

Revue des filières de traitement/valorisation des boues

Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associé



C4H5O2_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000 1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

**REVUE DES FILIERES DE TRAITEMENT/VALORISATION
DES BOUES**

**CRITERES DE CHOIX D'UNE FILIERE ADAPTEE
ET ARBRE DE DECISION ASSOCIE**

RAPPORT FINAL

septembre 2007

B. DE CAEVEL, M. DE VOS - RDC-Environnement
J.-P. CHABRIER - Enviro-Consult
O. POLLET



Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Revue des filières de traitement/valorisation des boues – Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associé, 2007, 194 p, n°05-0132/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2007

RESUME

Cette étude fournit aux détenteurs de boues urbaines et industrielles les éléments de décision permettant le choix (de la ou) des filières de traitement / valorisation les mieux adaptées à leurs spécificités (caractéristiques des boues, taille des installations, technicité requise, type de débouchés, coûts approximatifs, etc.). Plus particulièrement, cette étude fournit :

- 1 un inventaire original des boues en France avec leurs caractéristiques
- 2 un résumé des principales législations applicables
- 3 un état de l'art détaillé des procédés existants et en cours de développement (une fiche par procédé)
- 4 un arbre décisionnel sous format Excel pour guider les décideurs

L'inventaire a été réalisé en collectant les données les plus récentes auprès des Agences de l'Eau (boues urbaines) et auprès des industriels des principaux secteurs (boues industrielles), et en les complétant par des données de la littérature. Cet inventaire original est le plus complet existant actuellement pour la France. L'analyse législative est essentiellement une présentation succincte des principales législations applicables, mais sans caractère d'exhaustivité ni de profondeur.

Les fiches de procédés concernent 18 procédés de pré-traitement, de traitement, de valorisation et d'élimination. Elles ont été réalisées par des experts du domaine et contiennent une description, une discussion des domaines d'application, des avantages et inconvénients, une estimation des intervalles de coûts ainsi qu'une discussion de la fiabilité du procédé (références).

L'outil Excel demande à l'utilisateur les principales caractéristiques des boues à traiter (quantité, siccité, présence de polluants, teneur en matière organique) et du contexte local (proximité d'installations de traitement existantes) et fournit en réponse la liste des combinaisons de procédés possibles ainsi que les raisons pour lesquelles les procédés exclus ne s'appliquent pas et des suggestions pour les rendre applicables (regroupement pour atteindre le volume critique,...).

MOTS CLES

Boues, inventaire, France, traitement, outil, aide à la décision

SUMMARY

This study provides a number of elements to help decision-makers select the right options with respect to the treatment and valorisation of urban industrial and sludge, while considering the specific sludge characteristics, and taking into account technical factors, such as the size of facilities, the technical level required, possible outlets, approximate cost... More specifically, this study provides:

- 1 A new inventory of French sludge sources and their characteristics,
- 2 A summary of the main laws and regulations, as applicable in France,
- 3 A detailed state of the art of available and processes and of those under development,
- 4 A decision tree (Excel format) to guide decision makers in their choices.

This inventory has been carried out by collecting the most recent data from French Water Agencies (urban sewage sludge) and from the main industrial sectors (industrial sludge) and by completing these with literature data. This new inventory is currently the most complete for France.

A summary of the main laws and regulations, as applicable in France, briefly presents the most common applicable rules, without being exhaustive.

Data sheets deal with pretreatment, treatment, valorisation and elimination of sludge according to the 18 processes selected. They were compiled by experts and feature a description, a discussion of field of application, advantages and disadvantages of each process, a range of costs estimation and a discussion on processes feasibility, with references.

An Excel tool allows the user to introduce the main relevant sludge characteristics (quantities, dry matter content, presence of pollutants, organic matter content) and data on the local context (proximity of existing facilities). As a result, the Excel tool provides a list of different feasible process combinations, as well as the reasons why some other processes are not being considered as well as some advice in order to render these other processes more appropriate (e.g. collection of larger amounts of sludge to achieve a critical volume...).

KEY WORDS

Sludge, inventory, France, treatment, tool, decision making

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION.....	9
I.1.	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE - APPROCHE.....	9
I.2.	APPROCHE.....	9
I.3.	DÉFINITION DES BOUES	11
II.	DONNÉES D'INVENTAIRE	12
II.1.	BOUES INDUSTRIELLES.....	12
II.1.1.	Boues issues du secteur de l'industrie chimique organique.....	12
II.1.1.1	Présentation générale	12
II.1.1.2	Données générales sur le groupe ARKEMA.....	13
II.1.1.3	Données générales sur le groupe RHODIA.....	14
II.1.1.4	Autres sociétés actives dans la chimie de base.....	15
II.1.1.5	Synthèse – données pour les boues du secteur de la chimie	16
II.1.2.	Données pour le secteur de l'industrie pharmaceutique	16
II.1.2.1	Présentation générale	16
II.1.2.2	Principales sociétés produisant les principes actifs pharmaceutiques	17
II.1.2.3	Synthèse – données pour le secteur pharmaceutique	17
II.1.3.	Comparaison boues secteurs chimique/pharmaceutique – compostion et traitement.....	17
II.1.4.	Quelques éléments sur la composition des boues pour les secteurs chimique/pharmaceutique.....	18
II.1.5.	Éléments sur les traitements des boues pour les secteurs chimique/pharmaceutique	20
II.1.6.	Conclusions pour les boues des secteurs chimique/pharmaceutique.....	20
II.1.7.	Les boues de papeterie	21
II.1.8.	Boues de tannerie et mégisserie	22
II.1.9.	Données complémentaires pour d'autres boues industrielles	22
II.2.	BOUES D'ÉPURATION URBAINES.....	26
II.2.1.	Introduction	26
II.2.2.	Enquêtes auprès des Agences de l'Eau	27
II.2.2.1	Sources des données et validité.....	27
II.2.2.2	Résultats de l'enquête 2006: chiffres de production pour 2004	27
II.2.2.3	Interprétation des résultats de l'enquête 2006	31
II.2.3.	Données complémentaires du MEDD concernant les boues urbaines	32
II.2.3.1	Données de production et répartition par filière	32
II.2.3.2	Interprétation des données et constats pour les filières des boues urbaines en France	38
II.2.3.3	Installations de traitements des eaux et boues en France	40
II.2.4.	Cas de la Suisse	44
II.2.4.1	Données générales	44
II.2.4.2	Les stations d'épuration.....	44
II.2.4.3	La production de boues	45
II.2.4.4	La destination des boues.....	45
II.2.4.5	Coût du traitement.....	45
II.2.4.6	Le bon équilibre entre les filières d'élimination	46
II.2.4.7	La réglementation.....	47
II.2.4.8	Conclusion pour la Suisse	48
II.2.4.9	Références et publications (cas de la Suisse)	48
II.3.	SITUATION EUROPÉENNE.....	49
II.3.1.	Sources des données.....	49
II.3.2.	Données de EEA.....	49
II.3.3.	Données de New Cronos - EUROSTAT	51
III.	CONTEXTE DES BOUES URBAINES - LÉGISLATION APPLICABLE	57
III.1.	DÉFINITIONS GÉNÉRALES.....	57
III.2.	CONTEXTE LÉGISLATIF GENERAL	58
III.2.1.	Les principaux textes en vigueur	58

III.2.1.1	Obligations des communes	58
III.2.1.2	Obligations des particuliers	59
III.2.1.3	Rôle de l'Etat	59
III.2.1.4	Les agences de l'eau	60
III.2.1.5	Les départements	60
III.2.2.	Législation spécifique à la fin de vie des boues d'épuration	60
III.2.2.1	L'utilisation agricole	60
III.2.2.2	L'incinération et co-incinération	70
III.2.2.3	La mise en décharge (CSDU).....	70
IV.	FICHES DE PROCEDES DE TRAITEMENT	72
IV.1.	RÉALISATION DES FICHES	72
IV.2.	FICHES DE PROCÉDÉ	73
IV.3.	TABLEAUX DE SYNTHÈSE POUR LES PROCÉDÉS	74
IV.3.1.	Centre de stockage	74
IV.3.2.	Epandage	74
IV.3.3.	Déshydratation mécanique	75
IV.3.4.	Séchage thermique	76
IV.3.5.	Séchage solaire	77
IV.3.6.	Pyrolyse	78
IV.3.7.	Gazéification.....	79
IV.3.8.	Vitrification.....	79
IV.3.9.	Centrale à charbon	80
IV.3.10.	Stabilisation chimique par chaulage	81
IV.3.11.	Stabilisation chimique par nitrites	82
IV.3.12.	Co-incinération avec OM	82
IV.3.13.	Co-incinération en cimenterie	83
IV.3.14.	Mono-incinération	84
IV.3.15.	Digestion aérobie thermophile	85
IV.3.16.	Digestion anaérobie (et hydrolyse)	86
IV.3.17.	HydroStab (couverture de décharge)	86
IV.3.18.	Oxydation en voie humide	87
V.	OUTIL DECISIONNEL	88
V.1.	ELÉMENTS GÉNÉRAUX.....	88
V.2.	ELEMENTS MÉTHODOLOGIQUES	89
V.3.	CRITÈRES DE SITUATION.....	90
V.4.	TABLEAU DE PROBLÈMES SPÉCIFIQUES	91
V.5.	ARBRE GÉNÉRAL DE DÉCISION ET DE PRÉSENTATION DES PROCÉDÉS	97
V.5.1.	Boues organiques	97
V.5.2.	Boues minérales.....	100
VI.	CONCLUSIONS: UTILISATION DE L'OUTIL DÉCISIONNEL PAR LE DÉCIDEUR.....	101
VII.	ANNEXES.....	102

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Répartition des entreprises de la chimie par Agence de l'Eau	13
Figure 2: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006).....	29
Figure 3: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006).....	29
Figure 4: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006) exprimée en kg MS/an par équivalent-habitant	30
Figure 5: Nombre de STEP en fonction de leur taille par bassin.....	30
Figure 6: Proportion en % de STEP en fonction de leur taille par bassin et pour la France	31
Figure 7: Evolution du pourcentage de boues d'épuration urbaine valorisées par épandage en France de 1998 à 2002 et surfaces épandues.....	33
Figure 8: Quantités de boues d'épuration urbaine en France de 1998 à 2002 et quantités épandues	34
Figure 9: Quantité de boues d'épuration urbaine produite en France (données 2004) – subdivision par bassin et par filière (incinération, CSDU, valorisation agricole).....	35
Figure 10: Quantité de boues d'épuration urbaine produite en France (données 2004) – répartition par filière (incinération, CSDU, valorisation agricole).....	36
Figure 11: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Incinération" des boues d'épuration urbaines.....	37
Figure 12: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Centre de stockage" des boues d'épuration urbaines	37
Figure 13: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Valorisation par épandage" des boues d'épuration urbaines	38
Figure 14: Répartition des STEP en Suisse en fonction de leur taille	44
Figure 15: Production de boues d'épuration en 2000 et 2002 en Suisse (département de l'environnement des transports, de l'énergie et de la communication).....	45
Figure 16: Coût moyen des principales filières d'élimination des boues d'épuration en Suisse (Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication)	46
Figure 17: Adéquation entre capacité de traitement et production de boues d'épuration en Suisse en 2003 et 2006 (Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication)	47
Figure 18 : Boues d'épuration en kg/habitant/an pour 1992-1998 et prévisions pour les années 2000 et 2005 pour les 15 pays de l'Union Européenne (Source : EEA).....	50
Figure 19 : Traitement des boues d'épuration par pays (exprimé en kg/habitants) (Source : EEA)	51
Figure 20: Production de boues d'épuration dans différents pays, dernières données disponibles (exprimé en 1000 tonnes de matières sèches).....	52
Figure 21: Production de boues d'épuration dans différents pays, dernières données disponibles (exprimé en 1000 tonnes de matières sèches).....	53
Figure 22 : Traitement des boues d'épuration (exprimé en kg/habitant.an) pour différents pays européens pour la dernière année disponible.....	54
Figure 23 : Traitement des boues d'épuration pour différents pays européens en fonction de la filière d'élimination pour la dernière année disponible	55
Figure 24: Arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés pour les boues organiques.....	97
Figure 25: Arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés pour les boues minérales.....	100
Figure 26: Arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés pour les boues minérales.....	100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Secteurs de l'industrie chimique organique	12
Tableau 2: Grands groupes de la chimie organique en France.....	13
Tableau 3: Implantations des usines du groupe ARKEMA.....	14
Tableau 4: Implantations des usines du groupe RHODIA.....	15
Tableau 5: Principales implantations des sociétés de l'industrie pharmaceutique	17
Tableau 6: Récapitulatif des gisements de boues des secteurs chimiques et pharmaceutiques.....	18
Tableau 7: Données générales sur la composition de différents types de boues.....	18
Tableau 8: Exemples illustratifs sur la composition de différents types de boues des secteurs chimique et pharmaceutique	19
Tableau 9: Exemples de déshydratation mécanique pour les boues des secteurs chimique et pharmaceutique.....	20
Tableau 10: Déshydratation mécanique pour les boues des secteurs chimique et pharmaceutique: avantages et inconvénients en fonction du type de filtre.....	20
Tableau 11: Boues et co-produits pour les industries sidérurgiques, du textile, de l'énergie et de la métallurgie.....	24
Tableau 12: Quantification générale des sous-produits solides et liquides de l'industrie agroalimentaire épandus en agriculture en 2000	24
Tableau 13: Sources des données dans le cadre de l'enquête auprès des Agences de l'Eau pour l'évaluation des quantités de boues urbaines produites en France.....	27
Tableau 14: Résultats de l'enquête: nombre de STEP, production de boues urbaines en t MS/an et capacité de traitement en France (répartition par bassin).....	28
Tableau 15: Résultats de l'enquête: nombre de STEP réparties par taille (par bassin et pour la France)....	28
Tableau 16: Evolution des boues urbaines produites de 1998 à 2002.....	32
Tableau 17: Devenir des boues urbaines produites (données de 2004), répartition entre l'incinération, le centre de stockage et la valorisation par épandage.....	34
Tableau 18: Evolution de 2002 à 2004 des différentes filières d'élimination des boues d'épuration urbaines.....	36
Tableau 19: Répartition des STEP en fonction de leur taille pour les bassins LB et RM.....	40
Tableau 20: Traitement thermique des boues urbaines	40
Tableau 21: Liste des principaux incinérateurs dédiés de boues urbaines en France.....	41
Tableau 22: Liste des principaux sites de co-incinération de boues urbaines en France	41
Tableau 23: Capacité d'incinération de boues urbaines (t MS/an) en fonction des bassins	42
Tableau 24: Liste des UIOM se déclarant co-incinération de boues (ITOM04) et codes déchets concernés.....	43
Tableau 25 : Dernières données disponibles pour le traitement des boues d'épuration dans la base de données New Cronos (Base de données Eurostat).....	56
Tableau 26 : Réglementation pour l'aptitude des boues à l'épandage en France (éléments métalliques et composés-traces organiques).....	66
Tableau 27 : Troisième draft pour la révision de la Directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires – renforcement des normes pour les métaux lourds contenus dans les boues urbaines en vue de leur épandage	67
Tableau 28 : Modalité d'épandage en fonction d'une série de critères et du statut hygiénisé ou stabilisé des boues.....	69
Tableau 29: Listes des procédés de traitements des boues	73
Tableau 30: Critère de quantité pour les boues organiques en fonction de l'état physique des boues et des procédés.....	90
Tableau 31: Problèmes spécifiques liés à la composition des boues pour les différents procédés de traitement (retour d'expérience des industriels) et pour l'épandage agricole.....	96
Tableau 32: Voies possibles de valorisation/élimination des différents types de boues suite aux traitements de stabilisation, digestion, déshydratation, séchage et compostage	99

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1: Liste et description des usines papetières: usine de pâte à papier et fabrication de papier, cartonneries, transformation de papier-carton
- Annexe 2: Liste et description des usines dans le secteur de la tannerie/mégisserie
- Annexe 3: Présentation des eaux urbaines en général - pollution engendrée - paramètre biologique et définition de l'équivalent-habitant
- Annexe 4: Vue schématique des étapes pour la conception et l'exploitation annuelle en ce qui concerne l'épandage des boues pour valorisation agricole
- Annexe 5: Fiches des procédés de traitement des boues

I. INTRODUCTION

I.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE - APPROCHE

L'objectif principal de cette étude est de fournir aux détenteurs de boues les éléments de décision permettant le choix (de la ou) des filières de traitement les mieux adaptées à leurs spécificités (caractéristiques des boues, taille des installations, technicité requise, type de débouchés, coûts approximatifs, etc.). Plus particulièrement, cette étude vise à l'établissement :

- 1 d'un inventaire des boues en France avec leurs caractéristiques
- 2 ainsi qu'un état de l'art détaillé des procédés existants et en cours de développement, concernant le traitement et la valorisation des boues urbaines et industrielles, et ce,
- 3 en vue de créer un arbre décisionnel à fournir aux décideurs.

Les aspects technico-économiques (fiabilité, coûts et pérennité des coûts) sont les plus importants mais il faut les compléter par une analyse sommaire de la réglementation, des impacts environnementaux et des risques sanitaires¹.

I.2. APPROCHE

L'approche consiste en les éléments suivants. Les acteurs concernés par la gestion des boues ont besoin d'avoir :

- 1 une vision globale des types de traitement/valorisation existants et en développement en fonction du type, de la quantité et de la qualité des boues à gérer
- 2 une aide à la décision pour choisir la (les) filière(s) qui correspond(ent) le mieux à leurs attentes à savoir, celle c'est-à-dire :
 - o qui respecte la réglementation
 - o qui est économiquement la plus avantageuse et sans risque économique majeur (disparition ou augmentation substantielle du coût de la filière avale)
 - o qui ne génère pas d'impacts sur l'environnement importants
 - o qui ne cause pas de dégâts environnementaux substantiels,
 - o qui limite les risques sanitaires (application du principe de précaution)
 - o ...
- 3 un accès à des sources d'information pour approfondir leurs connaissances (installations existantes, centres de recherche travaillant sur le sujet, entreprises actives dans le domaine,...)

Pour répondre à ces attentes, le travail s'organise en 2 phases :

- **1. Étude bibliographique:** la littérature disponible dans ce domaine et des contacts avec des experts permettent d'aborder également la littérature grise et les informations non publiées concernant les développements en cours.
L'étude bibliographique porte sur :
 - ⇒ Revue détaillée des différents types de boues et de leur origine,
 - ⇒ Inventaire des boues en France (Agences de l'Eau),
 - ⇒ Identification des procédés de traitement actuels et futurs,
 - ⇒ Identification des filières de valorisation actuelles et futures,
 - ⇒ Aspect économique (coûts) et risques de variation des coûts associés aux procédés de traitement et aux filières de valorisation associées,
 - ⇒ Impacts environnementaux et risques sanitaires associés aux procédés de traitement et aux filières de valorisation associées.
- **2. Construction d'un outil d'aide à la décision multicritère :** cet outil permet de guider le décideur dans ses choix en matière de gestion des déchets:

¹ La réduction des risques sanitaires et des impacts environnementaux sont en effet des critères qui sont de plus en plus pris en compte par les décideurs

1. Réduction des choix possibles sur base :
 - des critères d'exclusion pratiques (basés sur les conditions d'application des procédés de traitement)
 - des prescriptions réglementaires par type de filière de valorisation
2. Choix final des procédés:
 - Présentations des limitations et contraintes des choix possibles sur bases de fiches de procédés
 - Application des critères de décision pris en compte

Des informations plus détaillées sont ensuite accessibles sous la forme de fiches de synthèse reprenant les informations réglementaires, économiques, techniques et environnementales des différentes filières de traitement/valorisation.

Cet outil prend la forme d'un **outil Excel décisionnel** basé sur:

1. les éléments techniques des fiches de procédés de traitement (but du procédé, contraintes techniques,...),
2. un arbre général des différentes filières de traitement possibles en passant par différentes étapes de traitement pour ouvrir la voie à plus de débouchés,
3. des critères d'exclusion
4. des critères de choix local liés aux détenteurs de boues,

La méthodologie générale pour la réalisation de l'outil reprend les éléments suivants:

1. Proposition de critères d'exclusion, de pré-sélection et de sélection : quelles sont les grandes tendances généralisables en fonction :
 - du type de boues (boue organique, minérale, huileuse,...), de la quantité (taille de l'installation) et de la qualité des boues (présence de métaux lourds ou d'autres polluants industriels),
 - de la situation géographique (exemple : possibilité de regroupement des boues liquides de petites installations en vue d'un pré-traitement intermédiaire, acidité du sol²,...)
 - des débouchés potentiels (demande en compost et en matière organique des agriculteurs viticulteurs... énergie thermique à proximité du lieu de traitement des boues, ...)
2. Proposition d'autres critères décisionnels à prendre en compte lors du choix d'une filière de traitement/valorisation (possibilité de stocker les boues,...) et des attentes du décideur (optimalisation des coûts, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux)

² Un sol acide sera favorable pour une valorisation agricole par chaulage des boues.

I.3. DEFINITION DES BOUES

La définition prise en compte pour l'étude est :

Une boue est un résidu issu d'une phase d'épaississement lors d'un traitement d'eau (effluent urbain, effluent industriel, préparation d'eau industrielle).

Ainsi, on parle de "boue" lorsque ce résidu a été séparé une première fois du flux aqueux principal à traiter. L'étude considère les boues à partir de celles liquides épaissies (siccité supérieure à 5%).

Les grandes catégories de boues sont constituées:

- des boues urbaines
- et des boues industrielles

Les boues suivantes **ne font pas** partie de l'étude:

- les boues radioactives,
- les sédiments,
- les boues de production d'eau potable,
- les boues de dragage.

II. DONNÉES D'INVENTAIRE

Ce paragraphe a pour but de fournir l'inventaire de la majorité des boues produites en **France**.

Pour les boues urbaines, les chiffres sont comparés à la situation:

- ✓ en *Europe*
- ✓ et en Suisse

II.1. BOUES INDUSTRIELLES

II.1.1. Boues issues du secteur de l'industrie chimique organique

II.1.1.1 Présentation générale

La branche *Industrie chimie organique* est composée de 7 secteurs

Secteur	Code déchet
7.1. Produits organiques de base	07 01 12
7.2. Matières plastiques, caoutchouc et fibres synthétiques	07 02 12
7.3. Teintures et pigments organiques	07 03 12
7.4. Produits phytosanitaires protection du bois et biocides	07 04 12
7.5. Produits pharmaceutiques	07 05 12
7.6. Corps gras, savons, détergents, désinfectants et cosmétiques	07 06 12
7.7. Produits chimiques issus de la chimie fine et produits chimiques non spécifiés ailleurs	07 07 12

Tableau 1: Secteurs de l'industrie chimique organique

La chimie organique de base rassemble les entreprises les plus importantes de la production des molécules de base et des composés de la chimie. On peut citer:

- ✓ la fabrication des monomères : chlorure de vinyle, oxyde de propylène, etc
- ✓ la fabrication de polymères : polypropylène, polyéthylène, etc
- ✓ la fabrication d'intermédiaires : polyamides, dérivés soufrés, etc
- ✓ la fabrication de composés : silicone, adjuvants pour le carburant, etc.

Les sociétés les plus importantes dans le secteur en France sont données au tableau suivant.

Société	Activité	Nombre de sites en France
ARKEMA	Dérivés chlorés, produits fluorés, résines, thiochimie, polymère, dérivés peroxygénés	> 20
RHODIA	Tensio-actifs, polymères, matières actives pharmaceutiques, additifs peintures, silices, silicone	17 en majorité dans Rhône Alpes
PCAS	Chimie fine et spécialité pour la synthèse pharmaceutique, fermentation, molécules pour cosmétiques, additifs industriels intermédiaire pour imagerie médicale	8
CLARIANT	<u>Textile</u> : absorbants UU dérivés fluorés, teintures et colorants, <u>Cuir et papiers chimiques</u> : pigments et additifs pour peintures et plastique (HFFR) <u>Produits chimiques pour détergents</u> : surfactants <u>substances génériques pharmaceutiques</u> , <u>Parfums et agents de saveur</u> Au total, plus de 80 domaines d'application	4
ROHM AND	Leader des composés acrylates et méthacrylates pour peinture, vernis,	5

HAAS	adhésif et polymère d'étanchéité. Résines de purification d'eau	
DRT	Chimie du pin : Tall oil, résinoline, colophane, résines terpéniques phénoliques, terpinol, acétate de terpényl	3
ADISSEO	Fabrication de l'aldéhyde méthylthiopropionique et de la méthionine	3
TOTAL		Environ 60 sites

Tableau 2: Grands groupes de la chimie organique en France

Ces sociétés représentent à elles seules de l'ordre de 50 % des sites en France où sont produites des boues industrielles issues de la chimie organique de base.

Le graphique ci-dessous dresse la répartition des entreprises de la chimie organique en France, sites qui sont rattachés aux différentes agences de l'eau.

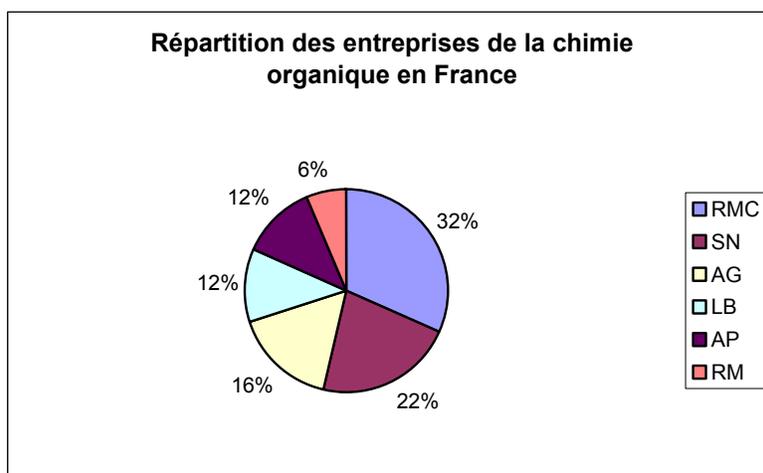


Figure 1: Répartition des entreprises de la chimie par Agence de l'Eau

RMC Rhône-Méditerranée-Corse
 SN Seine-Normandie
 AG Adour-Garonne
 LB Loire-Bretagne
 AP Artois-Picardie
 RM Rhin-Meuse

Plus de 50 % des implantations d'industries actives en chimie organique de base se situent dans le bassin Rhône Méditerranée : couloir de la chimie à Lyon, Pont de Claix, Roussillon et Fos sur Mer, Lavéra pour la pétrochimie et St Auban, Sisteron pour la chimie fine et pétrochimie sur un seul site de production.

II.1.1.2 Données générales sur le groupe ARKEMA

Le groupe ARKEMA France et ses filiales (ex ATOFINA – Groupe TOTAL) sont implantés sur plus de 20 sites français. C'est un acteur important de la chimie mondiale. La position d'ARKEMA est dominante dans la production de :

- ✓ dérivés chlorés dont le PVC
- ✓ produits fluorés (2^{ème} fabricant mondial), composés pour la climatisation : Forane 13a, Forane 22 et 23
- ✓ des résines acryliques (fabrication des peintures)
- ✓ de la Thiochimie
- ✓ des polymères : polyamides, PVDF, Kynar pour le revêtement des câbles, des additifs pour le PVC comme le Lactame 12
- ✓ fabrication des dérivés peroxygénés (eau oxygénée).

ARKEMA comprend aussi de nombreuses filiales : CECA, CEREXAGRI dont les activités sont orientées vers l'agrochimie.

