



Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités

Mercredi 19 février 2014

CERRA Iris

DESAGNAT Mathieu

DUBART Romain

JUVEN Lucas

ZHOU Ning

ZIANI Hamza

CONTENU

Liste des tableaux	3
Liste des figures	4
Introduction.....	1
1-Les boues des stations d'épuration des petites collectivités	1
1.1-Originine des boues résiduaires.....	1
1.2-La production de boues en France pour les petites collectivités.....	2
1.3-Qualité des boues de petites collectivités	2
2-Réglementation (applicable à l'évacuation des boues de station d'épuration urbaine)	3
2.1-Généralités réglementaires.....	3
2.1.1-Nature juridique des boues de station d'épuration	3
2.1.2-Transport de boues.....	4
2.1.3-Les contraintes réglementaires dépendent des filières d'élimination	4
2.2-Filières d'élimination et procédures	4
2.2.1-Compostage ou incinération.....	4
2.2.2-Envoi en Centre d'Enfouissement Technique (CET)	5
2.2.3-Valorisation agricole	5
2.2.4-Responsabilités et sanctions	7
3-Panorama des techniques de traitement.....	8
3.1-Conditionnement	8
3.2-Procédés de réduction de volume	8
3.2.1-Epaississement et egouttage	8
3.2.2-Déshydratation mécanique	11
3.3-Séchage Solaire	14
3.3.1-Présentation	14
3.3.2-Différents types de serre	17
3.3.3-Dimensionnement et pertinence selon les zones géographiques	19
3.4-Lits plantés de roseaux.....	21
3.4.1-Conception des lits.....	22
3.4.2-Qualité des boues.....	23
3.4.3-Avantages/Inconvénients	23

4-Valorisation.....	24
4.1-Epandage.....	24
4.1.1-Réglementation.....	24
4.1.2-Prescriptions techniques.....	25
4.1.3-Utilité de l'épandage.....	26
4.1.4-Technique de traitement.....	27
4.1.5-Avantages.....	28
4.1.6-Inconvénients.....	28
4.2-Le compostage.....	28
4.3-Incinération.....	29
Conclusion.....	31
Bibliographie.....	1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Seuils réglementaires pour éléments traces métallique dans les boues d'épuration exprimés en mg/Kg de MS.....	3
Tableau 2: Récapitulatif des cas de figure des infractions.....	7
Tableau 2 : Avantages et Inconvénients des procédés d'épaississement.....	10
Tableau 3: Performance des procédés d'épaississement.....	10
Tableau 4 : Avantages et inconvénients des filtres à bandes.....	12
Tableau 5: Avantages et inconvénients de la centrifugation.....	13
Tableau 6: Avantages et inconvénients de l'unité de déshydratation mobile.....	13
Tableau 7 : Etats de l'eau dans la boue.....	14
Tableau 8 : Siccités requises selon la destination finale des boues.....	16
Tableau 9 : Avantages et inconvénients des serres ouvertes.....	18
Tableau 10 : Avantages et inconvénient des serres fermées.....	18
Tableau 11 : Avantages et inconvénient des serres chauffées.....	19
Tableau 12 : Epandabilité des produits (décret du 8 décembre 1997).....	25
Tableau 13: Teneurs moyennes des boues en Eléments Traces Métalliques - Comparaison aux limites réglementaires.....	26
Tableau 14 : Teneurs et flux limites réglementaires des boues en Composés Traces Organiques (CTO).....	26

Tableau 15: Avantages et inconvénients de l'incinération	30
--	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Répartition des stations d'épuration	2
Figure 3: Exemple de table d'égouttage	10
Figure 4: Principe de fonctionnement du filtre à bande	12
Figure 4 : Evolution des cinétiques de séchage	15
Figure 5 : Représentation d'andins	16
Figure 6 : Schéma du fonctionnement général d'une serre	17
Figure 7 : Carte du gisement solaire en France (kWh/m ² /an)	20
Figure 8 : Emplacement des lits dans la filière	21
Figure 9 : Lits planté de roseaux dans le sol (à gauche) et sur béton (à droite).....	22
Figure 10 : Destination des boues sur le bassin RMC en 2009	30

INTRODUCTION

En France la consommation d'eau n'a cessé d'augmenter ces 20 dernières années et avec elle, le volume d'eaux usées à traiter.

Dans un contexte où le bon état environnemental et les enjeux de santé liés à l'eau préoccupent de plus en plus les mentalités, la qualité de l'eau traitée est un sujet qui a alimenté de nombreuses problématiques et recherches. Les systèmes de traitement de l'eau que nous utilisons aujourd'hui en France sont relativement performants et évoluent pour s'adapter aux nouvelles sources de pollution et aux normes en vigueur. Cependant le principal déchet produit par les stations de traitement d'eau, à savoir, les boues d'épuration, sont aussi une matière relativement complexe dont le traitement et le devenir sont à considérer.

Les boues contiennent des éléments fertilisants et peuvent être source d'énergie. En quelques dizaines d'années ces boues sont passées du statut de déchet au statut de produits valorisables.

Des traitements mécaniques, biologiques et thermiques ont été mis au point pour transformer, valoriser les boues et réduire leur volume. Cependant la problématique du traitement des boues est un peu différente dans les petites collectivités qui n'ont pas forcément les moyens ou les compétences pour traiter les boues de leur station sur place avec de grosses installations.

Dans un premier temps nous nous intéresserons aux objectifs et aux normes concernant le traitement des boues. Nous analyserons ensuite dans une seconde partie les différentes techniques et filières qui pourront être mises en place par de petites collectivités.

1-LES BOUES DES STATIONS D'EPURATION DES PETITES COLLECTIVITES

1.1-ORIGINE DES BOUES RESIDUAIRES

L'épuration des eaux résiduaires repose sur le principe de la séparation des éléments, susceptibles de polluer le milieu naturel de l'eau véhiculant les polluants.

Les eaux résiduaires contiennent des déchets grossiers séparables sous l'action des forces de gravité lorsqu'on les laisse séjourner dans un bassin calme. Ces phénomènes de décantation donnent naissance à des résidus dont certains sont évacués séparément (sables, graisses) et dont la majorité sont des composantes inertes des boues.

Les polluants plus dispersés dans l'eau ne peuvent suivre ce schéma simple. Les techniques d'épuration permettent de transformer ces matières en un nouveau produit séparable de l'eau, là

encore par voies de décantation. Plus précisément, la charge polluante à traiter est transformée en bactéries agglomérées par les produits d'excrétion de leur métabolisme.

L'activité épuratrice augmente naturellement la concentration des boues dans les ouvrages de traitement. Les divers systèmes biologiques nécessitent de maintenir artificiellement ou naturellement la masses de boues dans le système en deçà d'une valeur de consigne. Il doit donc être procédé au soutirage des boues en excès.

1.2-LA PRODUCTION DE BOUES EN FRANCE POUR LES PETITES COLLECTIVITES

La France compte un très grand nombre de petites communes (une commune sur quatre a moins de 200 habitants et 9 sur 10 moins de 2000) abritant 25 % de la population française. Il n'est donc pas surprenant, comme l'illustre le graphique ci-dessous, qu'on trouve en France beaucoup de petites stations d'épuration :

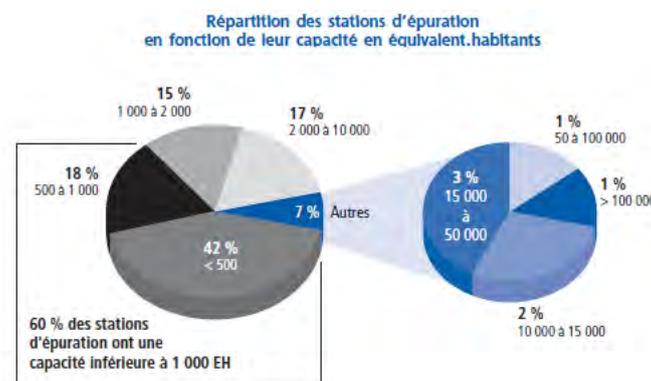


Figure 1: Répartition des stations d'épuration

Source : Agence de l'eau, 2008

En fonction de la nature des procédés retenus, une typologie des boues et des ratios de production de boues sont définis. Afin de simplifier l'information, il est suffisant de savoir que la quantité moyenne de boues produites par un habitant est comprise entre 15 et 20 kg/an de matière sèche (toute l'eau ayant été éliminée). Bien entendu, cette quantité est susceptible d'augmenter en cas d'utilisation de coproduits de traitement des boues, comme la chaux par exemple.

On estime donc que la production de boues pour les petites collectivités (<2000eq habitants) est d'environ 270 kilotonnes de matière sèche par an. Le traitement des boues « rurales » est donc un véritable enjeu en France en raison de cette production volumineuse.

1.3-QUALITE DES BOUES DE PETITES COLLECTIVITES

La qualité des boues dépend du réseau de collecte et de la nature des rejets. Ainsi, les effluents produits par une grande ville qui comprend un tissu industriel et artisanal dense présentent des caractéristiques différentes de ceux produits par un hameau de campagne. Apprécier la qualité d'une boue revient à quantifier les paramètres chimiques, physiques et biologiques caractéristiques de ses constituants, en général très humides et putrescibles. Il est essentiel de garder à l'esprit qu'une mauvaise qualité de boues a pour principale origine la présence d'éléments indésirables dans

les rejets liquides au réseau par les habitants, industries ou commerces mais également en cas de réseau unitaire et par temps de pluie, par lessivage des chaussées.

