≤ 3 mm (travail à poursuivre)

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Vieillesse de l'installation

Toujours extraire les dépôts superficiels, ne pas procéder à un bêchage par moto-fraise

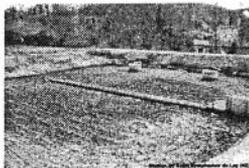


Profil vertical de la station de Saint Symphorien de Lay après 10 ans

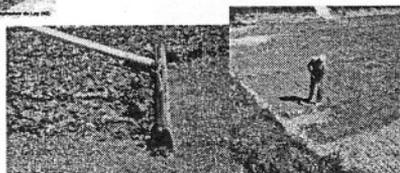
METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Entretien de l'installation

Exemple d'une pratique inadaptée



L'entretien des plages d'infiltration était réalisé à l'aide d'une moto-fraise qui bêchait le sable sur 20 à 30 cm
 ➔ migration des MES vers les couches profondes [épaisseur de sable : 170 cm]



Toujours procéder à un raclage superficiel après séchage et évacuer les dépôts

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Recommandations actuelles pour l'assainissement non-collectif (ANC) normalisation française

XP P 16-603
 Juin 1999
 Référence DTU 64.1
 NF 11 906.20

... mais souvent utilisées aussi en collectif pour filtres enterrés, voire lits d'inf.-perc.

Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement autonome

Caractéristique	Norme d'essai	Valeur sans production de bruits	Valeur avec production de bruits
Substrats à lit trouble	NF EN ISO 10218	≥ 13 000	≥ 8 000
Engorgement à l'arrêt (capacité)	NF EN ISO 10218	1,20 %	2,20 %
Pertinacité	NF D 24-616	≥ 0,50 m ³	≥ 0,50 m ³
Conductivité de Weibull	NF D 24-617	≤ 120 µm	≤ 140 µm



➤ Des investigations poussées ... puis un « sérieux toilettage » s'imposent pour que l'ANC devienne techniquement une alternative crédible au collectif.

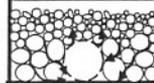
METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Comment concevoir au mieux avec les connaissances actuelles ?

Débit d'alimentation
 ≥ 1m³.h⁻¹.m² de filtre
 en service

3 filtres à 0.5m²/EH
Alimentation par bûchées de 5cm à 10 cm sur le filtre en service
3 à 4 jours d'alim. 7 jours de repos

60 cm Sable lavé 0.25 ≤ d₁₀ ≤ 0.4 mm - CU < 5 - sable alluvionnaire, non calcaire - fines < 3% en masse



10 cm Couche de gravier intermédiaire 5/10 mm (récupérer pente)

15 cm Couche drainante : gravier 15/25 + drains

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Alimentation par baches ... (1)



Siphon auto-amorçant : Efficace mais non standardisé et breveté

Chasse pendulaire : Disponible sur le marché mais débit limité à $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Désamorçage moins franc qu'un siphon

Extrait Liénard, 2005



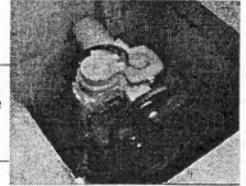
Alimentation par baches ... (2)



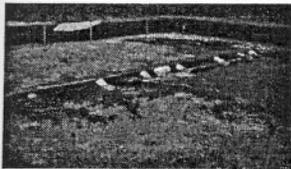
Auget basculant 500 L : Efficace mais volume et surface arrosée limités, non commercialisé dans cette taille

Vanne motorisée : Disponible sur le marché, automatisable et programmable mais nécessite un équipement électromécanique

Extrait Liénard, 2005

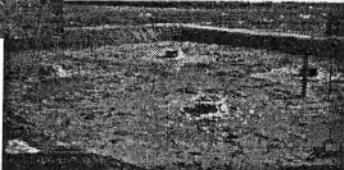


Répartition de l'eau ... (1)



Plus simple à mettre en œuvre mais débit $< 1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

Auto-curage et vidange des canalisations problématiques



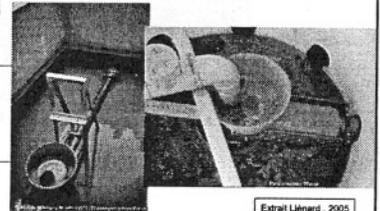
Extrait Liénard, 2005

Répartition de l'eau ... (2)



Bonne idée : Découper la surface en unités élémentaires pour mieux répartir l'effluent sur des plages d'infiltration de surface réduite

Astucieuse : L'idée de coupler une chasse pendulaire avec un partialisateur de débit



Extrait Liénard, 2005

$Q_{\text{baches}} = \text{de } 0,5 \text{ à } 1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$
3 à 4 baches / j

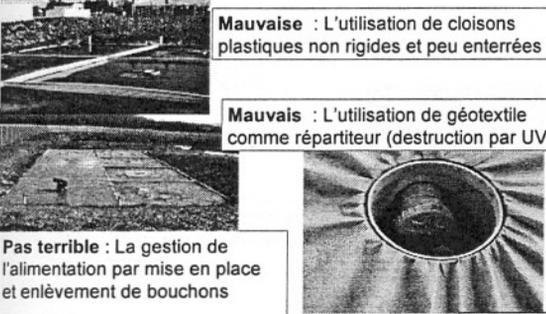
Cemagref

Répartition de l'eau (3) MAIS

Mauvaise : L'utilisation de cloisons plastiques non rigides et peu enterrées

Mauvais : L'utilisation de géotextile comme répartiteur (destruction par UV)

Pas terrible : La gestion de l'alimentation par mise en place et enlèvement de bouchons



Extrait Liénard, 2005

Cemagref

Répartition et entretien...(1)

Bonne idée : Utilisation d'un sprinkler de lit bactérien - répartition très homogène

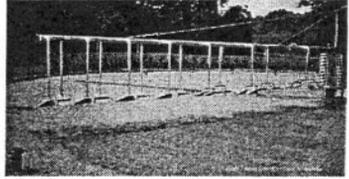
Mais : Sillons formés par les jets gênants pour l'entretien des plages d'infiltration



Extrait Liénard, 2005

Cemagref

Répartition et entretien...(2)



Bonne idée : Optimiser et minimiser les doses apportées (augmentation du temps de séjour, très bonne distribution, débits globalement moins élevés, ...)

Mais : Matériel onéreux, entretien délicat → très peu d'applications opérationnelles

Extrait Liénard, 2005

Cemagref

Accès et répartition...

Bon : Passages pour l'entretien des plages d'infiltration

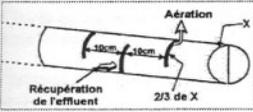
Mauvais : Cuvette de tranquillisation du débit et grilles pour la répartition



Extrait Liénard, 2005

Cemagref

Couche drainante ...



Bon : l'utilisation de tubes PVC entaillés par des fentes de 5mm



Mauvais : Utilisation de drains agricoles ou routiers équipés de petits trous ou fentes

Extrait Liénard, 2005

Cemagref

Gérer les flux hydrauliques excédentaires ...



Mauvais : Placer ce type de station après un réseau unitaire et de surcroît après un déversoir d'orage mal calé
 ⇒ passage en anaérobiose et court-circuitage pendant 3 à 4 semaines pour récupération

Bon : Limiter les flux et la hauteur de submersion afin de permettre une récupération + rapide



Extrait Liénard, 2005

Les lits d'infiltration-percolation sur sable

Problèmes constatés sur le terrain (1)

Poste	Défauts constatés	Conception optimale Remèdes
Traitement primaire	Inefficaces et peu fiables	Décanteur-digester Protection hydraulique Soutirage boues
Nombre et surface massifs filtrants	2 très souvent	3 x 0.5 m ² /EH
Distribution effluent	Mauvaise répartition	
	surf. unit. importantes	domaine d'utilisation dépassé partitionner en sous unités
	débit bâchée trop faible courts circuits, affouillements	> 1 m ³ /h/m ² de lit en service système de répartition mal conçu, réduire vol. bâchées (minimum 3 par jour) limiter accès à parois talutées

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT Extrait Liénard, 2005

Les lits d'infiltration-percolation sur sable

Problèmes constatés sur le terrain (2)

Poste	Défauts constatés	Conception optimale Remèdes
Réalisation massifs filtrants	Performances insuffisantes Colmatage	
	sables inadaptés	0.25 < d ₁₀ < 0.4 mm fines < 3% en masse C.U. < 6
	géotextiles forte submersion prolongée	géogrid + 10 cm gravier surverses limitant H.eau à 30 cm
Exploitation	Déficience, cause de performances insuffisantes et colmatage	alternance 2 fois/semaine scarification superficielle, enlèvement des dépôts

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

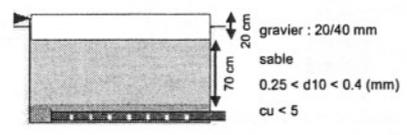
Points ENCORE ET TOUJOURS en question...

- Durée de vie liée à l'accumulation de M.O. résiduelle / gestion des dépôts superficiels
- Rythmes d'alimentation les plus adaptés en termes de performances et minéralisation
- Utilisation de sables concassés de caractéristiques identiques à celles des sables roulés
- Agencement de la base des filtres pour minimiser la frange capillaire
- Incidence des eaux très septiques (prétraitement par FSTE)

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Filtres enterrés 1/2

- Surface : 3 m² / EH (sécurité X 2)
- Alternance sur 3 lits de 1 m² / EH (alternance possible sur 2 lits de 1.5 m² et 7 j de repos)
- Remplissage :



METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Filtres enterrés 2/2

- Répartition hydraulique sur le filtre : À TESTER, délicate car surface importante

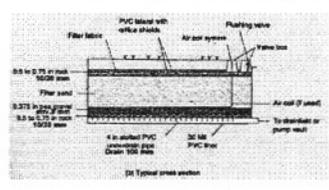
Volume bâchée, Débit de vidange, Pression minimum

Logiciel Cemagref / AESN REPETEAU propose une disposition des rampes et porte-rampes et leurs conditions de mise en œuvre

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

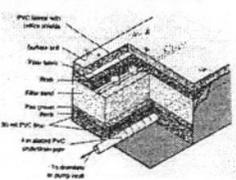
Que fait-on aux États-Unis ?

Recommandations EPA pour ISF (Intermittent Sand Filters)



- Sable d₁₀ 0.25 - 0.75 mm, C.U. < 4
- Profondeur moyenne 60 cm
- 50mm.j⁻¹, 5gDBO₅.m².j⁻¹
- Alim. sous pression 0.1-0.2bar
- 18 bâchées min. par jour

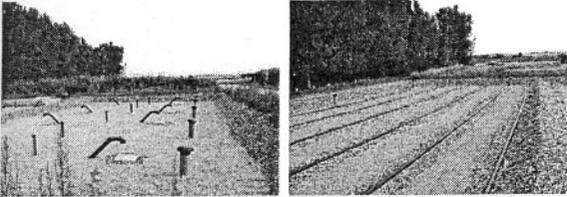
Pas de géotextile à la base des filtres sable posé sur gravier fin (peagravel) Système d'insufflation d'air à la base du sable optionnel



METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Les procédés biologiques aérobies
à cultures fixées sur supports fins

Les filtres plantés de roseaux

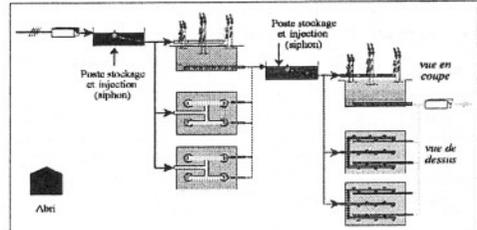


1^{er} étage

2^{ème} étage

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les filtres plantés de roseaux



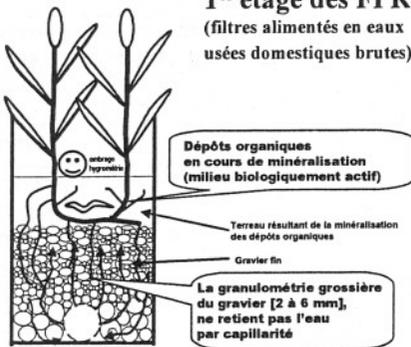
Dimensionnement

- 2.0 à 2.5 m² par Equivalent Habitant selon hydraulique du réseau
- ➔ 3 x 0.4 à 0.6 m² par filtre au 1^{er} étage (admission d'eaux usées brutes)
- ➔ 2 ou 3 x 0.4 à 0.6 m² par filtre au 2^{ème} étage

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

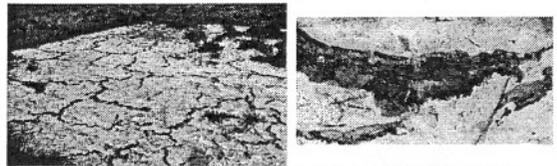
1^{er} étage des FPR

(filtres alimentés en eaux usées domestiques brutes)



METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

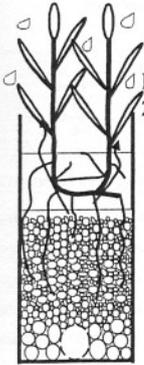
Que se passe-t-il sur un 1^{er} étage de filtre alimenté avec des eaux usées brutes et non planté ?