Site
ARKEMA à BALAN (01)
ARKEMA à CHAUNY (02)
ARKEMA à ST AUBAN (04)
ARKEMA à FOS SUR MER (13)
ARKEMA à MARSEILLE (13)
ARKEMA à LAVERA (13)
ARKEMA / CEREXAGRI à Marseille (13)
ARKEMA (CECA) à CHATEAUROUX (36)
ARKEMA à JARRIE (38)
ARKEMA (CECA) à PARENTIS en BORN (40)
ARKEMA plate-forme de CARLING (57)
ARKEMA à VILLERS ST PAUL (60)
ARKEMA à LOISON SOUS LENS (62)
ARKEMA à LACQ et MONT (64)
ARKEMA (65)
ARKEMA à PIERRE BENITE (69)
ARKEMA à ST FONTS (69)
ARKEMA à LA CHAMBE (73)

Tableau 3: Implantations des usines du groupe ARKEMA

Le site observé où la production de boues est la plus importante est celui de ST AUBAN. La majorité des installations produisent des petites quantités de boues, à l'exception des sites de LAVERA et LACQ où des effluents proviennent de plusieurs sites industriels et sont traités sur des plates-formes d'épuration.

II.1.1.3 Données générales sur le groupe RHODIA

En France, RHODIA est implanté au travers de 17 sites de production. Le groupe est divisé en plusieurs branches :

- ✓ RHODIA polyamide : polyamide 6.6 (nylon) et polyuréthane, site de CHALAMPE (68)
- ✓ RHODIA acetow : fabrication de câble acétate, site de ROUSSILLON (38)
- ✓ RHODIA organique : production de dérivés phénoliques (diphénols), acide trifluoroacétique et salicylique – Sites de MELLES (79), CHALAMPE (68), PONT DE CLAIX (38), SALINDRES (30)
- ✓ RHODIA HpCII : surfactants pour savons, lubrifiants, polymère de nettoyage, produits pour détergents et agrochimie
- ✓ RHODIA Novecare:
- ✓ RHODIA Coalis: composés pour les peintures et revêtement (isocyanates)
- ✓ RHODIA Silicea : silice par pneumatique, silicones.

Enfin, RHODIA est aussi présent dans le domaine de l'environnement, au travers de sa branche RHODIA Eco Services (procédé DESHYDRIX, production de membranes ORILIS, Régénération de l'acide sulfurique).

Le tableau suivant présente les principales implantations de Rhodia.

Sites	Remarques
RHODIA organique à SALINDRES (30)	-
RHODIA intermédiaires à ROUSSILLON (38)	GIE OSIRIS
RHODIA Silicones à ROUSSILLON	GIE OSIRIS
RHODIA Eco Services à ST CLAIR DU RHONE (38)	GIE OSIRIS
RHODIA Acétow à Péage de ROUSSILLON (38)	GIE OSIRIS
RHODIA intermédiaires à PONT DE CLAIX (38)	GIE SPIRAL
RHODIA HPCII à CLAMECY (58)	-
RHODIA Intermédiaires à ST ANDRE LEZ LILLE (59)	-
RHODIA ppmc à RIBECOURT DRESLINCOURT (60)	-
RHODIA Alsachimie à CHALAMPE (68)	
RHODIA organique à ST FONTS (69)	GIE GEPEIF
RHODIA engineering plastics à BELLE ETOILE (69)	GIE GEPEIF
RHODIA Silicones	-
RHODIA Food	-

Tableau 4: Implantations des usines du groupe RHODIA

La production de boue la plus élevée concerne le site de ROUSSILLON, spécialisé dans la fabrication d'intermédiaires et qui représente environ 50 % des boues produites par les usines RHODIA en France. La région Rhône-Alpes rassemble 17 usines du groupe RHODIA.

II.1.1.4 Autres sociétés actives dans la chimie de base

Les autres sociétés dans la chimie de base sont données ci-dessous:

- ✓ **Société ROHM AND HAAS** : 5 sites de production dont les plus importants sont LAUTERBOURG (67), CHAUNY (02), VILLERS ST PAUL (60).
- ✓ **Société ADISSEO** : 3 sites de production dont 2 à ROUSSILLON (38), et un site à COMMENTRY (01).
- ✓ **Société CLARIANT** : 4 sites de production dont le plus important est celui de TROSLY BREUIL (60). L'usine CLARIANT, implantée à HUNINGUE (68), traite ses eaux usées à la STEP SEIH et participe pour partie à la production des boues de l'installation.
- ✓ **Société DRT** : 3 sites de production dont la station de VIELLE ST GIRON (40).
- ✓ **Société PCAS** : très petits gisements de boues, pas toujours déshydratées.
- ✓ **ORIL INDUSTRIE** : groupe SERVIER.
- ✓ **REXIM S.A.**

II.1.1.5 Synthèse – données pour les boues du secteur de la chimie

Les sociétés RHODIA et ARKEMA produisent, sur l'ensemble de la quarantaine de sites, environ 35 à 40 000 t MS – soit plus de la moitié de la production française des boues issues de la chimie organique de base.

Plus de 40 % des établissements industriels produisent des quantités annuelles de boues brutes inférieures à 200 – 400 t MS /an.

La production totale de boues produites par la chimie organique de base est estimée à 75 – 80 000 t MS/an

II.1.2. Données pour le secteur de l'industrie pharmaceutique

II.1.2.1 Présentation générale

Ce secteur est rattaché aux codes NAF 244A, 244B et 244D de la Nomenclature d'Activités Française, NAF rév. 1, 2003 (*structures de la NAF rév. 1 et de la CPF rév. 1 en application à compter du 1er janvier 2003, ce document correspond à l'annexe du décret n°2002-1622 du 31 décembre 2002*).

24.4A Fabrication de produits pharmaceutiques de base

24.4C Fabrication de médicaments

24.4D Fabrication d'autres produits pharmaceutiques

On compte à ce jour :

- ✓ 45 établissements produisant des principes actifs pharmaceutiques
- ✓ 185 établissements produisant des médicaments
- ✓ 13 établissements fabriquant d'autres produits pharmaceutiques

soit au total environ 250 établissements.

II.1.2.2 Principales sociétés produisant les principes actifs pharmaceutiques

Le tableau suivant présente ces sociétés pharmaceutiques.

Site	Type de boues
ORGAPHARM à PITHIVIERS (45)	Boues de décantation + boues biologiques
SANOFI AVENTIS à VERTOLAYE (63)	Boues physico-chimiques + boues biologiques
SANOFI AVENTIS à NEUVILLE SUR SAONE (69)	Boues physico-chimiques + boues biologiques
RHONE POULENC Biochimie à ST AUBIN LES ELBEUF (76)	
TOTAL	

Tableau 5: Principales implantations des sociétés de l'industrie pharmaceutique

Ces 4 usines produisent moins de 10 000 t MS/an. Certaines usines - ROCHE VITAMINES, FINORGA (groupe L'OREAL) – rejettent leurs eaux usées dans des stations, de façon à mutualiser les coûts de production types d'effluents industriels (STEIH à HUNINGUE, SOBEGI à LACQ, etc...).

Plus de la moitié des établissements industriels produisant des principes actifs pharmaceutiques sont équipés d'une propre station d'épuration ; les autres établissements rejettent leurs eaux dans des réseaux communaux qui se déversent dans des stations d'épuration urbaines. En comparaison sur les 185 établissements qui produisent des médicaments, seulement 20 % possèdent leur propre station d'épuration.

II.1.2.3 Synthèse – données pour le secteur pharmaceutique

La production de boues totale pour le secteur pharmaceutique est évaluée entre 18 et 23 000 t MS/an

Toutefois, on observe que de nombreuses usines concentrent par évaporation leur pollution (ISOICHEM à PITHIVIERS) ou brûlent les solvants et les eaux mères trop chargées en pollution (SANOFI AVENTIS à VERTOLAYE). Les laboratoires implantés dans des villes importantes (Strasbourg, Clermont Ferrand, Paris Colombes) rejettent leurs eaux usées dans les réseaux urbains, mais des stations d'épuration de petite capacité (20 à 30 000 EH) absorbent aussi les flux rejetés par certains industriels de la chimie pharmaceutique (IRCHA à VERT LE PETIT, OCTAPHARMA à LINGOLSHEIM près de Strasbourg).

II.1.3. Comparaison boues secteurs chimie/pharmaceutique – composition et traitement

Le gisement le plus important est celui de l'industrie de la chimie organique, il est fortement atomisé, du fait de près d'une soixantaine de petites sociétés sur plus de 110 sites industriels. Les contraintes de déshydratation et d'élimination diffèrent fortement entre ces deux secteurs.

- ✓ *Boues de l'industrie de la chimie organique* : aptitude à la déshydratation moyenne, **mais dans la pratique, l'élimination par incinération ou co-incinération en cimenterie sont les principales voies d'élimination** car il est difficile de mettre en œuvre l'épandage agricole (éléments traces organiques et métalliques).
- ✓ *Le secteur de l'industrie pharmaceutique* (majorité des entreprises en production de médicaments raccordées à des **stations d'épuration industrielles** sur les sites de production) place la production de très loin après les deux autres gisements étudiés : seulement 18 à 23 000 t MS/an.

Secteur	t MS/an
Industries chimiques de base (241 G)	De 75 à 80 000
Industries pharmaceutiques et du médicament (244 A et C)	18 à 23 000
TOTAL	93 à 103 000 t MS

Tableau 6: Récapitulatif des gisements de boues des secteurs chimiques et pharmaceutiques

II.1.4. Quelques éléments sur la composition des boues pour les secteurs chimique/pharmaceutique

Les caractéristiques des boues produites dans les procédés industriels dépendent de la composition de la charge polluante des eaux industrielles, ainsi que des procédés de traitement mis en œuvre (traitement physico-chimique ou biologique). Les procédés de traitement des eaux usées concentrent les différents types de pollution (décantable, colloïdale et dissoute) et produisent des boues qui contiennent des composés intéressants à réutiliser (matières organiques, formes azotées, dérivés du phosphore, calcium et oligo-éléments), tandis que d'autres composés sont des éléments toxiques (métaux lourds, composés traces organiques, germes pathogènes). La composition des boues physico-chimiques est modifiée par l'introduction des coagulants floculants (pour l'essentiel, chlorure ferrique + chaux).

Les eaux usées industrielles présentent de grandes variabilités (FINORGA). Certains composés présents dans les boues peuvent aussi influencer temporairement les conditions de séchage (ROHM AND HAAS).

Les boues biologiques industrielles, bien qu'elles contiennent généralement une teneur en azote totale KJEDHALL et phosphore inférieure aux boues urbaines, renferment la majorité des composés. En fait, les eaux usées industrielles sont souvent carencées en azote et phosphore. Le traitement biologique des eaux usées nécessite de rééquilibrer le milieu dans des proportions C/N/P de 100/5/1. Des compléments en azote, voire en phosphore, sont effectués sous forme d'urée et d'acide phosphorique. La mise en œuvre d'un traitement tertiaire augmente la teneur en phosphore des boues et peut créer des difficultés dans la co-incinération en cimenterie. Mais les boues industrielles contiennent surtout des éléments traces métalliques en quantité trop forte (Cr, Cu,...) et des composés traces organiques (PCB, HAP,) présents en plus ou moins grande proportion, selon les procédés de fabrication, ce qui explique la difficulté, voire l'impossibilité de mettre en œuvre la valorisation agricole.

Les principaux éléments de composition de boues

Chaque traitement a un impact spécifique sur la composition finale des boues :

- ✓ boues physico-chimiques
- ✓ boues biologiques
- ✓ boues digérées.

Type de boues	Physico-chimique	Biologique	Digérée
Teneur en matières volatiles *	60 à 70 %	70 à 85 %	45 à 55 %
Pouvoir calorifique PCI kWh/t MS	≅ 3 800 – 4 400	≅ 4 400 à 5 200	≅ 2 800 à 3 200
Aptitude à la déshydratation	+++	+	++

* avant ajout de coagulants minéraux

Tableau 7: Données générales sur la composition de différents types de boues

L'intérêt des boues dans la valorisation agricole est généré par leur teneur en matières organiques (modification de la structure des sols et amélioration de leur capacité de rétention hydrique et minérale). La teneur en matières organiques influence aussi les cinétiques d'assimilation de l'azote, du phosphore et participe au maintien d'une activité bactérienne réduite, mais continue. Les teneurs en azote et phosphore dépendent de la forme physique des boues (boues liquides, pâteuses, solides, séchées). Les boues séchées renferment presque exclusivement de l'azote organique qui doit être minéralisé pour être assimilé.

Le tableau suivant donne quelques exemples *illustratifs* de composition des boues industrielles des industries chimiques et pharmaceutiques.

Paramètres	Industrie pharmaceutique	Industrie chimique	Industrie pharmaceutique
Nature de l'industrie	<ul style="list-style-type: none"> principe actif pharmaceutique corticoïdes vaccins médicaments pour maladies cardiovasculaires 	<ul style="list-style-type: none"> résines acryliques 	<ul style="list-style-type: none"> principe actif entrant dans la composition des médicaments contre le diabète, le cancer, la dépression
Traitement des eaux	Physico-chimique + biologique avec aération moyenne charge + traitement tertiaire	Physico-chimique + biologique	Biologique flottée
Traitement des boues	Déshydratation filtre presse avec conditionnement minéral	Déshydratation filtre à bandes	Pas de déshydratation
Devenir des boues	Evacuation des boues déshydratées (cimenterie)	Séchage thermique, évacuation cimenterie (Cimenterie)	Incinération extérieure (incinération extérieure ou cimenterie)
Nature des boues	Boues physico-chimique et biologique	Boues physico-chimique et biologique	Boues biologiques
Siccité	24 à 25 % (sans chaux) - (38 à 40 % avec chaux)	25 %	5 % (→ liquide)
MVS %	25 %	40 %	55 à 65 %
Matières minérales %	74 %	61,4 %	35 à 45 %
Zn mg/kg MS	1 002	8 150	1600
COT %	12,2	2,2	18,5
Cd mg/kg MS	2,3	-	-
Cr mg/kg MS	669	-	400
Cu mg/kg MS	308	-	-
Hg mg/kg MS	2,4	-	-
Ni mg/kg MS	68,5	-	-
Pb mg/kg MS	25	-	-
Selenium mg/kg MS	5,3	-	-
Conclusion	Boues contenant des quantités excessives de chrome (possibilité de réduction en chrome VI, lors d'un séchage en présence d'une teneur excessive en oxygène)	Boues contenant des quantités excessives de Zinc – élimination difficile en cimenterie	Boues très faiblement concentrées – coût d'élimination élevé

Tableau 8: Exemples illustratifs sur la composition de différents types de boues des secteurs chimique et pharmaceutique

II.1.5. Eléments sur les traitements des boues pour les secteurs chimique/pharmaceutique

La totalité des boues produites par les industries chimiques ne sont pas digérées. Après concentration préalable (décanteur, flottateur, table d'égouttage), elles font l'objet d'une déshydratation mécanique.

Secteurs d'activité	Filtre à bandes %	Centrifugeuse %	Filtre presse %
Chimie organique de base	23	17	60
Pharmacie	14	57	29

Tableau 9: Exemples de déshydratation mécanique pour les boues des secteurs chimique et pharmaceutique

La déshydratation par filtre presse est majoritairement retenue par les industriels, bien que la déshydratation par centrifugation soit plus développée dans le secteur pharmaceutique et fasse jeu égal avec le filtre à bandes.

Technique	Avantages	Inconvénients
Filtre à bandes presseuses	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à exploiter • Investissement modéré • Maintenance aisée 	<ul style="list-style-type: none"> • Siccité finale peu élevée • Consommation d'eau industrielle élevée (nettoyage des toiles) • Risque d'émanations d'odeurs (captation difficile) • Surface au sol
Centrifugeuse	<ul style="list-style-type: none"> • Siccité finale élevée • Facile à exploiter • Pas de surveillance permanente • Très faible encombrement • Automatisation complète 	<ul style="list-style-type: none"> • Déstructuration des boues : boues pâteuses • Niveau sonore • Consommation d'énergie électrique élevée • Coût d'investissement élevé
Filtre presse	<ul style="list-style-type: none"> • Siccité très élevée • Gâteau très structuré • Emanation d'odeurs limitée, sauf en cas de conditionnement à la chaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Opération séquentielle • Encombrement important • Consommation de réactifs minéraux en proportion élevée • Coût d'investissement très élevé

Tableau 10: Déshydratation mécanique pour les boues des secteurs chimique et pharmaceutique: avantages et inconvénients en fonction du type de filtre

II.1.6. Conclusions pour les boues des secteurs chimique/pharmaceutique

Plus de 110 sites industriels actifs dans la chimie organique de base produisent de 75 à 80 000 t MS/an, la moitié de ces boues sont produites par les usines des groupes RHODIA et ARKEMA (ex TOTAL) (≅ 40 sites industriels répartis sur le territoire français et pour une majorité sur le territoire géographique l'agence de l'eau RMC).

L'industrie pharmaceutique est divisée entre des sociétés qui produisent des principes actifs pharmaceutiques et les sociétés de médicaments, pour un total de 250 établissements. La production de boues est évaluée entre 18 et 23 000 t MS/an.

La composition de la majorité des boues chimiques et pharmaceutiques permet difficilement une valorisation agricole, sauf quelques exceptions. La plupart d'entre elles sont traitées dans des incinérateurs spéciaux

(incinérateur SECHE à SALAISE) ou quelque fois en mélange avec des boues urbaines (LYON ST FONTS) et dans des fours de cimenterie comme pour les boues de l'industrie pharmaceutique.

Les molécules contaminantes spécifiques que peuvent contenir les boues du secteur pharmaceutiques nécessite alors un traitement particulier à savoir le séchage pour réduire au volume le plus faible et ensuite la filière incinération pour destruction.

La composition des boues, après déshydratation, est fortement influencée par le conditionnement minéral (chaux). Les intérêts sont divergents. Elle est appréciée pour la valorisation agricole et la co-incinération en cimenterie, mais elle est plutôt proscrite en incinération, lorsque cette teneur est importante. Les teneurs en éléments traces organiques sont élevées (principalement pour les molécules de type HAP).

Les *traitements thermiques par séchage* sont très peu développés dans l'industrie. Les expériences en pré-séchage, à des fins d'incinération en lit fluidisé ou en séchage total, pour produire des matériaux destinés à être valorisés comme fertilisants et pour la co-incinération en cimenterie, montrent que les mises en service des installations se sont révélées plus délicates que prévues.

La méthanisation des effluents reste aussi peu développée (4 sites en chimie organique de base) ce, malgré les concentrations en pollution oxydable très élevées des effluents. Les gisements de boues traités par les filières thermiques (co-incinération en cimenterie, incinération dédiée et dans des fours à lit fluidisé pour boues urbaines) représentent plus de 40 000 t MS.

Il n'y a pas de procédé de pyrolyse gazéification des boues issues de la chimie et très peu d'industriels sont équipés de fours d'incinération dédiés à l'élimination de leurs boues. La majorité des incinérateurs sur site sont en fait des fours à solvants et eaux mères chargées en pollution. Le groupe SECHE/TREDI, en charge de l'exploitation des fours de SALAISE/SANNE, est un acteur majeur de l'incinération des boues industrielles produites par les industries de la chimie organique. Le groupe TERIS, via sa filiale SCORI, utilise le réseau des cimenteries et des conditionneurs de charges, pour éliminer 25 000 t/an de boues brutes dont 40 % proviennent des industries pharmaceutiques. La qualité des boues requiert néanmoins des contrôles soutenus pour l'élimination. L'incinération dans des fours à déchets spéciaux reste la voie prioritaire.

II.1.7. Les boues de papeterie

On compte à ce jour :

- ✓ 85 sites de production de pâte à papier et de papier
- ✓ 31 cartonneries avec recyclage des boues dans le procédé
- ✓ 97 usines de transformation des papiers cartons.

Les données sont:

1. Boues physico-chimiques

- ✓ 329 000 t MB
- ✓ soit 128 000 t MS
- ✓ siccité moyenne de 39 %

2. Boues biologiques

- ✓ 33 800 t MB
- ✓ soit 4 600 t MS
- ✓ siccité moyenne : 13,7 %

3. Mélange de boues

- ✓ Sont composés de boues primaires, de boues de désencrage, de boues de décarbonatation, boues mixtes
- ✓ 583 500 t MB
- ✓ 265 700 t MS
- ✓ Siccité moyenne : 45 %

Ce qui représente un total de : 946 300 t.

Pour le secteur de la papeterie, on peut retenir le chiffre de 1 000 000t de matières brutes produites par an ce qui correspond environ à 400 000 t MS/an

Les cartonneries recyclent dans leurs procédés l'équivalent de 30 à 40 000 t de matières sèches

Ces données sont complétées par l'annexe suivante.

Annexe 1: Liste et description des usines papetières: usine de pâte à papier et fabrication de papier, cartonneries, transformation de papier-carton

II.1.8. Boues de tannerie et mégisserie

Le gisement en France est réduit compte tenu des délocalisations et fermeture de site.

Source de données: Centre Technique du Cuir (CTC)

Les données sont:

- ✓ 71 usines sont recensées
- ✓ 5500 t de boues humides par an dont la siccité est de l'ordre de 35% en moyenne -> environ 1900 t MS/an

Ces données sont complétées par l'annexe suivante.

Annexe 2: Liste et description des usines dans le secteur de la tannerie/mégisserie

Ce secteur est en perte de vitesse. Par exemple les Tanneries du Puy, la plus grosse usine en France représentant 1250 tonnes sur les 5500 tonnes au total pour le secteur (23%), est en train d'être fermée.

Ces boues sont caractérisées par une teneur en chrome *qui interdit tout épandage agricole*.

La plupart du temps, elles sont traitées *par séchage thermique*, opération au cours de laquelle le Cr III se transforme partiellement en Cr VI très toxique.

Pour le secteur de la tannerie/mégisserie, on peut retenir le chiffre de 5 500t de MB produites par an ce qui correspond environ à 1 900 t MS/an

II.1.9. Données complémentaires pour d'autres boues industrielles

Des données complémentaires pour les autres secteurs industriels sont fournies dans le présent paragraphe.

Les principales sources sont:

- ✓ "Evaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles provenant d'activités industrielles hors agroalimentaire" par AND International, avril 2002 pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
- ✓ "Evaluation des quantités actuelles et futures des sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaire" par CM International, 2002 pour le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Il faut signaler que la frontière entre "boues" et "déchets" ou "co-produits" est parfois floue surtout pour l'industrie agricole. Dans la mesure du possible, seules les productions qui peuvent s'assimiler au statut de "boues" sont données.

Les données pour l'industrie sidérurgique, du textile, de la métallurgie et de l'énergie sont fournies dans le tableau suivant.

Secteurs non-agroalimentaires	Productions de boues ou de co-produits
Sidérurgie	<p>Secteurs comportent 153 entreprises dont 31 haut-fourneaux, cokerie sidérurgique, production d'acier et laminoir.</p> <p>Les co-produits sont les laitiers, mâchefers et les scories de déphosphoration (conversion de la fonte en fusion en milieu basique sursaturé par le procédé Thomas).</p> <p>En 2000, <i>118 408 tonnes de scories ont été épandues en terrains agricoles</i> en tant qu'amendement.</p> <p>Mais ces scories basiques ne peuvent être considérées comme des "boues" mais bien comme un amendement qui s'inscrit dans le cadre général des amendements et engrais chimiques.</p>
Textile	<p>En 1998 : 1390 entreprises (de 20 salariés ou plus).</p> <p>Les secteurs de l'industrie textile concernés par des rejets aqueux et boues sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ennoblement • Enduction • Filature • Tissage • Secteur des non-tissés • Tricotage • Industrie de la laine <p>Gisement: il est estimé à 615 kg MS par salarié et 1,75 kg de MS par m³. Ainsi (chiffres 1997 et 1998):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boues textile d'ennoblement (hors peignage de la laine): de 6800 à 9000 tonnes MS (siccité d'environ 10%) • 2000 t MS/an boues de peignage • 11000 t MS/an boues de lavage (siccité de 30%) <p>Par ailleurs on peut citer (déchets):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2800 t/an de suints • 600 t/an de poussière de laine • 3000 t/an de cendres potassiques sont obtenues par incinération de 35% de poussières et de 65% de boues de lavages (hors suints) <p>Les boues textiles (ennoblement et peignage) sont valorisées en agriculture pour environ 75%, les reste allant en centre de stockage (23%) ou en incinération (2%).</p> <p>L'épandage est direct et concerne 16% de boues liquides, 19% de boues déshydratées et 7% de boues chaulées. Ainsi, pour la valorisation agricole:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 42% du gisement total de boues concerne l'épandage direct • le restant est composté (27%) ou méthanisé (6%) avant épandage. <p>Au final:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 11 385 t MS/an sont valorisées en agriculture dont: <ul style="list-style-type: none"> ○ 7750 t MS/an provenant de l'industrie de la laine ○ 3635 t MS/an provenant de l'ennoblement

Energie	Les centres de production d'énergie électrique de EDF traitent les eaux d'appoint pour les chaudières. Ces eaux contiennent des quantités importantes de carbonates. 30 000 t MS/an de boues de décarbonatation (épandage agricole)
Métallurgie: galvanoplastie	La majorité des sites produisent moins de 100 t boues déshydratées/an. Le total est inférieur à 10 000 t MS/an.

Tableau 11: Boues et co-produits pour les industries sidérurgiques, du textile, de l'énergie et de la métallurgie

Remarque: avec ces secteurs supplémentaires, la grande majorité des boues industrielles a été prise en considération. D'autres secteurs sont également concernés mais pour lesquelles les données (quantités) ne sont pas mentionnées comme par exemple les boues de station de décantation (cokerie, ...), boues d'hydroxydes d'aciéries, ...

Pour le **secteur agroalimentaire**, les données sont présentées à la fois pour:

- ✓ les boues
- ✓ les sous-produits (déchets)

Pour l'**agroalimentaire**, le plus gros secteur est celui des **sucreries** qui représentent **65% du total des boues et sous-produits** suivants:

- ✓ pulpe sèche: 1,65 millions tonnes brutes
- ✓ mélasse: 1 million tonnes brutes
- ✓ herbes et racines: 1 à 2 millions tonnes brutes
- ✓ tare terreuse: 5 à 6 millions de tonnes brutes

Le volume global des **boues ET sous-produits** provenant du secteur agroalimentaire en 2000 et épandus en agriculture s'élève à 8,5 millions de tonnes de matières brutes et 13 millions de m³ en eq. MB.

Secteurs agroalimentaires	Sous-produits solides en kt (matière brute)	Sous-produits liquides en millions de m ³ (matière brute)
Filière betteravière (sucre et distilleries)	5933 à 7100	2,2 à 3,4
Filière viande (abattage et charcuterie)	333 à 383	0,5 à 1,765
Secteur distillerie (autres que betteravières)	1535 à 1725	0,4 à 0,6
Secteurs fruits et légumes	80 à 173	8 à 9
Secteur boissons non alcoolisées	10 à 15	0 à 0,2
Secteur amidonneries/féculeries	100 à 125	Max 1,5
Secteur laitier	70	1,3
Total	Environ 8,5 millions tonnes	13 millions de m³

Tableau 12: Quantification générale des sous-produits solides et liquides de l'industrie agroalimentaire épandus en agriculture en 2000

L'industrie betteravière génère donc environ 75% des déchets épandus sur les sols agricoles (principalement dû aux tares terreuses).

Les *matières stercoraires* (viscères d'animaux) pour le secteur "viande" représente 400 000 tonnes brutes par an mais il ne s'agit pas vraiment de boues mais de déchets solides humides qui tendent de plus en plus à être traités dans des centres d'équarrissage (contraintes réglementaires qui limitent l'épandage).

Les filières *autres que l'épandage* de traitement pour les sous-produits de l'industrie agroalimentaire en général sont:

- Compostage
- Station d'épuration
- Equarrissage
- Alimentation animale
- Carrières (pour les tares terreuses)
- Réutilisation dans les entreprises
- Incinération (secteur laitier)
- Mise en décharge (secteur laitier et fruits&légumes)

Mais les pratiques d'épandage restent aujourd'hui une voie privilégiée de valorisation des déchets à forte teneur en matière organique et constituent de ce fait un axe majeur pour les secteurs agroalimentaires.