De par la faible densité des industries dans les réseaux d'assainissement des petites et moyennes collectivités, la qualité des boues est en générale satisfaisante pour envisager des revalorisations agricoles. Ceci sera développé dans la suite du rapport.

Si la qualité des boues n'est pas satisfaisante en sortie de la filière eau, différents traitements des boues existent pour les petites et moyennes collectivités.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
seuils réglementaires (arrêté du 08/01/1998)	10	1000	1000	10	200	800	3000
seuils norme compost NFU 44-095	3	120	300	2	60	180	600
concentrations seuils spécifiques Agence de l'Eau RMC	4	160	400	3	80	240	800

Tableau 1 : Seuils réglementaires pour éléments traces métallique dans les boues d'épuration exprimés en mg/Kg de MS

2-REGLEMENTATION (APPLICABLE A L'EVACUATION DES BOUES DE STATION D'EPURATION URBAINE)

2.1-GENERALITES REGLEMENTAIRES

2.1.1-NATURE JURIDIQUE DES BOUES DE STATION D'EPURATION

Les boues de station d'épuration sont considérées comme des « déchets » au sens de l'article L.541-1 et suivants du Code de l'Environnement et inscrites dans la nomenclature définie dans le décret n° 2002-540 relatif à la classification des déchets. À l'échelle de la commune, le maire assume la responsabilité de la gestion des boues produites sur sa station d'épuration.

A ce titre, les opérations de transport, de collecte et de traitement des matières de vidange sont strictement encadrées et doivent garantir la protection de l'environnement :

Article L541-2

Toute personne qui produit ou détient des déchets dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions du présent chapitre, dans des conditions propres à éviter lesdits effets. L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances mentionnées à l'alinéa précédent.

2.1.2-TRANSPORT DE BOUES

Le décret n° 98-679 du 30 juillet 1998 modifié est applicable au transport de boues. Il prévoit notamment que soit réalisée une déclaration préalable en Préfecture, lorsque la quantité transportée est supérieure à 500 Kg par chargement de déchets non dangereux. La déclaration est renouvelée tous les cinq ans et une copie du récépissé est conservée à bord de chaque véhicule.

2.1.3-LES CONTRAINTES REGLEMENTAIRES DEPENDENT DES FILIERES D'ELIMINATION

Pour pouvoir être rejetées dans le milieu naturel après épuration, les eaux usées doivent être conformes à des critères réglementaires qualitatifs qui dépendent pour partie de l'état du milieu récepteur. De façon analogue, en fonction de leur destination finale (recyclage agronomique, centre de Stockage des Déchets Ultimes ou recyclage matière), les boues devront présenter des caractéristiques particulières répondant à des normes de qualité (Cf. *Partie 4 : Valorisation*). Dans la plupart des cas, les filières de gestion des boues de petites communes rurales sont de type « retour au sol » avec un recyclage agronomique.

2.2-FILIERES D'ELIMINATION ET PROCEDURES

Plusieurs filières d'élimination des boues sont envisageables :

2.2.1-COMPOSTAGE OU INCINÉRATION

➤ **Généralités**

Les boues peuvent être dirigées vers une plate-forme de compostage ou une usine d'incinération. Ces types d'installation sont généralement soumis à la réglementation sur les Industries Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Avant d'envisager un envoi en compostage ou incinération, il y a lieu de s'assurer :

- ❖ Après de la DRIRE ou de la DDAF : que l'installation a bien été autorisée pour prendre des boues de station d'épuration urbaine ;
- ❖ Après du gestionnaire : des conditions d'acceptation des boues (qualité, siccité, coût au m³, ...).

➤ **Procédure administrative**

Aucune procédure n'est nécessaire, un simple courrier de la collectivité au service de l'eau mentionnant la destination des boues est suffisant.

2.2.2-ENVOI EN CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE (CET)

Depuis le 1er juillet 2002, les installations d'élimination des déchets par stockage ne sont plus autorisées à accueillir que des déchets ultimes. Un déchet ultime au sens du code de l'environnement de la réglementation française est défini comme suit :

« Déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. »

Les boues de stations d'épuration n'étant pas considérées comme des déchets ultimes puisqu'elles sont valorisables. Ce mode d'élimination ne peut donc constituer une filière pour l'ensemble de la production d'une station. L'envoi en CET n'est envisageable que pour l'élimination d'un lot de boues non conforme.

2.2.3-VALORISATION AGRICOLE

➤ **Généralités**

La valorisation agricole consiste à un épandage des boues sur des terres agricoles après vérification de l'innocuité des boues et de leur intérêt agronomique. Les principales contraintes sont les périodes d'épandage (interdiction en période d'excédent hydrique) et l'équilibre entre les besoins des cultures et les apports de nutriments.

➤ **Procédure administrative**

L'épandage des boues est soumis à une double réglementation, administrative et technique des décrets n°93-742 et n°93-743 du 29 mars 1993. La réglementation technique définit les modalités pratiques des opérations d'épandage de boues et précise les obligations des différents intervenants de la filière ainsi que les dispositions préventives qui doivent être mises en place pour garantir la protection de l'environnement et de la santé publique. Le Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues et l'Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, développent de façon détaillée les conditions auxquelles l'épandage des boues doit satisfaire.

D'après ce décret l'épandage sur terres agricoles peut être soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation au titre de la rubrique n° 2.1.3.0 de l'article R.214- 1 du Code de l'Environnement :

2.1.3.0. Epandage de boues issues du traitement des eaux usées : la quantité de boues épandues dans l'année, produites dans l'unité de traitement considérée, étant :

1° Quantité de matière sèche supérieure à 800 t/an ou azote total supérieur à 40 t/an.....**Autorisation**

2° Quantité de matière sèche comprise entre 3 et 80 0 t/an ou azote total compris entre 0,15 t/an et 40 t/an.**Déclaration**

Pour l'application de ces seuils, sont à prendre en compte les volumes et quantités maximales de boues destinées à l'épandage dans les unités de traitement concernées.

Extrait du Code de l'Environnement disponible sur www.legifrance.gouv.fr et envoyé sur demande

De plus, ce décret distingue différentes étapes incontournables permettant d'assurer un recyclage des boues sans risque pour la santé et l'environnement :

- ❖ Avant de procéder à tout épandage, une **étude préalable d'épandage** est à réaliser. Cette étude définit le périmètre concerné, sur la base d'analyses de sols et en fixant des limites de distance à d'éventuels milieux sensibles (cours d'eau...), les modalités techniques prévues pour réaliser les épandages, et les capacités de stockage nécessaires. L'ouvrage de stockage est un élément indispensable à la mise en place d'une filière de bonne qualité.
- ❖ **L'autosurveillance** de la filière consiste à réaliser régulièrement des analyses de boues et de sols afin de s'assurer de leur conformité à l'arrêté du 08/01/2001 qui fixe des «valeurs seuils» maximales pour les éléments polluants, et à enregistrer toutes les opérations liées au recyclage. Le bilan agronomique annuel récapitule ces opérations de suivi réalisées durant l'année (analyses, registre).
- ❖ **Le programme prévisionnel** est un document qui permet de planifier les opérations tout en communiquant l'information aux différents partenaires.
- ❖ **La traçabilité réglementaire de l'épandage des boues.** L'article 10 du Décret du 8 décembre 1997 précise que "le producteur de boues adresse au préfet, chaque année, une synthèse des informations figurant au registre mentionné à l'article 9. Celui-ci doit être présenté aux agents chargés du contrôle de ces opérations. Le préfet peut communiquer la synthèse du registre aux tiers sur leur demande". Le registre d'épandage est constitué par l'ensemble de ces informations gérées et conservées par le producteur des matières d'épandage qui doit pouvoir justifier à tout moment de leur localisation (entreposage, dépôt temporaire, transport ou épandage) en référence à leur période de production et aux analyses réalisées

Tous ces documents doivent être remis à la police de l'Eau.

➤ **Limité de qualité des boues destinées à l'épandage norme NFU 44-095**

La norme fixe des objectifs de qualité à atteindre sur le compost et des concentrations maximales à respecter :

- ❖ pour 9 éléments traces métalliques : As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn,
- ❖ pour 2 familles de Composés Traces Organiques : PCB, HAP

- ❖ pour des paramètres microbiologiques: E.Coli, Clostridium, Entérocoques, Œufs d'Helminthe, Lystéria, Salmonelles.

La vérification de la conformité des composts à la norme doit être effectuée sur chaque lot de produit commercialisable.

Par ailleurs, la norme fixe des flux en gramme/hectare à respecter pour chaque apport de boues, par an et en 10 ans. Comme les épandages de compost normé ne font pas l'objet d'un suivi à la parcelle qui permettrait de contrôler le respect des flux, les flux sont traduits en préconisations d'usage (dose maximale à apporter par hectare par an).

2.2.4-RESPONSABILITES ET SANCTIONS

L'article R.211-30 du Code de l'Environnement précise : « les exploitants des unités de collecte, de prétraitement et de traitement [...] sont des producteurs de boues au sens de la présente sous-section; il leur incombe à ce titre d'en appliquer les dispositions ».