Formation d'une croûte colmatante de dépôts celluloseux

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

2^{ème} étage des FPR



Évapotranspiration des roseaux :
2 fois celle d'un plan d'eau en été

Incidence sur la frange capillaire :
en été, OK !! – en hiver ??

Système racinaire également support
de la biomasse : plus actif ??

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Performances (1)

Station de Queige (Savoie) – 600m froid 500EH – départ : 1998 – rejet lit majeur riv.

8 bilans 24h mg.L ⁻¹	DCO	DBO	MES	NK	N-NH4	PT
Entrée	494	250	178	62	49	9
Sortie 1et.	123	40	26	25	19	9
Sortie 2et. (3 mes.)	42	9	12	14	12	6
Rendement 1	75%	84%	85%	61%	60%	7%
----- 2	66%	77%	54%	44%	49%	54%
Global	91%	96%	93%	78%	80%	58%

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

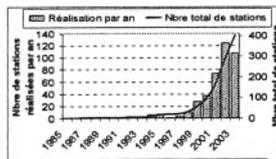
Performances (2)

Station de Roussillon (Vaucluse) Estivale 1250EH (2015 été, 465 hiver) – départ : 1998

7 bilans 24h mg.L ⁻¹	DCO	DBO	MES	NK	N-NH4	PT
Entrée	792	405	344	71	41	13
Sortie 1et. (mes.08/01) ch.86%org.	129	21	35	55	30	10
Sortie 2et. (12 mes.)	42	6	6	5	2	7
Rendement 1	90%	99%	83%	45%	86%	29%
----- 2	69%	71%	84%	86%	93%	23%
Global	95%	98%	98%	93%	96%	46%

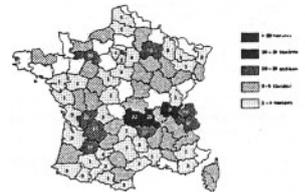
METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Développement des FPR en France



- Forte croissance des constructions à la fin des années 1990
- Mise en eau d'une centaine de stations par an

- Intéresse toutes les régions françaises sauf Bretagne
- Bonne implantation dans le Sud-Est
- Notamment départements 01, 42 et 63



METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Rendements et concentrations en sortie

Mesures SATESEs, financement Agences

	DCO		DBO		MeS		NK		PT	
	%	mg.L ⁻¹								
Moy.	88	88	94	17	94	16	82	13	30	7.9
ET	16	50	8.3	25.5	9.3	27	20.5	17	89.3	6.9
(N)	(108)	(122)	(106)	(119)	(109)	(122)	(108)	(120)	(109)	(118)

Moy. = Moyenne - ET = Ecart-type - (N) = Nbre. de valeurs

- Résultats obtenus sur 48 stations âgées de 2 mois à 7 ans
- Charge hydraulique moyenne nominale 0,37m.j⁻¹ (min. 0,09 - MAX. 2,9)
- Charge organique moyenne 200g DCO.m⁻².j⁻¹ (min. 17,3 - MAX. 1677)
- Excellents abattements en carbone et nitrification
- Rendements faibles en P (matériaux siliceux non adsorbants)

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Performances (dimensionnement ≈ nominal)

Mesures SATESEs, financement Agences

	mg.L ⁻¹	DCO	DBO	MES	NK
Etage 1		127	32	35	30
Etage 2		65 ± 15	13 ± 5	17 ± 11	13 ± 5

Concentrations 1^{er} étage mesurées sur 24 valeurs et 2^{ème} étage sur 42 valeurs
 Résultats obtenus 19 stations (1^{er} étage : 1,2-1,5 m²/EH - 2^{ème} étage : 0,8-1,0 m²/EH)

- Charge hydraulique moyenne : 0,20m.j⁻¹ (min. 0,03 - MAX. 0,67 soit ≈ 2 QTs)
- Charge organique moyenne 200g DCO.m⁻².j⁻¹ (min. 17,3 - MAX. 1677)
- Niveau D4 toujours atteint (y compris dans l'intervalle de confiance)
- Nitrification importante dès Etage 1, amplifiée en Etage 2

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Évolution des performances Etage 1 à Gensac la Pallue (16)

	DCOb	DCOf	MES	NK
1988 - 1992	68,1 % (6,3)	-	87,2 % (2,3)	28,9 % (8,9)
1996	80,0 %	50,0 %	92,0 %	33,0 %
	110 mg.L ⁻¹	70 mg.L ⁻¹	20 mg.L ⁻¹	31 mg.L ⁻¹

- Station conçue en 1986 (mise en eau juin 1987, vidange de 6 lits en 1996, puis des 2 derniers en 2001)
- Matériau: seulement 30 cm de 3/8 mm
- Les rendements ont tendance à s'accroître avec le temps
- Couche de dépôts superficiels biologiquement très active

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Limites hydrauliques (thèse P. Molle, 2003)

Essais sur station de Colomieu (01) en service depuis 9 ans (couche de boues de 7cm), surcharge continue 5QTs entre mars et août 2002 (1,8m.j⁻¹ sur filtre en service) sans dégradation du niveau D4 (NK ≤ 3,5mg.L⁻¹, mais dilution)

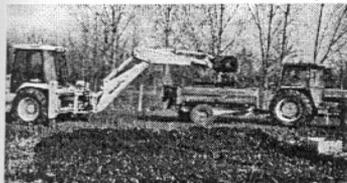
H dépôt	0-10cm		10-25cm		
	Fréquence	1fois/sem	1fois/mois	1fois/sem	1fois/mois
Lame d'eau	m/jour	1,8	3,5	0,9	1,8
	m/heure	0,25		0,11	

- Adaptation à réseaux séparatifs drainants (unitaires en-cours d'étude)
- Prévoir dénoyage d'au moins 12h/jour

METZ, Juin 2005 Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT


 Fonctionn^r réseaux unitaires en TP -

Extraction des boues sur les filtres du 1er étage



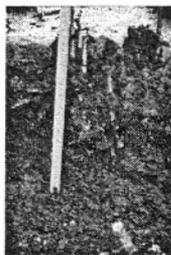
Mars 2001 à
Gensac la Pallue (16)
Après 13 ans de
fonctionnement
-
Perméabilité $\approx 10^{-5} \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$

Bonne minéralisation (aspect
terreau) permet un excellent
ressuyage : siccité > 20%,
48h après essais hydrauliques



METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Caractéristiques des boues



	MS	MV (% de MS)
Couche sup.	15-20 %	50-60 %
Couche médiane	20-30 %	40 %
Couche inf.	30 %	35-40 %

• Boue colonisée par rhizomes et racines
+ nombreux vers de terre

• Seule couche supérieure récente, peu
minéralisée et hydrauliquement limitante

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Repousse des roseaux après extraction des boues



3 semaines après extraction



6 semaines après extraction

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Contraintes d'exploitation (400 hab.)

TACHE	Fréquence	Durée	Total par an
Manœuvre des vannes, contrôle des siphons	2/semaine	5 min	9 h
Prétraitement : nettoyage du dégrilleur	1/semaine	10 min	9 h
Inspection générale des filtres, contrôle des mauvaises herbes	1/semaine	10 min	9 h
Tenue du cahier d'exploitation, tests bandelettes	1/semaine	15 min	13 h
Tonte digues et abords (outils de jardin)	6/an	4 heures	24 h
Inspection et nettoyage des syst. de distribution 1 ^{er} et 2 ^{ème} étages	2/an	2 heures	4 h
Nettoyage des regards, bêche de stockage, ...	2/an	1 heure	2 h
Faucardage et évacuation des roseaux	1/an	30 heures	30 h
Extraction des boues sur les filtres du 1 ^{er} étage	1/10 ans	30 heures	3 h
TOTAL annuel en heures			103 h

METZ, Juin 2005 *Cultures fixées sur supports fins* Catherine BOUTIN, MAT

Conclusion (1)

- Alimentation en eaux usées brutes
- Traitement très efficace pour C et nitrification.
- Fiabilité des performances
- Absence d'énergie requise si dénitrifiée
- Simplicité de l'exploitation
- Alternance et alimentation par bâchées très importantes

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Conclusion (2)

- Faible production de boues
- Extraction aisée (produit structuré, siccité \approx 30%)
- Repousse rapide des roseaux
- Nouveau cycle de fonctionnement immédiatement opérationnel
- Adaptation à des surcharges hydrauliques (réseaux séparatifs + eaux claires parasites)

METZ, Juin 2005

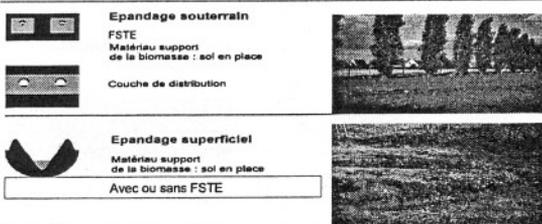
Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage souterrain ou superficiel

épuration par le SOL en place

Technologie issue des filières d'assainissement non collectif

- Dimensionnement :
 - Se base sur la capacité d'infiltration du sol
 - Une abaque donne la surface nécessaire
- Les processus d'épuration ne sont pas a priori limitants
- Niveau atteint : D4 résultat « bibliographique » car difficultés de la mesure



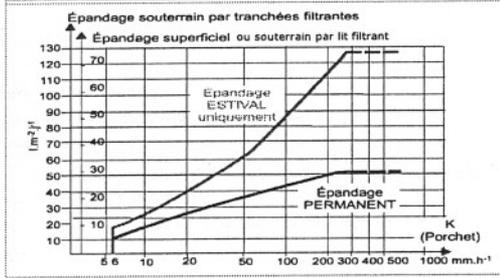
METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage souterrain ou superficiel

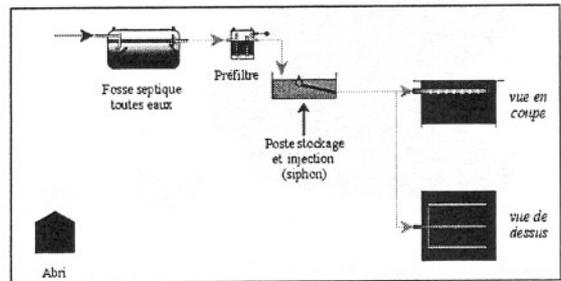


Abaque de dimensionnement (CTGREF, 1980)

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

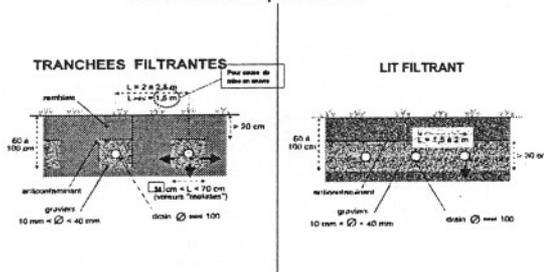
Épandage souterrain 1/4



METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage souterrain 2/4 2 réalisations possibles



d'après circulaires du 22 mai 1997 et du 20 août 1984 (abrogée), relatives à ANC

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage souterrain 3/4 Comparaison des 2 mises en œuvre

- Avantages Tranchées filtrantes
 - Moins de décapage et de matériaux (gravier, géotextile)
 - Plus de marge de sécurité pour le traitement car les remontées capillaires entre tranchées n'ont pas été considérées dans l'abaque
- Avantages Lit filtrant
 - Moins d'emprise globale
 - Réalisation si pb de tenue du sol

METZ, Juin 2005

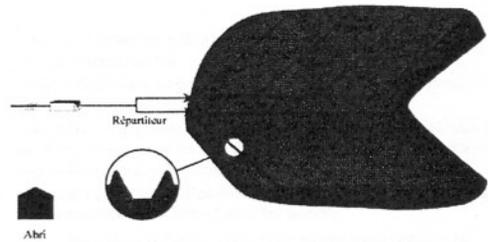
Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage souterrain 4/4

Taille recommandée :

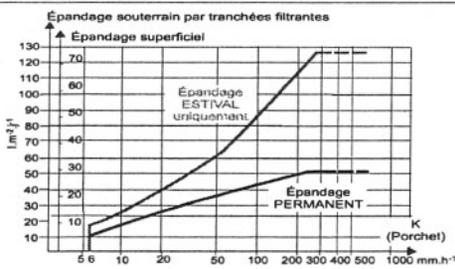
- réglementation ANC pour les petites tailles ????
- < 300 Eh :
 - La grande emprise au sol limite les réalisations de grandes tailles
 - facteur limitant : répartition hydraulique????

Épandage superficiel 1/5



filère délaissée (mauvaise image) mais qui a pourtant de nombreux avantages: même principe que épandage souterrain mais à l'air libre

Épandage superficiel 2/5



- Surface : Fonction de la perméabilité du sol
- Nombre de billons : ??