II.2. BOUES D'EPURATION URBAINES

II.2.1. Introduction

Le contexte français qui accompagne le devenir des boues peut être caractérisé par les 3 facteurs suivants:

- ✓ La France est un pays étendu, 550 000 km², avec une population très inégalement répartie: 11 millions de personnes dans et autour de Paris, des villes moyennes et un paysage rural à faible densité
- ✓ Il existe une forte vocation agricole, d'où un besoin en éléments fertilisants et amendements pour les cultures avec des zones à forte présence de grandes cultures et d'autres où l'élevage est largement dominant, d'où une variabilité des apports et des besoins
- ✓ Faible propension des Communes, responsables d'assainissement à dépenser beaucoup pour le traitement des boues.

Ainsi, la politique générale prône une utilisation des boues de stations dépuratrices des eaux urbaines en épandage agricole ou de revégétalisation.

Parallèlement, le taux de raccordement de la population à un réseau d'assainissement croît, le niveau de traitement des eaux s'améliore, donc la quantité de boues augmente. Des débouchés doivent donc être trouvés. L'épandage agricole qui représentait jusqu'à 60% de la quantité de boues en 1999, se situe aujourd'hui plus près de 55%, mais il régresse peu en valeur absolue, en particulier au niveau des surfaces concernées.

Les paragraphes suivants présentent les données pour le contexte et la production de boues urbaines.

L'annexe suivante présente les eaux urbaines en général ainsi que le type de pollution qu'elles engendrent.

Annexe 3: Présentation des eaux urbaines en général - pollution engendrée - paramètre biologique et définition de l'équivalent-habitant

II.2.2. Enquêtes auprès des Agences de l'Eau

II.2.2.1 Sources des données et validité

L'enquête a été réalisée par Enviro-Consult.

Les sources d'information pour le calcul des quantités de boues produites ainsi que le nombre de stations en France sont données au tableau suivant.

Sources pour l'obtention des données de la situation 2004 pour la production de boues urbaines en France	
Agence Rhône-Méditerranée-Corse (RMC)	effectuées à partir des fichiers STEP et production des boues – extraits des données communiquées sur site www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr
Artois-Picardie (AP)	Bilan 2002 des épandages – version papier transmise en juillet 2006
Seine-Normandie (SN)	Listing STEP précisant les données pollution, types de traitement, destination des boues, durées de fonctionnement des STEP – support papier
Rhin-Meuse (RM)	Extrait de la DSSI au 01/02/06 – Bilan 2004 – support papier non détaillé (uniquement tableau de synthèse)
Adour-Garonne (AG)	Production de boues par département – Destination – Tableau Excel transmis par AG
Loire-Bretagne (LB)	Fichier informatique sur destination des boues LB boues 2004 et LB Steps 2004 – Fichiers bruts à traiter

Tableau 13: Sources des données dans le cadre de l'enquête auprès des Agences de l'Eau pour l'évaluation des quantités de boues urbaines produites en France

Remarque générale

L'origine des données est issue de chaque agence. Il n'existe aucune trame ou tableau de saisie standard. Dû au fait que ces fichiers de boues servent aussi au calcul des redevances de pollution, il doit être fait mention de la prudence et de l'entière responsabilité de futurs utilisateurs qui prendraient en compte ces données comme étant des éléments intangibles.

II.2.2.2 Résultats de l'enquête 2006: chiffres de production pour 2004

Les données suivantes ont été recueillies auprès des 6 Agences de l'Eau:

- ✓ Nombre de STEP (total, avec et sans production de boues, lagunage)
- ✓ Production de boues (t MS/an)
- ✓ Capacité de traitement (millions EH)
- ✓ Taille des STEP avec répartition (< 2000 , 2 - 10 000 , 10 000 - 50 000 , > 50 000 EH)

Les données, qui toutes concernent **l'année 2004**, sont présentées aux tableaux suivants.

Enquête 2006 - chiffres pour 2004						
Nombre de STEP, production de boues urbaines en t MS/an et capacité de traitement en France (répartition par bassin)						
	Nombre total de STEP	Nombre STEP sans production de boues		Nombre STEP avec production de boues	Production de boues (t MS/an)	Capacité de traitement (millions EH)
		Total	dont le lagunage			
ADOUR GARONNE	2941	1867	33	1074	80725	7,8
ARTOIS PICARDIE	445	98	96 (110075 EH)	347	106554	6,45
LOIRE BRETAGNE	5498	3512	2308 (1463883 EH)	1986	168816	22,7
RHIN MEUSE	571	+ - 70	faible	environ 500	85900	4,2
SEINE NORMANDIE	2439	676	594 (302352 EH)	1763	233693	22,4
RHONE MEDITERRANEE CORSE	4837	3 123	908 (543060 EH)	1714	283514	23,9
TOTAL/MOYENNE	16731	+ - 9350		environ 7300	959202	87,45

Tableau 14: Résultats de l'enquête: nombre de STEP, production de boues urbaines en t MS/an et capacité de traitement en France (répartition par bassin)

Enquête 2006 - chiffres pour 2004				
Résultats de l'enquête: nombre de STEP réparties par taille (par bassin et pour la France)				
	< 2000 EH	2 - 10 000 EH	10 000 - 50 000 EH	> 50 000 EH
ADOUR GARONNE	2427	349	142	23
ARTOIS PICARDIE	210	140	66	29
LOIRE BRETAGNE	4470	755	205	68
RHIN MEUSE	304	170	85 *	12 *
SEINE NORMANDIE	1714	519	158	48
RHONE MEDITERRANEE CORSE	3858	669	236	74
TOTAL/MOYENNE	12983	2602	892	254

* répartition approchée : 97 STEP > à 10 000 EH

Tableau 15: Résultats de l'enquête: nombre de STEP réparties par taille (par bassin et pour la France)

Remarques concernant les données recueillies:

- ✓ Les stations mentionnées comme produisant des boues sont les STEP avec des systèmes de déshydratation mécanique. Celles "sans production" sont les lagunages, boues activées, disques biologiques, filtre plante, filtre à sable, etc ...
- ✓ Environ 5 à 6 millions EH font appel à de l'assainissement individuel: petite station, fosse sceptique, plateau d'infiltration, etc...
- ✓ ARTOIS PICARDIE les MS produites prennent en compte les réactifs de traitement et les structurants en compostage.
- ✓ Pour ADOUR GARONNE et RMC, la répartition est faite à partir des STEP qui produisent des boues.
- ✓ Pour ARTOIS PICARDIE, la répartition est faite à partir des STEP qui produisent des boues malgré un écart de 12 STEP.

Les données sont illustrées aux graphes suivants:

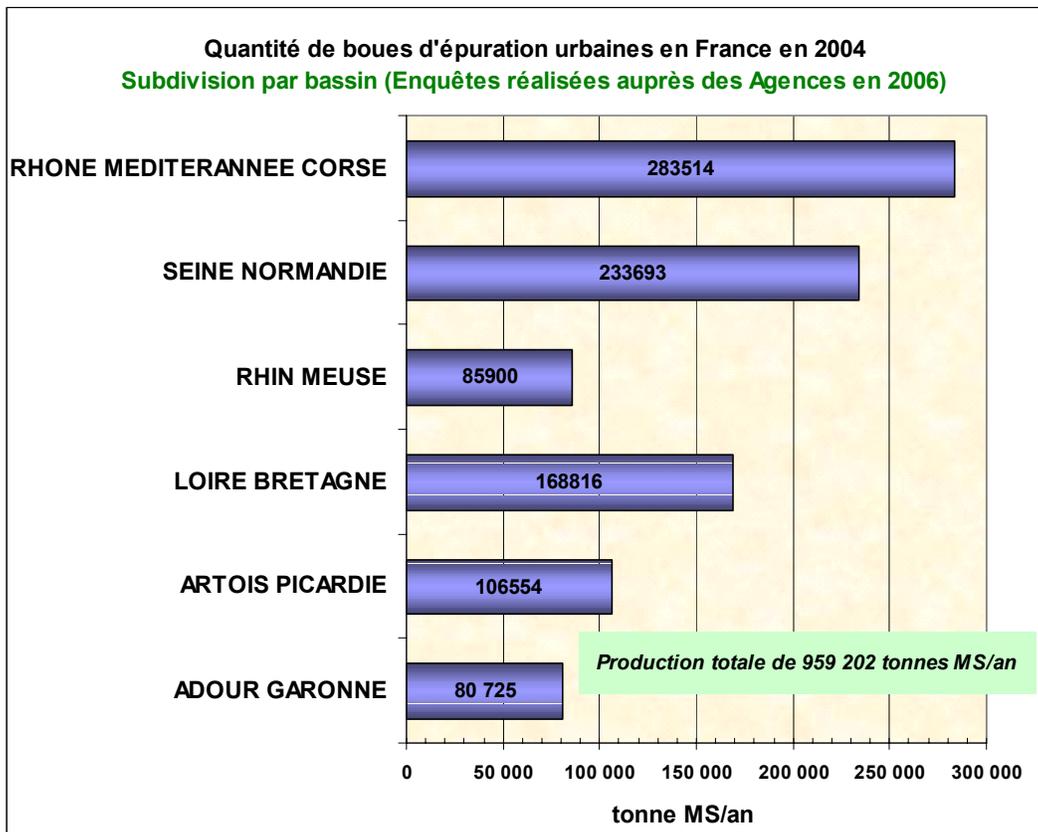


Figure 2: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006)

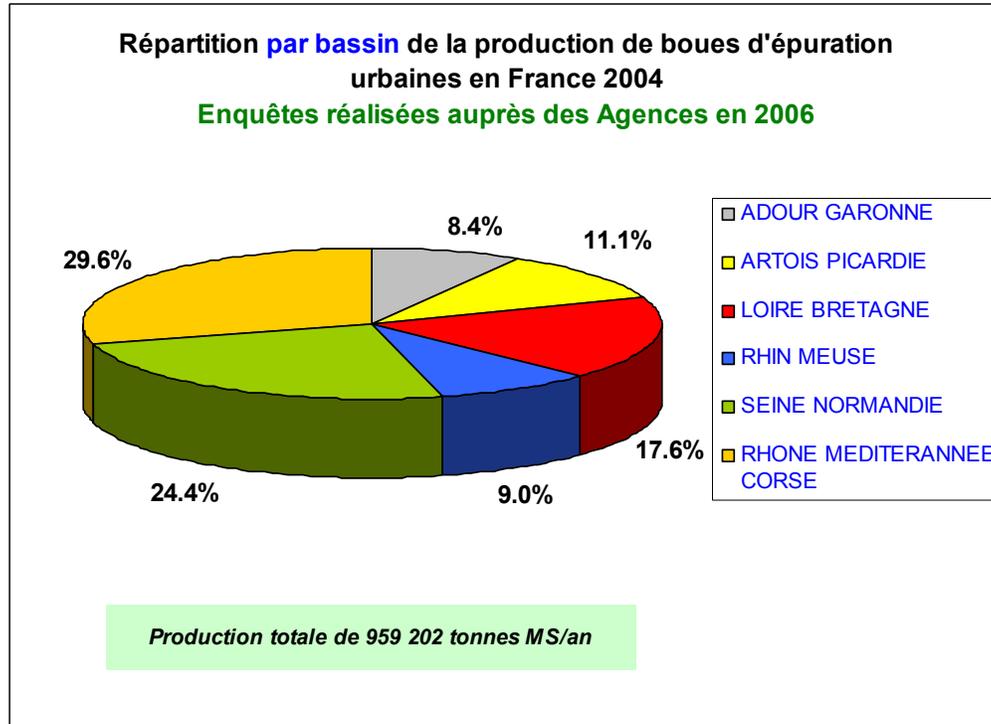


Figure 3: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006)

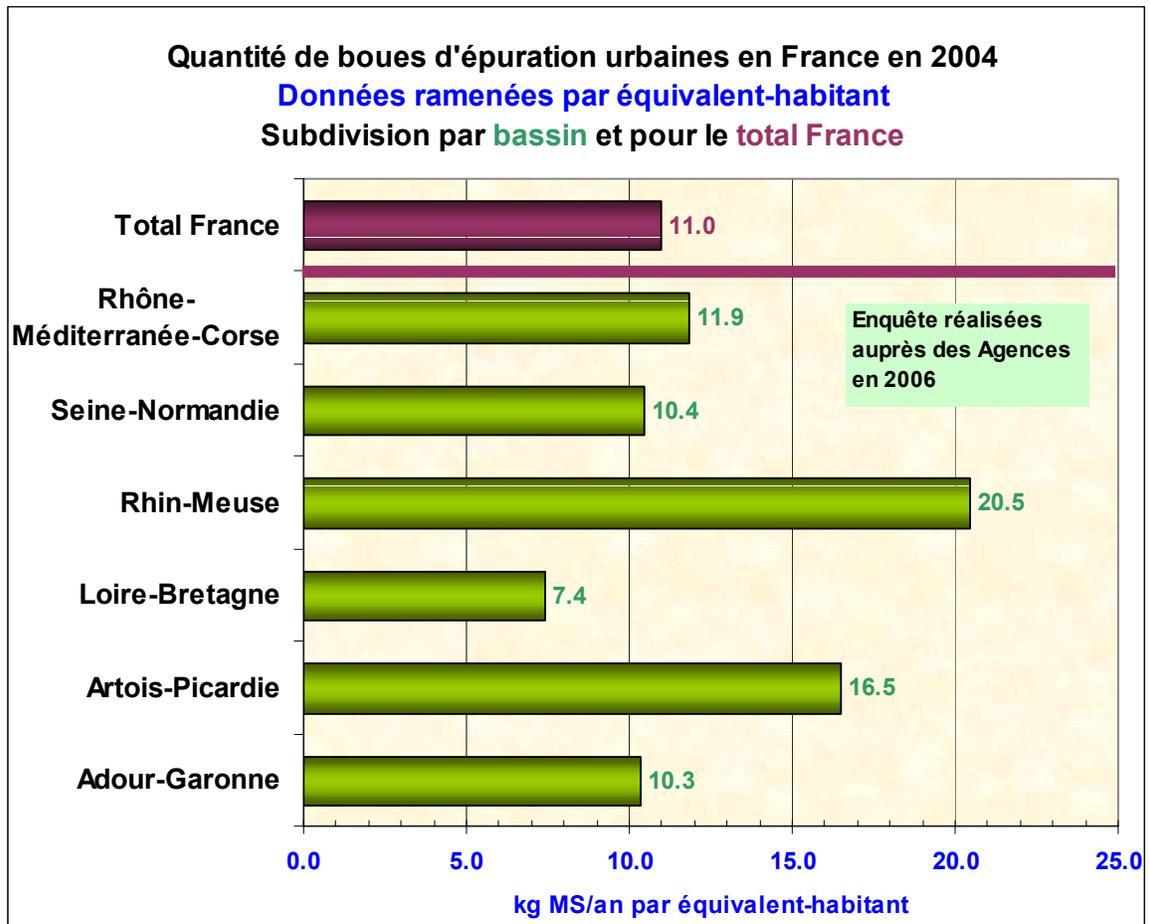


Figure 4: Quantité de boues urbaines produites en France (données 2004 - enquête 2006) exprimée en kg MS/an par équivalent-habitant

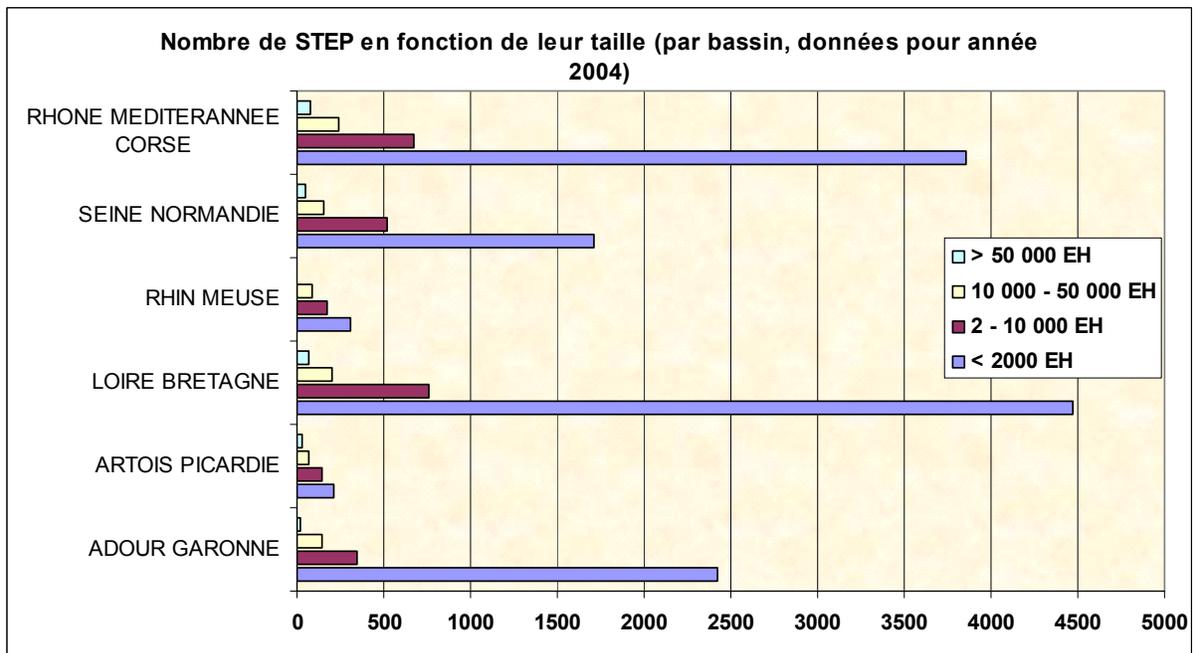


Figure 5: Nombre de STEP en fonction de leur taille par bassin

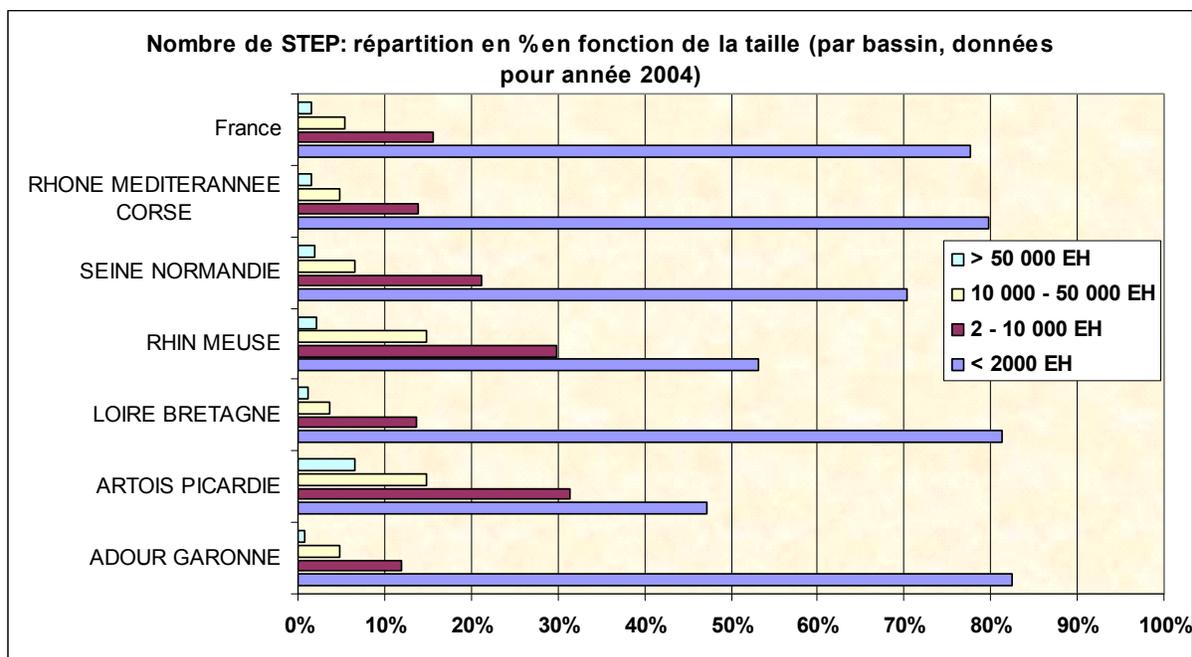


Figure 6: Proportion en % de STEP en fonction de leur taille par bassin et pour la France

II.2.2.3 Interprétation des résultats de l'enquête 2006

Les graphes du paragraphe précédent (chiffres de production pour 2004) permettent les observations suivantes :

- ✓ **La production des boues urbaines en 2004 est de 959 202 tonnes MS/an**
- ✓ Les bassins les plus importants sont Rhône-Méditerranée-Corse (29,6%) et Seine-Normandie (24,4%)
- ✓ Le bassin le moins important est Adour-Garonne (8,4%)
- ✓ Le nombre d'équivalent-habitant total pour la France est de 87,45 millions EH
- ✓ La quantité de boues urbaines produites en France ramenée en kg MS/an par équivalent-habitant fluctue de 7,4 pour Loire-Bretagne jusqu'à 20,5 pour Rhin-Meuse.
- ✓ La **moyenne nationale est de 11,0 kg MS/an par équivalent-habitant.**
- ✓ La faible production de boues ramenée à l'EH pour LB (7,4) est due à une présence importante du traitement par lagunage.
- ✓ En ce qui concerne la **taille des STEP**:
 - Les STEP petites et moyennes jusqu'à 10 000 EH représentent en nombre au moins 78% du nombre total STEP dans chaque bassin. Ce pourcentage peut approcher les 95% pour les bassins AG, RMC et LB. Ceci montre l'importance des petites stations en nombre. En Allemagne, le nombre de STEP est d'environ 8000 alors que la population y est plus importante (82 au lieu de 60 millions d'habitants en France). Ce fait est lié à la position administrative en France. La Direction Départementale de l'Agriculture a été le vecteur important pour l'assainissement dans les petites communes ce qui a favorisé les petites stations et empêché les réseaux importants. Néanmoins, en France, la tendance est à la baisse en raison de l'intercommunalité et des Communautés de Communes.
 - Les STEP de grande capacité > 50 000 EH représentent maximum 2% du nombre total de STEP pour tous les bassins sauf pour le bassin AP où ce % est de 6,5%
 - Dans la catégorie STEP > 10 000 et < 50 000 EH, la proportion est la plus élevée pour les bassins AP et RM (proche de 15%).

Par ailleurs:

- ✓ En Loire-Bretagne, le *lagunage* est important et représente environ 1 500 000 EH pour 2308 stations. Cela résulte du caractère rural et des zones faiblement peuplées.

- ✓ Il faut relativiser les quantités de production de boues car les déchets au sens large sont bien plus importants (les boues urbaines représentent seulement quelques % de la production totale des déchets).
- ✓ Paris (SIAAP) représente 10% de la France et a peu de zones d'épandage
- ✓ Les bassins RM et AP présentent les quantités de boues produites ramenée à l'EH les plus élevées (kg MS/an/EH). Cela résulte a priori de la petitesse des bassins, de la concentration en pollution et du taux de collecte supérieur.
- ✓ Au plus la superficie du bassin est importante, au plus la quantité ramenée à l'EH diminue.

II.2.3. Données complémentaires du MEDD concernant les boues urbaines

II.2.3.1 Données de production et répartition par filière

Toutes les données du présent paragraphe proviennent du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Direction de l'Eau.

Remarque: les chiffres présents dans ce paragraphe pour l'année 2004 peuvent légèrement différer de ceux du paragraphe précédent (enquête 2006 pour chiffres 2004) car ils sont antérieurs (estimations provisoires).

Les données concernent:

- ✓ L'évolution de la production des boues urbaines au fil des années
- ✓ L'évolution pour les boues épandues au fil des années
- ✓ L'évolution pour les surfaces épandues au fil des années

Evolution des boues urbaines produites de 1998 à 2002					
	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Boues produites (t MS/an)</i>	858 223	855 265	864 342	875 252	887 755
<i>Boues épandues (t MS/an)</i>	553 919	552 460	506 505	509 240	524 290
<i>Surfaces épandues (ha)</i>	175 916	175 845	195 097	185 526	186 521
<i>Pourcentage de boues d'épuration épandues</i>	64.5%	64.6%	58.6%	58.2%	59.1%

Tableau 16: Evolution des boues urbaines produites de 1998 à 2002

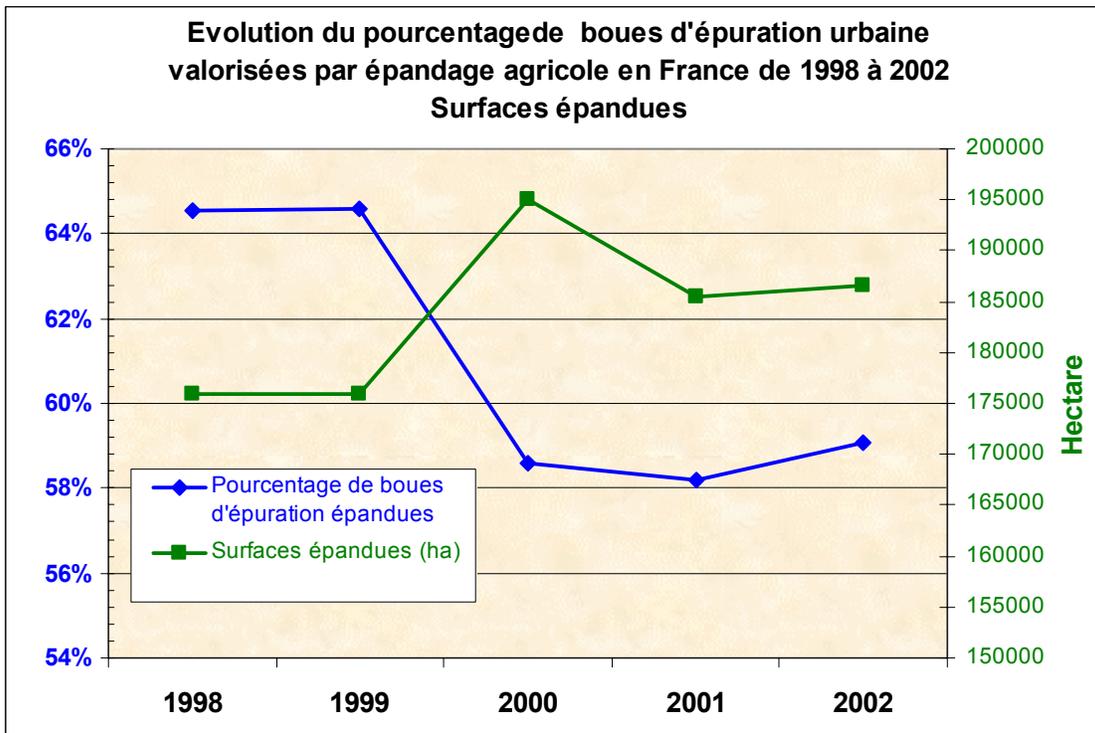


Figure 7: Evolution du pourcentage de boues d'épuration urbaine valorisées par épandage en France de 1998 à 2002 et surfaces épandues.