Il est rappelé que la responsabilité de l'entreprise qui réalise le transport et l'épandage peut être engagée en tant que participant à l'opération, si la filière d'élimination des boues n'est pas conforme à la réglementation.

La constatation d'infractions par des agents assermentés est susceptible d'entraîner des sanctions pénales et/ou administratives envers le commanditaire comme l'entrepreneur. Les principaux cas de figure sont récapitulés dans le tableau suivant :

Infractions	Textes fixant les sanctions	Peines prévues	Récidive
Absence d'autorisation requise pour réalisation des opérations d'épandage	CE art.L.216-8	Amende : 18 000 € Emprisonnement : 2 ans	A : 150 000 € P : 2 ans
Absence de déclaration requise pour réalisation des opérations d'épandage	CP, art.131-13-5 CE art.R.216-12	Amende : 5e classe (1 500€ au max)	A : la même
Non-respect des prescriptions fixées par le préfet dans l'arrêté d'autorisation et les arrêtés complémentaires	CP, art. 131-13-5 CE art.R.216-12	Amende : 5e classe (1 500€ au max)	A : la même
Non-respect des prescriptions modificatives ou complémentaires édictées par le préfet	CP, art.131-13-5 CE art.R.216-12	A : 5e classe (1 500€ au max)	A : la même
Non-respect des prescriptions fixées dans le Code de l'Environnement	CP, art.131-13-5 CE art.R.216-7	A : 5e classe (1 500€ au max)	A : la même

Remarque : Ce tableau constitue un résumé des textes et présente uniquement les infractions les plus courantes ; pour plus de détails, veuillez vous reporter aux textes officiels cités ou interroger la DDAF.

Tableau 2: Récapitulatif des cas de figure des infractions

3-PANORAMA DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT

3.1-CONDITIONNEMENT

Quelles soient biologiques ou minérales, les boues hydrophiles renferment une forte proportion d'eau après de simples étapes de décantation ou d'épaississement. C'est pourquoi un conditionnement préalable des boues est impératif pour rendre l'opération de déshydratation mécanique économiquement réalisable.

Ce conditionnement a pour objet de réduire entre autre la stabilité colloïdale des espèces particulaires, de favoriser la libération d'eau ou en réduire l'énergie de liaison avec les espèces particulaires. Il peut être obtenu par:

- ❖ Restructuration chimique, par apport d'électrolytes minéraux ou de polyélectrolytes organiques
- ❖ Conditionnement thermique (température élevée ou congélation), voire pasteurisation
- ❖ Conditionnement par apport de charge minérale inerte (microsable...).

Dans le cas où le conditionnement n'a pour seul objet que de faciliter la déshydratation des boues (sans stabilisation sanitaire ou biologique), seule la voie chimique est pratiquée. Ce conditionnement chimique se fait par apport de coagulants minéraux (sels de Fer ou d'Aluminium) et/ou de polyélectrolytes généralement de synthèse. Il se fait conventionnellement dans des cuves où le mélange est parfaitement contrôlé pour favoriser le contact et la restructuration des espèces en suspension. Ce contact peut nécessiter une régulation de pH. Leurs inconvénients sont leur coût et leur devenir dans le cas d'épandage des boues pour des composés qui peuvent présenter une biodégradabilité lente, voire une migration progressive vers les nappes d'eau ou les végétaux.

La voie thermique avec des températures élevées est réservée pour conditionner et stabiliser simultanément des boues instables (la congélation peut être pratiquée dans des cas très spécifiques).

3.2-PROCEDES DE REDUCTION DE VOLUME

3.2.1-EPAISSISSEMENT ET EGOUTTAGE

Nous allons expliquer le fonctionnement des procédés d'épaississement les plus couramment utilisés dans les STEP des petites collectivités.

Les procédés d'épaississements permettent de réduire le volume des boues grâce à l'extraction de leur eau. Ils sont très simples, ils peuvent être utilisés pour les stations des petites collectivités car ils n'entraînent pas de dépense d'énergie de fonctionnement, et entraînent une réduction importante du volume des boues. L'épaississement vise donc à augmenter la siccité des boues, soit leur teneur en matière sèche, sans modifier le caractère liquide des boues.

Ensuite, les boues récoltées peuvent subir ou non différents traitements (stabilisation ou stockage) en vue d'une potentielle valorisation, à des fins d'épandage par exemple.

On distingue deux grandes familles de procédés d'épaississement : gravitaire et dynamique.

3.2.1.1-EPAISSISSEMENT GRAVITAIRE

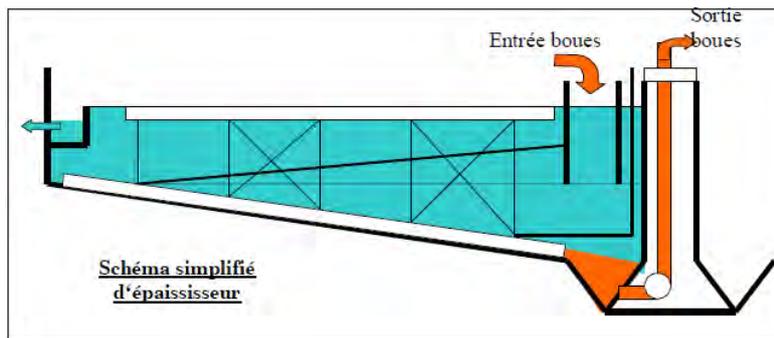


Figure 2: Schéma simplifié d'un épaisseur

Ci-dessus, le schéma simplifié d'un épaisseur gravitaire. C'est le procédé d'épaissement le moins coûteux, donc souvent utilisé dans les petites stations (inférieures à 2000 EH).

L'eau surnageant est récupérée et réacheminée en tête de station. Les boues obtenues sont épaissies avec un facteur de concentration de 2 à 8 fois, correspondant généralement à une siccité maximale de 3 à 3.5%.

Les conditions préconisées pour le bon fonctionnement d'un épaisseur sont :

- ❖ boues d'alimentation peu concentrées (<15g/L)
- ❖ temps de séjour relativement court, idéal 24h, maximum 48h.
- ❖ une alimentation proche du continu, en moyenne 0.5m/h

3.2.1.2-EPAISSISSEMENT DYNAMIQUE

Les procédés d'épaissement dynamique ou mécanique sont composés de diverses techniques:

- ❖ flottation et centrifugation généralement utilisées pour les installations de moyenne à grosse importante ;
- ❖ égouttage, utilisé pour des petites STEP, souvent avec des boues biologiques d'aération prolongée.

L'égouttage permet une réduction du volume de boues de l'ordre de 6 à 7, soit une siccité de l'ordre de 5-8%. Cette technique utilise environ 5kg de polymère / Tonne Matière Sèche et une consommation électrique d'environ 30 à 60 kWh/ T Matière Sèche.

3.2.1.3 EGOUTTAGE

Il s'agit d'égoutter les boues en les mettant sur un support filtrant, cela provoque un épaisseur rapide de la boue. Ce système table d'égouttage permet d'augmenter la charge massique ou la concentration de 10 g à 100 g/l et la **siccité** finale de l'ordre de 8 %.

Les boues doivent être préalablement floculées. On ajoute souvent un polymère afin de constituer les floccs. Ce produit permet d'agglomérer les boues entre elles et de les séparer de l'eau.

La simplicité de ce procédé d'épaissement assure aussi sa durabilité pour une maintenance réduite.

Après la table d'égouttage, les boues épaissies sont stockées puis envoyées vers d'autres filières.

Il peut y avoir une désodorisation de la salle afin d'éviter les nuisances.



Figure 3: Exemple de table d'égouttage

3.2.1.3-RECAPITULATIF DES PROCEDES D'EPAISSISEMENT

Procédé	Avantages	Inconvénients
Epaisseur gravitaire	<ul style="list-style-type: none"> -Simplicité et facilité d'exploitation -Consommation énergétique faible 	<ul style="list-style-type: none"> -Importante emprise au sol -Performance faible pour les boues biologiques -Nuisances olfactives possibles
Egouttage	<ul style="list-style-type: none"> -Simplicité et facilité d'exploitation -Compacité et nuisances contrôlables 	<ul style="list-style-type: none"> -Besoin de main d'œuvre et d'eaux de lavages -Polymère indispensable

Tableau 2 : Avantages et Inconvénients des procédés d'épaississement

Performance:

Type	Energie (kWh/t M.S.)	Poly-électrolyte	Concentration boues épaisse (g/l)
Statique	10-20	Non	15-25
Egouttage	30-40	Oui	40-60

Tableau 3: Performance des procédés d'épaississement

3.2.2-DESHYDRATATION MECANIQUE

Procédés réduction de volume

La réduction de volume des boues peut se faire par déshydratation mécanique. Cette technique, placée après des étapes d'épaississement ou d'égouttage, permet de réduire le volume de boues à au moins 1/8 de son volume initial. Ce procédé permet donc d'atteindre une siccité des boues supérieure (de 20 à 45 %) à celle obtenue par épaississement ou égouttage. La déshydratation s'opère par filtration ou centrifugation. Un conditionnement des boues (injection de polymères, chaulages, etc.) peut être nécessaire au préalable suivant leurs propriétés (caractère hydrophile/hydrophobe, etc.).