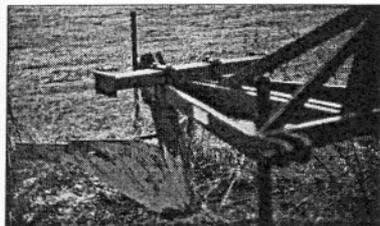
Épandage superficiel 3/5

Spécificité du procédé :

- Traitement primaire/ pretraitement:
 - Pas de FSTE en tête : les effluents septiques génèreraient des odeurs
 - Décanteur-digester possible mais pas nécessaire
 - Nécessité d'un dégrilleur
- Répartition sans bâchée
 - L'effluent se répartit au fur et à mesure de sa progression dans le billon
 - Une pente adaptée est nécessaire

Épandage superficiel 4/5

- Alternance sur 2 lits, 7 j de repos
- Bâchée : sans
- Répartition hydraulique : à entretenir



Exemple de réalisation des billons

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Épandage superficiel 5/5

- Taille recommandée : < 200 EH
- Grande emprise au sol
- Image « négative » du procédé limitent les réalisations de grande taille
- facteur limitant : répartition hydraulique
- Il est difficile d'appréhender l'entretien des billons et la surveillance de la répartition hydraulique compte tenu du faible nombre de réalisations.
- Exploitation spécifique : entretien et réfection des billons, fauchage
- Avantages spécifiques : Possibilité de ne pas utiliser de 1er étage (boues primaires gérées directement dans les billons)
- Filière très bien adaptée aux petites communes avec variation de population

METZ, Juin 2005

Cultures fixées sur supports fins Catherine BOUTIN, MAT

Les végétaux dans le traitement des eaux usées

Végétaux = Synonyme d'« assainissement » durable »?

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005

plan

Filières existantes

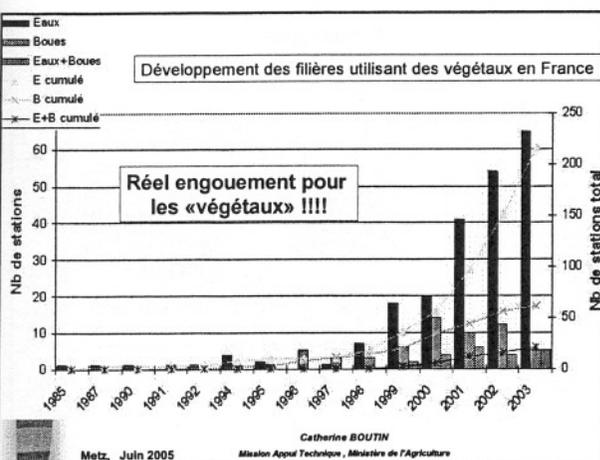
Rôle des végétaux

Conclusion

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005



Usage des végétaux dans l'épuration

Traitement des eaux usées

Cultures libres (lagunage)

Cultures fixées (filtres plantés de roseaux à flux vertical ou horizontal)

Déshydratation des boues

Biologiques

Primaires

Traitement conjoint de l'eau et des boues

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005

Végétaux ? : rôle mécanique



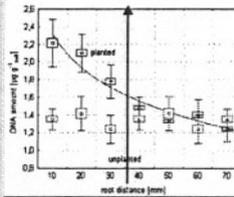
Régulation de la perméabilité

Catherine BOUTIN

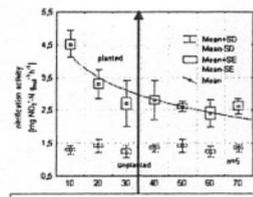
Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Végétaux ? : stimulant de l'activité biologique



Quantité de bactéries/distance des racines



Quantité de bactéries nitrifiantes/distance des racines

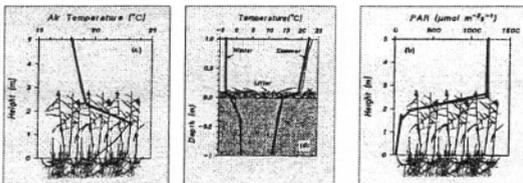
Influence marquée à distance de moins de 35 mm des racines.
Conclusion des auteurs (J Münch):
Un marais bien colonisé de végétaux est entièrement influencé par ceux ci.

Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Végétaux ? : stimulant de la minéralisation



Effets d'une couverture dense de roseaux en terme d'isolation thermique dans l'air et dans le sol et d'atténuation de l'ensoleillement (d'après Brix, 1994)

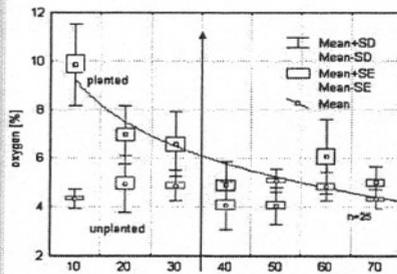
Humidité adéquate et minéralisation poussée du dépôt

Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Végétaux ? : Apport d'O₂



OUI, mais...

en cas de FPR à flux vertical alimentés en eaux usées brutes, apport d'O₂ dans des proportions négligeables /aux besoins d'oxydation .
en cas de FPR à flux horizontal, effet probable de diversification de zones anoxiques et aérobies

Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Végétaux ? : exportation N et P ?

Estimation bibliographique: $200 \text{ g de N.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$
 $3 \text{ à } 15 \text{ g de P.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$

Les quantités exportées annuellement varient entre 0,2 à 3,0 %
des charges de phosphore reçues en entrée.
 Un faucardage plus précoce risque d'endommager les plantes par
 piétinement avant qu'elles ne transfèrent des réserves de
 nutriments vers leurs parties souterraines.
 Pratiquer 2 faucardages par an ne permet pas d'augmenter la
 part de P prise par les végétaux. *D'après Jan Vymazal*

NEGLIGEABLE !!!!!

Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Végétaux ? : impact subjectif

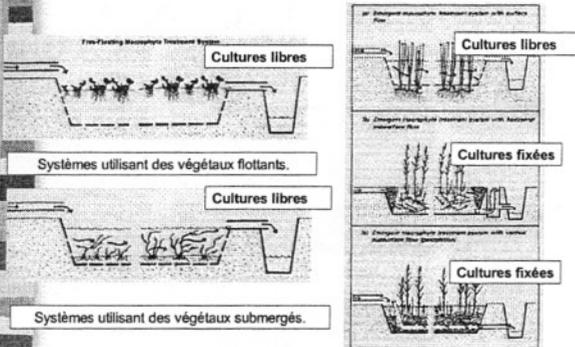


Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Les filières de traitement des eaux

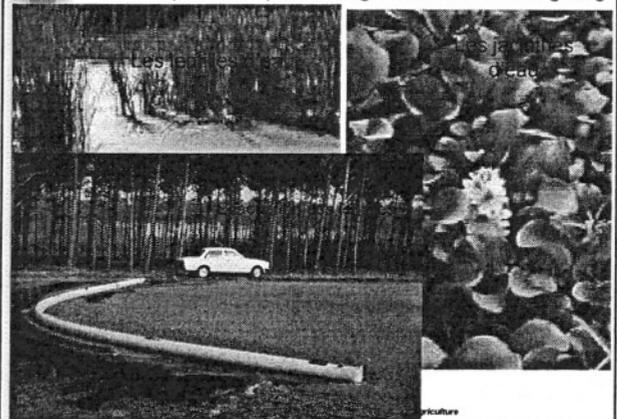


Catherine BOUTIN

Metz, Juin 2005

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Cultures libres Quelques exemples de végétaux flottants en lagunage



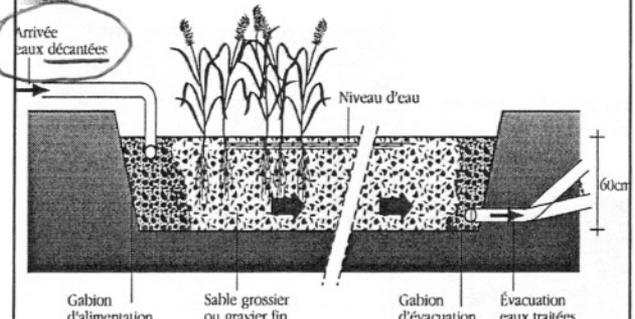
Cultures fixées **Filtres plantés de roseaux à flux vertical**



FPR: largement développés en France

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture
Metz, Juin 2005

Cultures fixées **Filtres plantés de roseaux à flux horizontal**



FILTRE HORIZONTAL : ALIMENTATION CONTINUE

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture
Metz, Juin 2005

Extrait, AE RMC

Cultures fixées **Filtres plantés de roseaux à flux horizontal**

↳ 1^{ère} équation de dimensionnement :
définit la surface du lit

Équations de KICKUTH

$$A = \frac{Q}{K} \ln \left(\frac{C_{init}}{C_{re}} \right) \text{ en m}^2$$

Avec :

- Q = débit journalier m³.j⁻¹
- C_{init} = concentration initiale de l'effluent en mg/l
- C_{re} = concentration du rejet en mg/l
- K = constante en m.j⁻¹

$$A = \frac{Q}{K} \ln \left(\frac{Q_{init} - C^*}{Q_{re} - C^*} \right) \text{ en m}^2$$

C* = constante d'équilibre dans un marais naturel m.j⁻¹

↳ 2^{ème} équation de dimensionnement :
définit la section transversale

$$As = \left(\frac{Q}{K_f \cdot P} \right) \text{ en m}^2$$

Avec :

- Q = débit journalier en m³.j⁻¹
- K_f = conductivité hydraulique du milieu en m.s⁻¹
- P = pente de la ligne d'eau

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture
Metz, Juin 2005

Cultures fixées **Filtres plantés de roseaux à flux horizontal**

Les incertitudes sur les deux paramètres K et K_f ont conduit

- à modifier la conception des lits horizontaux (Cooper, 1990)
- à inciter un fonctionnement hydraulique contrôlé en utilisant un matériau rapporté (sable ou gravier).

Au Royaume Uni, le choix du support s'est porté vers le gravier lavé de granulométrie différente suivant les caractéristiques de l'influent: 3-6 mm, 5-10 mm, 6-12 mm (Cooper, 1996).

Attention: PAS de SOL en PLACE!!!

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture
Metz, Juin 2005

Comparaison des filtres plantés à flux vertical et horizontal

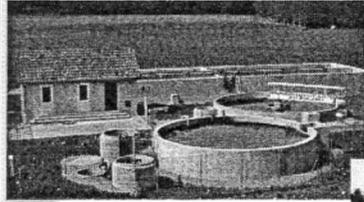
	Filtres Vertical	Filtre horizontal
Eaux usées	Brutes	Pretraitement indispensable
Pollution dégradée	Conditions aérobies C + nitrification	Conditions anoxiques C + Denitrification partielle
Alternance	Indispensable 2 à 3 filtres en parallèle	Pas nécessaire
Alimentation	Bâchées	Continue
Dimensionnement	2 à 2,5 m ² /EH	5m ² /EH (tt secondaire)
Hauteur	60 cm à 1 m environ	60 cm environ
Pente du fond		1%
Dénivelée terrain	Préférable	Pas nécessaire

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

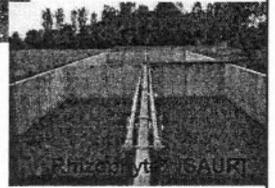
Metz, Juin 2005

Traitement des boues par lits de séchage plantés



En général, 4 lits par site
Surface unitaire ≈100 m²

Environ 70 % =
lits de séchage plantés SAUR
et
en majorité < 2000 EH



Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005

22

Traitement des boues par lits de séchage plantés

- Charge globale : 50 kg de MS.m⁻².an⁻¹
soit ≈140g MES.m⁻².j⁻¹ ou 4EH.m⁻² pour BA AP
- Alimentation des lits directement depuis le bassin d'aération après une séquence d'aération - homogénéisation
- 4 lits au minimum alimentés chacun pendant 1 semaine à raison de 1 à 3 apports / jour, puis repos pendant 3 semaines
- Siccité voisine de 15% de MS à la charge nominale avec 4 lits, si revanche > 1.5 m alors capacité d'accumulation de 5 ans
- Minéralisation : gain d'environ 10 % sur MVS

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005

23

Traitement des boues par lits de séchage plantés

Vidange des boues avec une pelleteuse équipée d'une benne preneuse et intervenant depuis l'extérieur des lits



Aperçu du développement racinaire en 18 mois.

Il faut sectionner les végétaux pour ne pas endommager la couche drainante

Catherine BOUTIN

Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Metz, Juin 2005

24

Apport journalier (boues extraites bassin aéré 5gms/l)
10 cm en 3 apports

Bessuyage avant vidange
2 à 4 mois.

objectif trait^e: D4.

Traitement conjoint des boues biologiques et de l'eau par filtres plantés: Rhizopur®

2 fonctions: - affine traitement de l'eau,
- stocke et déshydrate les boues biologiques

Catherine BOUTIN
Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement conjoint des boues biologiques et de l'eau par filtres plantés: Rhizopur®

	1 ^{er} étage FPR	Lits de séchage boues	Filtres Rhizopur®
Nombre lits	3	4 à 6	3
Charge hydraulique	40 cm.j ⁻¹	10 cm.j ⁻¹	115 cm.j ⁻¹
Charge DBO	45 gDBOm ² .j ⁻¹		15 gDBO m ² .j ⁻¹
Charge MES	45 gMESm ² .j ⁻¹	140 gMS m ² .j ⁻¹	150 gMES m ² .j ⁻¹
Q alimentation	0,5 m/h	> 0,25 m/h	0,6 m/h
Période de repos	2 sur 3	4 sur 5	2 sur 3
Apports	8 fois / j	2 à 3 fois / j	8 fois / j
Granulométrie	2 à 8 mm	2 à 8 mm	3 à 6 mm

Conditions contradictoires pour le traitement complémentaire de l'eau et la déshydratation boues: résultats à confirmer.