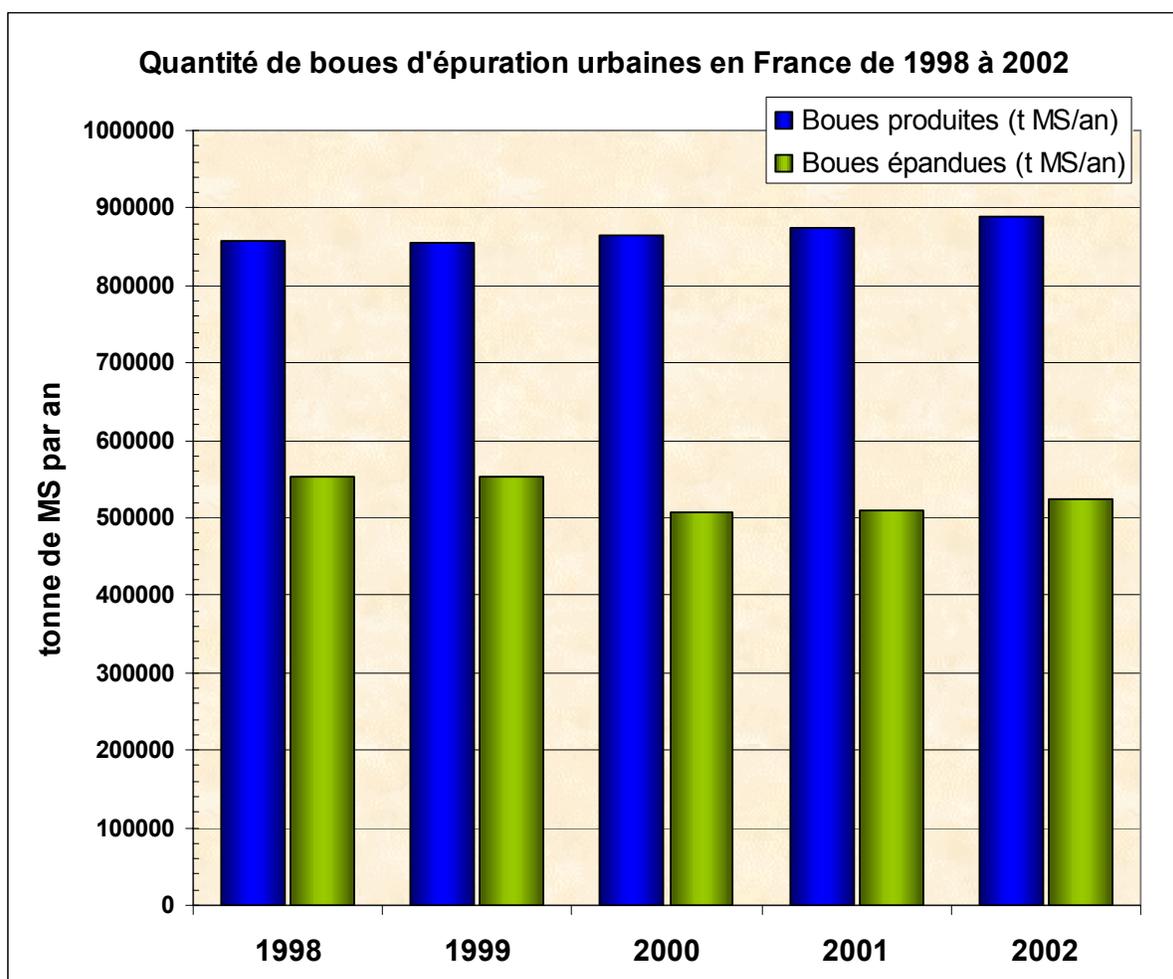


Figure 8: Quantités de boues d'épuration urbaine en France de 1998 à 2002 et quantités épandues

Remarque: pas de données directement disponibles pour 2003 et 2004.

2004 (données provisoires du MEDD)	Production totale de boues (t MS/an)	Incinération	Centre de stockage de déchets	Valorisation par épandage
Artois-Picardie	99000	44	2 405	96 551
Seine-Normandie	240000	45 600	69 600	124 800
Rhin-Meuse	85900	22 768	10 476	52 656
Rhône-Méditerranée-Corse	272447	79 401	63 031	130 015
Loire-Bretagne	166976	23 551	25 384	118 041
Adour-Garonne	81215	16 000	11 334	53 881
Total France	945 538	187 364	182 230	575 944

Tableau 17: Devenir des boues urbaines produites (données de 2004), répartition entre l'incinération, le centre de stockage et la valorisation par épandage

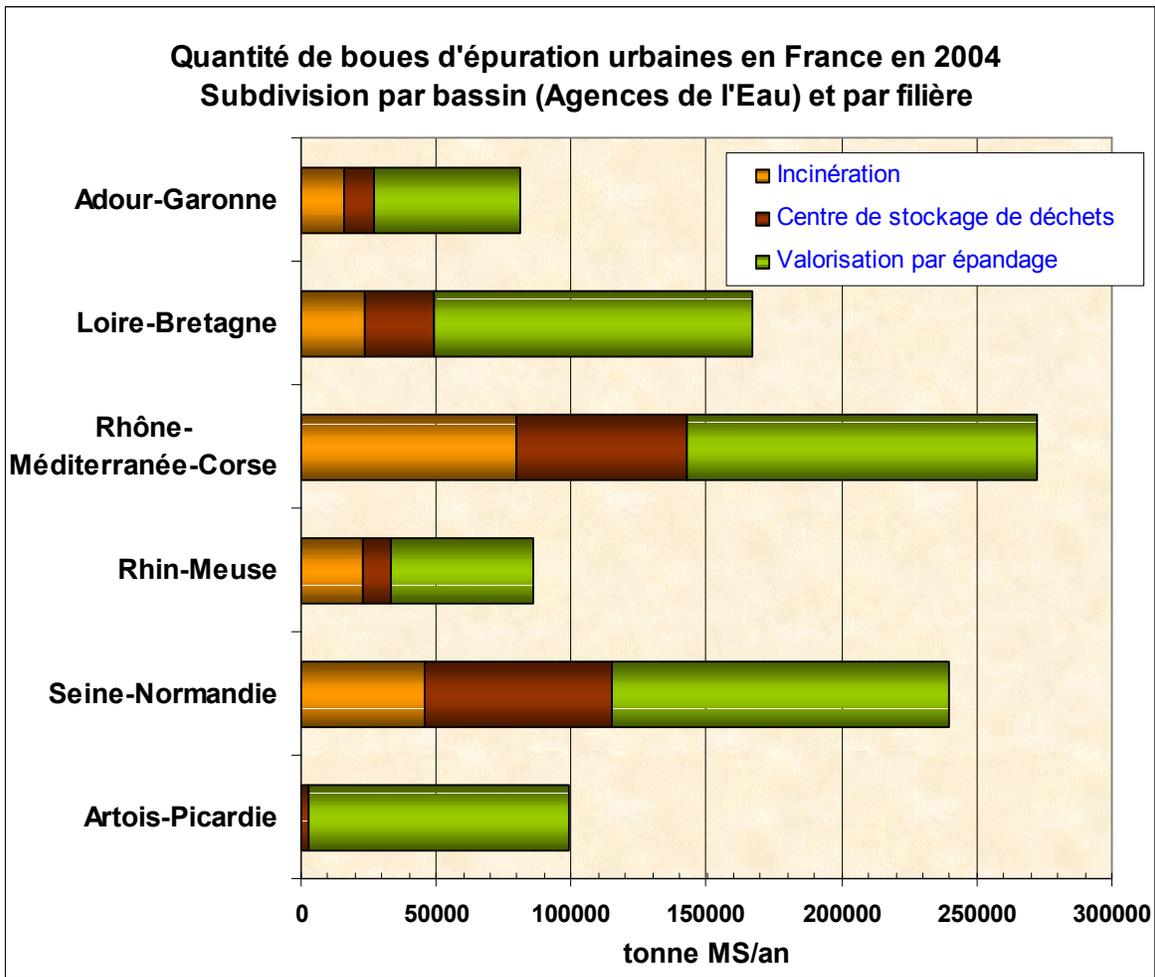


Figure 9: Quantité de boues d'épuration urbaine produite en France (données 2004) – subdivision par bassin et par filière (incinération, CSDU, valorisation agricole)

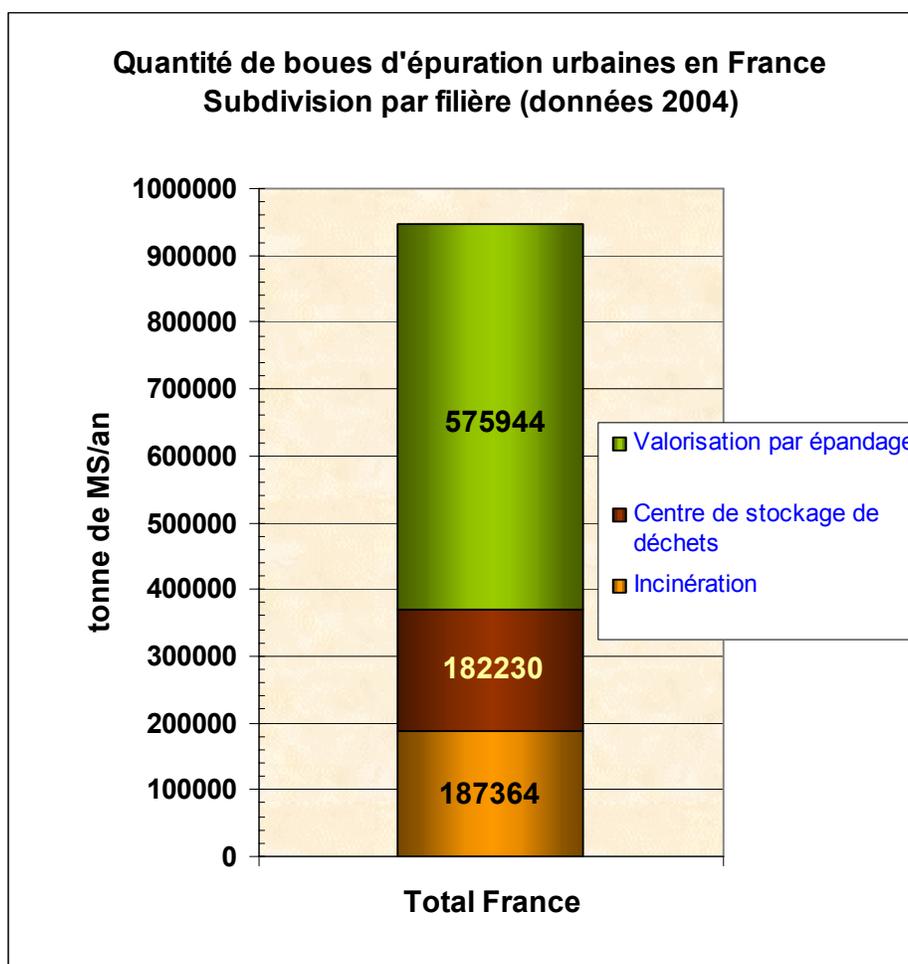


Figure 10: Quantité de boues d'épuration urbaine produite en France (données 2004) – répartition par filière (incinération, CSDU, valorisation agricole)

Evolution de 2002 à 2004 des différentes filières d'élimination des boues d'épuration urbaines						
	incinération 2002	incinération 2004	centre de stockage 2002	centre de stockage 2004	Valorisation par épandage 2002	Valorisation par épandage 2004
Artois - Picardie	0.00%	0.04%	10.0%	2.4%	90.0%	97.5%
Seine - Normandie	9.0%	19.0%	4.0%	29.0%	87.0%	52.0%
Rhin - Meuse	24.0%	26.5%	23.0%	12.2%	53.0%	61.3%
Rhône – Méditerranée - Corse	24.0%	29.1%	34.0%	23.1%	42.0%	47.7%
Loire - Bretagne	11.0%	14.1%	21.0%	15.2%	68.0%	70.7%
Adour - Garonne	8.0%	19.7%	22.0%	14.0%	70.0%	66.3%
Total France	16.0%	19.8%	20.0%	19.3%	64.0%	60.9%

Tableau 18: Evolution de 2002 à 2004 des différentes filières d'élimination des boues d'épuration urbaines

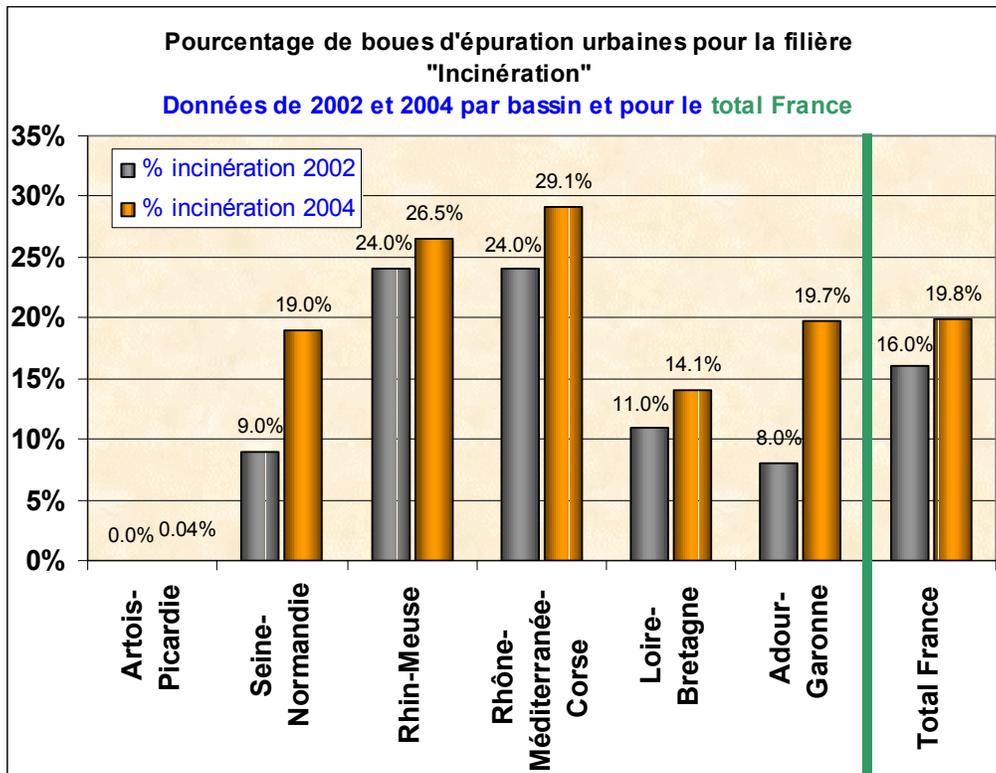


Figure 11: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Incinération" des boues d'épuration urbaines

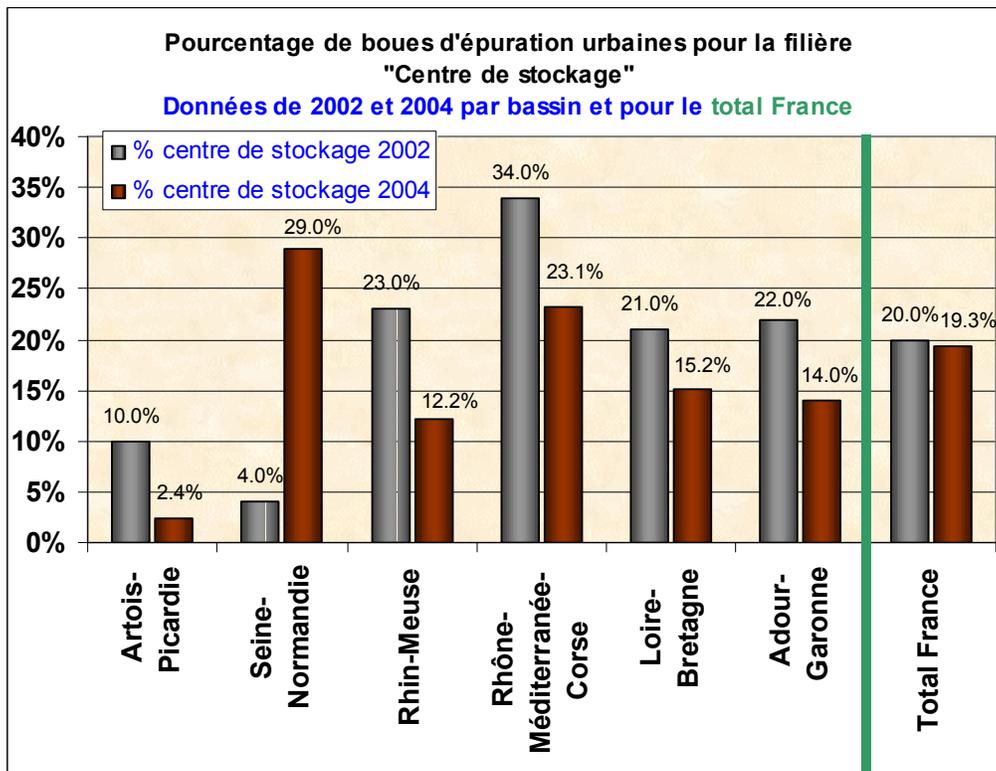


Figure 12: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Centre de stockage" des boues d'épuration urbaines

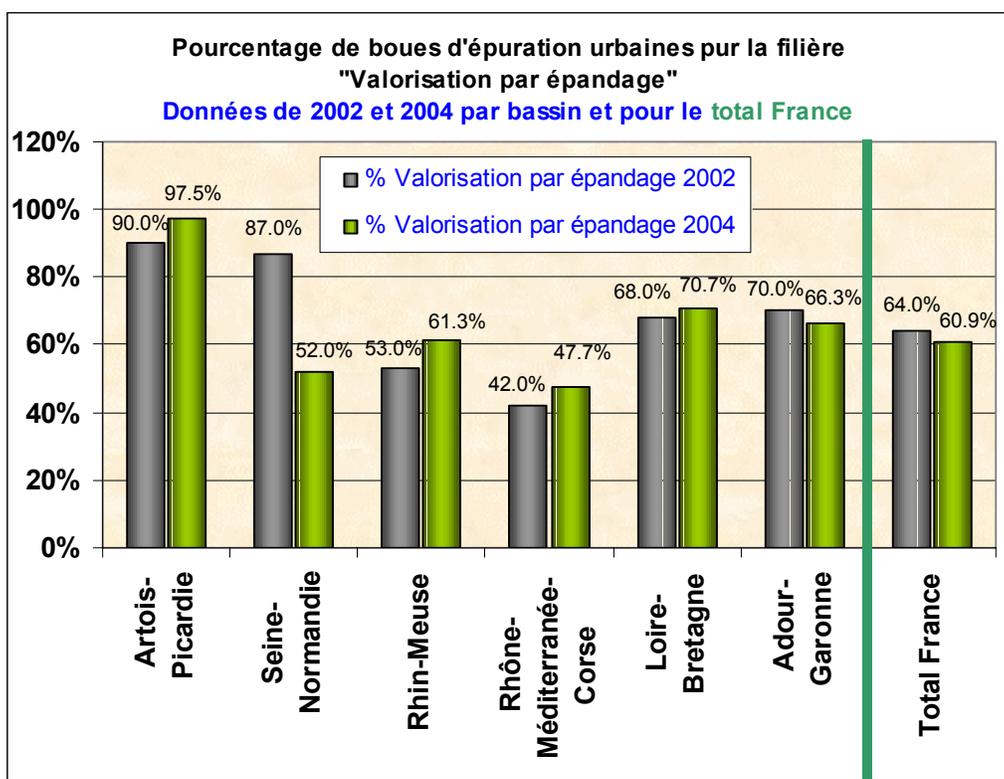


Figure 13: Evolution de 2002 à 2004 de la filière d'élimination "Valorisation par épandage" des boues d'épuration urbaines

II.2.3.2 Interprétation des données et constats pour les filières des boues urbaines en France

Les tableaux et graphes précédents permettent de tirer les **conclusions suivantes** à propos de l'évolution en matière de boues urbaines et de leur gestion:

- ✓ De manière globale, sur l'ensemble des 6 bassins:
 - La **production de boues est en augmentation permanente**: elle est passée d'environ 850 000 tonnes MS/an en 1998 à environ 950 000 tonnes MS/an en 2004 soit une *augmentation de près de 12% en 6 ans*.
 - De 2002 à 2004, il existe une *diminution marquée de la filière centre de stockage dans 5 bassins* sur les 6 (**tous sauf Seine-Normandie: cf. remarque ci-dessous**).
 - De 2002 à 2004, il existe une *progression lente de la filière incinération*.
 - L'élimination par traitement thermique a porté sur près de 20% de la production totale de boues. Cette voie vient à égalité avec l'élimination par enfouissement en Centre de Stockage de déchets qui a concerné également de l'ordre de 20% en 2004. En 2002, l'incinération et le centre de stockage avaient respectivement concerné 16% et 20% de la production de boues.
 - La quantité de boues pour l'épandage agricole est de plus en plus élevée malgré les contraintes administratives. L'évolution entre 2002 et 2004 est néanmoins à la baisse car le taux de valorisation agricole passe de 64 à 60,9%. Cette diminution globale s'explique avec la remarque suivante.

Remarque importante pour le bassin Seine-Normandie: *il faut relativiser cette diminution nationale du taux de valorisation agricole car la mise en centre de stockage pour Seine-Normandie a fortement augmenté suite à des non-conformités (seuil de cadmium dépassé pour la valorisation agricole). Ainsi, si pour le bassin Seine-Normandie le taux de valorisation agricole des boues urbaines était resté à la valeur de 2002 de 87% en 2004 (au lieu de chuter à 52% en raison de la non-conformité), le taux de valorisation agricole global pour la France serait passé de 64 à près de 70% entre 2002 et 2004.*

✓ De manière plus spécifique:

- Malgré l'échéance de 2002 qui visait la fin de l'enfouissement de déchets non ultimes, la part de l'évacuation en centre de stockage reste importante en 2004 et est du même ordre de grandeur que la part de boues incinérées. Cela s'explique par plusieurs raisons, d'importance variable selon les situations locales:
 - *Des tonnages plus élevés en 2004* que les années précédentes *pour le bassin Seine-Normandie ont été mis en centre de stockage* car une part importante d'une grosse station a été non-conforme aux teneurs seuils en composés traces organiques (CTO) pour l'épandage.
 - Les "*assouplissements*" de fait donnés à la définition du "*déchet ultime*" dans certaines régions
 - Le prix souvent moins élevé de l'enfouissement par rapport à l'incinération
 - La difficulté de création de nouvelles capacités d'incinération et la saturation des capacités existantes.
 - Néanmoins, pour 5 des 6 bassins, la part des boues incinérées augmente notablement de 2002 à 2004 (elle reste identique pour Rhin-Meuse) et la part des boues mises en centre de stockage tend à diminuer fortement sur certains bassins (sauf pour Seine-Normandie: cf. ci-dessus). *Il est donc probable que l'incinération prenne rapidement et durablement le devant sur l'enfouissement sans que ce dernier disparaisse.*
 - L'incinération et l'enfouissement occupent une part variable selon les bassins allant d'une quasi inexistence pour Artois-Picardie à près de un tiers de la production (RMC en incinération ou Seine-Normandie en centre de stockage).
 - Sur le bassin RMC, l'incinération concerne 29% du gisement de boues mais est une voie utilisée par 4% des collectivités
 - En Seine-Normandie, l'incinération a nettement progressé entre 2002 et 2004 (incinérateur à Colombes et Rouen).
 - Sur le bassin RMC, l'enfouissement en centre de stockage de déchets concerne
 - 23,1% du gisement de boues. Il s'agit d'une voie utilisée par 23% des collectivités
 - alors que cette voie est utilisée à raison de 2,4% du gisement pour 0,4% des collectivités en Artois Picardie
 - et à raison de 12,2% du gisement pour 6,4% des collectivités en Rhin-Meuse.
- Ce nombre important de collectivités en RMC résulte de l'utilisation de cette voie par une forte proportion de collectivités de tailles réduites. Pour ce type de collectivités, l'exutoire unique est le centre de stockage dans la quasi-totalité des cas alors que, pour le bassin Rhin Meuse, seulement un peu plus de la moitié du petit nombre de collectivités met les boues en CSDU.
- Pour les petits bassins (AG, RM, AP), la valorisation agricole l'emporte généralement plus par rapport aux 2 autres filières. Pour Artois-Picardie, la valorisation agricole l'emporte nettement en raison du caractère fortement rural (débouché agricole possible et présence de cultures de céréales et betteraves) et de l'éclatement de la production.
 - La proportion de la filière "valorisation agricole" aurait dû augmenter entre 2002 et 2004 en France, mais elle a légèrement diminué (64% à 60,9%) en raison de la non-conformité de boues produites en Seine-Normandie (cf. ci-dessus) qui ont dès lors été orientées vers les centres de stockage.

II.2.3.3 Installations de traitements des eaux et boues en France

Les stations d'épuration

La France dispose d'un parc important de stations d'épuration (STEP). Leur nombre est de l'ordre de 16 000 (note: environ 16 700 sur base de l'enquête 2006), mais près de 85 % des stations sont d'une taille < 5 000 EH. A titre d'exemple, sur deux agences, le parc se répartit comme suit :

Agence	Capacité	Pourcentage
LOIRE BRETAGNE 5 250 STEP	< 2 000 EH	80
	2 à 50 000 EH	18
	> 50 000 EH	2
RHIN MEUSE 571 STEP	< 2 000 EH	53
	2 à 10 000 EH	30
	> 10 000 EH	97

Tableau 19: Répartition des STEP en fonction de leur taille pour les bassins LB et RM

On observe que bien que les stations d'épuration de petites capacités soient très nombreuses, la production de boue résultante est faible (< à 10 % du gisement total). On remarque aussi que les productions de boues comptabilisées auprès de chaque agence sont connues avec pratiquement 1 à 2 années de retard (les données disponibles en 2006 se réfèrent à 2004).

Les incinérateurs

En 2002, les destinations des boues en France étaient les suivantes :

Epandage agricole : 64 %
 Traitement thermique : 20 %
 Mise en CSDU : 16 %.

L'incinération paraît prendre le pas face à l'élimination en CSDU, bien que dans certains bassins (Rhin Meuse), elle se place pratiquement à égalité avec le compostage (28 / 27 %). Sur le bassin Rhône Méditerranée Corse, l'incinération est mise en œuvre pour traiter près de 80 000 t MS (soit 29,1 %). Dans le bassin Artois Picardie, cette filière n'est pratiquement pas développée, tant la prédominance de la valorisation agricole est forte. Par traitement thermique, on comprend à la fois les sites d'incinération et de co-incinération des boues avec les ordures ménagères.

Agence	Traitement thermique		Incinération en STEP (dédié)	Co-incinération OM
	Tonnage t MS	%		
Adour Garonne	16 000	19,7	2 incinérateurs	4 sites + 2 sites industriel
Rhin Meuse	22 768	26,5	2 incinérateurs*	-
Artois Picardie	44	0,1	1 incinérateur industriel	1 site
Loire Bretagne	23 551	14,1	11 incinérateurs	-
Rhône Méditerranée Corse	79 401	22,1	≅ 10 sites d'incinération	≅ 15 sites
Seine Normandie	45 600	19	≅ 8 à 10 sites d'incinération	1 site

*: + 2 sites en Allemagne

Tableau 20: Traitement thermique des boues urbaines

La capacité d'incinération des boues urbaines de SN passera à 80.000 t MS/an (meilleure capacité de séchage).

Les principaux incinérateurs dédiés de boues urbaines en France sont:

Ville (incinération dédiée)	Capacité t MS/an	Année de mise en service
Angers	3 750	1992
Brest	-	2001
Grenoble	8 250	1988
Le Havre	-	-
Lyon Pierre Bénite	2 lignes de 19 500t MS/an*	2006 – 2007
Lyon St Fons	30 000	1995
Rouen	22 500	1997
Strasbourg	15 000 **	1988
Toulon	18 750	1996
Toulouse	-	2000
SIAAP Colombes	20 000	1998
SIAAP Marne aval	3 000	1980
SIAAP Valenton	12 000	1987

* en remplacement du premier four construit en 1988

** débit dégradé de l'ordre de 25 % (siccité des boues trop basse)

Tableau 21: Liste des principaux incinérateurs dédiés de boues urbaines en France

Un recensement réalisé en 2004 (données 2003) par l'ADEME faisait état de 21 sites d'incinération dédiée en activité dont 19 avec des fours à lits fluidisés. En quasi-totalité, ces sites sont situés sur les STEP productrices.

17 de ces 21 installations traitaient plus de 125 000 t MS (données non connues pour 4 sites) soit la majeure partie du gisement total MS de boues incinérées en France.