3.2.2.1-LA FILTRATION

Principe

Il existe des filtrations sur bandes pressantes (siccité de 20 %) et des filtrations sous pression (siccité de 30 à 45 %).

Les filtres sous pression ou filtres presse requièrent un conditionnement préalable des boues (lait de chaux) et des pressions élevées. Sa conception et son exploitation sont relativement coûteuses. Ce procédé est réservé aux installations de taille importante. En général, le filtre à bande est couplé avec une table d'égouttage.

La filtration à bande est la technique la plus utilisée pour la déshydratation mécanique des boues dans les petites stations d'épurations. Ce traitement repose sur la filtration des boues entre deux toiles filtrantes mobiles entrainées par des rouleaux au sein d'une enceinte ouverte. Ce système permet d'exercer une pression allant de 3 à 7 bars. La compression des boues est progressive et se fait au moyen de l'enroulement des toiles autour de tambours perforés et de rouleaux disposés en quinconce. Des rouleaux mobiles montés sur des vérins pneumatiques permettent d'ajuster la pression en fonction de la concentration des boues. Les forces de cisaillement appliquées permettent le départ de l'eau. L'efficacité de la déshydratation dépend de la pression appliquée. Cette pression est proportionnelle au temps de pressage et inversement proportionnelle à la largeur de la toile et au diamètre des rouleaux.



Le principe de fonctionnement

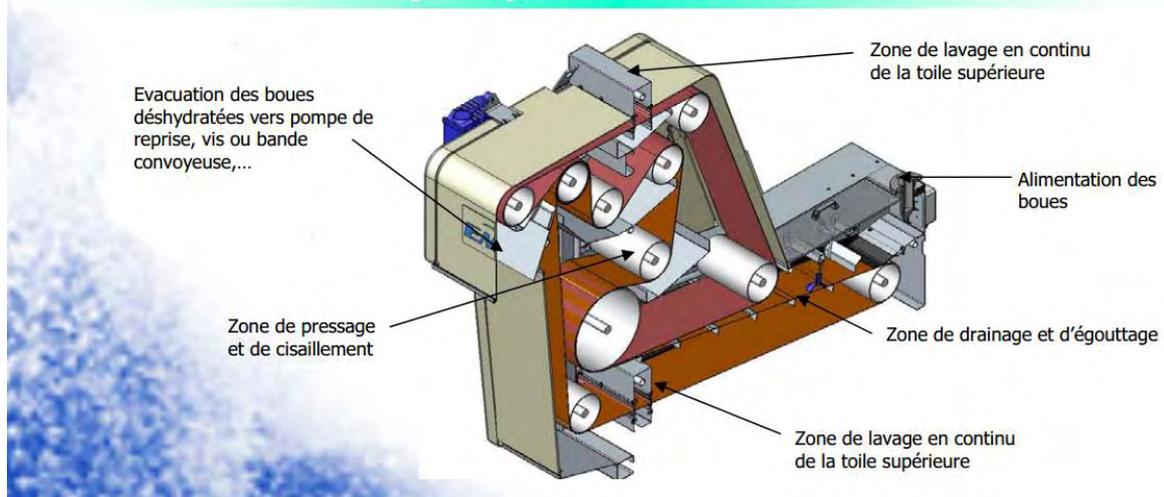


Figure 4: Principe de fonctionnement du filtre à bande

Au niveau des critères de choix, plusieurs choses sont à regarder :

- ❖ nature des boues comme la concentration initiale ou caractère hydrophile/hydrophobe ;
- ❖ capacités de traitement : charge hydraulique (m^3/h) et massique (MS/h) ;
- ❖ exploitation du filtre : facilité de réglages, flexibilité des réglages ;
- ❖ coûts d'investissement et d'exploitation (énergie électrique consommée, changement de pièces, etc.) ;
- ❖ encombrement et poids ;
- ❖ gestion des odeurs.

Les filtres à bande permettent d'arriver à une siccité des boues proche des 20 %.

Avantages/Inconvénients

Avantages	Inconvénients
-Investissement modéré -Cout d'exploitation faible -Maintenance aisée -Faible consommation en polymères	-Maintenance non négligeable (lavage, réglage, changement de la toile) -Siccité de 20 % (devenir limité : compostage)

Tableau 4 : Avantages et inconvénients des filtres à bandes

Les filtres à bandes sont les matériels les plus utilisés pour la déshydratation. Cependant, ils requièrent une maintenance non négligeable. Aujourd'hui, un autre procédé demandant moins d'entretien se vend beaucoup sur le marché, il s'agit des centrifugeuses.

3.2.2.2-LA CENTRIFUGATION

Principe

La centrifugation est un procédé permettant la séparation de l'eau des boues grâce à la force centrifuge. Le dispositif est composé d'un rotor cylindro-conique horizontal. A l'intérieur de ce dernier, une vis convoyeuse tourne dans le même sens mais à une vitesse légèrement supérieure à celle du rotor. Les boues polymérisées sont introduites dans le dispositif. Avec force centrifuge, les particules solides se déposent sur les parois du bol. Elles sont reprises par la vis convoyeuse qui les envoie vers la sortie de la machine. L'eau est récupérée au centre de la machine et est évacuée.

Le diamètre du bol définit la capacité de traitement de la centrifugeuse. A titre d'exemple, un bol de 300 mm de diamètre permet de traiter 20 à 30 m³/h et un bol de 1 m permet de traiter 80 à 100 m³/h. La siccité des boues en sortie est de 25 %.

Avantages	Inconvénients
-Siccité de 25 % (boues pâteuses à solide)	-Coût d'investissement important
-Machines compactes	-Coût d'exploitation important (forte consommation d'énergie électrique)
-Machines automatisables et compactes	-Forte consommation en polymères

Tableau 5: Avantages et inconvénients de la centrifugation

3.2.2.3-UNITE DE DESHYDRATATION MOBILE

Principe

Les petites stations d'épuration ne pouvant pas traiter leurs boues peuvent faire appel à des unités mobiles et autonomes pour le pompage et la déshydratation de leurs boues. Ces unités sont des poids lourds sur lesquels sont embarqués des filtres à bandes ou des filtres à presse ou encore des centrifugeuses. Les siccités atteintes sont sensiblement les mêmes à celles observées sur les traitements classiques. Cette technique nécessite un stockage des boues au sein de la station d'épuration en attendant l'unité mobile.

Les stations d'épuration ne disposant pas d'une emprise au sol importante, type zone de montagne, ont recours à cette solution.

Avantages/Inconvénients

Avantages	Inconvénients
-Coût investissement faible (mutualisation de l'unité pour plusieurs stations d'épuration)	-Stockage des boues
-Alimentation électrique autonome	-Gestion des filtrats

Tableau 6: Avantages et inconvénients de l'unité de déshydratation mobile

3.3-SECHAGE SOLAIRE

3.3.1-PRESENTATION

Introduction

Les collectivités disposent d'un grand nombre de procédés traditionnels qui visent à concentrer puis à stocker les boues. Ces procédés sont actuellement les plus utilisés. Cependant depuis une quinzaine d'années de nouvelles technologies plus écologiques et économiques sont mises en place. Parmi elles nous retrouvons entre autre le séchage solaire (procédé économe en énergie et réactifs).

Principe général de fonctionnement et intérêt du procédé.

Les boues sont mises dans des serres de séchage afin d'éliminer une partie de l'eau qu'elles contiennent et de les concentrer pour ensuite faciliter leur évacuation.

Ces serres sont souvent automatisées (entrée de boues, ventilation, brassage ...)

Ce procédé a la particularité de faire appel à une énergie renouvelable, inépuisable et gratuite: l'énergie solaire. Concernant l'efficacité de ce procédé, la siccité atteinte en sortie est d'environ 70 % à 80%.

Son utilisation en France dans les petites et moyennes STEP.

Le séchage solaire a commencé à être utilisé en France à partir des années 2000. C'est un procédé extensif qui est adapté aux petites et moyennes stations d'épuration. Il sera proposé pour des stations allant de 2000 à 50 000 EH. Pour de plus petites stations on choisira plutôt les lits plantés de roseaux. Pour des plus grandes stations, d'autres technologies comme le séchage thermique seront favorisées.

La technique :

Sur quelle partie de la boue agissons nous ?

Rappelons les différents états de l'eau dans la boue:

Eau libre	Eau liée	Eau interne
Située entre les floccs ; 2/3 de l'eau présente dans la boue	Eau collée aux floccs ; 20% de l'eau présente dans la boue	Eau intracellulaire ; Moins de 10 % de l'eau initiale
Peut être évacuer par épaissement et déshydratation	Demande une énergie importante pour être évacuée	Demande une énergie importante pour être évacuée.