Catherine BOUTIN
Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

alimentat filtres plantés
Les séchage boues + complément trait^e eau.

Conclusion

Des filières de traitement des eaux, basées sur des processus de dégradation par « cultures fixées sur support fin » et utilisant des végétaux existent.

Les lits de séchage plantés de roseaux ont fait leur preuve pour traiter des boues biologiques.

Les roseaux présentent:
un rôle mécanique indéniable, une capacité
à fixer les matières en suspension, à
absorber les nutriments, à favoriser
le développement de bactéries.

Catherine BOUTIN
Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Conclusion

Les filières sont durables.
Si le traitement mécanique n'est pas à renouveler fréquemment,
les végétaux ont une durée de vie longue et sont faciles à remplacer.

Les lits de séchage plantés de roseaux ont fait leur preuve pour traiter des boues biologiques.
La conception, mise en œuvre et entretien suivent les
particularités de chaque filière spécifique.

Le développement de ces filières
et les nouvelles variantes vont permettre
une analyse plus globale des solutions
techniques afin de ne pas négliger
l'aspect de l'aménagement paysager.

Catherine BOUTIN
Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues par lits de séchage plantés

- Dimensionnement proposé par la plupart des constructeurs
→ en général : 4 à 5 EH.m², mais quelques uns 3.5 à 7 EH.m²
→ en France, il pourrait être intéressant d'adapter le dimensionnement aux régions climatiques (lits + profonds et + petits, au Sud)
- En général 4 lits (quelques installation de 2 à 8 lits)
→ offres récentes presque toutes à 6 lits, même si capacité ≈ 1000EH
- Surface unitaire des lits : 60 à 120 m² (quelques uns à 200-300 m²)
- Largeur effective des lits : 6 m mais souvent accolés 2 à 2 ajustement de surface sur la longueur
- Hauteur utile pour boues : très souvent 2 m
- Construction en béton (majoritaire), qqes. réalisations récentes en déblai-remblai avec étanchéification par géomembrane et parois 45°
- Implantation : hors sol, semi-enterrée (visibilité à la vidange) ou enterrée
- Étanchéification par géomembrane ou béton + géomembrane protégée

l'Agence de l'Eau Seine-Normandie en collaboration

33

Metz, Juin 2005
des SATESE (rapport provisoire 09/2001) (2)

Enseignements issus de l'étude réalisée par
l'Agence de l'Eau Seine-Normandie en collaboration
avec des SATESE [rapport provisoire 09/2001] (2)

- Pente du radier : 5 à 20 mm.m⁻¹
- Couche drainante mise à l'air :
SAUR : hourdis + géogrille [défauts de recouvrement et jonction avec cheminées constatés]
Autres : galets + drains Ø 100 mm
Au-dessus : granulométries diverses
En surface : sable grossier, terreau parfois utilisé
- Alimentation le long d'une longueur, souvent 1 point pour 20 m²
- Débit pompe : 0.3 à 0.6 m³.m².h⁻¹ [quelques cas de siphonnage constatés]
- Percolats : retour en tête de station [95 % du volume percole dans les 48H]
- Densité de plantation : 5 à 9 plants.m² [racines nues ou mottes - 10 à 15F]
- 1^{er} apports de boue surveillés, jusqu'à obtention d'une couche de 1 cm
• 50 à 60 g MS.m⁻².j⁻¹ pdt. 1^{ère} saison hivernale
→ charge nominale en juin de l'année suivant plantation

Catherine BOUTIN

34

Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues par lits de séchage plantés

- Plantation : min 4 / m² [1 plant tous 50cm] entre avril et septembre
- Apports divisés par 2 jusqu'à l'été suivant l'année de plantation
- Géométrie des lits adaptée à l'accessibilité pour la vidange
- Vidange estivale pour bénéficier du séchage par évapotranspiration
- Épandage des boues sur terrains agricoles, précautions pour éviter dissémination (ne pas enfouir immédiatement)

Catherine BOUTIN

35

Metz, Juin 2005
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Lagunage naturel et filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux usées domestiques en France. Comparaison des performances et de l'exploitation en terme de fiabilité et de robustesse

A. Liénard, C. Boutin, P. Molle, Y. Racault: Cemagref
F. Brissaud, B. Picot: Université de Montpellier

Présentation orale au congrès sur « les marais artificiels »,
Avignon, septembre 2004

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Plan

- Principales caractéristiques
- Performance
- Curage
- Exploitation
- Conclusion

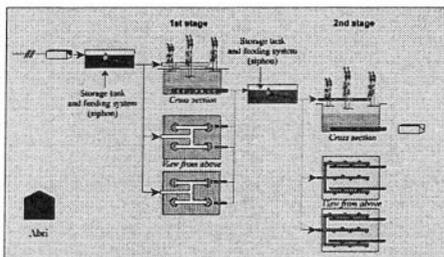
→ Pour les 2 Filières

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR

Principales caractéristiques



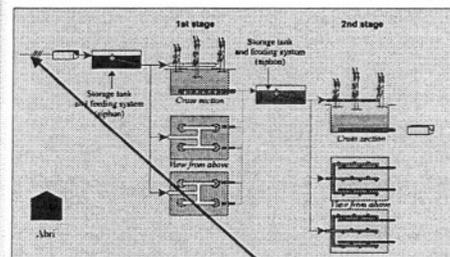
Type de traitement: Cultures Fixées sur Support Fin

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR

Principales caractéristiques



Réseau: Séparatif ou partiellement unitaire

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR Principales caractéristiques

2 étages en série: 1^{er} eaux usées brutes, 2nd complément

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR Principales caractéristiques

Qualité du rejet: niveau D4 DBO₅ 25 mg.L⁻¹, DCO 125 mg. L⁻¹

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR Principales caractéristiques

Dénivelée nécessaire pour alimentation gravitaire: 4m mini

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

FPR Principales caractéristiques

Intégration paysagère : Bonne et ≈ 2500m² pour 400EH
Dimensionnement, réalisation: Relativement complexe

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Lagunage

Principales caractéristiques

Type de traitement: Cultures libres

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004

Lagunage

Principales caractéristiques

Réseau: unitaire, entièrement ou pour partie

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004

Principales caractéristiques

Lagunage

3 lagunes en série: 1^{er} facultatif [6m²/e.h.]
2nd et 3^{eme}: maturation [2.5m²/e.h. chacunes]

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004

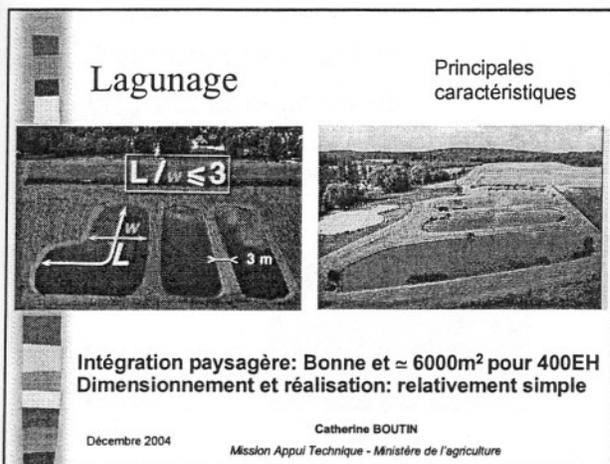
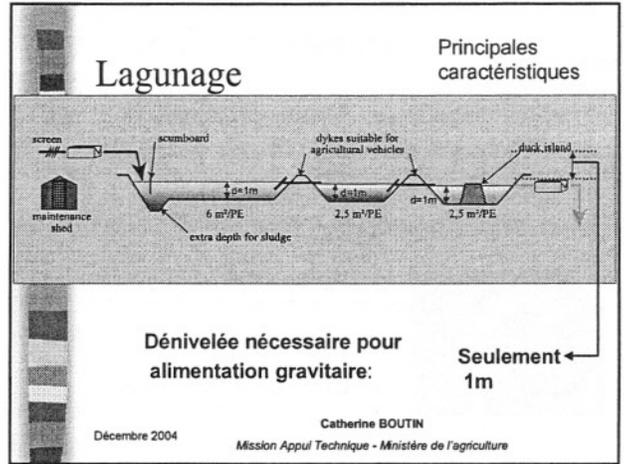
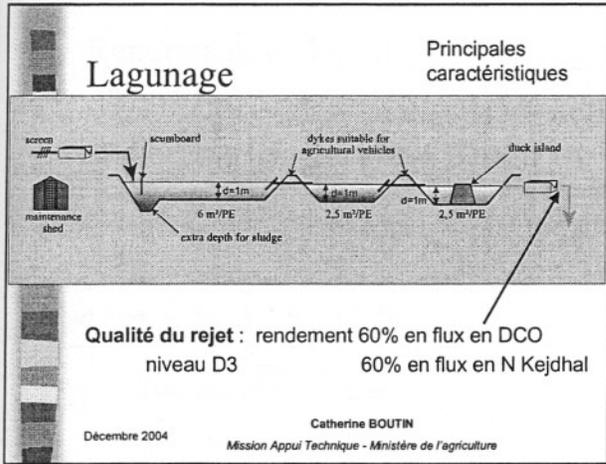
Lagunage

Principales caractéristiques

3 lagunes en série: 1^{er} facultatif [6m²/e.h.]
2nd et 3^{eme}: maturation [2.5m²/e.h. chacunes]

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004



Qualité du rejet des FPR (mg.L⁻¹)

Performances

	DCO	MES	TKN
concentration moyenne	88	16	13
Ecart-type	50	27	17

Données issues de 48 stations:
0.2 à 7.2 années de fonctionnement

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

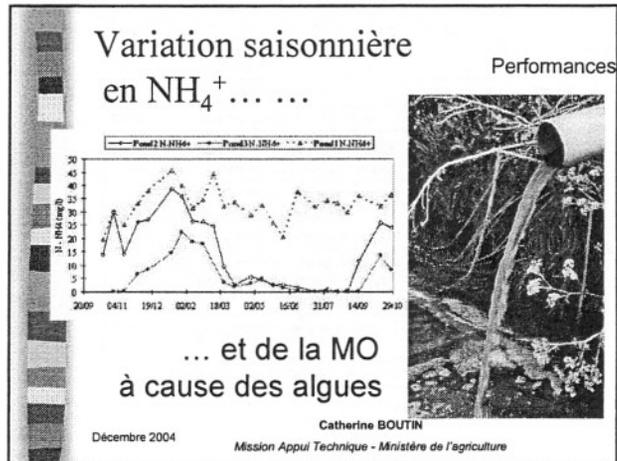
Rendement en lagunage (% en flux) Performances

	DCO	DCOf	MES	NTK	PT
rendement moyen	78	86	79	72	66
Ecart-type	16	9	20	23	24

Données issues de STEP alimentées par des réseaux non-séparatifs.

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004



Accumulation de boues en FPR et évacuation Curage

20 à 25 cm de boues à 25% MS et particulièrement bien minéralisées

Évacuation facile avec du matériel courant

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004

...Et repousse rapide des roseaux directement à partir des rhizomes Curage

3 semaines après curage

7 semaines après curage

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Décembre 2004

Curage de lagunage

Curage

Une telle pratique explique que

- 1- teneur moyenne en MS = 0,5%
- 2- volume de boues = 100 kg/an/m²

Après curage du 1^{er} étage, les boues sont dirigées en l'air par le point de pompage. ...

MS lagunage = 0,5% X MS FPR = 100 kg/an/m²

Monde MINERALISATION

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Exploitation habituelle d'un FPR

Exemple: 400 e.h

Exploitation

Tâches	Fréquence	Durée
Manœuvre vannes, contrôle siphons	2/sem	5 min
Traitement primaire: dégrillage	1/sem	10 min
Inspection générale, mauvaises herbes	1/ sem	10 min
Tenue du cahier, enregistrement	1/ sem	15 min
Entretien des surfaces enherbées: digues, abords,... (engins de jardinage)	6/an	4 heures
Vérification et entretien du système de distribution des 1 ^{er} et 2 nd étages	2/an	2 heures
Nettoyage des vannes	2/an	1 heure
Faucardage, évacuation des roseaux	1/an	30 heures
Extraction des boues du 1 ^{er} étage	1/10 ans	30 heures

Durée totale FNDAE n°22 = 213h

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Exploitation habituelle des lagunages

exemple : 400 e.h.

Exploitation

Tâche	Fréquence	Durée
Traitement primaire	1/sem	20 min
Inspection générale des bassins	1/sem	15 min
Tenue du cahier	1/sem	10 min
Entretien des surfaces enherbées: digues, abords,... (engins agricoles)	3 à 5 / an	8 à 13 heures
Prévention des rongeurs	Toute l'année	4 heures
Extraction boues cône de sédimentation	1/an	8 heures
Curage entier du 1 ^{er} bassin	1/13 ans	12 jours

Durée totale FNDAE n°22 = 200 heures

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Conclusion 1

éléments communs aux 2 filières

- Simplicité des opérations de maintenance
- Fonctionnement basé sur des processus naturels
- Fiabilité des performances
- Après un curage, un nouveau cycle de fonctionnement est immédiatement possible

Décembre 2004 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Conclusion 2

Éléments spécifiques aux FPR

- Alternance et alimentation par banchées fondamentaux
- Alimentation directe en eaux usées brutes
- Faible concentration en MO dans le rejet
- Nitrification considérable mais pas dénitrification (si 2 étages de filtres verticaux)
- Curage facile (forte teneur en MS), et faible quantité de boue grâce à la minéralisation aérobie.