Les principaux sites de co-incinération en France sont:

Technologie	Ville/Lieu (UIOM)	Nombre de fours équipés	Capacité t/h	Mise en service	Remarques
Injection par IC 850®			Boues humides		
	SMA – MONACO	3	0,85	1991	STEP de MONACO
	BORDEAUX - CENON	2	1,2	1997	Fonctionnement sur boues digérées
	DINAN – UIOM de TADEN	2	1	1998	Boues d'aération prolongée
	UIOM de SARCELLES	2	1,56	1998	-
	BORDEAUX – BEGLES	2	0,9	1998	Fonctionnement sur boues digérées
	UIOM de BESANCON	1	0,8	2006	En essais – boues digérées
Pré-séchage à 60-65 %			Boues pré-séchées		
	SETE	1	0,6	1992	Boues d'aération prolongée et physico-chimiques
	MEGEVE	1	0,2	2000	Boue physico-chimiques et aération prolongée
	BELFORT	1	0,4	2001	Boues de la STEP de BELFORT
	PERPIGNAN	1	0,6	2003	Boues de la STEP de PERPIGNAN
Séchage à 90 %	STRASBOURG	Tonnage limité à 7 000 t MS/an		2006-2007	N'est pas en service à ce jour

Tableau 22: Liste des principaux sites de co-incinération de boues urbaines en France

Les capacités d'incinération en 2004 sont données dans le tableau suivant:

Incinération de boues urbaines (sites dédiés et co-incinération)	Capacité t MS/an
Adour Garonne	16 000
Rhin Meuse	22 768
Artois Picardie	44
Loire Bretagne	23 551
Rhône Méditerranée Corse	79 401
Seine Normandie	45 600
France	187 364

Tableau 23: Capacité d'incinération de boues urbaines (t MS/an) en fonction des bassins

En 2000, l'inventaire ITOM³ recense donc 16 UIOM de capacité supérieure à 3 t/h recevant des boues pour un total traité de 107 000 tonnes de matières brutes. Pour ces 16 UIOM, les boues incinérées correspondaient à une proportion du total incinéré allant de 1 à 18% des cas pour une proportion moyenne de 7%.

Parmi les 191 collectivités concernées en RMC, l'incinération est un exutoire unique dans 68% des cas, la solution majoritaire pour 11% des cas et une solution de complément pour 21% des cas. Pour ce bassin, le nombre de collectivités ayant eu recours à l'incinération est en croissance constante et régulière (doublement entre 2000 et 2004 en passant de 95 à 191), alors que le nombre de collectivités ayant recours au CSDU est resté stable depuis une quinzaine d'années.

Pour le bassin Rhin-Meuse, moins de la moitié des collectivités ayant recours à l'incinération le font pour la totalité de leurs boues (7 sur 16).

Evolution de la co-incinération de boues en UIOM:

En 2004, le nombre d'UIOM recevant des boues est passé à 25 installations de plus de 3 t/h pour un total traité de 183 000 tonnes de matière brute. Les tonnages de boues entrantes comptaient pour 0,1 à 19,5% du total incinéré avec une moyenne de 6%. Ces 25 installations représentent moins d'un cinquième du parc total d'UIOM français en 2004.

La liste complète des UIOM issue de ITOM04 se déclarant co-incinération de boues est donnée au tableau suivant.

Liste des UIOM se déclarant co-incinération de boues (ITOM04) et codes déchets concernés								
Code	Région	Dép	Commune	Date Ouv	Quantité	12.1	12.11	12.12
21188	Languedoc-Roussillon	66	Calce	1/07/2000	191 593		5 471	
5541	Poitou-Charentes	17	La Rochelle	1/12/1988	62 573		662	
5649	Languedoc-Roussillon	34	Sète	25/11/1992	49 118		2 593	
5745	Limousin	19	Saint-Pantaléon-de-Larche	1/10/1973	74 247		6 487	
5816	Aquitaine	33	Cenon	1/03/1985	134 243		11 105	
5822	Bretagne	35	Rennes	1/07/1968	158 145		21 041	
5959	Bretagne	29	Briec	17/04/1996	60 627		2 064	
6030	Rhône-Alpes	69	Villefranche-sur-Saône	1/07/1984	84 299	228		
6035	Franche-Comté	25	Besançon	11/05/1971	55 444		605	
6163	Aquitaine	33	Bègles	1/08/1998	278 883		6 731	
6339	Rhône-Alpes	74	Passy	1/01/1995	49 965	5 346		
6478	Bretagne	22	Taden	1/06/1998	101 025		9 526	
6500	Alsace	68	Sausheim	1/07/1999	142 976		19 540	
6580	Franche-Comté	90	Bourogne	2/05/2002	80 723		2 966	
6764	Rhône-Alpes	74	Marignier	17/10/1991	52 611	3 797		
6766	Rhône-Alpes	69	Lyon	10/01/1990	246 923	1 148		
6770	Rhône-Alpes	69	Rillieux-la-Pape	1/07/1989	154 438	50		

³ ITOM: Inventaire des Installations de traitements d'Ordures Ménagères: données disponibles sur SINOE (www.sinoe.org), base de données déchets de l'ADEME.

6846	Ile-de-France	95	Sarcelles	1/01/1978	156 608			5 817
6878	Nord-Pas-de-Calais	59	Saint-Saulve	17/06/1977	118 745		36	
6919	Ile-de-France	78	Thiverval-Grignon	1/01/1974	187 964			6 943
7067	PACA	06	Nice	1/01/1977	332 190		23 198	
7120	Centre	45	Gien	1/01/1999	58 078		3 713	
7285	Rhône-Alpes	73	Tignes	1/07/1986	10 593	1 225		
7297	Rhône-Alpes	74	Chavanod	15/10/1984	128 774	22 631		
7321	Rhône-Alpes	73	Chambéry	1/07/1977	120 467	23 461		
9278	Haute-Normandie	76	Saint-Jean-de-Folleville	1/03/2003	129 099		2 304	

tonnes

Codes déchets

12.1 Boues d'épuration des eaux usées

12.11 Boues d'épuration des eaux usées collectives

12.12 Boues ordinaires d'épuration des eaux usées

Tableau 24: Liste des UIOM se déclarant co-incinération de boues (ITOM04) et codes déchets concernés

La prise en compte croissante de l'incinération de boues par les UIOM est aussi reflétée par les projets d'UIOM où il est prévu, dès la conception de nouvelles unités, de pouvoir accepter des boues d'épuration. Ainsi, une étude de 2002⁴ faisait apparaître que les boues urbaines, déchets de la responsabilité des collectivités, sont prises en compte par un tiers des nouveaux projets d'UIOM, soit une proportion supérieure à celle du parc recevant effectivement des boues:

- Proportion d'UIOM pouvant co-incinérer des boues urbaines:
 - 12% en 2000 (108 installations)
 - en 2002, 23% des unités aidées en service (aide financière de l'ADEME)
 - en 2002, 36% des unités aidées en construction

On peut signaler que sur base du syndicat des cimentiers, le tonnage de boues urbaines traitées en *cimenterie* est de l'ordre de 30 000 t/an.

⁴ Source: "Bilan des 42 opérations françaises aidées par l'ADEME - Données et références - Note de synthèse et rapport détaillé - Edition septembre 2002

II.2.4. Cas de la Suisse

La situation pour les boues urbaines en Suisse est présentée dans ce paragraphe, étant donné la situation particulière qui résulte de la sensibilité liée à l'épandage agricole des boues urbaines car les distributeurs du secteur agroalimentaire ont exigé la sécurité par rapport aux CTO.

II.2.4.1 Données générales

Les données sont:

- ✓ Superficie : 41 300 km² \cong 7,5 % de la surface de la France
- ✓ Population : 7,3 millions d'habitants
- ✓ Confédération de 23 cantons (dont 3 divisés en demi-cantons)
- ✓ Densité population : 181 hab/km² / France = 108 hab/km²

II.2.4.2 Les stations d'épuration

Il existe 871 stations d'épuration réparties en 5 classes de capacité selon graphique ci-dessous.

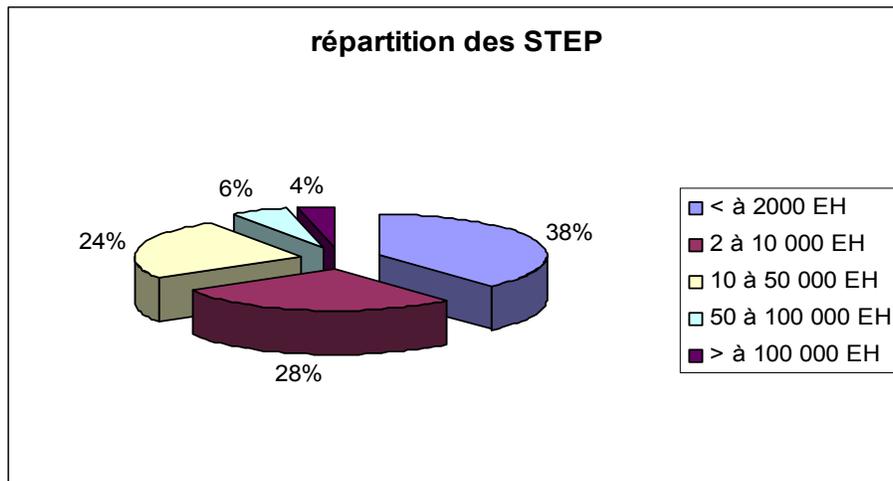


Figure 14: Répartition des STEP en Suisse en fonction de leur taille

Seules 32 stations dépassent la capacité de 100 000 EH. La plus importante est celle de la ville de Genève (STEP d'AIRE), de capacité 728 333 EH, suivie par celle de villes importantes (ZURICH, LAUSANNE, BERNE).

Capacité totale des stations : > 17 100 000 EH, soit un ratio EH/habitant de 2,35.

A titre de comparaison, en France, on se situe plutôt vers la valeur de 1,6 à 1,7.

Spécificités des STEP suisses :

- Traitement du phosphore pratiquement systématique, du fait du rejet dans des milieux sensibles : lacs et rivières
- Plus de 80 % de la capacité des STEP (\cong 13 à 14 millions EH) mettent en œuvre la digestion anaérobie (à titre de comparaison, la France applique la digestion pour seulement 20 millions d'EH/ 90 millions). Ce point est très particulier et permet à la Suisse de produire théoriquement l'équivalent en énergie d'un demi-million de MWh
- Taux de raccordement important des habitants à une STEP : 96 à 97 %.

II.2.4.3 La production de boues

La production de boues s'élève à 204 000 t MS (en 2004), soit un ratio de 12 kg MS/EH. Ce chiffre est en fait à rapprocher de boues digérées (plus de 80 % des boues urbaines sont digérées) ; il s'établirait donc plutôt vers 18 kg MS/EH. A titre de comparaison, en France, il se situe dans la majorité des agences, vers 10 à 12 kg MS/EH. La production de boues est très différente selon les cantons et leur population.

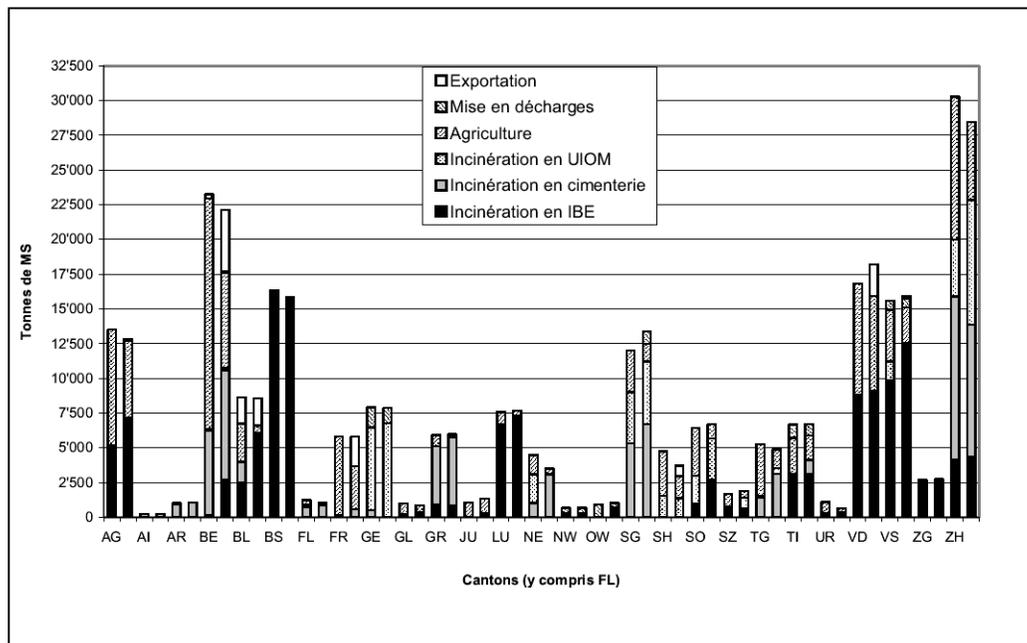


Figure 15: Production de boues d'épuration en 2000 et 2002 en Suisse (département de l'environnement des transports, de l'énergie et de la communication)

II.2.4.4 La destination des boues

En Suisse, les boues sont à plus de 80 % traitées dans des filières thermiques :

- Unité spécifique d'incinération pour 43 %
- Cimenterie pour des boues séchées à 90 % pour 21 %
- Co-incinération dans des usines d'incinération d'ordures ménagères pour 18 %.

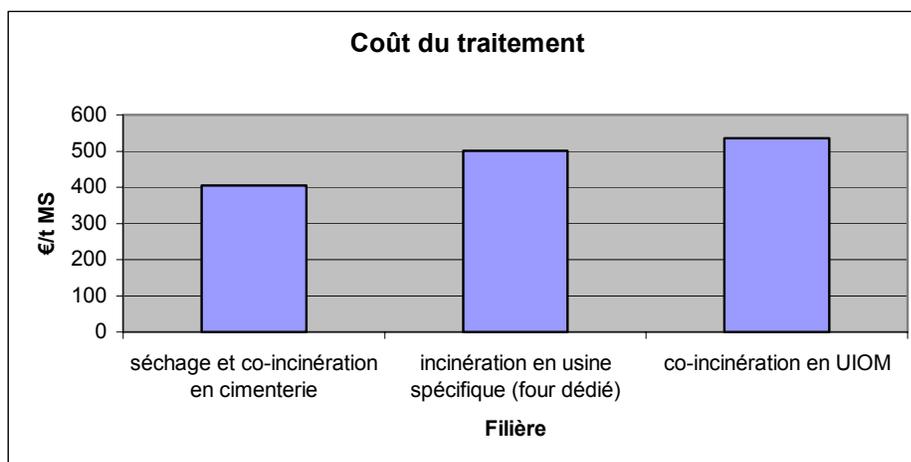
Les autres filières sont marginales :

- L'épandage en agriculture représentait 14 %, soit environ 26 500 t MS mais va encore diminuer
- La mise en décharge \cong 1 %
- L'exportation vers l'Allemagne principalement \cong 4 % (co-incinération dans des centrales de production d'énergie, mélange avec du charbon).

Ainsi, la grande majorité (80%) des boues urbaines produites en Suisse sont traitées par incinération ou co-incinération.

II.2.4.5 Coût du traitement

Les coûts sont donnés à la figure suivante.



Coût moyen des principales filières d'élimination des boues d'épuration (Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication)

Figure 16: Coût moyen des principales filières d'élimination des boues d'épuration en Suisse (Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication)

Cependant, ces coûts moyens varient dans une fourchette relativement large pour chaque filière d'élimination, ce qui est notamment dû aux facteurs suivants:

- contrats entre les exploitants des stations d'épuration et des installations de traitement ou d'élimination des boues,
- taux d'utilisation des installations et degré de prise en compte des coûts totaux,
- possibilités de synergies (utilisation conjointe de l'énergie, de l'infrastructure, d'exploitation, etc.),
- statut juridique de l'exploitant de l'installation de traitement ou d'élimination (droit public ou privé),
- prise en compte du degré de déshydratation des boues, qui se répercute sur les quantités,
- situation générale concernant les capacités de traitement disponibles et le marché (compétition entre les filières co-incinération en centrale d'énergie et cimenterie).

On observe que le séchage thermique est presque toujours mis en œuvre avant une co-incinération (près d'une vingtaine d'installations de séchage en service).

II.2.4.6 Le bon équilibre entre les filières d'élimination

Après une période de sous-capacité des installations de traitement thermique des boues, liée à l'interdiction d'épandage des boues en agriculture, la situation est aujourd'hui équilibrée et la Suisse peut ainsi traiter l'ensemble de son gisement par incinération ou co-incinération, avec ou sans séchage.

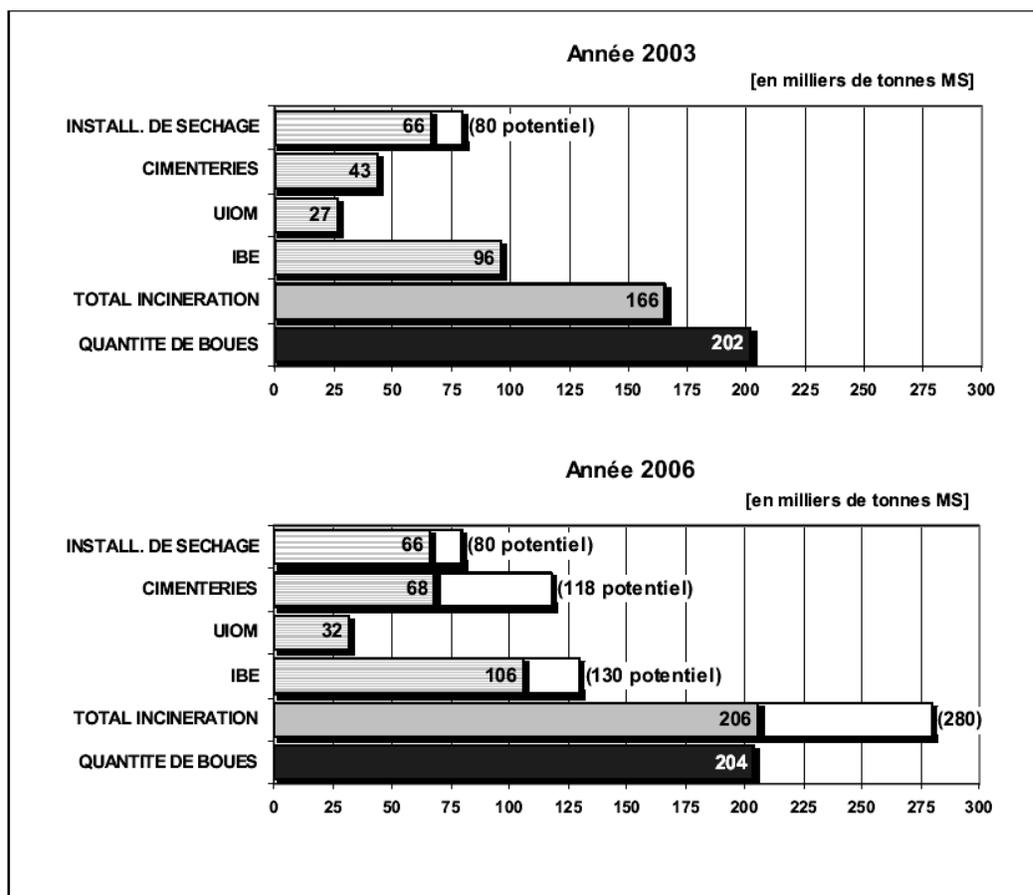


Figure 17: Adéquation entre capacité de traitement et production de boues d'épuration en Suisse en 2003 et 2006 (Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication)

La gestion des capacités d'élimination par voie thermique des boues d'épuration s'effectue notamment grâce à une plate-forme Internet cf. <http://www.ks-plattform.ch/>) où sont gérées les capacités disponibles des différents sites de traitement, par secteur géographique mais aussi par type de boue (liquide, pâteuse, solide).

II.2.4.7 La réglementation

Comme la valorisation des boues d'épuration dans l'agriculture – avec ses conséquences possibles, telles qu'atteintes aux sols, risques pour la santé ou dégradation de la qualité des aliments – était sérieusement remise en cause aux plans scientifique et socio-politique, le Conseil fédéral a finalement révisé l'ordonnance sur les substances (cf. Osubst; RS 814.03). Celle-ci stipule que les boues d'épuration ne peuvent être utilisées comme engrais sur des surfaces maraîchères et fourragères depuis le 1^{er} mai 2003. Mais un délai de transition jusqu'en 2006 est prévu pour les autres terrains fertilisables. Les cantons peuvent prolonger ce délai de deux ans au maximum. L'ordonnance sur les substances prévoit d'autres exceptions pour les résidus provenant de petites stations d'épuration (cf. annexe 4.5, ch. 323, Osubst). En promulguant cette réglementation, le Conseil fédéral applique le principe de précaution aux domaines de la protection de la santé et des sols.

Comme les boues d'épuration ne peuvent plus être recyclées sous forme d'engrais à partir de 2006, elles doivent être incinérées dans des installations appropriées ou traitées par un autre procédé thermique respectueux de l'environnement conformément à l'ordonnance sur le traitement des déchets (cf. art. 11 OTD; RS 814.600).

Selon l'art. 18 de l'ordonnance sur la protection des eaux (cf. OEaux; RS 814.201), les cantons doivent établir un plan d'élimination des boues d'épuration. Ce plan définit au moins :

- le mode d'élimination des boues pour chaque station centrale d'épuration;
- les mesures à prendre pour l'élimination envisagée, y compris la construction et la transformation des installations servant à l'élimination des boues, et le calendrier de ces mesures.

II.2.4.8 Conclusion pour la Suisse

Le droit fédéral a connu en 2003 un changement important en ce qui concerne l'évacuation des boues d'épuration : l'utilisation de boues comme engrais dans l'agriculture est abandonnée.

Cette modification du droit fédéral se fonde sur le principe de précaution : il s'agit de limiter suffisamment tôt les effets qui peuvent devenir nuisibles ou incommodants, même lorsque l'on ne dispose pas de la preuve scientifique irréfutable de leur nocivité.

L'abandon des boues comme engrais a été demandé essentiellement par les milieux agricoles, l'épandage comportant des risques perçus comme étant *insupportables*.

II.2.4.9 Références et publications (cas de la Suisse)

Les références sont:

- Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE; RS 814.01)
- Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux; RS 814.20)
- Ordonnance du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets (OTD; RS 814.600)
- Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux; RS 814.201)
- Ordonnance du 9 juin 1986 sur les substances dangereuses pour l'environnement (Osubst; RS 814.013)
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: Coûts de l'assainissement. Informations concernant la protection des eaux n° 42, Berne, 2003. 48 pages.
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: Statistique des déchets 2000. Avec données 2001 sur la planification des UIOM. Document environnement n° 152, Berne, 2002. 95 pages.
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: Bilan énergétique et de CO2 pour les boues d'épuration. De l'élimination à l'utilisation. Informations concernant la protection des eaux n° 31, Berne, 1999. 49 pages.
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: Elimination des déchets dans les cimenteries, directive avec liste positive, état mai 2003.
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage: Lignes directrices pour la gestion des déchets en Suisse. Cahier de l'environnement n° 51, Berne, 1986. 41 pages.
- ERNST BASLER+PARTNER: Einsatz von Trockenklärschlamm in der Schweizer Zementindustrie. Ökonomische und ökologische Grundlagen. Arbeitsgruppe Neue Brennstoffe in der Zementindustrie. Zürich, 1998. 60 Seiten und Anhang.
- TBF+PARTNER AG; Thermische Klärschlammentsorgung. Tagungsband zum TBFForum vom 8. November 2002. Zürich, 2002.

II.3. SITUATION EUROPEENNE

II.3.1. Sources des données

La production de boues urbaines d'épuration en Europe est répertoriée dans :

- ✓ Le Rapport "*Indicator Fact Sheet Signals 2001 – Chapter Waste – Sewage sludge – a future waste problem*"⁵ de l'EEA (European Environment Agency)
- ✓ et dans la base de données **New Cronos** d'**EUROSTAT**⁶ de la Commission Européenne dans la partie Environnement - tableau "*Table: ENV_WASQ2B = Generation of waste by selected waste streams (1000t)*"⁷.

II.3.2. Données de EEA

Les données du rapport "*Indicator Fact Sheet Signals 2001*" de l'Agence Européenne pour l'Environnement ont été publiées en 2001. Il fournit les données :

- ✓ réelles pour les années 1992, 1995 et 1998
- ✓ prévisionnelles pour les années 2000 et 2005

La figure suivante présente les chiffres⁸ en kg par habitant pour les 15 pays de l'Union Européenne (moins l'Italie⁹ et plus la Norvège).

⁵ Source: http://themes.eea.europa.eu/Environmental_issues/waste/indicators/sewage/w5_sludge.pdf

⁶ La mission d'EUROSTAT est de fournir à l'Union Européenne un service d'information de données statistiques de haute qualité à la fois pour les pays de l'Union et d'autres pays non-européens. La Commission Européenne est en charge

⁷ Source: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=0,1136239,0_45571447&_dad=portal&_schema=PORTAL

⁸ Source: http://themes.eea.europa.eu/Environmental_issues/waste/indicators/sewage/w5_sludge.pdf

⁹ Absence de données au niveau européen pour l'Italie

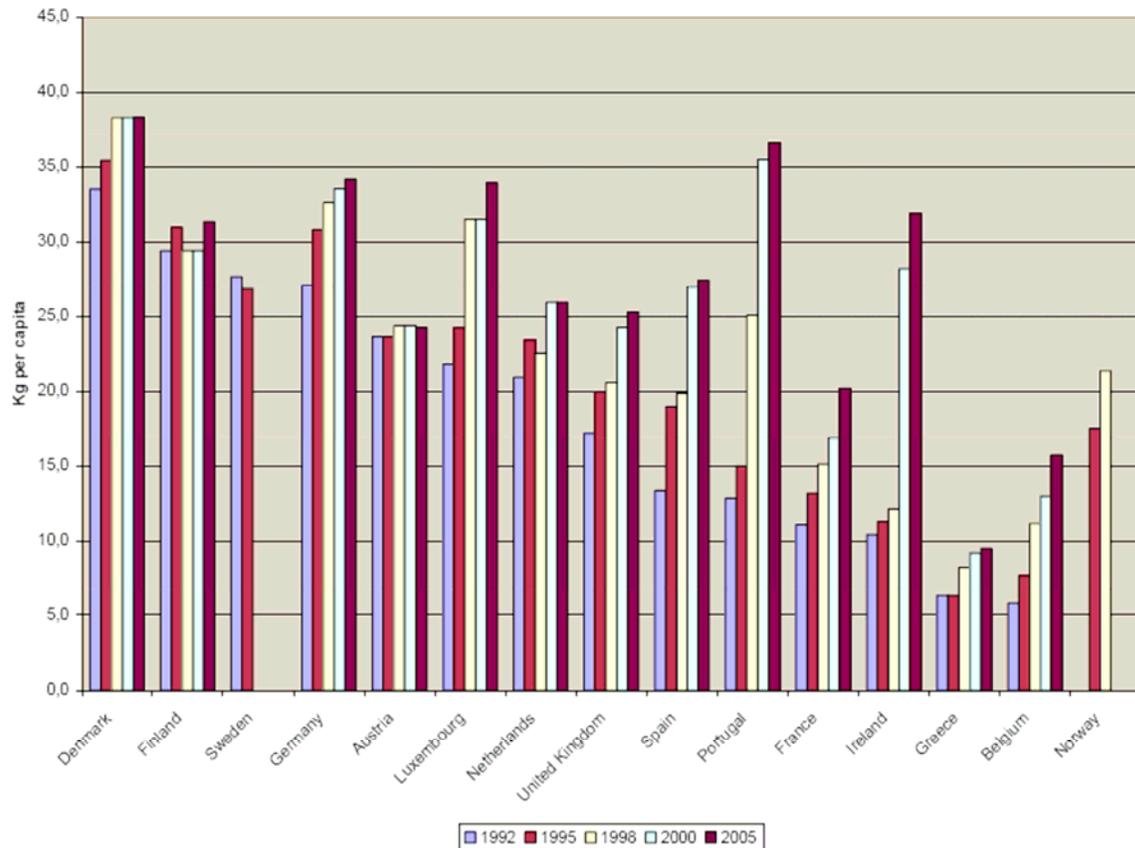


Figure 18 : Boues d'épuration en kg/habitant/an pour 1992-1998 et prévisions pour les années 2000 et 2005 pour les 15 pays de l'Union Européenne (Source : EEA)

Remarque les données sont fournies en habitant et non équivalent-habitant (à titre d'exemple la France comporte 60 millions d'habitants et 90 millions de EH). Ceci explique la non correspondance avec les chiffres pour l'enquête 2006 en France (et également en raison des années différentes)

Les données de la Figure 18 sont détaillées par type de traitement dans la Figure 19.