Tableau 7 : Etats de l'eau dans la boue

Le séchage permet d'apporter de l'énergie et permet d'évacuer d'une grande partie de l'eau liée et interne. Il vient donc compléter les procédés de déshydratation mécanique réalisés à l'amont.
Procédé d'évaporation et Cinétiques de séchage :

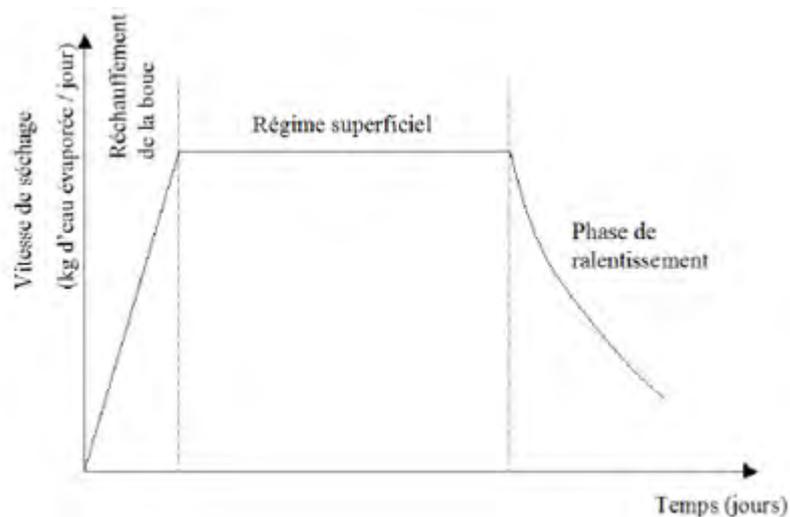


Figure 4 : Evolution des cinétiques de séchage

① Les boues fraîches introduites dans la serre se réchauffent jusqu'à atteindre la température ambiante de la serre (température supérieure à l'air extérieur en raison de l'effet de serre). Cette période de mise en température est généralement très courte par rapport au temps total de séchage.

② Régime dit « superficiel »

Le séchage s'effectue par évaporation de l'eau disponible en surface. Cette phase perdure tant que la surface est alimentée de manière suffisante en eau venant de l'intérieur des boues.

③ Phase de ralentissement

Cette phase commence quand les boues atteignent leur seuil d'hygroscopicité, c'est-à-dire que l'eau restante dans les boues ne peut plus remonter en surface. Le front de séchage qui se trouvait en surface migre vers l'intérieur de la boue. Plus ce front de séchage se situe loin de la surface externe des boues, plus la vitesse de séchage ralentit.

Afin de rester dans la phase d'évaporation optimale les serres sont associées à des systèmes de retournement du lit de boues.

L'appareil casse la croûte de boue qui se forme en surface lorsque le front de séchage se déplace vers l'intérieur de la boue et renouvelle la surface de boue en contact avec l'air.

④ Destination finale des boues

Toutes ces filières sont accessibles aux boues extraites des serres de séchage solaire.

Destination finale des boues	Siccités requises
Valorisation agricole	Boues séchées: > 60 %
Compostage	18-30 %
Incinération	> 35 %
Co-incinération	> 25 %
Centre de stockage	30-35 %

Tableau 8 : Siccités requises selon la destination finale des boues

Paramètres importants

L'objectif du séchage solaire est d'évaporer l'eau contenue dans la boue. Le taux d'évaporation est fonction de la quantité d'eau que l'air peut stocker, ainsi, les possibilités de séchage diminuent lorsque l'humidité de l'air augmente.

Les facteurs météorologiques qui favorisent l'évaporation sont principalement les suivants :

- ❖ température élevée : La structure même de la serre permet d'emmagasiner de la chaleur et d'avoir une température de l'air et des boues plus élevées que les températures ambiantes ;
- ❖ humidité relative faible (air non saturé au voisinage de la surface d'évaporation) ;
- ❖ vitesse et mouvement du vent ;
- ❖ la surface d'échange air-boues. Plus cette surface est grande, plus l'eau s'évapore de la boue. La disposition des boues dans la serre (lit, andains), leur hauteur et la structure de la boue (granulée ou non) sont les facteurs influençant la surface d'échange. On voit sur la figure ci dessous comment la répartition des boues en andains augmente la surface d'échange.



Figure 5 : Représentation d'andains

Matériel et installations

L'installation de certains équipements est nécessaire au bon fonctionnement de la serre :

- ❖ Des ouvrants permettent l'introduction de l'air extérieur dans la serre
- ❖ Des extracteurs, en façade, assurent le renouvellement de l'air chargé d'eau dans la serre. Ainsi, dès que possible, l'air intérieur de la serre qui s'est chargé en eau est remplacé par l'air extérieur plus sec. L'air entre par les ouvrants et est expulsé par les extracteurs.
- ❖ Des ventilateurs sont positionnés tout au long de l'ouvrage au-dessus du lit de boues et envoient l'air chaud du haut de la serre vers les boues à sécher. Le but étant d'homogénéiser la température. Ces ventilateur sont aussi appelés déstratificateurs.
- ❖ Retournement des boues. Un retournement efficace des boues permet de toujours avoir une surface d'échange optimale.

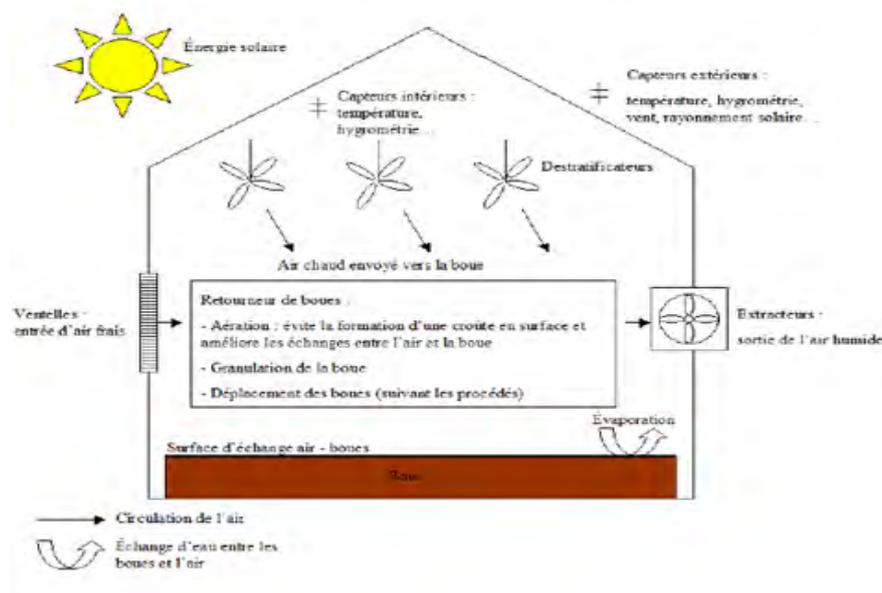


Figure 6 : Schéma du fonctionnement général d'une serre

3.3.2-DIFFERENTS TYPES DE SERRE

Il existe plusieurs types de serre :

- LES SERRES OUVERTES



Photo de serres ouvertes à Brumath (67)

La serre ouverte est équipée d'ouvertures en partie basse et en partie haute afin de favoriser la convection naturelle (induite par des différences de température et d'altitude) . La ventilation est naturelle et non contrôlée. Le taux de renouvellement de l'air dans la serre n'est pas maîtrisé car seule l'action sur l'ouvrant en toiture permet d'accentuer ou de réduire le débit de ventilation dans la serre.

Avantages	Inconvénients :
Conception simple	Températures intérieures plus basses que dans une serre fermée
Limitation des dépenses énergétiques	Performances de séchage sur l'année moindres et aléatoires
Dilution constante des odeurs dans l'atmosphère	Impossibilité d'installer une désodorisation

Tableau 9 : Avantages et inconvénients des serres ouvertes

LES SERRES FERMÉES



Photo d'une serre fermée à Folschwiller (57)

La serre fermée comporte des vannes des extracteurs pour la sortie d'air sur le côté opposé.

Avantages :	Inconvénient :
Maîtrise de la ventilation donc du taux de renouvellement	Consommation énergétique plus importante
Possibilité d'installer une désodorisation	

Tableau 10 : Avantages et inconvénient des serres fermées

- LES SERRES CHAUFFEES

Pour les serres fermées, il est possible de mettre en place un chauffage complémentaire. Deux possibilités existent pour apporter de la chaleur supplémentaire en période où l'énergie solaire est réduite (période hivernale) :

- ❖ soit par la mise en place d'un plancher chauffant (une pompe à chaleur récupère les calories de l'eau de sortie de la station d'épuration par exemple) ;
- ❖ soit en chauffant l'air de la serre par le biais d'aérothermes.

Avantages :	Inconvénients :
Surface au plancher de la serre plus petite	Dépenses énergétiques plus importantes
Performances de séchage « constantes » toute l'année	Conception initiale plus compliquée et plus onéreuse

Tableau 11 : Avantages et inconvénient des serres chauffées

3.3.3-DIMENSIONNEMENT ET PERTINENCE SELON LES ZONES GEOGRAPHIQUES

Les données météorologiques telles que la température, le rayonnement solaire, le vent, l'hygrométrie de l'air et les précipitations dépendent non seulement du lieu géographique considéré mais également de la période de l'année.

Ces informations permettent de déterminer une évaporation théorique exprimée en kilogramme d'eau évaporée par mètre carré et par an : kg EE/m²/an.

A cela, il faut ajouter les effets de la ventilation de déstratification (voir explications plus loin) qui peut permettre d'augmenter l'évaporation jusqu'à 30 %.