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Conclusion 3

Éléments spécifiques au lagunage

- Eaux usées concentrées interdit, très adapté aux réseaux unitaires
- Effet tampon important du aux longs temps de séjour
- Biocénose complexe tout au long du traitement
- Concentration en MO dans le rejet du fait des algues (selon les saisons et le zooplancton)
- Bonne qualité bactériologique du rejet
- Curage relativement complexe et faible concentration en MS moins minéralisée

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

THE END



Thank you for
your attention

Merci de votre
attention

Décembre 2004

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'agriculture

Traitement des boues en BA AP (500 à 3000 EH)

4. Traitement des boues

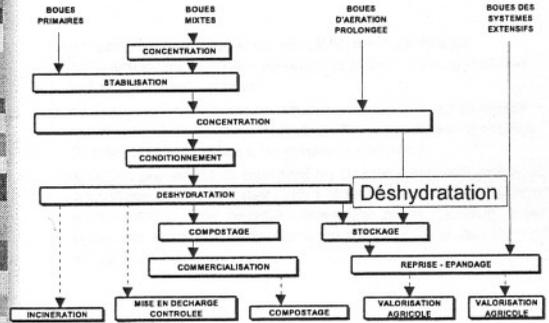
« Deshydratation naturelle »

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Schéma général du traitement des boues



Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: FNDAE, 1990
Traitement des boues

Déshydratation: Séchage par voie naturelle

lits de séchage à l'air libre sur des boues liquides, combinaison évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sables (siccité de 30% sur 3 semaines + impact météo)

lits de séchage plantés de roseaux à l'air libre sur des boues liquides, combinaison évaporation naturelle évapo-transpiration par les plantes), drainage de l'eau et minéralisation des boues (siccité de 15 à 20% sur 5 ans)

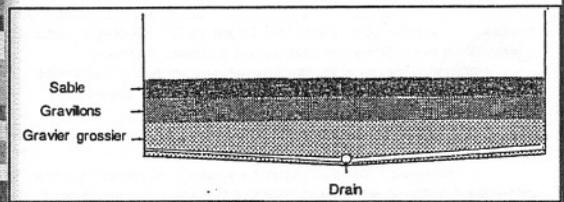
séchage par rayonnement solaire sur des boues pâteuses, sous serre et fait appel aux phénomènes d'évaporation (siccité de 60 à 90% + ensoleillement)

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage



Massif filtrant constitué de couches de sable et gravier de diverses granulométries –
Apport boues par couches de faible épaisseur (30 cm)
Ressuyage de l'eau interstitielle + évaporation naturelle –
Stabilisation aérobie des boues –
Retours en tête –
Purges de boues donc plusieurs lits en parallèle

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Perret, 2005
Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage

Dimensionnement : $1 \text{ m}^2 / 5 \text{ EH}$
Siccité de 30 à 35 % après 3 semaines et météo favorable
Couverture possible et siccité = de l'ordre de 40%

Avantages :

Production de boues solides sur les petites collectivités,
Pas de conditionnement,
Retour non septique
Exploitation aisée

Inconvénients :

Aléas climatiques (pluie, T°C, vent) ;
Main d'œuvre pour la reprise des boues séchées,
Surface mobilisée importante,
Filière obsolète???

A utiliser en petites collectivités et/ou comme filière de secours

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Perret, 2005
Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Le procédé est composé d'un massif filtrant constitué de différentes couches de matériaux de granulométries diverses qui reposent sur un radier.

Des roseaux = *Phragmites communis* sont plantés sur le massif qu'ils colonisent en développant un tissu complexe de racines (rhizomes) assimilable à un réseau de drainage.

Les boues provenant directement du Bassin Aéré sont épandues en surface du lit selon des cycles alternant périodes de repos et d'alimentation. Une bâchée correspond à une "hauteur d'eau" comprise entre 5 et 15 cm pour un temps d'extraction de 10 à 20 minutes.

Angoulême
13 Avril 2005

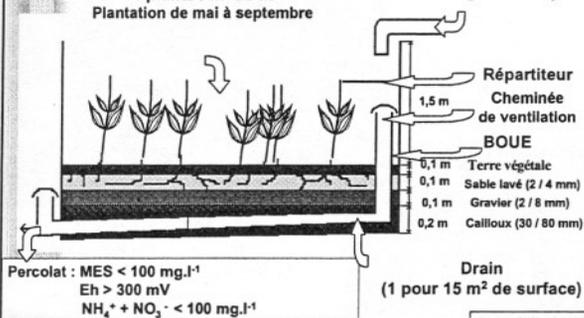
Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Roseaux (*Phragmites communis*)
4 plants / m^2 de lit
Plantation de mai à septembre

Alimentation boues
 $150 \text{ g MES} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$



Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Sadowski, 2005
Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Charge globale : $50 \text{ kg de MS} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ [$\approx 140 \text{ g MES} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$; $4 \text{ EH} \cdot \text{m}^{-2}$ pour une station à boues activées en aération prolongée]
Alimentation des lits directement depuis le bassin d'aération après une séquence d'aération - homogénéisation

Débit pompe d'alimentation $\geq 0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ par m^2 unitaire de lit

4 lits au minimum alimentés chacun pendant 1 semaine à raison de 1 à 3 apports par jour, puis repos pendant 3 semaines

Siccité voisine de 15% de MS à la charge nominale avec 4 lits, soit

avec une revanche > 1,5 m,
une capacité d'accumulation de 5 ans

Minéralisation : gain d'environ 10 % sur taux de MVS

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Liémanl, 2005
Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Plantation : minimum 4 par m² [1 plant tous les 50cm] entre avril et septembre
 Apports divisés par 2 jusqu'à l'été suivant l'année de plantation
 Géométrie des lits adaptée à l'accessibilité pour la vidange
 Vidange estivale pour bénéficier du séchage par évapotranspiration
 Épandage des boues sur terrains agricoles, précautions pour éviter dissémination (ne pas enfouir immédiatement)

Extrait: Liénard, 2005

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Qualité des boues

En période d'alimentation, la siccité moyenne des boues dans les lits se situe à des valeurs proches de 10 %. Après mise au repos forcé (plusieurs semaines, par exemple lors de l'évacuation du compost), la siccité peut atteindre 25 à 35 % (si période de maturation après la sortie des boues).

Du fait de l'important temps de séjour des boues, on obtient un abattement de 60 % des MVS. De ce fait la production de boues après "minéralisation ou digestion aérobie" sera réduite d'environ 40 à 45 %.

Qualité des percolats

En terme de flux, ces retours NON SEPTIQUES sont négligeables.

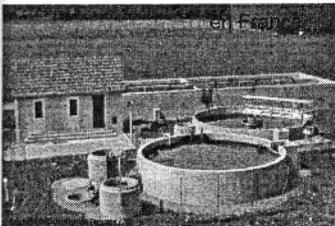
Extrait: Sadowski, 2005

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés



En général,
4 lits
par site
Surface unitaire
≈ 100 m²

Extrait: Liénard, 2005

Environ 70 % des sites sont des lits de séchage plantés par SAUR (Rhizophyte®) et en majorité < 2000 EH

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés

Coûts d'investissement relevés sur 5 stations de l'Indre

Type d'ouvrage et capacité step	Capacité ouvrage (m ³)	Prix (HT)	Prix (F/m ³)	Prix (F/EH)
Lits plantés - 600EH	231	365 632 F	1 583 F	609 F
Lits plantés - 900EH	442	533 100 F	1 206 F	533 F
Lits plantés - 1070EH	568	482 524 F	850 F	450 F
Silo béton - 1000EH	300	442 000 F	1 473 F	447 F
Silo béton - 1500EH	600	628 207 F	1 047 F	419 F

Coûts d'investissement déterminés sur 18 stations :
150 à 460€ par m² (1000 à 3000 F/m²) ou encore
28.5 à 110.5€ par EH (187 à 726 F/ EH)

Les coûts d'investissement des lits de séchage plantés et silos de stockage des boues liquides sont proches

Extrait, AESN- SATESE rapport provisoire Sept 2001, cité Liénard 2005

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Coûts de fonctionnement estimés à Château du Loir (8000 EH)

Hypothèses : Amortissement part communale (30% sur 15 ans à 7%)
Provision renouvellement table d'épandage sur 15 ans
Pas de coût de personnel, ni coût épandage pris en charge par agriculteur

Solution technique	Coût d'exploitation (hors personnel et transport)	Charges financières	Coût de l'extraction des boues et transport	Coût global annuel
Table d'épandage + site de 2000m ³	Réactifs : 40KF Electricité : 10KF Total : 50KF	Provision de renouvellement équipement : 20KF Amortissement financier : 82,5KF soit : 102,5KF	Volume à transporter : 2700m ³ Coût kilométrique : 5F/m ³ soit : 135KF	287,5KF

Extrait, AESN- SATESE rapport provisoire Sept 2001, cité Liénard 2005

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Coûts de fonctionnement estimés à Château du Loir (8000 EH)

Solution technique	Coût d'exploitation (hors personnel et transport)	Charges financières	Coût de l'extraction des boues et transport	Coût global annuel
Lits plantés de roseaux 1600m ²	Réactifs : 0KF Electricité : 0KF Total : 0KF	Provision de renouvellement équipement : 0KF Amortissement financier : 96KF soit : 96KF	Extraction des boues après 5ans : 300KF soit 60KF/an Volume à transporter : 900m ³ soit 45KF soit : 105KF	201,0KF

Solution « lits de séchage plantés » moins chère en exploitation MAIS à la 5^{ème} année, on vidangera 1 lit et les autres les années suivantes
Programmation des vidanges et coût d'installation du chantier annuelle (non prise en compte ici)

Extrait, AESN- SATESE rapport provisoire Sept 2001, cité Liénard 2005

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés:

Variante danoise [Hedeselskabet]



Évolution du mode de construction

avec la taille des station équipées:

- béton → déblai-remblai

- grand nombre de lits plus de souplesse en programmation de vidanges

possibilité d'isoler lit(s) à vidanger pendant une longue période

évapotranspiration sur longue période

siccités plus élevées (30 à 35% MS)



Extrait: Liénard, 2005

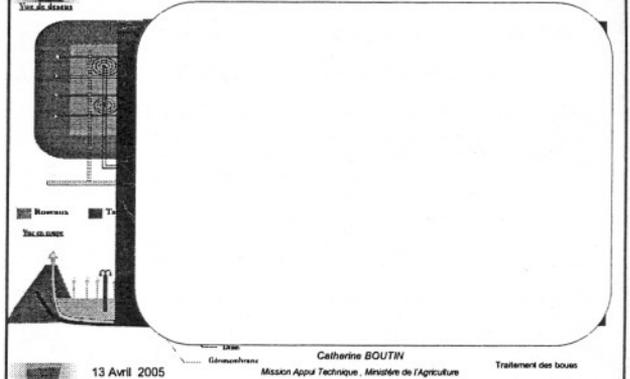
Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation par lits de séchage plantés:

Variante danoise [Hedeselskabet]

Extrait: Liénard, 2005



13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Objectif:
siccité de 60 à 90%
en f (enseiement)



Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Principe: cette technique consiste à réchauffer de quelques degrés l'air qui va circuler à travers ou au-dessus de la boue

De faibles élévations de température suffisent à augmenter le pouvoir évaporatoire de cet air

3 modes de séchage solaire:

Séchage solaire à l'air libre: on se contente simplement d'étendre le produit à sécher au soleil

Séchage solaire indirect: l'air est chauffé par un capteur qui peut être distinct de l'enceinte de séchage.

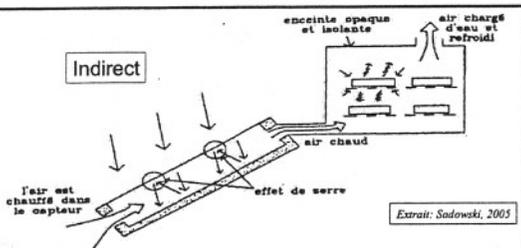
Séchage solaire direct: le produit est placé sous une couverture transparente (vitre, feuille de plastique).

Angoulême
13 Avril 2005

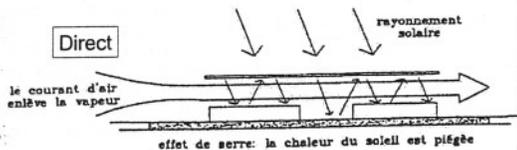
Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Sadowski, 2005
Traitement des boues

Indirect



Direct



Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Les moyens essentiellement utilisés sont :

écarter les eaux de pluie,
augmenter le taux d'évaporation par effet de serre et créer un courant d'air,
retourner la boue pour libérer l'eau capillaire emprisonnée.