Les données de production de boues urbaines fluctuent entre 6 et 38 kg/hab/an en fonction des pays et des années.

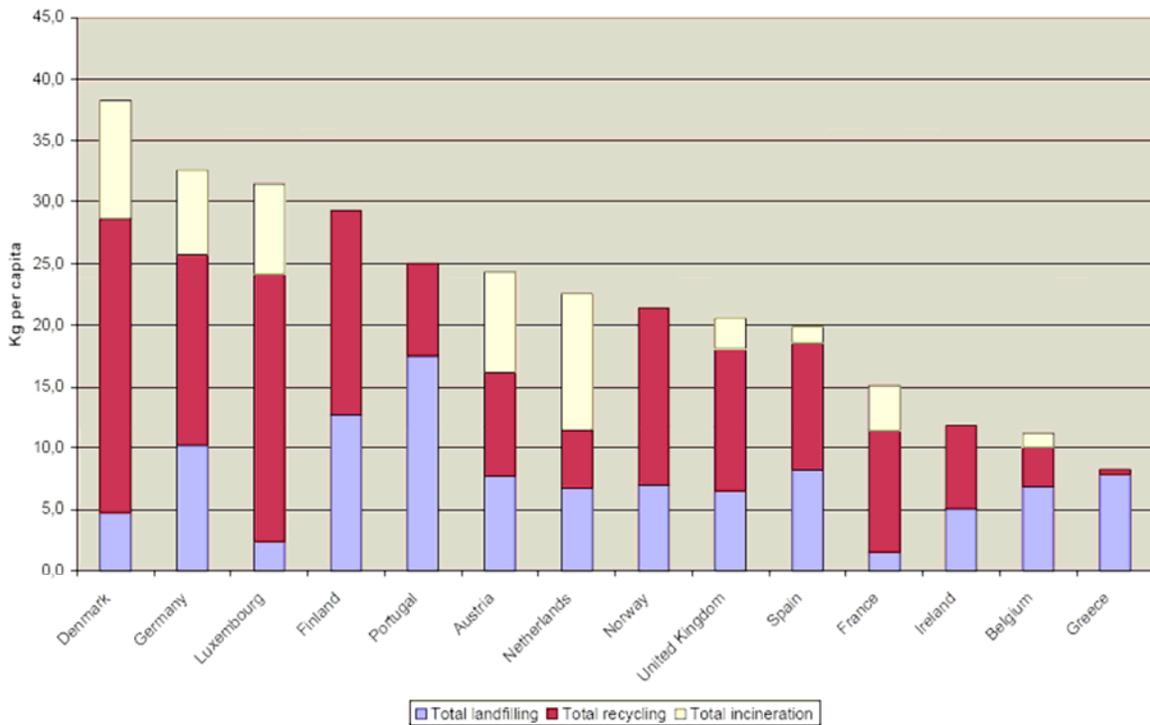


Figure 19 : Traitement des boues d'épuration par pays (exprimé en kg/habitants) (Source : EEA)

Source: http://themes.eea.europa.eu/Environmental_issues/waste/indicators/sewage/w5_sludge.pdf

II.3.3. Données de New Cronos - EUROSTAT

Dans la base de données EUROSTAT de la Commission Européenne les données suivantes sont présentées (Figure 20) . Ces données nous font un total de douze millions de tonnes de boues d'épuration (exprimé en matière sèche). La France est le sixième plus grand producteur de boues d'épuration. L'Allemagne produit le plus de boues d'épuration. Le Royaume Uni, la Belgique, l'Espagne et la Pologne produisent environ la même quantité de boues d'épuration. Les boues d'épuration qui sont directement recyclées en interne ne sont pas reprises dans les données.

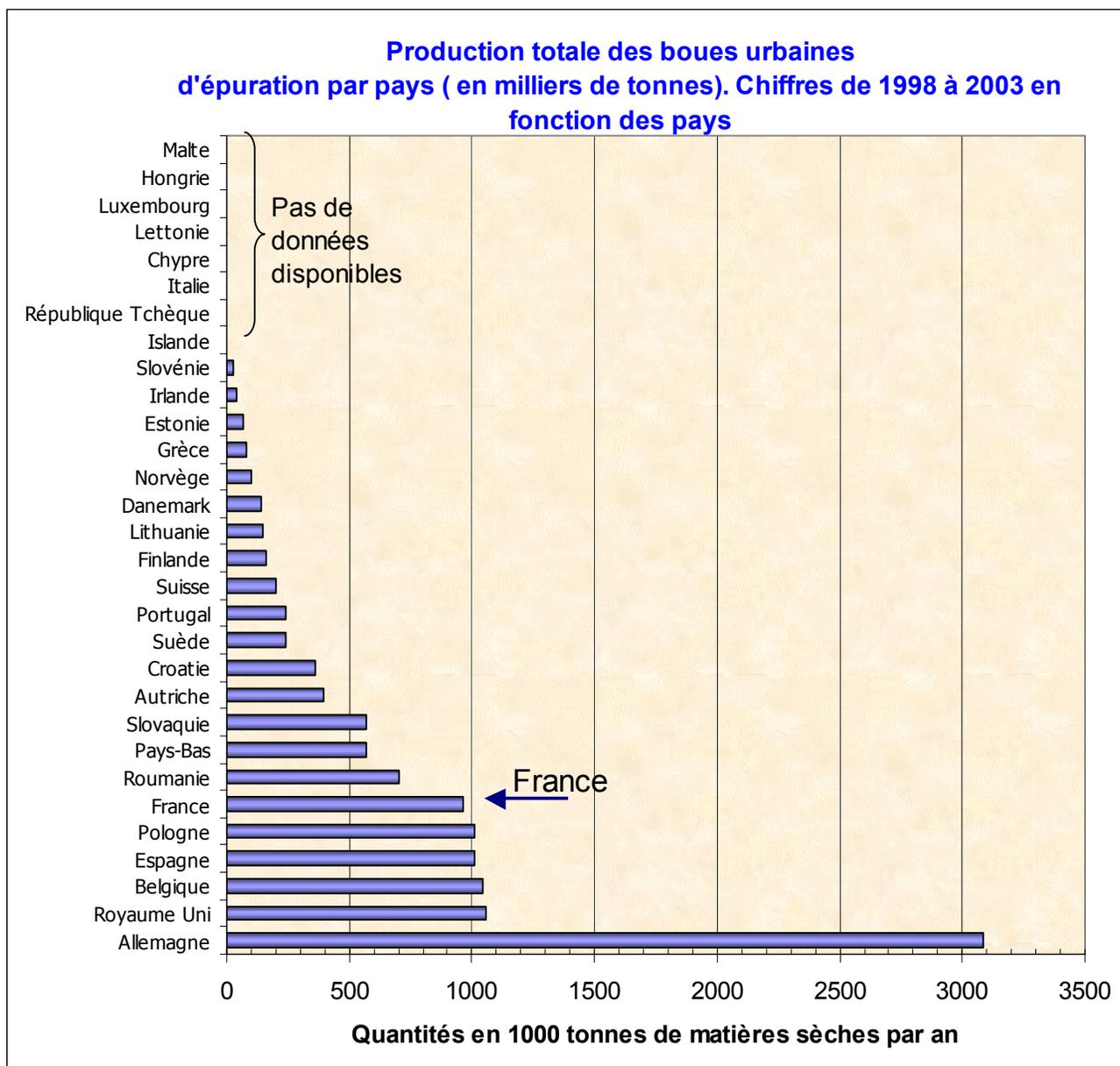


Figure 20: Production de boues d'épuration dans différents pays, dernières données disponibles (exprimé en 1000 tonnes de matières sèches)

Les années que recouvrent les données sont:

- Non disponibles : République Tchèque, Italie, Chypre, Lettonie, Luxembourg, Hongrie, Malte
- Données 2003 : Islande, Royaume Uni, Pologne, Lituanie, Espagne, Grèce, Estonie
- Données 2002 : Danemark, Pays-Bas, Slovénie, Finlande, Suède, Croatie, Roumanie, Norvège, Suisse
- Données 2001 : Allemagne, France
- Données 2000 : Portugal , Slovaquie
- Données 1999 : Autriche
- Données 1998 : Belgique, Irlande

Le taux de raccordement à l'assainissement collectif des différents pays est donné à la figure suivante.

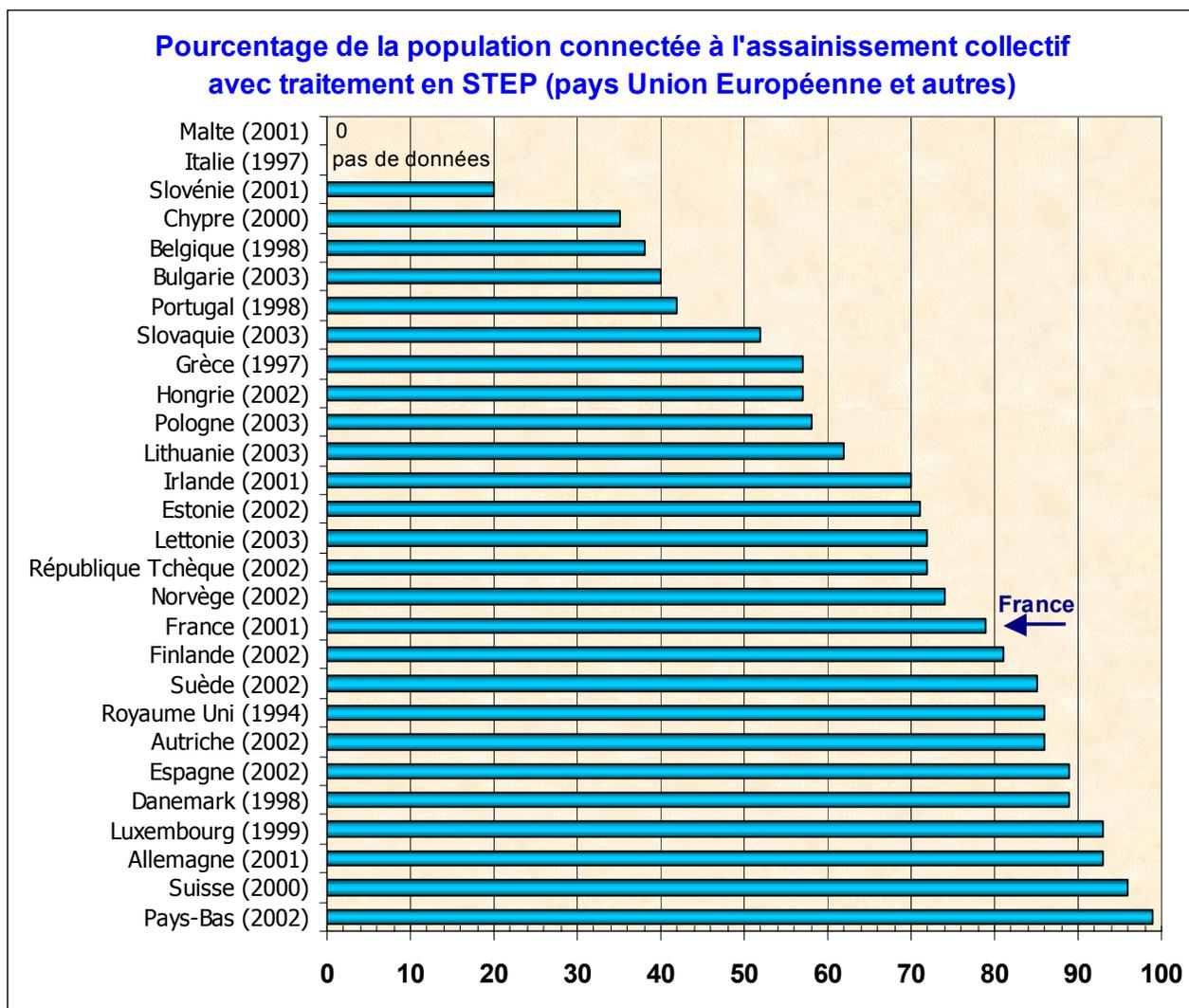


Figure 21: Production de boues d'épuration dans différents pays, dernières données disponibles (exprimé en 1000 tonnes de matières sèches)

La France se situe dans la bonne moyenne européenne pour une année de référence (2001) également proche de la moyenne.

On peut remarquer qu'environ 3 fois plus de boues sont produites en Allemagne par rapport à la situation en France: cela résulte du meilleur taux de raccordement, des plus faibles pertes réseau, des effluents de brasserie et des modes de traitement.

Remarque: Comme les années de référence sont différentes, la pertinence en terme de comparaison des données entre pays est réduite, étant donné la forte évolution en matière de taux de raccordement.

La base de données New Cronos d'Eurostat donne aussi la production des boues d'épuration en kg par habitant pour différents pays. Les données de la base de données sont relativement anciennes.

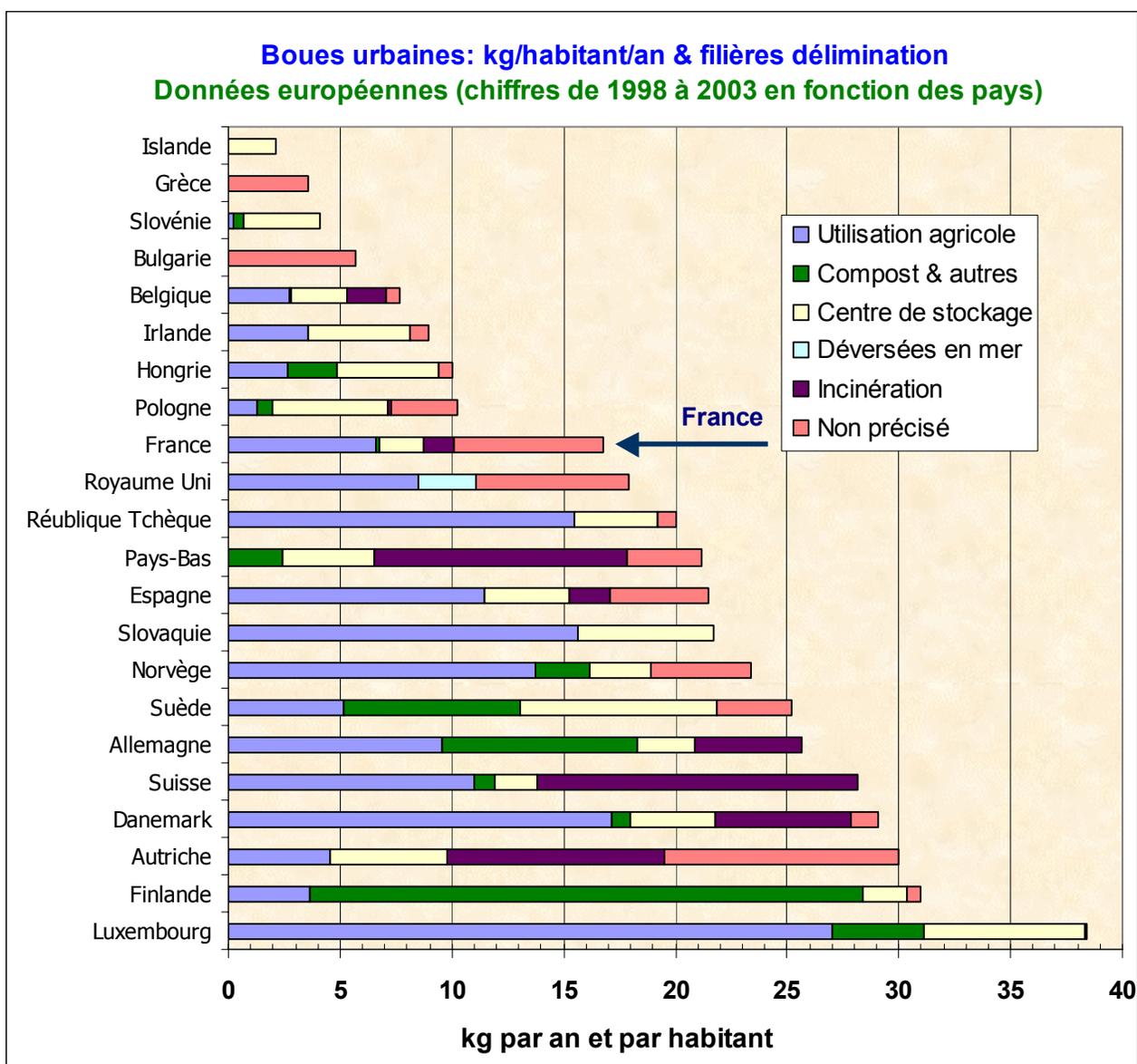


Figure 22 : Traitement des boues d'épuration (exprimé en kg/habitant.an) pour différents pays européens pour la dernière année disponible

Remarque: la Lituanie et l'Estonie ne sont pas données dans le tableau (valeurs élevées à très élevées respectivement de 70 et 231 kg/an/hab).

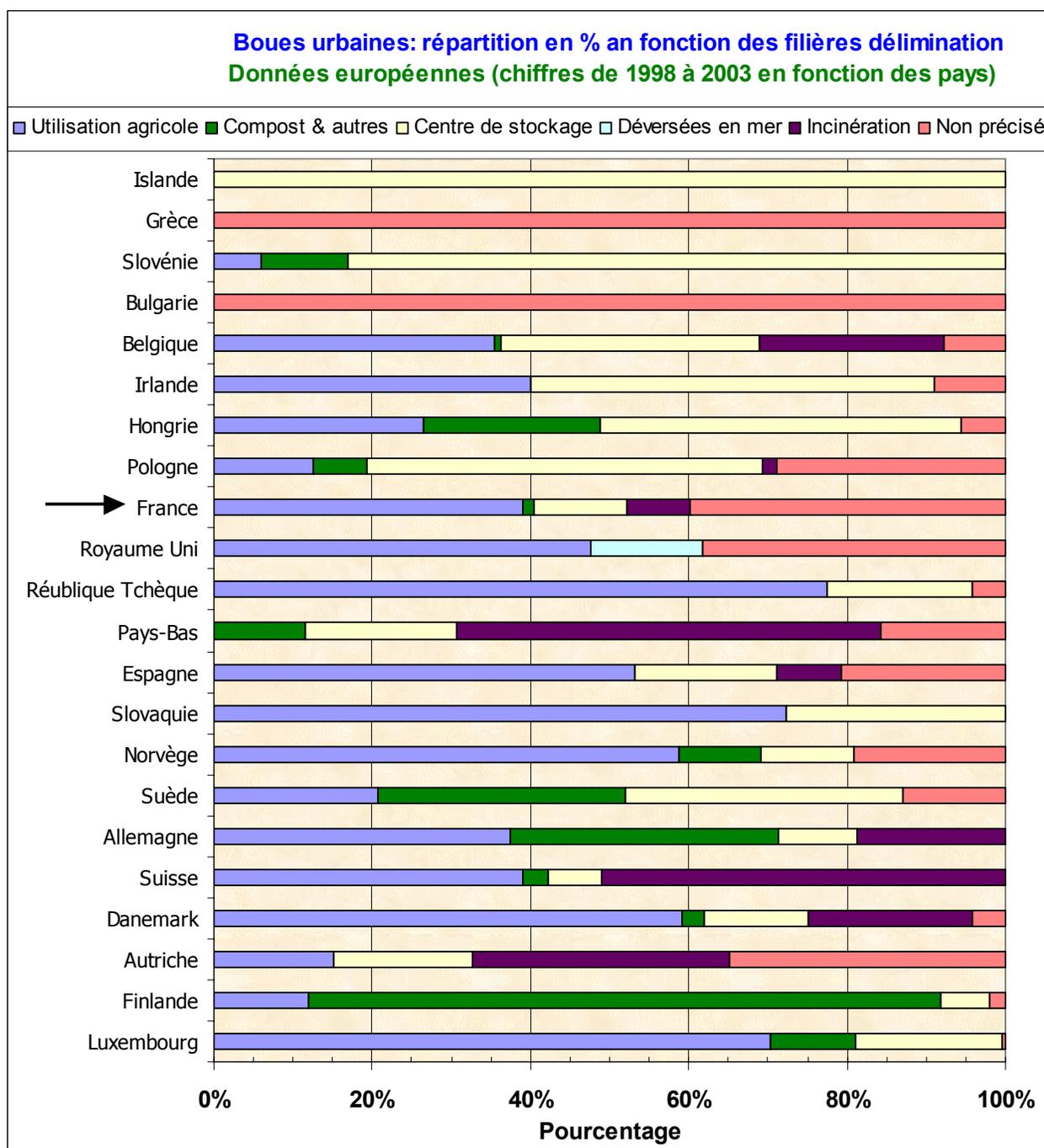


Figure 23 : Traitement des boues d'épuration pour différents pays européens en fonction de la filière d'élimination pour la dernière année disponible

Pays	Dernière année avec des données disponibles	Pays	Dernière année avec des données disponibles
Belgique	1998	Pays-Bas	2000
République Tchèque	2001	Autriche	2001
Danmark	1998	Pologne	2001
Allemagne	1998	Slovenie	2001
Estonie	2000	Slovaquie	1998
Grèce	1997	Finlande	2000
Espagne	2000	Suède	2000
France	1998	Royaume Uni	1998
Irlande	2000	Bulgarie	2001
Lithuanie	2001	Islande	2001
Luxembourg	1999	Norvège	1999
Hongrie	2000	Suisse	1998

Tableau 25 : Dernières données disponibles pour le traitement des boues d'épuration dans la base de données New Cronos (Base de données Eurostat)

Etant donné les différentes années pour les données de production de boues des différents pays européens et le caractère manquant de certaines données (statut "non précisé"), la comparaison entre les pays européens doit être prise avec des réserves.

III. CONTEXTE DES BOUES URBAINES - LÉGISLATION APPLICABLE

III.1. DEFINITIONS GENERALES

Source: Office International de l'Eau, Centre d'appuis et de ressource télématique des élus locaux avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et du MEDD.

Typologie des boues:

Les boues primaires

Les boues primaires sont les dépôts récupérés par simple décantation des eaux usées. Elles sont à la fois riches en matières minérales (microsables, terre, etc.) et contiennent des matières organiques susceptibles d'évolution. Elles présentent des concentrations élevées. Elles sont obtenues, par exemple, dans les décanteurs digesteurs.

Les boues physico-chimiques

On obtient les boues physico-chimiques, variante des boues primaires, par adjonction de réactifs (sels de fer, d'aluminium) pour agglomérer les fines particules dans les eaux usées.

Les boues biologiques

Les boues biologiques (encore appelées boues secondaires) sont les boues issues du traitement biologique que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée (lits bactériens, disques biologiques, etc.). Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Très organiques, elles présentent, à la sortie du système d'épuration des eaux, des concentrations médiocres (autour de 10 g/l, soit une siccité de 1%).

Parallèlement, on distingue :

- les boues mixtes, mélange de boues secondaires et de boues primaires, qui sont issues de la quasi totalité des filières de traitement complètes. Sur les stations importantes (quelques dizaines de milliers d'équivalents habitants au moins), on peut envisager des traitements séparés des deux types de boues ;
- les boues d'aération prolongée, variante des boues mixtes. Dans ce procédé, comme d'ailleurs en lagunage naturel et aéré, le traitement n'inclut pas d'étage de décantation primaire. L'ensemble des matières polluantes est donc soumis à l'aération. De ce fait, les boues obtenues sont peu concentrées, moins organiques et moins susceptibles de produire des nuisances.

Caractéristiques d'une boue

La siccité d'une boue:

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches (MS). Le pourcentage d'eau représente l'humidité ; le pourcentage de matières sèches la siccité.

Ainsi une boue à 10 % de siccité présente une humidité de 90 %.

Le taux de Matières Volatiles Sèches:

Les matières sèches (MS) sont composées de matières minérales (MM) et de matières organiques appelées matières volatiles sèches (MVS). La concentration des MVS est généralement exprimée en pourcentage par rapport aux MS : on parle de taux de MVS. Le contrôle de ce paramètre permet de suivre la stabilité de la boue.

Consistance de la boue:

La consistance de la boue est un critère essentiel pour le stockage, l'homogénéisation, la manutention, l'enfouissement, etc. La consistance de la boue est liée à son état physique.

Quatre états physiques sont généralement définis en tenant compte de la siccité :

En fonction de la siccité:

- boue liquide pour une siccité de 0 à 10 % ;
- boue pâteuse pour une siccité de 12 à 25 % ;

- boue solide pour une siccité supérieure à 25 % ;
- boue sèche pour une siccité supérieure à 85 % ;

Au sens de l'arrêté du 8 janvier 1998, l'article 12 indique que l'on entend par « boues solides » des boues déshydratées, qui entreposées sur une hauteur de 1 mètre, forment une pente au moins égale à 30°. Si l'angle est inférieur à 30°, elles sont considérées comme des boues pâteuses.

III.2. CONTEXTE LEGISLATIF GENERAL

Sources: Fiche technique de l'ADEME assainissement ; les boues municipales et leur utilisation en agriculture ; l'assainissement : organisation et responsabilités.

Les lignes directrices de la politique d'assainissement française découlent de la directive européenne du 21 mai 1991 sur le traitement des eaux urbaines résiduaires. Cette directive a été transposée en droit français par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992.

III.2.1. Les principaux textes en vigueur

Directive européenne du 21 mai 1991 (texte-cadre européen)

Les eaux usées des agglomérations de plus de 15 000 équivalent-habitants (E.H.) doivent être collectées et traitées avant le 31 décembre 2000 au plus tard. Pour les agglomérations de taille comprise entre 2 000 et 15 000 EH, l'obligation de collecte et de traitement s'échelonne jusqu'à 2005 selon la taille des agglomérations et la sensibilité des milieux aquatiques récepteurs.

Loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (texte-cadre français)

Elle fixe le cadre global de la gestion de l'eau en France sous tous ses aspects : ressources, police de l'eau, tarification, gestion du service, etc.

Décret du 3 juin 1994 (N° 94-469) (application loi sur l'eau)

Ce texte très important, issu de la loi sur l'eau, définit notamment la programmation de l'assainissement au niveau des agglomérations et son calendrier de mise en œuvre. Il introduit aussi la notion de "zones sensibles", celle de programme d'assainissement, etc.

Les arrêtés du 22 décembre 1994 (assainissement collectif)

Ils fixent les prescriptions techniques des réseaux de collecte et des usines de traitement des eaux usées, ainsi que les modalités de surveillance et de contrôle.

Les arrêtés du 6 mai 1996 (assainissement autonome)

Ils réglementent l'assainissement autonome, établissent les prescriptions techniques, ainsi que les modalités de contrôle par les communes.

Arrêté du 21 juin 1996 (petites communes)

Il fixe les prescriptions techniques minimales pour les petites stations d'épuration.

Le régime juridique des boues est déterminé par le **décret 97-1133 du 8 décembre 1997** relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

III.2.1.1 Obligations des communes

Les obligations des communes sont de choisir un système d'assainissement, le réaliser, l'exploiter et le contrôler.