En France, le potentiel évaporatoire annuel moyen est compris entre 800 et 1 200 kg EE/m²/an soit un potentiel de 2,74 kg d'eau évaporée par m² et par jour

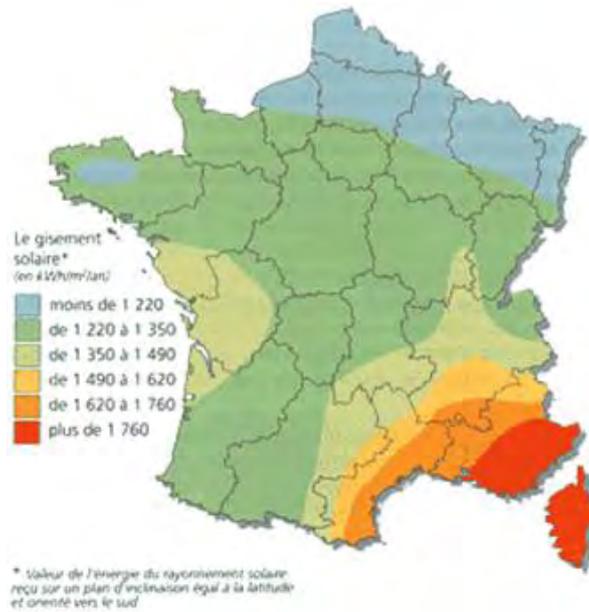


Figure 7 : Carte du gisement solaire en France (kWh/m²/an)

Source : ADEME

Les principaux autres paramètres d'entrée du dimensionnement sont les suivants :

- ❖ Siccité initiale de la boue
- ❖ Siccité finale
- ❖ Quantité de boue appliquée à la serre sur l'année
- ❖ Hauteur maximale du lit de boue à ne pas dépasser
- ❖ Filière d'évacuation des boues en sortie de serre (continue ou discontinue dans le cas d'épandage agricole).

Avantages du séchage solaire :

- ❖ serres automatisées
- ❖ Les boues séchées sont acceptées dans diverses filières: CSDU (Centre de Stockage des Déchets Ultimes), compostage, valorisation agricole, ou valorisation thermique en incinération, co-incinération avec les ordures ménagères. La législation va interdire totalement d'ici 2015 de mettre les boues en décharge. Il est donc intéressant que les boues séchées soit acceptées par ces autres filières d'élimination.
- ❖ boues finales idéales pour l'épandage agricole: les boues finales ayant une siccité importante, elles sont prisées par les agriculteurs (pour l'épandage). Les serres permettent de stocker environs une année de production de boue. Ceci est intéressant pour l'épandage agricole pour lequel on évacuera les boues que deux fois par an. Il n'y aura pas trop d'effort à fournir pour éviter la fermentation (encore une fois grâce à la siccité des boues).

- ❖ technologie adéquate avec le développement durable:
En effet ce système utilise l'énergie solaire. De plus la finalité est de réduire considérablement le volume de boue, et donc de réduire les capacités de transport nécessaires et l'émission de CO₂.

Inconvénients :

- ❖ Les performances sont dépendantes du climat. Elles fonctionnent bien en été et un peu moins en hiver.
(Solution : serres à plancher chauffant) ;
- ❖ Les installations demandent de la place ;
- ❖ Il y a éventuellement dégagement d'odeur à certaines périodes. (certains constructeurs installent une désodorisation automatique (par voie biologique ou chimique), cependant cette technologie est assez coûteuse).

3.4-LITS PLANTES DE ROSEAUX

Le traitement des boues par lits plantés de roseaux (ou encore le rhizophyte) repose sur la déshydratation des boues dans des bassins plantés de roseaux et de massettes. C'est grâce aux plantes que les boues s'égouttent et cela à moindres frais.

Une fois l'installation mise en service, les lits reçoivent un apport de 20 à 25 cm de boues à un rythme défini qui permet une déshydratation très importante : jusqu'à 30 % de matière sèche, ainsi qu'une forte minéralisation.

Ce traitement a lieu surtout pour les stations de moins de 10 000 EH. En effet, étant un procédé extensif, la surface serait trop importante avec un volume provenant d'une grande collectivité.

La particularité de ce traitement est qu'il a lieu directement en sortie du bassin d'aération, il n'y a pas de clarificateur. Les boues en excès sont soutirées vers des lits plantés de roseaux pour y être traitées :

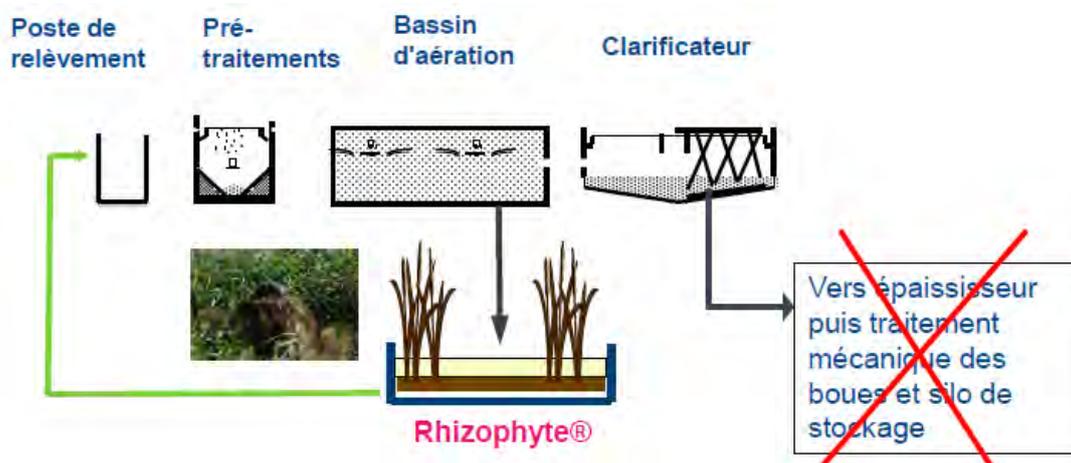


Figure 8 : Emplacement des lits dans la filière

(Source Saur)

Comme on peut le voir ci-dessus, le percolat est récupéré afin d'y être dirigé en tête de station d'épuration.

Ce traitement a l'avantage d'être peu coûteux avec un entretien à effectuer limité. En effet, seuls le dépôt des boues dans les cassiers et le curage lorsque ceux-ci sont remplis doivent être gérés. De plus, le processus étant naturel, l'apport de produits chimiques n'est pas nécessaire et a pour avantage son intégration paysagère.

3.4.1-CONCEPTION DES LITS

Quand les roseaux sont plantés directement dans le sol, les parois sont inclinées. Par contre, quand cela se fait dans des parois bétonnées, ces dernières sont verticales :



Figure 9 : Lits plantés de roseaux dans le sol (à gauche) et sur béton (à droite)

Les lits sont composés d'un massif filtrant à fond étanche constitué de différentes couches de matériaux de granulométries diverses qui reposent sur un radier. Du bas vers le haut :

- ❖ Couche de galets (de 15/30 mm à 30/60 mm) sur environ 15 cm, recevant également les drains avec fentes tournées en partie vers le bas pour éviter toute stagnation d'eau et conjointement aérer la couche drainante ;
- ❖ Couche de transition (10 cm) d'une taille de particules intermédiaire (15-25mm) entre les deux couches qu'elle sépare ou utilisation d'une géogrille ;
- ❖ Couche de gravillon (3/6 mm) sur 25-30 cm. Dans tous les cas, ce gravier doit être supérieur à du 2/4 mm pour éviter la migration d'éléments trop fins vers la couche du fond ;
- ❖ 10 cm d'amendement organique de type « compost vert » répondant à la norme NF U 44-051. Ce matériau utilisé conjointement comme support de filtration et de croissance a permis d'obtenir un développement végétal plus dense que celui observé avec une couche de 5 cm de sable grossier. La filtration est moins effective au démarrage mais, une fois la couche de boue formée, aucune différence n'est notable comparé au sable. Pour favoriser la croissance des roseaux le compost végétal est donc privilégié.

3.4.2-QUALITE DES BOUES

A partir de la 5^{ème} année de la mise en place du système et n'excèdent pas 10 ans, la mise au repos et la vidange des lits doivent avoir lieu.

Les boues traitées sont transformées en terreau bien minéralisé où les risques sanitaires sont absents. L'épandage agricole est possible si les teneurs en métaux lourds et micro polluants organiques sont inférieures aux limites réglementaires.

3.4.3-AVANTAGES/INCONVENIENTS

Avantages :	Inconvénients :
<p>Pas d'équipements mécaniques pour déshydrater</p> <p>Procédé rustique : peu de maintenance</p> <p>Faible coût d'exploitation</p> <p>Réduction des boues (>20%)</p> <p>Stockage sur plusieurs années : 5 ans d'autonomie</p> <p>Pas de conséquences sur la filière eau</p> <p>Pas de nuisances environnementales</p>	<p>Procédé extensif ; surface importante</p> <p>Performances « limitées »</p>

4-VALORISATION

4.1-EPANDAGE

En 2008, environ 70% des boues sont épandues avec valorisation pour l'agriculture, correspondant à environ 1 800 000 tonnes de matière sèche. La valorisation des boues par la voie agricole est la plus répandue.

L'objectif de l'épandage est double :

- mettre à profit les capacités biologiques des sols pour « digérer » les boues et réintroduire les éléments dans les cycles naturels
- valoriser les propriétés fertilisantes des boues pour les cultures agricoles

4.1.1-REGLEMENTATION

L'article R2224-16 du code de l'environnement interdit strictement le rejet de boues d'épuration dans le milieu aquatique. En revanche, sous certaines conditions, ces boues peuvent être épandues sur le sol.