- Dans les trois systèmes de séchage par rayonnement solaire, la construction de la serre est constituée d'une enveloppe en feuille plastique transparente ou en verre. On y mesure constamment les paramètres de fonctionnement qui sont :
 - la température et l'humidité de l'air à l'intérieur,
 - la température et l'humidité de l'air à l'extérieur,
 - le rayonnement solaire,
 - la vitesse du vent ou du débit de ventilation.

- Cependant, les ventilations et le système de brassage des boues mis en place diffèrent d'une technique à l'autre.

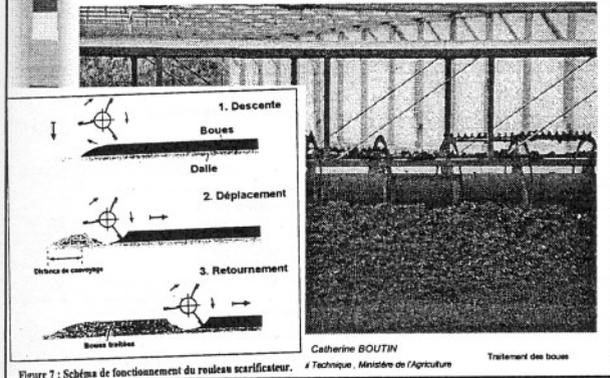
Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Extrait: Sadowski, 2005
Traitement des boues

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Extrait: Sadowski, 2005



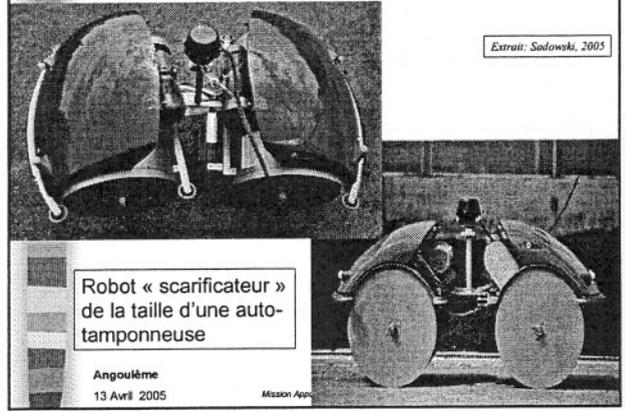
Catherine BOUTIN
Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Figure 7 : Schéma de fonctionnement du rouleau scarificateur.

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Extrait: Sadowski, 2005



Robot « scarificateur »
de la taille d'une auto-
tamponneuse

Angoulême
13 Avril 2005

Mission Appui

Déshydratation: séchage par rayonnement solaire

Enjeux: réduction poids + volume
Stabilisation
Hygiénisation
Mise en forme produit final
Valorisable en agriculture
Admission en décharge possible

Conclusion:

Ouvrage de grande capacité;
Performances constatées conformes à celles annoncées par constructeurs;
Problème d'odeurs, poussières, fumées, buées;
Maintenance complexe;
Coûts énergétiques importants
Filière de développement récent.

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Siccité sur boues biologiques selon les différentes filières

Filières	Siccité
Epaisseur statique	25 à 30 g/l
Epaisseur dynamique	6 +/- 1* %
Lit de séchage planté	15* à 20 %
	18 +/- 2** %
Filtre à bandes	
Centrifugeuse	20 +/- 2 %
Filtre presse - polymères	28 %
Filtre presse - minéral	35 %
Lits de séchage	30 à 40** %
Séchage solaire	60 à 90 %

* Données proposées par SATESE pendant la journée

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Synthèse: Filières de Traitement des boues en BA AP (500 à 3000 EH)

Ép statique	Stockage brassé		épandage
Ép dynamique	Stockage brassé	6 %	épandage
	Filtre bande		Stabilisation chaux épandage
Centrifugeuse		18%	Séchage solaire (60%- 90%) épandage incinération
			Compost
Lits de séchage plantés		15 - 20%	épandage
Ép dynamique	Filtre presse + polymère	28%	Compost incinération
	Filtre presse + Chaux	35%	épandage
Lits de séchage		30	épandage
Lits de séchage couverts		40%	épandage

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Conclusion: constat

Traiter l'eau, c'est d'abord traiter les boues

Les retours en tête des épaisseurs génèrent de fréquents dysfonctionnements (25% du parc); Tout mettre en œuvre pour éviter les retours septiques;
Attention aux systèmes de déshydratation mobiles!!!

Les aires de stockage de boues, même stabilisées, sont « très malodorantes ». Idem pour le séchage solaire.

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Conclusion: perspectives

Traiter l'eau, c'est d'abord traiter les boues

Les lits de séchage plantés, du fait des mécanismes de digestion aérobie présentent de ce fait un intérêt indéniable même si leurs conditions d'exploitation ne sont pas encore complètement optimisées.
Attention, le terme de « bio-compost » pour les systèmes plantés (en traitement de l'eau ou des boues) est un abus de langage.

Les boues ont un « statut » de déchets.
En valorisation agricole, si elles sont « compostées », il y a transfert de responsabilité de l'exploitant (boues) vers le responsable de la commercialisation du produit fini (compost).

Angoulême
13 Avril 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Traitement des boues

Démarche économique

Présentation de la
méthodologie utilisée dans le document
FNDAE n°22
pour l'élaboration
des coûts d'investissement et
des coûts d'exploitation.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Démarche économique

Travail porté par laboratoire commun Cemagref-ENGEES
1996 -1997, actualisation 2000

- *quelle méthode entre statistique globale et devis détaillé ?*

Statistique sur un grand nombre de coûts réels d'investissement ?

⇒ grande variabilité sans facteur explicatif accessible

Analyse et reconstitution de devis détaillés ?

⇒ hétérogénéité des structures de devis et des décompositions de coûts

une voie médiane : le raisonnement par postes fonctionnels sur des filières de référence, et le dimensionnement des postes en fonction de capacités types

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

L'estimation des coûts

Investissement

- Collecte de dossiers de marché de stations d'épuration récentes
- Estimation de coûts moyens par postes
- Définition de filières de traitement standard
(3 gammes: 100EH, 400EH, 1000EH)
- Reconstitution d'un coût d'investissement pour ces capacités

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Les étapes de la méthode

- analyse critique de dossiers de marchés publics de stations d'épuration récentes : extraction des coûts et dimensions caractéristiques pour chaque poste fonctionnel
- pour les postes communs à plusieurs filières, comme pour les postes spécifiques, établissement d'un modèle de relation « taille - coût »

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Les données de coûts d'investissement

140 dossiers de marchés de stations réalisées après 1990 de capacité < 3500 EH.

Coûts HT, sans foncier
canalisations d'amenée et de rejet
voirie hors site
traitement des boues
maîtrise d'œuvre

Valeurs juin 2000 réactualisation par la formule CMP à partir de la date d'établissement des prix ou de la date de décompte définitif

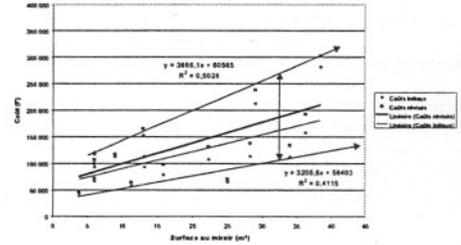
$$C_{\text{actuelle}} = C_{\text{juin 2000}} \cdot \left(\frac{I_{\text{juin 2000}}}{I_{\text{juin 2000}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{I_{\text{juin 2000}}}{I_{\text{juin 2000}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{I_{\text{juin 2000}}}{I_{\text{juin 2000}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{I_{\text{juin 2000}}}{I_{\text{juin 2000}}} \right)^{0,25}$$

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Relations taille - coût par poste fonctionnel

Clarificateur pour DB et LB
(avec recirculation, sans pont racleur) à partir de 18 dossiers



ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition des postes d'investissement (1).

Poste	Commentaire
Etudes préalables	Trois catégories d'études : - les procédés traditionnels : BA, DB et LB ; - le lagunage et les épandages (études de sol poussées) ; - les autres filières (essentiellement des études de sol).
Viabilisation du site	Ce poste comprend l'installation du chantier, la préparation du terrain (débroussaillage,...), la voirie et la clôture du site. Son coût, très dépendant de l'état initial du site = f(capacité).
Poste de relèvement	Son coût = f(hmt) et du débit relevé. Les valeurs de hmt retenues sont de : - 2,5 m pour BA ; - 4 m pour DB ; - 5 m pour LB

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition des postes d'investissement (2).

Poste	Commentaires
Prétraitement	- un dégrillage automatique (+ dégraisseur-dessableur pour les BA), - pour LB +DB, un dégrillage automatique à 1 000 EH et un dégrillage manuel à 100 et 400 EH. dégraisage et dessablage dans décanteur I ; - un dégrillage manuel pour l'ensemble des autres filières.
Traitement I	Le coût de l'ouvrage = f(volume)
Traitement	Les coûts des ouvrages ont été estimés sur la base des unités d'œuvre - en m³ pour le bassin d'aération des BA ; - en m³ pour les lagunages naturel et aéré ; - en m² pour CFSF ; - en m² de support de DB ; - en m³ de gamissage de LB.
Clarificateur	Le coût de l'ouvrage = f(surface utile).
Débitmètre	Un seul canal de mesure en sortie si poste de relèvement amont. Deux canaux de mesure (sortie + entrée) si absence de poste de relèvement amont.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition des postes d'investissement (3).

Poste	Commentaires
Local d'exploitation	Un local = 8 m ² , avec un équipement permettant l'entretien de routine de la station pour BA, LB et DB. Un abri de jardin pour les autres procédés. Le coût affiché = coût moyen constaté sur l'échantillon étudié.
Équipement électrique	Coût (BA) = f(capacité) Coût (DB, Lag Aéré, LB) = f(capacité) Ce coût comprend l'armoire de commande, les câblages, et les éventuels dispositifs de surveillance et synoptiques.
Canalisations, regards et by-pass	Ce poste est très dépendant de la surface et de la configuration du terrain, de la localisation de l'exutoire,.... Forfait 1 = lagunage naturel, Forfait 2 = autres procédés.

Ces coûts sont des coûts de réalisation au sens strict.
Ils ne comprennent pas les coûts annexes tels que, par exemple :
- l'acquisition du terrain
- la maîtrise d'œuvre,....

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Les filières prises en compte

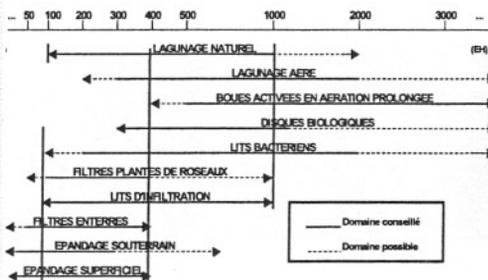
Lagunage naturel	données Moselle
Lagunage aéré	données Maine-et-Loire essentiellement
Boues activées	données Alsace et Moselle
Lit bactérien	données Provence Alpes Côte d'Azur
Disque biologique	données métropole
Lit d'infiltration-percolation	données métropole + données métropole
Factes plantés de roseaux	données métropole + données métropole
Factes enterrés	données métropole + données métropole
Décanteur-digester seul	pas de marché récent trouvé
Epanage souterrain	pas de marché récent trouvé
Epanage superficiel	pas de marché récent trouvé

Les coûts ne sont pas représentatifs de la situation nationale.