Choisir le système d'assainissement applicable par zones géographiques.

Les communes doivent délimiter, après enquête publique, les zones relevant de l'assainissement collectif ou de l'assainissement non collectif.

Réaliser et exploiter des ouvrages d'assainissement collectif

Un programme d'assainissement est rédigé pour diagnostiquer la situation existante (taux de collecte et rendement épuratoire), puis fixer des objectifs et moyens à mettre en place. Ces obligations doivent être

prises en charge par la commune dans un délai qui s'échelonne de 1998 à 2005 en fonction de la taille de l'agglomération, du lieu de rejet (en eau douce ou en mer) et du caractère sensible ou non du lieu de rejet.

L'assainissement collectif se décompose en système de collecte des eaux usées (réseau d'égouts) et système de traitement (station d'épuration). Un programme d'auto-surveillance du système d'assainissement doit être établi (rédaction d'un manuel). Les résultats sont transmis au service en charge de la police de l'eau et à l'agence de l'eau : transmission mensuelle et rapport annuel de synthèse.

Le contrôle de l'assainissement non collectif (ou autonome)

Les communes doivent mettre en place, au plus tard le 31 décembre 2005, des services chargés de contrôler la réalisation et le bon entretien des systèmes individuels dont les particuliers sont responsables. Elles peuvent proposer un service d'entretien.

Les modes de gestion de l'assainissement

Le maire et son conseil municipal choisissent le mode de gestion du service d'assainissement (collecte et traitement). Il en existe deux principaux :

- la régie : la commune gère et exploite directement avec son propre personnel,
- la délégation : une société est mandatée par la commune (différents contrats sont possibles : concession, affermage,...).

Il existe aussi des modes mixtes de gestion. Près de 4 500 stations d'épuration sur 12 000 et près de la moitié des réseaux d'assainissement sont en gestion déléguée.

III.2.1.2 Obligations des particuliers

Les obligations des particuliers sont de :

- se raccorder à un système collectif ou mettre en place et entretenir un système autonome d'assainissement,
- ne pas jeter de substances contaminantes, dangereuses ou toxiques dans le système d'assainissement,
- payer les redevances pour les services rendus.

Réseau collectif d'assainissement : raccordement obligatoire

Les propriétaires ont l'obligation de se raccorder à leurs frais au réseau collectif s'il passe à proximité de chez eux. Ils doivent payer la redevance qui permet de financer les coûts d'investissement et d'exploitation du réseau et de la station d'épuration.

Il leur est interdit d'introduire des matières solides, liquides ou gazeuses susceptibles d'être la cause d'un danger ou d'une dégradation des ouvrages de collecte ou de traitement des eaux usées. Plus globalement, les particuliers doivent être invités à faire les "bons gestes" pour préserver l'environnement. Toute substance contaminante rejetée dans les eaux usées peut se retrouver dans les boues d'épuration et nuire finalement à la qualité environnementale des opérations de recyclage agricole.

Absence de réseau collectif : assainissement autonome obligatoire

Les propriétaires sont tenus de réaliser et d'entretenir un système d'assainissement non collectif, de payer la redevance qui permet d'en financer le contrôle et éventuellement l'entretien. Le rejet de substances contaminantes peut également gêner le bon fonctionnement de la fosse septique et contaminer les matières de vidange. Ces dernières ne peuvent plus alors être épandues en agriculture.

III.2.1.3 Rôle de l'Etat

Le rôle de l'état est de :

- fixer les objectifs par agglomération,
- contrôler les projets communaux et le travail des gestionnaires.

Délimitation des "agglomérations"

La notion d'agglomération, au sens de la loi sur l'eau de 1992, ne tient pas compte nécessairement des limites des communes. C'est une unité cohérente de production, de collecte et de traitement de la pollution, délimitée par arrêté préfectoral.

Objectif de réduction des flux de substances polluantes

Les arrêtés préfectoraux définissent, après enquête publique, les objectifs à atteindre pour chaque agglomération produisant une charge polluante supérieure à 120 kg DBO5/J (soit environ 2 000 E.H.). Les autorisations préfectorales au titre de la loi sur l'eau sont accordées en fonction de la pertinence et de la qualité des projets communaux, pour les stations d'épuration les plus importantes.

Police de l'eau

Les résultats de l'autosurveillance des systèmes d'assainissement sont contrôlés par les préfetures. Les services préfectoraux peuvent réaliser des contrôles inopinés sur les sites d'ouvrages d'assainissement pour vérifier le respect des prescriptions et des obligations de performance figurant dans les arrêtés d'autorisation.

III.2.1.4 Les agences de l'eau

Aides financières et améliorations techniques

Les agences de l'eau apportent des aides financières pour la réalisation des ouvrages d'assainissement et pour leur exploitation. Elles financent aussi des programmes d'étude et d'expérimentation, éditent des ouvrages techniques pour l'amélioration des connaissances dans le domaine de l'assainissement.

III.2.1.5 Les départements

Aides financières et assistance technique

Les départements apportent des aides financières en particulier aux communes rurales. Ils assurent la répartition des aides du Fonds National d'Adduction d'Eau (FNDAE) en matière d'assainissement. La plupart d'entre eux disposent de Services d'Assistance Technique à l'Exploitation des Stations d'Épuration (SATESE) qui aident les collectivités à gérer leur système d'assainissement.

III.2.2. Législation spécifique à la fin de vie des boues d'épuration

III.2.2.1 L'utilisation agricole

En Europe

Au niveau européen, les Directives relatives à l'utilisation des boues dans l'agriculture sont décrites dans le document **86/278/EEC** et dans la Directive **91/271/CEE** relative au traitement des eaux résiduaires.

La directive met des critères de qualité minimales pour les boues utilisées dans l'agriculture et définit les reuses de monitoring quand les boues sont épandues sur les champs. Les valeurs seuils définies dans la directive concernent surtout la concentration de métaux lourds dans les boues et la charge maximale de métaux lourds sur le champ à travers l'épandage des boues d'épuration (les seuils pour les métaux lourds sont définis dans les annexes Ia, Ib et Ic de la directive).

L'article 3 de la directive stipule que les pays membres peuvent mettre des limites sur l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture s'il s'avère nécessaire pour la protection de la santé humaine ou de l'environnement. Pour l'utilisation des boues d'épuration les stations d'épuration doivent livrer les données reprises dans l'annexe 2 de la législation :

- une analyse complète des boues d'épuration doit être effectuée tout les 6 mois, si l'eau rentrant dans la station d'épuration change de contenance il faut faire des analyses plus fréquentes. Si sur une période de 12 mois les analyses des boues sont stables il ne faut faire qu'une analyse tout les 12 mois.
- les analyses doivent couvrir les paramètres suivants
 - Matière sèche, matière organique
 - pH

- azote et phosphore
- métaux lourds : Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr

L'article 7 de la directive stipule les limites suivantes pour l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture. Les pays membres interdiront l'usage de boues d'épuration :

- sur des herbages ou des cultures fourragères, s'il est procédé au pâturage ou à la récolte de cultures fourragères sur ces terres avant l'expiration d'un certain délai. Ce délai, qui est fixé par les États membres en tenant compte notamment de leur situation géographique et climatique, ne peut en aucun cas être inférieur à trois semaines ;
- sur des cultures maraîchères et fruitières pendant la période de végétation, à l'exception des cultures d'arbres fruitiers ;
- sur des sols destinés à des cultures maraîchères ou fruitières qui sont normalement en contact direct avec les sols et qui sont normalement consommées à l'état cru, pendant une période de dix mois qui précède la récolte et pendant la récolte elle-même.

L'utilisation des boues est soumise aux règles suivantes (article 8) :

- l'utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes et ne peut compromettre la qualité des sols et des eaux superficielles et souterraines,
- si des boues sont utilisées sur des sols dont le pH est inférieur à 6, les États membres tiennent compte de l'accroissement de la mobilité des métaux lourds et de leur absorption par les plantes et diminuent, le cas échéant, les valeurs limites qu'ils ont fixées conformément à l'annexe I A.

Les États membres peuvent, si les conditions l'exigent, adopter des mesures plus sévères que celles prévues dans la présente directive. Toute décision de cet ordre sera immédiatement communiquée à la Commission, conformément aux accords existants (Article 12).

En France

En 1997-98, l'encadrement juridique et réglementaire de l'épandage agricole des boues d'épuration a été redéfini. Il a pour but de protéger les acteurs socio-économiques de la filière d'épandage et d'éviter les abus ou dérives. Il définit pour cela des seuils et des valeurs maximales, des conditions d'accès à l'activité et des règles de mise en œuvre :

- **Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997** relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
- **Arrêté du 8 janvier 1998** fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

La loi impose désormais une procédure stricte :

- la réalisation d'une étude préalable, accompagnée d'analyses des boues à épandre et des sols devant les recevoir,
- une programmation des opérations comprenant un programme prévisionnel, une information préalable, des analyses de boues et de sols, un contrôle de terrain par un responsable désigné et la tenue d'un registre des épandages, enfin un bilan agronomique dûment enregistré chaque année.
- De plus, la réglementation définit les normes de qualité pour qu'une boue soit déclarée apte à l'épandage. En particulier, elle fixe des valeurs limites pour les teneurs en éléments-traces et composés-traces organiques.

Désormais, les procédures à respecter sont définies par une législation spécifique dont la rigueur s'est encore renforcée depuis 1997. Aujourd'hui l'épandage ne peut être pratiqué qu'après avoir mis en place une planification globale, des outils d'analyse et de prévision, des moyens de contrôle du respect des bonnes pratiques et des résultats agronomiques.

Dans le cadre de la rédaction du programme prévisionnel d'épandage (ou "plan d'épandage") imposé par la réglementation, les quantités de boues à épandre sont calculées en tenant compte des besoins agronomiques énoncés par l'agriculteur en fonction de sa culture, du type de sol, de l'état agronomique de sa parcelle (sol, précédent cultural, etc.), et de la teneur de la boue en éléments fertilisants (d'après l'analyse

qui lui est fournie par le producteur). Il doit aussi respecter des délais entre plusieurs épandages successifs sur la même parcelle, des interdictions en fonction de la saison, des conditions météorologiques, des cultures pratiquées, etc.

Trois logiques guident le législateur :

- ✓ **la logique agricole** : les agriculteurs sont libres de prendre des boues. S'ils en prennent, celles-ci doivent présenter un intérêt agronomique (condition préalable) et être utilisées dans le respect des règles de l'art en matière de fertilisation (conditions de mise en œuvre : traitements préalables, dates, doses,...). Cette même logique peut conduire l'agriculteur à refuser l'épandage en raison de ses contraintes de production (cahier des charges à respecter, itinéraires culturaux, inadéquation agronomique de la boue aux caractéristiques pédo-culturelles, ...),
- ✓ **la logique de santé publique** : assurer la maîtrise des risques sanitaires en limitant la dissémination de contaminants par les opérations de transport et d'épandage,
- ✓ **la logique environnementale** par souci de protéger les milieux physiques (air, eau, sol) et les écosystèmes.

Contexte législatif et réglementaire de l'épandage en France

La loi sur l'eau de 1992 a pour objectif de protéger la qualité de la ressource en eau, en tant que milieu et écosystèmes associés ainsi qu'en terme d'usages possibles (eau potable, ...).

L'épandage en général, et celui des boues d'épuration en particulier, faisant partie des activités répertoriées comme susceptibles de dégrader la qualité des eaux, sont bien entendu concernés par cette loi.

Mais la loi sur l'eau s'applique aussi en amont de l'épandage car elle détermine les contraintes de l'assainissement.

La loi sur les installations classées pour la protection de l'environnement ne s'applique qu'aux boues industrielles issues d'installations classées. Sauf en cas de raccordement industriel dominant, cette loi ne concerne pas les stations d'épuration municipales qui ne sont pas des installations classées.

Le statut juridique des boues d'épuration

Le statut des boues d'épuration municipales est défini principalement par le décret 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées:

Les boues d'épuration ont le caractère de déchets, ainsi que l'énonce sans ambiguïté le décret de 1997 sur l'épandage des boues (article 2) et au sens de la loi du 15 juillet 1975 sur les déchets

Elles n'en sont pas moins des matières fertilisantes au sens de la loi de 1979 : cette définition ne confère pas cependant un "statut" de matières fertilisantes, au sens commercial du terme.

Décret 97-1133 du 8 décembre 1997

Chapitre 1er

Dispositions générales

Art. 1er – Le présent décret a pour objet de définir les conditions dans lesquelles sont épandus sur les sols agricoles, forestiers ou en voie de reconstitution ou de revégétalisation les sédiments résiduels des installations de traitement ou de prétraitement biologique, physique ou physicochimique des eaux usées, ci-après dénommés "boues".

Art. 2 – Ces boues ont le caractère de déchets au sens de la loi du 15 juillet 1975 susvisée.

Leur épandage est au nombre des activités entrant dans le champ d'application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, dont l'autorisation ou la déclaration fait l'objet du chapitre IV ci-après.

Ne sont pas soumis aux dispositions du présent décret :

- ✓ les produits composés en tout ou en partie de boues qui, au titre de la loi du 13 juillet 1979 susvisée, bénéficient d'une homologation ou, à défaut, d'une autorisation

- provisoire de vente ou d'importation, ou sont conformes à une norme rendue d'application obligatoire ;
- ✓ les boues dont l'épandage fait l'objet de réglementations spécifiques au titre de la loi du 19 juillet 1976 susvisée.

Chapitre 2

Conditions générales d'épandage des boues

Art. 6 – La nature, les caractéristiques et les quantités de boues épandues ainsi que leur utilisation doivent être telles que leur usage et leur manipulation ne portent pas atteinte, directe ou indirecte, à la santé de l'homme et des animaux, à l'état phytosanitaire des cultures, à la qualité des sols et des milieux aquatiques. L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures et des plantations.

Il est interdit de pratiquer des épandages à titre de simple décharge.

Loi n° 79-595 du 13 juillet 1979

"matières fertilisantes" (modifiée en 1999 et intégré dans le code rural Articles L. 255-1 à L. 255-11)

Art. L.255-1 – Le présent chapitre est applicable aux matières fertilisantes et aux supports de culture.

Au sens du présent chapitre :

- ✓ les matières fertilisantes comprennent les engrais, les amendements et, d'une manière générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols,
- ✓ les supports de culture sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux.

Art. L.255-2 – Il est interdit d'importer, de détenir en vue de la vente, de mettre en vente, de vendre, d'utiliser ou de distribuer à titre gratuit, sous quelque dénomination que ce soit, des matières fertilisantes et des supports lorsqu'ils n'ont pas fait l'objet d'une homologation ou, à défaut, d'une autorisation provisoire de vente, d'une autorisation de distribution pour expérimentation ou d'une autorisation d'importation.

Toutefois, sous réserve de l'innocuité des matières fertilisantes ou supports de culture à l'égard de l'homme, des animaux, ou de leur environnement, dans des conditions d'emploi prescrites ou normales, les dispositions du premier alinéa du présent article ne sont pas applicables :

1. Aux produits dont la normalisation, au sens de l'acte dit Loi du 24 mai 1941, a été rendue obligatoire ;
2. Aux produits mis sur le marché dans les conditions prévues par les dispositions réglementaires prises en application de directives des communautés européennes, lorsque ces dispositions ne prévoient ni homologation ni autorisation préalable à la mise en vente ;
3. Aux rejets, dépôts, déchets ou résidus dont l'évacuation, le déversement ou l'épandage sur des terrains agricoles est réglementé, cas par cas, en application de la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution ou de la loi n°76-650 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, eu égard à la conservation de la fertilité des sols ;
4. Aux produits organiques bruts et aux supports de culture d'origine naturelle non visée à l'alinéa 3 ci-dessus, livrés en l'état ou mélangés entre eux, lorsqu'ils sont obtenus à partir de matières naturelles sans traitement chimique, qu'ils constituent des sous-produits d'une exploitation agricole ou d'un établissement non agricole d'élevage ou d'entretien des animaux et sont cédés directement, à titre gratuit ou onéreux, par l'exploitant.

Organisation et bonnes pratiques

L'exploitation agricole n'est pas répertoriée comme installation agréée pour le traitement des boues. Elle joue simplement le rôle d'une entreprise qui valorise des déchets et participe à leur recyclage.

Elle reste soumise à ses cadres juridiques habituels : code rural et droit du fermage, contrats de production, contraintes environnementales (installations classées, directive nitrates,...).

Bonnes pratiques

Pour que tout se passe bien, la pratique de l'épandage doit donc être organisée longtemps à l'avance, généralement en deux temps :

- une phase de conception du dispositif d'épandage

Elle consiste en fait à réaliser l'étude préalable imposée par la nouvelle réglementation. C'est un moment privilégié d'échange avec les agriculteurs, essentiel pour la réussite et la pérennité du dispositif. En particulier, l'étude approfondie des analyses, aussi bien des boues que du sol, doit permettre un engagement réciproque du producteur de boues et de chaque agriculteur sur des bases saines, en toute sérénité quant à l'innocuité de la pratique qui est entreprise. Toutes les grandes lignes de l'organisation des épandages sont définies

Le décret du 8 décembre 1997, complété par l'arrêté du 8 janvier 1998, définit toutes les obligations qui s'imposent au producteur de boues (en général la municipalité ou une entreprise mandataire), en sa qualité de "propriétaire" du déchet :

- ✓ Bien stocker les boues d'épuration
- ✓ Les boues doivent être entreposées dans des dispositifs aménagés, prévenant la production de lixiviats (ou "jus"), et d'une capacité suffisante, définie par l'étude préalable, compte tenu des contraintes du calendrier agricole. Le stockage temporaire à même le sol, sur les parcelles agricoles, est limité à 48 heures, sauf si les boues sont solides et stabilisées et que toute précaution est prise pour éviter les ruissellements ou percolations de jus.
- ✓ Bien organiser les épandages : l'étude préalable
- ✓ Le producteur de boues doit soumettre à l'accord de l'Administration préfectorale (DDAF ou DDASS) un schéma d'organisation des épandages appelé "étude préalable".

Pour les stations de grande taille, en général supérieure à 50 000 équivalent-habitants (quantité de boues supérieures à 800 t/MS/an), une "autorisation" est nécessaire : elle requiert alors le déroulement d'une enquête publique dans toutes les communes concernées par les épandages. Cette enquête permet une large information des mairies et des riverains.

De plus, le producteur de boues doit obligatoirement demander l'avis du Conseil Départemental d'Hygiène (CDH).

Pour les stations de plus petite taille, une "déclaration" suffit, l'administration vérifiant si le dossier est complet et conforme avant de délivrer un récépissé. Une copie du récépissé est adressée aux maires des communes concernées.

L'avis du CDH n'est pas obligatoire, sauf règles départementales particulières.

- une phase d'exploitation

Elle est elle-même organisée en plusieurs étapes :

- 1 - la programmation des opérations qui définit exactement les parcelles concernées et les périodes d'épandage, les analyses à réaliser, les personnes responsables, en particulier le directeur général des opérations ;
- 2 - les opérations d'épandage proprement dites avec vérification sur le terrain de la bonne marche des opérations, la délivrance à l'agriculteur de toutes les informations sur les quantités épandues et la tenue du registre des épandages ;
- 3 - le bilan annuel dressé par le producteur de boues en fin de période d'épandage pour information des agriculteurs, de l'administration et des tiers intéressés.

Un organisme indépendant du producteur de boues peut être mis en place par le Préfet, en accord avec la Chambre d'Agriculture, pour valider les données de l'autosurveillance des épandages et

assurer ainsi un "suivi agronomique".

Cette disposition est assez récente (arrêté du 8 janvier 1998) : elle est progressivement appliquée en France.

En fin de campagne annuelle, un compte-rendu sur le déroulement des opérations doit être remis à l'administration :

C'est le bilan agronomique qui comprend la synthèse des informations figurant dans le registre d'épandage, le bilan de fumure et le bilan qualitatif et quantitatif des boues épandues.

Si nécessaire, des données sur la mise à jour des informations de l'étude préalable sont jointes à ce bilan.

Ce bilan doit être adressé à l'administration, au plus tard, en même temps que le programme annuel d'épandage de l'année suivante.

Contraintes réglementaires pour l'aptitude des boues à l'épandage

Le législateur a retenu un certain nombre d'éléments-traces (ET) et de composés-traces organiques (CTO) comme indicateurs de la qualité réglementaire des boues d'épuration et en a fixé les valeurs limites.

	Boues Teneur limite	Apports au sol maximum totaux cumulés sur 10 ans (g/ha)	Teneur limite du sol	
	en g/t MS	Terres labourables et pH >6	Prairies ou sols pH<6	en g/t terre (MS)
Cadmium	20 ^a	300 ^d	150	2
Chrome	1 000	15 000	12 000	150
Cuivre	1 000	15 000	12 000	100
Mercure	10	150	120	1
Nickel	200	3 000	3 000	50
Plomb	800	15 000	9 000	100
Zinc	3 000	45 000	3 000	300
Sélénium	-	-	1 200	-
PCB	0,8	12	12	-
Fluoranthène	5 ^b	75	60	-
Benzo(a)pyrène	2 ^c	30	20	-
Benzo(b) fluoranthène	2,5	40	40	-

a teneur abaissée à 15 au 1er janvier 2001 et à 10 au 1er janvier 2004

b 4 si prairies

c 1,5 si prairies

d 150 au 1er janvier 2001

Tableau 26 : Réglementation pour l'aptitude des boues à l'épandage en France (éléments métalliques et composés-traces organiques)

Si l'un de ces indicateurs (métaux et CTO) dépasse la valeur fixée, l'épandage des boues est interdit (pas de dérogation possible).

Remarque: il est néanmoins possible d'introduire une demande de dérogation pour l'épandage sur des sols à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques (il existe un guide technique à caractère opérationnel décrivant l'application de la réglementation et résultant d'un groupe de travail¹⁰ piloté par l'ADEME et l'APCA).

Au niveau Européen, le **troisième draft pour la révision de la Directive 91/271/CEE** impose pour le moyen et long terme des normes de plus en plus contraignantes.

¹⁰ Ce groupe comprend les experts suivants: INRA, ENITA Clermont-Ferrand, SEDE Est, ACE Aveyron et des Chambres d'Agriculture (CA 87, 58, 46)

Elements	Medium term (about 2015)		Long term (about 2025)	
	Limit values for concentrations of heavy metals in sludge for use on land (mg/kg dm)	Limit values for amounts of heavy metals which may be added annually to soil, based on a ten year average (g/ha/y)	Limit values for concentrations of heavy metals in sludge for use on land (mg/kg dm)	Limit values for amounts of heavy metals which may be added annually to soil, based on a ten year average (g/ha/y)
Cd	5	15	2	6
Cr	800	2 400	600	1 800
Cu	800	2 400	600	1 800
Hg	5	15	2	6
Ni	200	600	100	300
Pb	500	1 500	200	600
Zn	2 000	6 000	1 500	4 500

Tableau 27 : Troisième draft pour la révision de la Directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires – renforcement des normes pour les métaux lourds contenus dans les boues urbaines en vue de leur épandage

On peut voir dans cette révision draft que des limites de plus en plus contraignantes sont prévues (en particulier pour le Cd, Hg et Pb) ce qui peut limiter à terme l'aptitude d'une boue à être épandue.

De plus, certains des ET ont été retenus comme indicateurs de teneurs-limites pour la qualité des sols agricoles. Au-delà de ces valeurs (éléments dans le sol) l'épandage est interdit, **sauf dérogation particulière accordée par le préfet** "sur la base d'études du milieu concerné montrant que les ET ne sont pas mobiles ni biodisponibles" (article 11 de l'arrêté du 8 janvier 1998).

D'autres paramètres peuvent être fixés par le préfet s'il le juge utile, compte-tenu de la spécificité des activités non domestiques sur la zone de collecte des eaux usées.

Modalités techniques adaptées aux situations, aux cultures et aux types de boues

La définition réglementaire (Arrêté du 8 janvier 1998 en application du Décret n°97-1133) des différents types de boues est:

- ✓ **Boues traitées** : boues ayant fait l'objet d'un traitement physique, biologique, chimique ou thermique, par entreposage à long terme ou par tout autre procédé approprié de manière à réduire, de façon significative, leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation. Le traitement des boues avant épandage est obligatoire. Toutefois, il peut être dérogé à l'obligation de traitement lorsque les deux conditions suivantes sont simultanément remplies :
 - matières de vidange ou boues de petites stations (< 120 kg DBO₅/j),
 - boues enfouies immédiatement après épandage.

- ✓ **Boues solides** : boues déshydratées qui, entreposées sur une hauteur de 1 mètre, forment une pente égale au moins à 30°.
- ✓ **Boues stabilisées** : boues qui ont subi un traitement de stabilisation.
- ✓ **Stabilisation** : traitement qui conduit à une production de boues dont la fermentation est soit achevée, soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage. La notion de stabilisation renseigne sur le niveau d'odeur de la boue (absence d'odeur, ou odeur faible, moyenne, forte). A noter qu'une boue peut être traitée, tout en n'étant pas stabilisée au sens défini ci-dessus (circulaire du ministère de l'environnement du 16 mars 1999).
- ✓ **Boues hygiénisées** : boues qui ont subi un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues. Une boue est considérée comme hygiénisée quand les concentrations suivantes sont respectées :
 - Salmonelles < 8 NPP/10 g MS
 - Entérovirus < 3 NPPUC/10 g MS
 - Œufs d'helminthes pathogènes viables < 3/10 g MS
 - (NPP : nombre le plus probable - NPPUC : nombre le plus probable d'unités cytopathiques)

En routine, seule l'analyse des coliformes thermotolérants est demandée tous les 15 jours pendant la période d'épandage, en faisant référence aux valeurs obtenues lors du contrôle de mise en service du dispositif d'hygiénisation

Les modalités d'épandage en fonction d'une série de critère est donné au tableau suivant.

TYPE DE MODALITÉ	CONTENU À OBSERVER
Zones particulières	Interdiction d'épandage : <ul style="list-style-type: none"> • - dans les zones d'infiltration en communication reconnue avec des ressources en eau utilisées pour l'alimentation en eau potable, • - sur des terrains autres que régulièrement exploités.
Contraintes météorologiques	Interdiction d'épandre : <ul style="list-style-type: none"> • en période de forte pluie, • sur sol gelé ou enneigé, sauf pour les boues solides.
Délais à respecter	Délai minimum de réalisation des épandages : <ul style="list-style-type: none"> • 18 mois avant la récolte, et pendant la récolte elle-même, de produits en contact avec le sol et susceptibles d'être consommés crus, après épandage de boues non hygiénisées, • 10 mois avant la récolte, et pendant la récolte elle-même, de produits en contact avec le sol et susceptibles d'être consommés crus, après épandage de boues hygiénisées, • 6 semaines pour le pâturage ou la récolte de fourrages après épandage de boues non hygiénisées, • 3 semaines pour le pâturage ou la récolte de fourrages après épandage de boues hygiénisées.
Distances à respecter	Épandage interdit : <ul style="list-style-type: none"> • < 35 m pour les points de prélèvement d'eau, les systèmes de conduction d'eau et les berges d'un plan/cours d'eau, si le terrain a une pente < 7 %, • < 100 m pour les points de prélèvement d'eau, les systèmes de conduction d'eau et les berges d'un plan/cours d'eau, si le terrain a une pente > 7 % en cas de boues solides et stabilisées, • < 100 m pour les habitations et zones de loisir, en cas de boues non hygiénisées, • < 200 m pour les points de prélèvement d'eau, les systèmes de conduction ou les berges d'un plan/cours d'eau, si le terrain a une pente > 7 %, en cas de boues non solides ou non stabilisées. • < 500 m si zones conchylicoles, sauf si boues hygiénisées et dérogation liée à la topographie.
Exécution de l'épandage	Aérodispersion interdite pour les boues liquides si risque de brouillards fins. Enfouissement : <ul style="list-style-type: none"> • - immédiat après épandage de boues non traitées, • - avant 48 heures après épandage de boues non stabilisées.