Les contraintes imposées sur le traitement des boues, notamment vis-à-vis des germes, sont faibles, cependant des règles strictes d'utilisation sont édictées (Directive de l'UE appliquée en France et en Allemagne)

En plus de la directive de l'UE, un dispositif réglementaire spécifique français est associé à l'épandage des boues, il est constitué de cinq textes :

- ❖ le décret du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues de stations d'épuration qui fixe les conditions de l'épandage ;
- ❖ l'arrêté du 8 janvier 1998 sur l'épandage des boues de stations d'épuration qui précise les prescriptions techniques applicables ;
- ❖ la circulaire du 16 mars 1999 relative à l'épandage des boues de stations d'épuration urbaines ;
- ❖ la circulaire du 18 avril 2005, document d'aide à la mise en œuvre de la réglementation applicable à l'épandage des boues de stations d'épuration urbaines ;
- ❖ la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006.

Ces textes mettent l'accent sur la responsabilité de l'exploitant, la qualité des boues et des sols, les analyses des boues et sur les périmètres d'épandage.

Toute boue ne peut pas être épandue et dépend de son origine :

Produit	Epandage	Observations
Boues de curage	Autorisé	Nécessité d'un traitement préalable pour éliminer les sables et les graisses (art. 4)
Sables	Interdit	/
Graisses	Interdit	/
Matières de vidange	Autorisé	Assimilées aux boues d'épuration (art. 4)
Boues primaire ou physico-chimiques	Autorisé	Sous réserve d'un traitement préalable (art. 7) pour réduire leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires
Mélanges de boues	Interdit	Excepté autorisation préfectorale spécifique (art. 5)

Tableau 12 : Epandabilité des produits (décret du 8 décembre 1997)

4.1.2-PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

Avant tout épandage, il est nécessaire de réaliser des études préalables qui comprend : la caractérisation et innocuité des boues, le périmètre d'épandage, une présentation du schéma d'organisation des épandages, les conventions de mise à disposition des parcelles d'épandage par les exploitants.

D'autre part, la réalisation des épandages s'accompagne de la mise en place d'un suivi analytique des boues et des sols, de la fertilisation ainsi que la tenue du cahier d'épandage.

Des plans d'épandage sont établis et des règles précises sont fixées pour la qualité des boues dont :

- ❖ des taux maximums pour les éléments traces métalliques (ETM), cf. Annexe ;
- ❖ des taux maximums pour les composés traces organiques (CTO) ;
- ❖ preuve de l'innocuité sur les sols ;
- ❖ interdiction d'épandage à moins de 100 mètres des habitations et à moins de 35 mètres des puits, cours d'eau ou forages ;
- ❖ interdiction d'épandage sur sols détremés ou inondés ;
- ❖ les boues non stabilisées et épandues sur sol nu doivent être enfouies dans un délai de 48heures. Les boues n'ayant pas subi de traitement permettant de réduire de manière significative leur pouvoir fermentescible et les boues liquides doivent être enfouies immédiatement après l'épandage ;
- ❖ interdiction d'épandage des boues sur des sols à pH < 6 (sauf pour les boues chaulées pour lequel pH<5) ;
- ❖ valeur limite de 3 kg de matière sèche par mètre carré en 10 ans ou à 30 tonnes de matière sèche par ha en 10 ans.

Composition des boues épandues en France en éléments traces métalliques							
2003		2004		2005		Limite réglementaire France (mg/kg MS)	
Valeur moyenne de concentration (mg/kg MS)	% de la limite réglementaire	Valeur moyenne de concentration (mg/kg MS)	% de la limite réglementaire	Valeur moyenne de concentration (mg/kg MS)	% de la limite réglementaire		
Cadmium	1.8	18%	1.5	15%	1.3	13%	10
Chrome	47.7	5%	35.7	4%	43	4%	1000
Cuivre	305.1	31%	280.1	28%	271.8	27%	1000
Mercurure	1.3	13%	1.2	12%	1.1	11%	10
Nickel	24.1	12%	23.5	12%	21.3	11%	200
Plomb	63.9	8%	56.9	7%	49.7	6%	800
Zinc	640.9	21%	632.5	21%	598.3	20%	3000

Tableau 13: Teneurs moyennes des boues en Eléments Traces Métalliques - Comparaison aux limites réglementaires

En ce qui concerne les éléments traces métalliques, nous constatons que les boues épandues de 2003 à 2005 sont bien inférieures aux seuils de réglementation.

	Teneur limite réglementation française (mg/kg MS)	Flux limite réglementation française (kg/ha/10 ans) Arrêté 08/01/98
Total des principaux PCB	0.8	0.012
Fluoranthène	5.0	0.075
benzo(b)fluoranthène	2.5	0.004
benzo(b)pyrène	2.0	0.003

Tableau 14 : Teneurs et flux limites réglementaires des boues en Composés Traces Organiques (CTO)

Après le début des épandages, un bilan agronomique annuel est obligatoirement rédigé par le producteur de boues à destination du préfet. Les agriculteurs et les administrations concernés obtiennent alors une synthèse du registre des épandages.

4.1.3-UTILITE DE L'EPANDAGE

Les boues des stations d'épuration sont constituées de fortes proportions en matières organiques et sont fermentescibles. Leur composition et la teneur en phosphore, azote, matière organique dépend du traitement subit dans la station.

Les boues épandues permettent d'augmenter le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent à améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Les nombreux micro-organismes présents dans le sol dégradent la matière organique apportée par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement racinaire.

4.1.4-TECHNIQUE DE TRAITEMENT

La réglementation prévoit deux grandes périodes d'épandage : le printemps, de mars à avril, et à la fin de l'été, d'août à octobre. L'épandage est souvent interdit en dehors de ces périodes, mais les boues continuent d'être produites et il faut donc les stocker durant 6 à 9 mois.

Les boues liquides sont stockées dans des silos à la façon des lisiers, avec un agitateur pour homogénéiser les boues avant l'épandage. Pour les boues liquides, l'épandage se fait avec des tonnes à lisier. En ce qui concerne l'épandage des boues liquides, pour les plus malodorantes, il est possible d'éviter ce désagrément par un enfouissement de quelques centimètres lors de l'épandage.



STOCKAGE DE BOUES DANS DES SILOS



EPANDAGE D'UNE BOUE PAR UNE TONNE A LISIER

Les boues qui vont être épandues ou stockées doivent fréquemment recevoir un traitement spécifique afin de respecter la réglementation et de pouvoir être étendues sur les sols agricoles sans danger.

La réglementation énoncée précédemment vise à éliminer les dangers, réduire les risques par exposition et mettre en œuvre le principe de précaution. Les traitements spécifiques réalisables pour permettre l'épandage et/ou le stockage des boues sont :

- ❖ épaissement : afin de réduire la teneur en eau des boues
- ❖ stabilisation : afin d'achever ou bloquer leur fermentation jusqu'à la réalisation de l'épandage. Exemple : compostage, ajout de chaux ...
- ❖ hygiénation : pour éliminer les espèces pathogènes qui comportent un risque sanitaire important

Ces différents procédés ont été expliqués dans ce rapport bibliographique. On peut noter que dans le cadre du traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités, certains de ces procédés seront plus adaptés et donc privilégiés. Selon la filière de traitement des boues choisies, la valeur agronomique des boues sera différente.

Par exemple, des boues ayant subi un traitement de réduction d'eau aura une richesse en éléments fertilisants. Pour une déshydratation mécanique, la concentration en éléments non solubles (phosphore, azote organique) sera importante et celle en éléments solubles moindre (potassium, azote ammoniacal).

4.1.5-AVANTAGES

La filière épandage reste le débouché le plus pertinent d'un point de vue environnemental, l'apport d'engrais naturels se substituant aux engrais du commerce et de matière organique nécessaires à l'entretien des sols ; elle est aussi plus économique : les coûts d'épandage sont plus faibles que l'incinération ou le stockage ("mise en décharge").

Une expérimentation d'épandage sur parcelles boisées est une alternative possible de l'épandage. Cette alternative concernerait principalement les peuplements forestiers en gestion intensive. Des études ont été menées sur une forêt landaise, abritant beaucoup de pins maritimes, afin de comprendre les effets à moyen et long terme d'un épandage régulier de faible quantité : 3 tonnes MS/ha/an.

Au bout de 3 ans, ils observent qu'avec les boues liquides, boues issues des petites stations, la croissance des arbres augmentent de 16 %. Cette croissance est vraisemblablement due à l'amélioration de la nutrition minérale, surtout phosphatée. Mais l'effet le plus spectaculaire est visible sur le sous-bois, avec une augmentation de biomasse de 300 % avec les boues liquides, en comparaison, de 150 % avec le compost.

4.1.6-INCONVENIENTS

Le problème majeur lié à l'épandage de boues est la possible pollution des sols. Afin d'éviter ce problème, une réglementation assez stricte a été mise en place.

Un exemple d'inconvénient est lié aux étapes de conditionnement chimique. Certains composés chimiques sont utilisés lors de cette étape. L'épandage sur les sols agricoles pose un problème de devenir de ces composés (biodégradabilité lente, migration vers les nappes ou les végétaux).