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Les filières prises en compte



* Décanteur/Digester

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition du Coût d'Investissement d'une Filière Standard

	Description technique de la filière		Coût	
	Désignation	Qt	Coût estimé	fourchette
Filière de traitement	Relevage			
	Prétraitements			
	Traitement primaire			
	Traitement secondaire			
	Autres			
	Débitmètre			
	Local			
	Équipement électrique			

Surcoûts liés au site	Études préalables			
	Viabilisation du site			
	Canalisations, regards			

TOTAL

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Évolution des coûts d'investissement en FHT/ EH
Tarif en Francs 1993
Tarif "toileté" et actualisé en Francs 2000

	100 EH	400 EH	1 000 EH
DD	2 050 / 1 650	700 / 790	475 / 560
BA	déconseillé	2 800 / 2 625	1 490 / 1 540
Lagunage naturel	4 550 / 2 700	1 400 / 1 040	765 / 710
Lagunage aéré	déconseillé	1 330 / 1 340	835 / 830
DB	? / 4 900	2 300 / 2 100	1 420 / 1 515
LB	4 070 / 4 050	1 675 / 1 690	1 165 / 1 245
Inf-Perc	2 940 / 3 200	1 520 / 1 560	1 220 / 1 250
F Ent	3 890 / 3 850	2 200 / 2 160	déconseillé
FPR	3 490 / 3 250	1 650 / 1 400	1 250 / 1 050
Epond sout	3 450 / 3 600	1 810 / 1 900	déconseillé
Epond sup	1 100 / 1 650	déconseillé	déconseillé

ENGES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Coûts d'investissement des filières en €HT/ EH
Tarif "toileté", actualisé FF 2000, converti € 2000

	100 EH	400 EH	1 000 EH
DD	mini 250	mini 120	mini 85
BA	déconseillé	Maxi 400	Maxi 235
Lagunage naturel	410	158	108
Lagunage aéré	déconseillé	205	127
DB	Maxi 750	320	230
LB	620	258	190
inf-perc	490	238	191
Filtres enterrés	590	330	déconseillé
FPR	500	213	160
Epond souterrain	550	290	déconseillé
Epond superficiel	mini 250	déconseillé	déconseillé

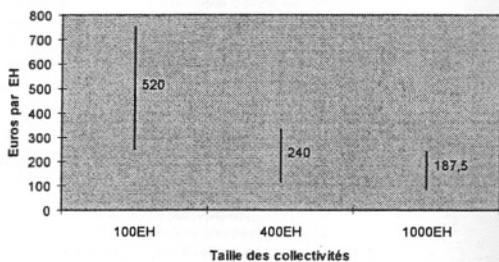
ENGES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

coûts 93 / coûts 2000

Coûts d'investissement

Tarif 2000



ENGES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

L'estimation des coûts
Exploitation

- Définition de prestations d'exploitation standard (2 gammes: 400 hab, 1000 hab)

	1 fois/s	2 fois/s	3 fois/s
DD, lag nat, lag aéré, 400-1000 EH		inf-perc, FPR	BA, LB, DB
FE, ép sout, ép sup 400 EH	400-1000 EH	400 EH	1000 EH

- Estimation des dépenses énergétiques
- Estimation d'un coût d'exploitation pour 2 capacités

ENGES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Définition de la prestation d'exploitation (1)

Poste

Commentaires

Poste de relèvement	Nettoyage, contrôle général, relevé des index et vérification des pompes, nettoyage et hydrocurage de la bêche.
Dégrillage Dégrossisseur-dessableur	Enlèvement des sous-produits, nettoyage, graissage, contrôle électrique, vérification mécanique.
DD	Enlèvement des flottants, décohéation du chapeau, extraction des boues.
FSTE	Contrôle de la hauteur de boues (tous les 6 mois), extraction des boues de la fosse (tous les 3 ans), contrôle du préfiltre.
BA, Lag, Lag aéré, LB, DB, inf-per, FPR, Fenterrés, ép sout et ép sup	Poste de traitement spécifique à chaque procédé : les fréquences et durées sont détaillées dans chaque fiche.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition de la prestation d'exploitation (2)

Poste

Commentaires

Clarificateur (BA, LB, DB)	nettoyage de la goulotte, vidange du bassin (tous les 10 ans), nettoyage et hydrocurage du clifford et entretien du pont racleur le cas échéant (vérification mécanique, électrique, relevé des compteurs, vidange des réducteurs, graissage).
Poste d'alimentation (FRR, FE, inf-perc)	Manœuvre de vannes, entretien de pompes (le cas échéant), nettoyage de la répartition, vérification de la distribution, entretien des dispositifs d'injection.
Silo à boues (BA)	Nettoyage, manœuvre des équipements hydrauliques, entretien des pompes.
Suivi du fonctionnement, auto-surveillance, régulation, relevé des compteurs, tenue du cahier de bord	Nettoyage du canal, tests de contrôle (tests colorimétriques azote,...), autosurveillance-bilan : fréquence 1 fois/ an pour 1 000 EH, fréquence 1 fois/2 ans pour 400 EH. régulation=contrôle et la programmation des équipements électromécaniques. relevé des compteurs : à chaque passage sur la station. tenue d'un journal de bord = au moins 1 fois / semaine.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition de la prestation d'exploitation (3)

Poste

Commentaires

Fauchage, faucardage, entretien des abords	Deux types d'entretiens sont prévus : - un fauchage et un faucardage: lag nat + aéré - un entretien des espaces verts léger : autres procédés.
Imprévus, gros entretien	Ces frais correspondent aux interventions d'urgence non programmées. C'est un forfait annuel évalué à 3 jours de travail pour toutes les filières et toutes les tailles.

Pour les filières utilisant de l'énergie, on ajoute à ces dépenses de main-d'œuvre les dépenses énergétiques

Le coût d'exploitation NE comprend PAS :

- les frais de déplacements,
- les frais financiers d'investissement,
- les frais de renouvellement,
- l'achat du petit matériel pour l'exploitation (chimie,...),
- LE COUT du traitement des BOUES.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Définition d'une prestation d'exploitation standard

Prestation	Fréquence	Durée de l'intervention	Total	Taux Horaire	Coût
Relevage					
Prétraitement					
Traitement Primaire					
Traitement Secondaire					
Eaux traitées					
Autosurveillance pour l'Agence de l'Eau					
Régulation, tenue du cahier de bord					
Divers					

TOTAL h/an Fran

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Coût des filières d'épuration des eaux résiduaires urbaines adaptées aux collectivités de moins de 3 000 EH

DEFINITION D'UNE PRESTATION D'EXPLOITATION STANDARD
 exemple : filière Boues activées - 400 EH

POSTE DE RELEVAGE	fréquence	unité	durée de la prestation	total (heures)	taux horaire (F/h)	coût
Pompes nettoyage	1	fois	10 min	2,00	100	200,00
contrôle général	1	fran	1 h	1,00	150	150,00
relevé index	2	fran	5 min	8,67	100	866,67
vidange réducteurs	1	fran	4 h	4,00	150	600,00
Bâche nettoyage	1	fois	20 min	4,00	100	400,00
hydrocurage	2	fran	30 min	1,00	450	450,00
Total				21 h		2 667 F

REGULATION, TENUE DU CAHIER DE BORD

Vérification d'entretien	2	fran	10 min	17,33	100	1 733,33
contrôle électrique, programmation	2	fran	2 h	4,00	150	600,00
tenue du journal	2	fran	10 min	8,86	100	886,86
Total				30 h		2 200 F

AUTOSURVEILLANCE POUR L'AGENCE DE L'EAU

bilan entrée - sortie	1	fois			forfait	2 212,50
-----------------------	---	------	--	--	---------	----------

TOTAL 317 h/an 48 003 F/an

Cécile LAGRANGE - Juillet 1996

Transparent 17

ENGEEES

Catherine BOUTIN

mars 2005

Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Évolution des tarifs de prestations d'exploitation

Prestations	F/h en 1996	F/h en 2000	€/h en 2000
Main d'œuvre	100	200	30.50
Electro-mécanicien	150	250	38.10
hydrocurage	450	450	68.60
Energie (KWh)	0.50	0.50	0.076

Moyenne estimée "secteur public" et "secteur privé"

Coûts consolidés intégrant l'ensemble du temps de travail,
 Temps de préparation des interventions,
 Encadrement,
 Secrétariat,
 Astreintes,
 Formation continue.

Ordre de grandeur qui ne tient pas compte de l'ancienneté,
 expérience,...

ENGEEES

Catherine BOUTIN

mars 2005

Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Main d'œuvre carande

electromécanicien

Hydrocurage

Évolution des coûts d'exploitation
 coût annuel par habitant pour 400 Habitants

	Nb d'heures/an			En F		En € 2000
	MC	EM	HY	1996	2000	
DD	104	0	1/6	30	52	7,96
BA	265	78	8	120	190+8=198	30.12
LN	173	0	0	50	87	13.19
LA	133	16	0	65	77+19=96	14.69
DB	270	48	1	70	166+6=172	26.29
LB	243	79	1	75	172+3=175	26.65
IP	246	33	0	70	144	21.90
FE	172	42	1	50	108	16.52
FPR	240	20	0	60	133	20.20
ET	116	0	0	115	232	35.4 (100EH)
EP	100	0	0	100	200	30.5 (100EH)

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Évolution des coûts d'exploitation

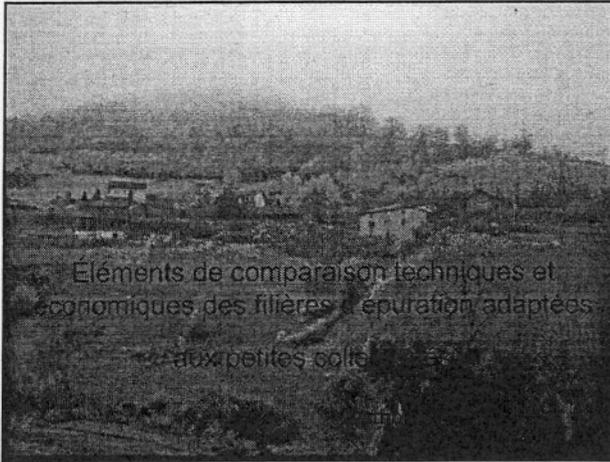
coût annuel par habitant pour 1000 Habitants

	Nb d'heures/an			En F		En € 2000
	MC	EM	HY	1996	2000	
DD	104	0	1/3	15	21	3.19
BA	350	122	9	75	105+17=122	18.66
LN	202	0	0	30	40	6.16
LA	151	6	0	40	34+20=54	8.24
DB	282	60	1	45	72+7=79	12.04
LB	326	69	1	45	83+3=86	13.12
IP	307	55	0	40	75	11.46
FE						
FPR	327	47	0	35	77	11.76
ET						
EP						

ENGEEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

*Hors renouvellement
"élimination boues"*



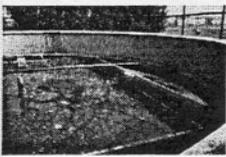
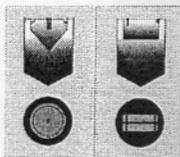
I - Contexte

- pression législative :
échéance 2005
- 11 filières d'épuration
de type biologique aérobie

ENGEES mars 2005 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Le décanteur – digesteur

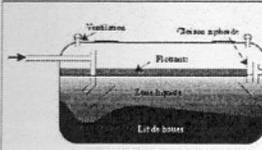
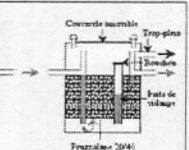
**Filière de traitement [Niveau D1]
ou
traitement primaire avant cultures fixées**

ENGEES mars 2005 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

La fosse septique toutes eaux + préfiltre

*Prétraitement uniquement
à l'amont des filtres enterrés ou des épandages*

Dimensionnement : 3 jours de temps de séjour hydraulique
 Vidange des boues tous les 3 ans

ENGEES mars 2005 Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique - Ministère de l'Agriculture

Décanteur – Digesteur / Fosse Septique Toutes Eaux

•Décanteur

Piéger 50 % MES
 S_{mini} : Vasc < 1.1 m / h en pointe
 Temps Séjour de Qpte > 1 h
Éviter la septicité

•Digesteur

Stocker la durée de stabilisation (6 mois)
 V digesteur : temps de séjour 6 mois (avec $v = 0.9 L / j / EH$)

•Fosse Septique

Toutes Eaux
 Piéger 50 % des MES, **anaérobie**;
 vidange tous les 3 ans
 V : Temps de séjour moyen à vide = 2,5 à 3 j

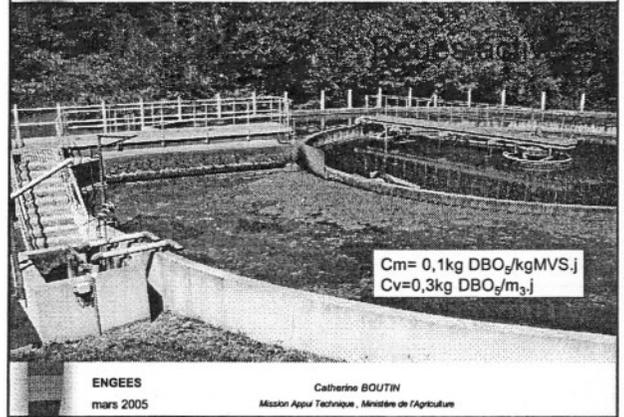
•Préfiltre

Dimensionnement arbitraire à 1 m³
 Autres dimensions possibles → impact sur l'entretien

ENGEEES
 mars 2005

Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Cultures libres

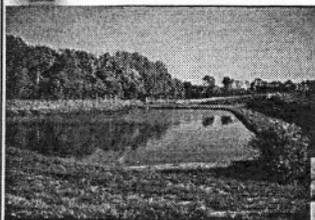


$C_m = 0,1 \text{ kg DBO}_5 / \text{kg MVS} \cdot \text{j}$
 $C_v = 0,3 \text{ kg DBO}_5 / \text{m}_3 \cdot \text{j}$

ENGEEES
 mars 2005

Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Cultures libres

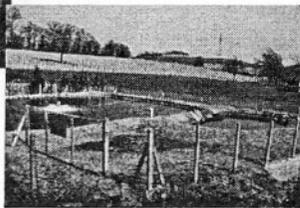


Lagunage naturel

$11 \text{ m}^2 / \text{EH}$

$(T_s=20j) + (T_s=4/5j)$

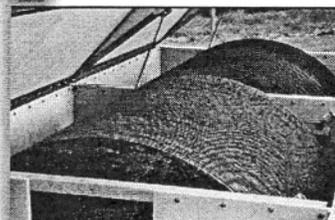
Lagunage aéré



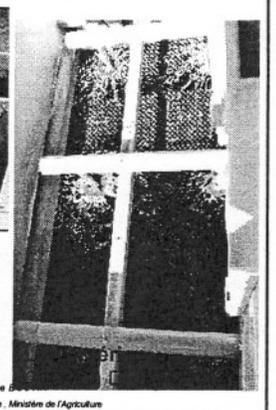
ENGEEES
 mars 2005

Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Cultures fixées sur support grossier



Disques biologiques
 $C = 8 \text{ g DBO}_5 \text{ m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$



ENGEEES
 mars 2005

Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Les procédés biologiques aérobies à cultures fixées sur supports fins

Infiltration-percolation sur sable
 Matériau support de la biomasse : sable
 Couche drainante

Filtres enterrés
 Couche superficielle de graviers
 Couche de distribution
 Matériau support de la biomasse : sable
 Couche drainante

Filtres plantés de roseaux
 Matériau support de la biomasse : 1er étage : graviers fins / 2ème étage : sable
 Couche drainante

Épandage souterrain
 Matériau support de la biomasse : sol en place
 Couche de distribution

Épandage superficiel
 Matériau support de la biomasse : sol en place

ENGEES mars 2005
 Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Charges appliquées en CFSF

Calculs établis sur la base de 50 g de DBO₅ / EH / jour et d'un abattement (sécurité) de 25 % dans DD ou FSTE

	Visibilité	Matériaux	Charge appliquée par rapport à la surface totale du massif
Infiltration-percolation	oui	sable	DD + 25 g DBO ₅ /m ² .j ^{1/4}
Filtres enterrés	non	sable	FSTE ou DD + 12,5 g DBO ₅ /m ² .j ^{1/4}
Épandage souterrain	non	sol en place	FSTE ou DD + charge surfacique selon K ^{0,4}
Épandage superficiel	oui	sol en place	DD + charge surfacique selon K ^{0,4}
Filtres plantés de roseaux	oui	gravier/sable	40g DBO ₅ / (1 m ² (1 ^{er} étage) + 0,6 m ² (2 ^e étage)) ^{1/4}

ENGEES mars 2005
 Catherine BOUTIN
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Cultures fixées sur support fin : sable

Infiltration-percolation sur sable
 1,5m²/EH

Filtres enterrés
 3m²/EH

Filtres plantés de roseaux
 2-2,5m²/EH

ENGEES mars 2005
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

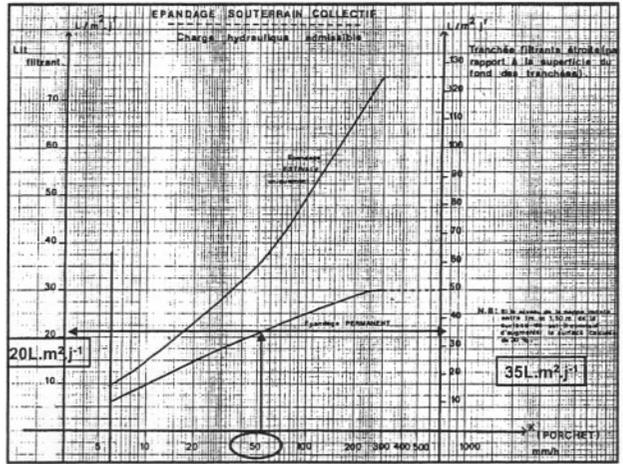
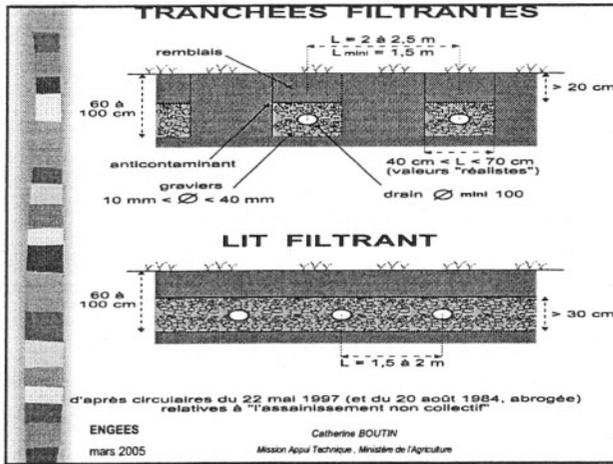
☒ Cultures fixées sur support fin : sol en place

Épandage souterrain
 S=f(K)

Épandage superficiel
 S=f(K)

ENGEES mars 2005
 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

Épandage = technique utilisant sol en place pour le trait^{er} de l'eau
 Tranchée drainante → distributeur



Exemple de dimensionnement: épandage souterrain

d'après abaqué CTGREF 1980

1. Pour 100EH: $Q_{\text{eaux usées}} = 100 \times 0,15 = 15 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$
2. Pour $K = 50 \text{ mm/h}$

D'après CTGREF, 1980:
 $Q_{\text{abaqué}} = Q_{\text{admissible}} = 35 \text{ L} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{j}^{-1}$ donc
 $S_{\text{fond de tranchées}} = 430 \text{ m}^2 (= 15/0,035)$

3. On fixe une largeur de tranchées ($= 0,80 \text{ m}$) donc
 Linéaire de tranchées $= 430/0,8 = 535 \text{ m linéaire}$ soit
 27 drains de 20m (20m=longueur maxi drain de distrib)
4. On fixe une distance entre axes de drains (2-2,5m)

Emprise globale $= 27 \text{ drains} \times 2 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 1080 \text{ m}^2$
 soit $11 \text{ m}^2/\text{EH}$

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

II - Contraintes

- la nature des eaux usées à traiter,
- les contraintes du milieu récepteur,
- les contraintes naturelles du site,
- les contraintes économiques et,
- les contraintes subjectives.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Nature des eaux usées à traiter $1/2$

➤ Qualitatif :

réseau / station
domestiques + industries agro-alimentaires.

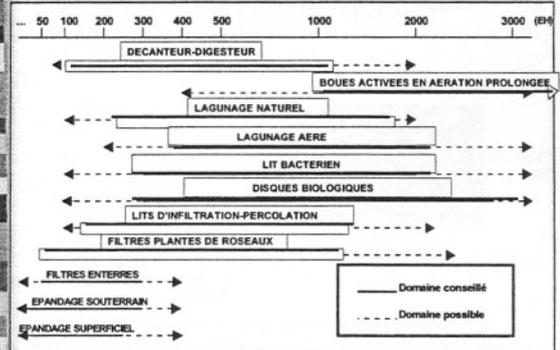
➤ Quantitatif :

variation de population
taille : domaine d'application privilégié

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Domaine d'application privilégié $2/2$



ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Contraintes du milieu récepteur

➤ Si exutoire de surface

Niveaux qualité	D1	D2	D3	D4
Type de traitement	Primaire	Carbone		Carbone et nitrification
Filières correspondantes	DD	DB (8 g DBO ₅ m ⁻² ·j ⁻¹) LB (0,7g DBO ₅ m ⁻² ·j ⁻¹) Lag aéré	Lag naturel	BA en aération prolongée Inf-perc, FPR, FE, Ep sup, Ep sout

Correspondance entre les niveaux de qualité et les techniques de traitement

Si zones sensibles : azote global; phosphore; objectif sanitaire

➤ Si absence d'exutoire de surface

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Contraintes naturelles du site

➤ étude préalable (pédologique, géologique et hydrogéologique):
perméabilité du sol, rejet dans le sous sol

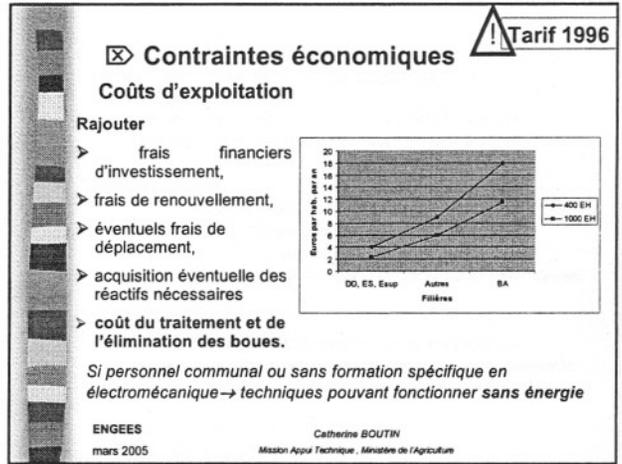
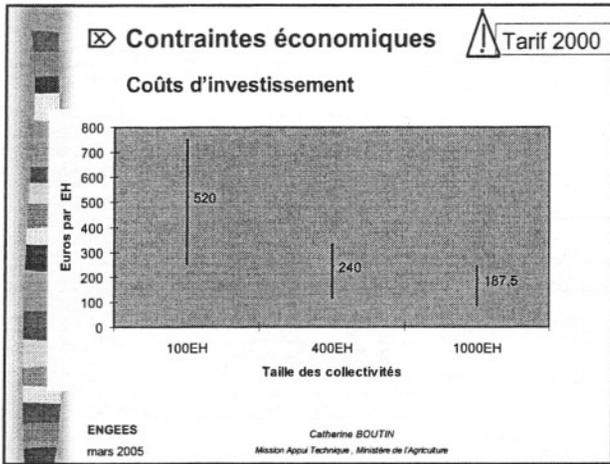
➤ pente naturelle : dénivelé d'au moins 3-4 m
(fonctionnement des siphons et ressuyage des filtres)

➤ climat : certaines filières sont sensibles aux très faibles températures

➤ emprise au sol : pour 400 EH
intensifs \approx 200 m²; extensifs \approx 7 000 m²

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture



Mat. vidange non dégrillées
(pas obligatoire < 200 EH)

☒ Contraintes économiques

Qualité et quantité de boues extraites

	Filières	Nature de la stabilisation	Les boues extraites			Destination à privilégier
			Siccité % de MS	Volume extrait	Fréquence extraction	
Lag	naturel	anaérobie	<< 1%	1,2 à 3 m ³ /hab.	7 à 10 ans	Agricole
	médiocre	anaérobie	≈ 1%	10 m ³	1 X par an	?
	aéré	anaérobie	<< 1%	≈ 1 m ³ /hab.	1 X par an	Agricole
FSTE	F.Ent, E.Sout	anaérobie	≈ 1%	400 L/hab.	3 ans	Mat. vidange
Dig	Inf-perc	anaérobie	≈ 5%	90 L/hab.	2 X par an	Agricole
	LB, DB	anaérobie	≈ 5%	120 L/hab.	2 X par an	Agricole
BA		aérobie + anaérobie dans le silo	≈ 2,5% (épais, statique)	80 L/hab.	2 X par an	Agricole
FPR		aérobie	> 20 %	100 à 200 L/hab.	10 ans	Agricole et adap plan d'épandage

ENGEES
mars 2005
Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

☒ Contraintes subjectives

- impacts olfactifs, auditifs, visuels
- effet de « mode »

ENGEES
mars 2005
Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture

⊗ Surprofondeur 1^{er} lagune
↳ boues instables (TS < 6mas)

Critères	Filière	S. A. sur. princ.	Processus pouvant fonctionner sans dispositifs										
			Lagerage solé	LA bactérien	Disques biologiques	Dispositif algues	Lagerage naturel	Infiltration Percussion	Filtre pierre	Filtre arête	Épandage souterrain	Épandage superficiel	
Performance	D4	D2	D2	D2	D1	D3	D4	D4	D4	D4	D4	D4	
Performance	Minim. (1700E) M3. P	≥ 80 % = 20 %	= 25 % = 20 %	= 50 % = 20 %	= 25 % = 20 %	supérieure = 5 %	= 70 % = 60 %	très faible	très faible	très faible	= 100 %	= 100 %	
Volume													
DOCs < 100		***	***	***		****							
DOCs > 100	****	****				Mauvaise	***	***					
Surcharge hydraulique ponctuelle	Mauvaise	***											
Qualité bactériol. et net.		Échant. artificiel									Déterminant	Déterminant	
Capacité globale (max 400 EH)	500 m ²	2 000 m ²	550 m ²	550 m ²	200 m ²	6 000 m ²	1 800 m ²	2 600 m ²	3 000 m ²	8 000 m ²	7 000 m ²		
Infiltration	***	***				****	****	****	****	****	Mauvaise		
Pas de bruit			***	***	****	****	****	****	****	****	****	****	
Adaptation aux climats froids			Mauvaise	***		Mauvaise				***	***		
Variation de pH > 3		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	
Coût d'inst.													
KHI relatif					Attention tarif 1996 !!!								
100 EH				45,7	18,3	30,5	42,7	36,6	27,4	17,5	15,2		
400 EH	18,3	9,9	11,4	11,4	4,5	7,6	10,7	9,1	7,6	4,5	3,8		
1 000 EH	11,4	6,1	6,9	6,9	2,2	4,5	6,1	5,3					

ENGEES Catherine BOUTIN
mars 2005 Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture Extrait FNDAE22

Conclusion

1. ne pas privilégier une ou plusieurs filières a priori
2. à l'inverse, aucune n'est à proscrire avant analyse

Une multitude de situations particulières, chaque analyse est spécifique.

Impossibilité d'établir un organigramme unique et généralisable au niveau national.

La comparaison nécessaire conduit à définir non pas la meilleure solution mais le meilleur compromis.

ENGEES
mars 2005

Catherine BOUTIN
Mission Appui Technique, Ministère de l'Agriculture



Toute filière, aussi simple soit-elle, doit faire l'objet d'une exploitation et d'un entretien réguliers, sans quoi les objectifs qui ont guidé son choix et sa implantation ne pourront être tenus.