Même si actuellement la valorisation agricole est la voie privilégiée pour la réutilisation des boues, une remise en question de ce procédé pourrait voir le jour, lié :

- ❖ à une réglementation lourde
- ❖ aux agriculteurs de moins en moins favorable à l'épandage.
- ❖ à la mauvaise image de l'épandage auprès des collectivités locales.

4.2-LE COMPOSTAGE

Le principe :

Associé avec une stabilisation biologique aérobie thermophile des boues, le compostage est la décomposition de substrats organiques contenus dans les déchets solides par des microorganismes divers. Il s'accompagne d'une élévation de température pouvant atteindre 70°C qui entraîne aussi une destruction des germes pathogènes et diminution de l'humidité du produit. Le compostage est utilisé généralement sur les boues riches en matière organique et azote, mais peut également être appliqué à des boues digérées ou stabilisées aérobies.

La méthode de ce procédé :

Le compostage des boues déshydratées nécessite un support carboné (ordures ménagères triées plus ou moins broyées, écorce et copeaux de bois, rafles de maïs et de raisin, paille, débris de

végétaux...) conférant à l'ensemble les qualités d'un amendement organique commercialisable (rapport de 3 m³ d'apport pour 1 m³ de boues déshydratées). La présence de matières toxiques dans les boues ou dans le support carboné est nuisante. Pour atteindre la température idéale de compost, la teneur en eau doit rester inférieure à 65% sans pour autant descendre en dessous de 55%, valeur limite pour l'activité biologique.

Le pH n'est pas un paramètre fondamental pour le bon déroulement du compostage, puisqu'il s'ajuste très rapidement entre 6.5 et 8. Un point important à surveiller est l'équilibre nutritionnel. Le rapport entre teneur en azote et teneur en carbone règle toute la dynamique microbienne, ce rapport doit se situer aux alentours de 30. Pendant le compostage, les boues doivent être bien aérées soit naturellement soit par insufflation d'air (souvent forcée de haut en bas pour récupérer les gaz dans des tuyauteries orientées vers des unités de traitement des gaz), et la texture du compost doit autoriser une grande porosité de la matrice biologique pour favoriser les transferts et les réactions. Le compostage aérobie comporte deux phases. La première correspond à l'oxydation des matières fermentescibles, elle se traduit par une acidification du milieu suivie d'une remontée de pH par dégazage de CO₂ et production d'ammoniac, cette phase dure une quinzaine de jours. La seconde phase est une période de maturation du compost qui dure de 2 à 3 mois.

4.3-INCINERATION

Principe

Une fois déshydrate, une des voies possibles de stabilisation des boues est l'incinération. Deux types d'unités d'incinération existent.

Les unités d'incinérations spécifiques construites au sein de la station d'épuration. Les boues nécessitent une siccité de 20 à 30 %, une étape de déshydratation est donc nécessaire préalablement. Ces unités nécessitent une gestion des odeurs et des cendres. Cette solution n'est pas adaptée pour les petites stations d'épurations. En effet, on commence à observer ces unités pour des stations d'épurations collectant plus de 100 000 EH.

Les unités de co-incinération qui sont mis en place dans les centres d'incinérations d'ordures ménagères. Les boues sont éliminées en parallèle avec ces déchets. Cette solution suppose que ce type d'incinérateur soit relativement proches des stations d'épurations et dispose de zones de stockage des boues. Cette filière convient pour des volumes de boues relativement faibles. En effet, trop un apport trop important de boues conduit à une diminution de la capacité à brûler des boues et/ou des ordures ménagères.

Les boues peuvent être mélangées sous forme pâteuse ou sèche aux ordures ménagères ou injectées par pulvérisation sous forme liquide.

Mélange avec les ordures ménagères

Au préalable, les boues doivent avoir une siccité de 15 à 25 %. Une déshydratation est donc nécessaire en amont. Arrivées au centre d'incinération, les boues sont directement déversées dans la fosse à ordures ménagères. Le grappin de reprise permet le mélange des boues et des ordures.

Injection dans le four d'incinération

Avant injection, les boues doivent avoir une siccité de 20 à 40 %. Les boues sont introduites au dessus du foyer d'incinération par des injecteurs spéciaux. Elles sont totalement brûlées à l'aide

de l'air comburant et des températures très élevées, plus de 850 °C. Pour cette technique, les boues ne sont pas ajoutées aux ordures ménagères, elles viennent en complément. L'apport de boues doit être compris entre 10 et 20 % du tonnage des ordures ménagères traitées.

Avantages	Inconvénients
-Prise en charge des boues des stations d'épuration environnantes -Techniques de séchage des boues au préalable simples -Production d'énergie -réduction de la masse de 90 %	-Investissements importants : conception de la fosse de réception et des injecteurs -Gestion des cendres

Tableau 15: Avantages et inconvénients de l'incinération

Sur le graphique ci-dessous on retrouve la répartition, sur le bassin Rhône méditerranée Corse, des différents types de valorisation possible pour les boues produites.



Figure 10 : Destination des boues sur le bassin RMC en 2009

CONCLUSION

Ce rapport nous a permis de mettre en évidence le fait que la réglementation est un aspect très important pour la gestion des boues d'épurations. En effet, il existe de nombreuses normes de qualité qui autorisent ou non la valorisation des boues. Ces normes s'appliquent également aux petites collectivités d'où l'importance de bien les connaître.

Afin de choisir une technique d'épuration appropriée, il est désormais nécessaire de conduire une démarche rigoureuse en étudiant l'ensemble des contraintes qui caractérisent cet investissement. Cette analyse préalable se base sur le principe objectif que chaque technique présente des avantages et des limites et que toutes les filières, techniquement reconnues et/ou validées, ont leur place dans le domaine de la gestion des boues des petites collectivités.

L'avis et l'expérience de professionnels sur ce thème sont essentiels, et constituent une valeur ajoutée très importante. Dans l'optique d'avoir un point de vue plus concret, la spécialité Sciences et Technologies de l'Eau de Polytech Montpellier organisera, mercredi 26 février, une journée consacrée à la gestion des boues pour les petites collectivités.

BIBLIOGRAPHIE

• **Réglementation :**

- **« Guide pratique pour les collectivités locales »**

(Association des maires de France ; 2000)

- **« Recueil de textes sur l'assainissement : textes techniques relatifs à l'épandage des boues d'épuration résultant du traitement des eaux usées domestiques »**

(Ministère de l'environnement ; 2009)

http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/recueil/reglementation_boues.pdf

- **« Directive 86/278/CEE relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture »**

http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_86_CEE_D86_278_epandage_boues.pdf

- **« Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées »**. JO du 10 décembre 1997, p. 17822-17825.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000739355&fastPos=1&fastReqId=235917700&categorieLien=id&oldAction=rechTexte>

- **« Éléments de contexte et réglementation française relatifs à la valorisation des boues issues du traitement des eaux usées »**

(Ministère de l'environnement ; 2009)

http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_090504_lpd_i_boue_synthese_internet_francais_v1.pdf

- **« Bilan de dix années d'application de la réglementation relative à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées »**

(Ministère de l'agriculture ; 2009)

http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/cgaaer_1771_epandage_boues.pdf

- **« Actualités : Assainissement des eaux usées urbaines : Un nouveau cadre d'action 2012-2018 »**

(Ministère de l'environnement)

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_de_presse_assainissement.pdf

• **Déshydratation**

- **« Les différents types de boues d'épuration et leurs traitements »** Fiche technique assainissement

<http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f15.htm>

- **« La table d'égouttage et les filtres à bandes »** Survol d'une station d'épuration

<http://step.ouvaton.org/tech16b.htm>

- **« Déshydratation mécanique des boues »**

SEINE ET MARNE Le département

<http://eau.seine-et-marne.fr/library/BOUE4-2>

- **« Traitement des « station d'épuration »**

Actu-environnement

<http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-station-epuration.php4>

● **Séchage solaire**

- **« Le séchage solaire des boues : Etat actuel de l'art et retours d'expérience »**
Cemagref

http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae_36_chap_1_2.pdf

- **« Technologies pour le traitement de l'eau »**

VEOLIA Eau

www.veoliawaterst.com/solia/fr/

● **Lits plantés de Roseaux**

- **Intervention de Mme Fourcet (Saur) :** Les différentes filières de traitement et de valorisation des boues

- **« Présentation du procédé »** SINT

http://www.sint.fr/traitement_des_boues.html

- **« Lits de séchage plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange »** ONEMA

http://www.onema.fr/IMG/pdf/Molle_LSPR.pdf

- **« Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages-épanchages sur quelques stations françaises »**

http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/LSPR_curage_EAT2008.pdf

- **Compostage/Incinération**

- « **Les boues d'épuration** » SAUR

http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez-vous_de_leau/les_rencontres/Rencontres_2012/Boues-8_Saur.pdf

- « **Travail en compostage de boues urbaines et risqué biologiques** »
istn.fr

http://istnf.fr/_admin/Repertoire/Fichier/2008/15-081113120125.pdf

- « **Mise en décharge et incinération : techniques et contraintes réglementaires** »

ADEME

<http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/f53.htm>

- **Cours**

Filière de traitement des boues (Alain Grasmick, STE4)