Tableau 28 : Modalité d'épandage en fonction d'une série de critères et du statut hygiénisé ou stabilisé des boues

Par ailleurs, en ce qui concerne les *micro-organismes*:

- ✓ les **boues doivent donc être traitées de manière à réduire de manière significative leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires** liés à leur utilisation.
- ✓ Seules les **boues provenant d'ouvrages de moins de 2000 EH peuvent être épandues non traitées** sous réserve de les enfouir immédiatement après épandage.

L'annexe suivante présente une vue schématique des étapes pour la conception et l'exploitation annuelle en ce qui concerne l'épandage des boues pour valorisation agricole.

Annexe 4: Vue schématique des étapes pour la conception et l'exploitation annuelle en ce qui concerne l'épandage des boues pour valorisation agricole

Source: ADEME

III.2.2.2 L'incinération et co-incinération

La Directive européenne relative à l'incinération des déchets (**2000/76/CE**) fixe les conditions d'exploitation, les prescriptions techniques et les valeurs d'émissions pour les installations qui incinèrent des déchets ou mélangent des déchets à d'autres combustibles.

Il n'existe pas de législation spécifique concernant l'incinération des boues. Cette incinération suit les mêmes normes que les autres déchets incinérés.

Le but de la directive est de prévenir, limiter ou réduire autant que possible les effets négatifs de l'incinération ou la co-incinération des déchets. La législation fait une distinction claire entre:

- l'incinération (dans des installations dédiées uniquement au traitement thermique des déchets, qui récupèrent ou pas la chaleur produite lors de la combustion), et
- la co-incinération (telle que dans des cimenteries, des fours métallurgiques ou des centrales électriques qui ont donc de la production d'énergie ou de matière comme but premier).

La quantité de déchets dangereux est limitée par installation de (co)-incinération. La liste des produits dangereux se trouve dans l'annexe I de la directive 91/689/EEC¹¹. Les boues d'épuration se trouvent dans cette annexe. Les boues d'épuration sont donc considérées comme dangereuses si les conditions suivantes sont remplies :

- les boues contiennent un produit nommé dans l'annexe II de la même législation
- les boues représentent une des propriétés nommées dans l'annexe III de la même législation

La directive a été transposée en droit français par l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risque infectieux.

L'incinération des boues n'est donc pas interdite, ni par la directive européenne relative à l'incinération des déchets ni par l'arrêté français relatif aux installations d'incinération et de co-incinération.

En France, les installations d'incinération ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique dès lors qu'elles reçoivent des boues. Elles sont considérées comme des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et doivent respecter les arrêtés d'autorisation qui leur sont propres.

III.2.2.3 La mise en décharge (CSDU)

La Directive¹² européenne relative à la mise en décharge de déchets (**99/31/EC**) fixe les conditions d'exploitation pour les mises en décharge et les critères pour les déchets.. Cette directive ne traite pas l'épandage des boues d'épuration sur les sols. Les boues d'épuration ne sont pas considérées comme des "déchets liquides" dans la directive (article 2, point q). Les pays membres prendront des mesures pour s'assurer que les déchets liquides ne sont plus acceptés dans les décharges (article 5, paragraphe 3a).

Les critères pour le type de déchets qui peuvent être mis en décharge sont décrits dans l'annexe II de la directive. Les points les plus importants pour les boues d'épuration sont les suivants :

- limitations du contenu de matière organique dans les déchets
- Pour être acceptées dans des décharges avec des déchets non-dangereux, le déchet ne peut pas être repris dans la directive européenne 91/689/EEC¹³. Dans l'Annexe 1B de cette directive les boues d'épurations qui ne peuvent pas être épandues sur des champs agricoles sont reprises.

¹¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0689:EN:HTML>

¹² <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EN:HTML>

¹³ http://europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/pdf/1991/en_1991L0689_do_001.pdf#search=%2291%2F689%2FEEC%22

L'article 5 (paragraphe 2) de la directive 99/31/EC décrit que la stratégie pour les pays membres devrait suivre le planning suivant : (article 5 paragraphe 2) :

- 5 ans après la date précisée dans l'article 18, les déchets municipaux biodégradables mis en décharge doivent être réduits à 75% du poids total de déchets municipaux biodégradables produits en 1995 ou durant la dernière année avant 1995, pour laquelle des données standardisées sont disponibles chez Eurostat.
- 8 ans après la date précisée dans l'article 18, les déchets municipaux biodégradables mis en décharge doivent être réduits à 50% du poids total de déchets municipaux biodégradables produits en 1995 ou durant la dernière année avant 1995, pour laquelle des données standardisées sont disponibles chez Eurostat.
- 15 ans après la date précisée dans l'article 18, les déchets municipaux biodégradables mis en décharge doivent être réduits à 35% du poids total de déchets municipaux biodégradables produits en 1995 ou durant la dernière année avant 1995, pour laquelle des données standardisées sont disponibles chez Eurostat.

La mise en décharge "directe" des boues est donc remise en cause et elle devrait désormais largement diminuer. En fait, la mise en décharge doit être normalement réservée aux déchets ultimes, les autres déchets devant faire l'objet d'un autre traitement. Les déchets ultimes sont des résidus qui ne sont plus "susceptibles d'être traités dans des conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux"¹⁴.

En France

La **mise en décharge** est en principe limitée réglementairement depuis 2002 aux "*déchets ultimes*". **Elle n'est possible que s'il n'existe pas d'autres solutions de valorisation.**

Les centres de stockage ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique dès lors qu'ils reçoivent des boues. Ils sont considérés comme des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et doivent respecter les arrêtés d'autorisation qui leur sont propres.

Les *centres de stockage de classe 2* (installations conformes à l'arrêté du 9 septembre 1997) peuvent admettre les ordures ménagères, les déchets industriels et commerciaux banals (DIB sur des terrains semi-perméables, dotés d'équipements spéciaux et aménagés de systèmes de collecte et de traitement des eaux de percolation. L'exploitation se fait par casiers ou alvéoles. Les casiers qui reçoivent des matières fermentescibles doivent également permettre de capter le biogaz qui résulte de la fermentation anaérobie de ces matières organiques. Plus spécifiquement, **les déchets admissibles sont notamment les déchets fermentescibles** et fortement évolutifs de l'industrie et de l'agriculture, **mais les boues doivent avoir une siccité d'au moins 30%.**

Ainsi en France, il n'existe pas de normes sur la quantité de matières organiques à mettre en décharge (contrairement à l'Allemagne). Par "*abus de langage*", les "*déchets ultimes*" peuvent s'appliquer aux déchets qui ne peuvent être traités par les BAT (Best Available Technologies) dans de bonnes conditions économiques. Par conséquent, en ce qui concerne les boues urbaines, elles peuvent donc entrer dans la filière de centre de stockage. La mise en décharge dans la pratique sur le terrain s'applique particulièrement aux lots:

- ✓ de boues des grandes stations qui n'ont pas trouvé preneur
- ✓ de boues qui ne satisfont pas aux critères d'épandage
- ✓ de boues de petites stations rurales

¹⁴ copié de : <http://www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/8/contenu/856.htm>

IV. FICHES DE PROCÉDES DE TRAITEMENT

IV.1. REALISATION DES FICHES

Les informations dans des fiches pour les principaux procédés de traitement par technique/filière reprennent :

- les principaux impacts environnementaux et sanitaires
- les risques sanitaires associés au procédé
- un descriptif de la technologie et de ses caractéristiques
- l'état actuel du développement du procédé
- l'estimation des coûts du procédé et des facteurs de risque économique
- une liste des réalisations existantes (accompagnée autant que possible d'un reportage photo et/ou de schémas techniques)
- les débouchés (valeur, tonnage, impacts, etc.) des résidus et des sous-produits, les coûts d'élimination, la pérennité de ces débouchés, etc.

Les informations sont présentées:

- sous forme de **fiches** qui donnent la description et informations détaillées pour le traitement
- et/ou sous forme de **tableaux de synthèse** qui présentent de manière simplifiée les éléments clés du procédé

Structuration des fiches:

- 1 Principes / domaine d'application
- 2 Etat de développement
- 3 Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires
- 4 Devenir des résidus et sous-produits du procédé
- 5 Liste de références du procédé (parc d'installations)
- 6 Limitations / difficultés
- 7 Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts
- 8 Bibliographie

Structuration des tableaux de synthèse:

- ✓ Type de boue pour le procédé
- ✓ Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)
- ✓ Qualité des boues/résidus en sortie
- ✓ Degré de développement du procédé
- ✓ Capacités commerciales (ordre de grandeur)
- ✓ Principales difficultés et limitations du procédé
- ✓ Consommation d'énergie
- ✓ Ordre de grandeur coûts-types
- ✓ Cadre législatif applicable

Les procédés étudiés sont

Liste des procédés de traitement des boues	
Procédé d'augmentation de siccité	
	Déshydratation mécanique
	Séchage thermique
	Séchage solaire
Boues liquides	
	Digestion anaérobie (hydrolyse au préalable) thermophile ou mésophile
	Digestion aérobie thermophile sur boues biologiques
	Oxydation par voie humide
	Co-compostage de boues liquides
	Stabilisation chimique aux nitrites
	Epanchage de boues liquides
Boues pâteuses et solides	
	stabilisation chimique à la chaux
	chaulage avec chauffage externe pour hygiénisation
	Hydrostab (couverture de décharge après mélange avec cendres volantes)
	Compostage dédié & co-compostage
	mono incinération
	co-incinération avec OM/DIS
	cimenterie
	centrale à charbon
	gazéification
	pyrolyse
	Vitrification
	Epanchage de boues pâteuses et solides

Tableau 29: Listes des procédés de traitements des boues

IV.2. FICHES DE PROCEDE

L'ensemble des fiches de procédés se trouve à l'Annexe suivante.

Annexe 5: Fiches des procédés de traitement des boues

IV.3. TABLEAUX DE SYNTHÈSE POUR LES PROCÉDES

IV.3.1. Centre de stockage

Fiche de synthèse du procédé <i>Centre de stockage</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques ou minérales
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses et solides
Qualité des boues/résidus en sortie	Enfouissement en CSDU
Degré de développement du procédé	Eprouvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	-
Principales difficultés et limitations du procédé	Lixiviation, conditions d'exploitation de la décharge, récupération du biogaz, contraintes hydriques, manipulations techniques, odeurs + en principe réserver aux "déchets ultimes"
Consommation d'énergie	-
Ordre de grandeur coûts-types	90 à 100 EU/tonne brute + TGAP (taxe générale sur les activités polluantes de plus de 10 EU/tonne)
Cadre législatif applicable	Arrêté du 9 septembre 1997

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ Facilité d'élimination lorsque d'autres filières ne sont pas possibles pour les collectivités
 - en raison de faibles volumes disponibles
 - et/ou en raison de conditions économiques de ces autres filières (Best Available Technologies) qui doivent être considérées comme "acceptables".

IV.3.2. Epandage

Fiche de synthèse du procédé <i>Epandage</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques (ou minérale si amendement basique)
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides, pâteuses et solides
Qualité des boues/résidus en sortie	-
Degré de développement du procédé	Eprouvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Elevée, en fonction des possibilités de valorisation agricole et transport vers les champs à épandre
Principales difficultés et limitations du procédé	Contraintes réglementaires, demande de dérogation, risques d'odeurs et sanitaire, transport, pollution en éléments traces métalliques et CTO.
Consommation d'énergie	-
Ordre de grandeur coûts-types	30 à 40 EU/tonne brute pour la technique + transport + analyse + prélèvement
Cadre législatif applicable	<ul style="list-style-type: none"> • Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. • Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à

	l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ Valorisation agricole des boues organiques
- ✓ Amendement calcique (substitut d'engrais)
- ✓ Disponibilité des champs

IV.3.3. Déshydratation mécanique

Fiche de synthèse du procédé <i>Déshydratation mécanique</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues liquides organiques/minérales avec trace organique
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides épaissies de minimum 15 g/l Optimum: 40 à 50 g/l
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues pâteuses (possibilité d'atteindre 40% sur les boues organiques primaires et jusqu'à 60% pour les boues minérales) La siccité obtenue après déshydratation doit être: <ul style="list-style-type: none"> ▪ de l'ordre de 15 (20) à 30% pour permettre une bonne opération de compostage ▪ de 30 à 40 % pour assurer l'auto-combustibilité en cas de traitement thermique dans un four spécifique (boues digérées 40%) ▪ de 15 à 30% pour une co-incinération de boues pâteuses par injection avec les ordures ménagères ▪ d'un minimum de 30% pour la mise en décharge. ▪ Pelletable, minimum 30% pour la co-incinération en cimenterie pour les boues non urbaines (boues physico-chimiques non chaulées provenant de la chimie/pharmacie). Filtre-presse et centrifuge: plus haut taux de siccité. <i>Pas d'effet de stabilisation et d'hygiénisation !</i>
Degré de développement du procédé	Epruvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Ordre de grandeur par machine Décantation centrifuge: habituellement de 0,3 à 11 tonnes MS/jour mais possible jusqu'à 60 t MS/j (à Valenton) Filtres à bandes: de 0,7 à 20 tonnes MS/jour Filtres à plateaux: de 0,4 à 45 tonnes MS/jour
Principales difficultés et limitations du procédé	Collage des boues sur les toiles (filtre presse) Sensibilité à l'abrasion (boues avec SiO ₂ et Al ₂ O ₃) pour filtre centrifuge Apport de polymère (coût) ou de chaux Filtres à bandes: forte consommation d'eau de lavage Centrifugeuse: taux de capture (mauvaise séparation) et bruit Odeurs (filtre à bande ou presse) Filtres à plateaux: encombrement Procédé batch pour filtre presse -> nécessité de stockage
Consommation d'énergie	Electricité Filtre à bandes: 10 à 25 kWh/t MS

	Filtre centrifuge: 60 à 80 kWh/t MS Filtre presse: 25 à 35 kWh/t MS
Ordre de grandeur coûts-types	Investissement: Typiquement: 150.000 à 450.000 EU par tonne de MS et par jour. Centrifugeuse: jusque 1.050.000 EU Filtres à bandes: jusque 225.000 EU Filtres à plateaux: jusque 1.650.000 EU Exploitation: <ul style="list-style-type: none"> ✓ filtre à bandes: 30 à 40 EU/t MS ✓ filtre centrifuge: 40 à 60 EU/t MS ✓ filtre presse à plateau: 50 à 60 EU/t MS
Cadre législatif applicable	Pas de réglementation particulière applicable sauf pour boues dangereuses pour lesquelles un procédé fermé peut être requis

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ réduction du volume des boues
- ✓ obtenir des boues pâteuses
- ✓ permettre l'accès à d'autres filières de traitement qui nécessitent des siccités plus élevées

+ ne permet pas la stabilisation, doit parfois être suivi d'un séchage thermique (auto-combustibilité pour une co-incinération).

IV.3.4. Séchage thermique

Fiche de synthèse du procédé <i>Séchage thermique</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues séchées de 40 à plus de 90% de siccité. <ul style="list-style-type: none"> ▪ séchage partiel à poussé: <ul style="list-style-type: none"> ○ jusqu'à 40%: pré-séchée pour incinération dédiée ○ jusqu'à 70%: co-incinération avec déchets ▪ séchage complet à 90% <ul style="list-style-type: none"> ○ stockage aisé ○ valorisation en tant que combustible de substitution (cimenterie, centrale thermique au charbon, incinération OM) ○ pyrolyse, gazéification, vitrification Pré-séchage n'assure pas de stabilisation. Séchage complet à haute température > 90%: stabilisé et hygiénisé.
Degré de développement du procédé	Eprouvé avec de nombreuses références industrielles
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Sensible aux coûts de l'énergie fossile. Typiquement > 10.000 tonnes boues brutes/an (2500 t MS/an si la siccité est de 25%)
Principales difficultés et limitations du procédé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risque de problème de procédé dû à la méconnaissance des caractéristiques des boues et variabilité de la boue ▪ Nécessité d'avoir du personnel d'exploitation expérimenté

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risque de sécurité (risque de départ de feu, teneur en huile et graisse doit être inférieure à 15% sur MS) ▪ Risque de problème d'odeurs ▪ Abrasivité: teneur en silice doit être < 15% (sur MS) ▪ Risque de blocage dû à la présence de fibres (doit être < 15% sur MS) ▪ Présence de composés ferriques (oxydation et échauffement pour des boues séchées complètement) ▪ Rejets d'eaux usées
Consommation d'énergie	Consommation thermique de 1000 kWh par tonne d'eau évaporée (élevé !) à plus ou moins 20% près.
Ordre de grandeur coûts-types	Investissement: 1 à 2,5 M EU par tonne/heure d'eau évaporée 50 à 100 EU par tonne d'eau évaporée
Cadre législatif applicable	Réglementation ATEX en application depuis 1 ^{er} juillet 2003 pour le risque d'explosion de gaz ou poussières (pour les boues organiques) -> étude de risques nécessaire. Prise en compte de précautions de base au point de vue sanitaire pour le personnel.

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ la réduction du poids et du volume;
- ✓ la concentration des éléments fertilisants et l'augmentation du pouvoir calorifique;
- ✓ la stabilisation (dans le cas d'un séchage complet);
- ✓ la pasteurisation (dans le cas d'un séchage complet à haute température);
- ✓ l'amélioration de la texture de la boue avant épandage.

D'une manière générale, le séchage thermique est le procédé de (pré-)traitement des boues qui ouvre les plus grandes possibilités de valorisation et/ou d'élimination des boues.

IV.3.5. Séchage solaire

Fiche de synthèse du procédé Séchage solaire	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses (minimum de 15% à 25%)
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues à siccité entre 60 et 70% voire 90% pour les plus performantes
Degré de développement du procédé	Utilisées par de nombreuses collectivités en France
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Evaporation de 600 à 1200 kg eau par m ² et par an. A partir de boues de STEP de 10.000 EH (environ 600 t/an de boues brutes). Maximum pour STEP d'environ 50 000 EH
Principales difficultés et limitations du procédé	Place pour stockage. Nécessité d'un état pâteux avant l'étalement Faible risque d'odeurs Séchage limité en hiver Surface nécessaire Boues séchées de qualité médiocre (pas stabilisées et peu homogènes)
Consommation d'énergie	Electricité 20 à 40 kWh/tonne d'eau évaporée
Ordre de grandeur coûts-types	Pas comparable avec le séchage thermique car les

	quantités sont différentes. Conditionné par le prix du terrain !
Cadre législatif applicable	-

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ la réduction du poids et du volume;
- ✓ la concentration des éléments fertilisants et l'augmentation du pouvoir calorifique;
- ✓ tonnage plus faible que pour un séchage thermique
- ✓ obtention de granules faciles à stocker et épandre
- ✓ l'amélioration de la texture de la boue avant épandage

IV.3.6. Pyrolyse

Fiche de synthèse du procédé <i>Pyrolyse</i>	
Type de boue pour le procédé	Organique
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues sèches
Qualité des boues/résidus en sortie	Résidus solides carbonés contaminés en métaux lourds et chlorures + gaz de pyrolyse ou huile de pyrolyse de qualité et de composition variable contenant des contaminants en général.
Degré de développement du procédé	Innovant avec peu de références
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	>3 000 t MS/an (pour justifier une usine de séchage)
Principales difficultés et limitations du procédé	Débouchés pour les résidus carbonés. Contaminants pour le gaz et l'huile. Nécessité de procéder à une opération de séchage poussé au préalable
Consommation d'énergie	L'opération de séchage est énergivore. La pyrolyse est faiblement endothermique. L'utilisation des gaz et huiles de pyrolyse permet largement de couvrir les besoins de la pyrolyse sur des boues sèches (et peut en théorie fournir l'énergie nécessaire au séchage si les boues possèdent une siccité élevée à l'entrée du procédé de séchage).
Ordre de grandeur coûts-types	Non disponible, mais combinaison séchage et pyrolyse présente des coûts similaires à l'incinération
Cadre législatif applicable	Interdiction de mise en CSDU les résidus solides carbonés contenant des matières organiques

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ décomposition de la matière organique
- ✓ la possibilité de valoriser de manière plus optimale les produits de la décomposition des matières solides organiques par:
 - recyclage chimique
 - production énergétique avec un rendement plus élevé
- ✓ la réduction du volume des fumées et des émissions gazeuses
- ✓ Par rapport à l'incinération ou la gazéification, ce procédé peut en théorie s'envisager dans des unités de plus petites tailles et décentralisées (faible température). Mais le problème vient de la nécessité de faire une opération de séchage

IV.3.7. Gazéification

Fiche de synthèse du procédé <i>Gazéification</i>	
Type de boue pour le procédé	Organique
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues sèches
Qualité des boues/résidus en sortie	Cendres généralement pulvérulentes contenant peu de matières organiques. Gaz de synthèse contenant des goudrons et fines particules nécessitant un traitement poussé pour permettre une valorisation « noble » (turbine à gaz, moteur, recyclage chimique)
Degré de développement du procédé	Innovant avec peu de références
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	>3 000 tMS/an (pour justifier une usine de séchage)
Principales difficultés et limitations du procédé	Nécessité de procéder à une opération de séchage préalable Qualité médiocre du gaz de synthèse (goudrons, poussières) nécessitant un traitement poussé avant valorisation
Consommation d'énergie	Bilan thermique favorable en théorie par rapport à l'incinération car le volume des fumées est plus faible.
Ordre de grandeur coûts-types	Non disponible, mais combinaison séchage et gazéification présente des coûts similaires à l'incinération
Cadre législatif applicable	Pas de point particulier

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ décomposition de la matière organique
- ✓ obtention d'un résidu solide quasi inerte
- ✓ Par rapport à l'incinération, ce procédé peut en théorie s'envisager dans des unités de plus petites tailles (faible température). Mais le problème vient de la nécessité de faire une opération de séchage et la gazéification est applicable sur des quantités plus grandes que celles pour la pyrolyse (car on travaille à plus haute température en gazéification).

IV.3.8. Vitrification

Fiche de synthèse du procédé <i>Vitrification</i>	
Type de boue pour le procédé	Organique
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues sèches
Qualité des boues/résidus en sortie	Résidus solides vitrifiés présentant de bonnes propriétés de lixiviation permettant un recyclage dans le domaine de la construction
Degré de développement du procédé	Innovant avec peu de références, sauf au Japon
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	>3 000 t MS/an (pour justifier une usine de séchage)
Principales difficultés et limitations du procédé	Nécessité de procéder à une opération de séchage préalable Production de NOx thermique lors de l'étape de vitrification Du fait des températures élevées à mettre en œuvre,

	bilan thermique défavorable et coûts importants
Consommation d'énergie	Apport important d'énergie
Ordre de grandeur coûts-types	Au vu des températures beaucoup plus élevées que l'incinération générant, entre autre, des volumes de gaz importants et de la nécessité d'avoir un traitement de fumées similaire à l'incinération, les coûts sont typiquement deux fois plus élevés que pour l'incinération
Cadre législatif applicable	Pas de point particulier

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ décomposition de la matière organique
- ✓ réduction maximale du volume de déchets
- ✓ immobilisation des métaux lourds dans une gangue vitreuse
- ✓ possibilité de recycler celle-ci du fait de l'absence de risque de lixiviation de composés toxiques

IV.3.9. Centrale à charbon

Fiche de synthèse du procédé Centrale à charbon	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses ou sèches
Qualité des boues/résidus en sortie	Résidus solides (traitement du charbon et des boues) : cendres sous four et cendres volantes
Degré de développement du procédé	Epruvé en Allemagne principalement mais pas en France en raison d'un obstacle réglementaire (pas d'autorisation des boues en raison des arrêtés préfectoraux; seulement quelques heures par an sur base d'une dérogation).
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Maximum 5% en masse par rapport au charbon Capacité type: 150 tonnes par jour, applicable à des quantités faibles à importantes. En limite inférieure, la quantité minimale à traiter doit permettre de justifier l'investissement pour l'installation d'un système spécifique de réception, stockage et dosage des boues. Typiquement pour des capacités de plus de 10 000 t de boues brutes par an. En Allemagne, les installations tournent 6000 heures/an et 28 sites existent (total de 300 000 t/an et à l'avenir la capacité pourra être de 600 000 t/an).
Principales difficultés et limitations du procédé	Risques de collage et colmatage de la chaudière si présence de CaO, Fe ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O (fusion à plus basse température). L'humidité des boues réduit l'efficacité énergétique. Corrosion si présence de Cl ou S Empoisonnement du catalyseur sélectif pour DeNO _x si présence As, K et P. Réutilisation des cendres (et du gypse provenant du traitement DeSO _x) conditionnée à la présence de P ₂ O ₅ (reprise en cimenterie). Métaux lourds dans les fumées: attention au Hg, As, Se, Cd,.... Odeurs

	Personnel d'exploitation ne veut pas manipuler des boues non stabilisées → besoin de stabilisation.
Consommation d'énergie	Faible, généralement neutre pour des boues déshydratées mécaniquement et production d'énergie si les boues sont sèches.
Ordre de grandeur coûts-types	50 à 100 EU/t de boues brutes (lié à l'investissement de l'équipement spécifique pour accepter les boues).
Cadre législatif applicable	Directive incinération

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ destruction de la matière organique
- ✓ valorisation du PCI des boues
- ✓ coût de traitement réduit car on profite de l'infrastructure de la centrale énergétique pour faire du traitement de déchets (traitement des fumées)

IV.3.10. Stabilisation chimique par chaulage

Fiche de synthèse du procédé <i>Stabilisation chimique par chaulage</i> <i>Idem avec chauffage externe (N-VIRO)</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues chaulées avec siccité plus élevée (quantité de chaux: de 10 à 50% sur MS pour stabilisation). Si chaulage à 200%: hygiénisation Si chauffage externe: MS jusqu'à 70% et la boue chaulée est hygiénisée avec moins de chaux vive. Convient comme amendement pour des sols acides.
Degré de développement du procédé	Epruvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	0,6 à 4 tonnes MS/jour (par exemple de 1000 à 7000 t MS/an)
Principales difficultés et limitations du procédé	Qualité du mélange Conservation de la chaux vive.
Consommation d'énergie	Chaulage: électricité 1 kWh/m ³ de boues déshydratées Chauffage externe: chauffage en plus
Ordre de grandeur coûts-types	Chaulage: Investissement de 30.000 à 80.0000 EU Chaulage: environ 15 EU par tonnes de boues à environ 20% de siccité Avec chauffage externe: 60 à 85 EU tonnes de boues à 20%MS
Cadre législatif applicable	Arrêté 8 janvier 1998 pour stabilisation et hygiénisation

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ stabilisation
- ✓ hygiénisation (par chaux vive)
- ✓ hygiénisation poussée si chauffage externe (pas de poussières, odeurs ou de germes pathogènes)
- ✓ réduction d'odeurs
- ✓ augmentation de la siccité
- ✓ structuration du sol par la boue chaulée épandue
- ✓ amendement calcique pour sol acide

IV.3.11. Stabilisation chimique par nitrites

Fiche de synthèse du procédé <i>Stabilisation chimique par nitrites</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues liquides stabilisées et hygiénisées (très efficace si pH <2)
Degré de développement du procédé	Epruvé Pas de références pour l'incinération de boues stabilisées aux nitrites
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Petite
Principales difficultés et limitations du procédé	Traitement nécessitant la manipulation de réactifs chimiques. Besoins de remonter le pH avant épandage (maîtrise de la remontée du pH après plusieurs mois de stockage). Risque de corrosion si séchage thermique (voie non prise en compte après une stabilisation aux nitrites). Possibilités de compostage non connues.
Consommation d'énergie	Non connu (mais faible)
Ordre de grandeur coûts-types	Non connu
Cadre législatif applicable	Arrêté 8 janvier 1998 pour hygiénisation

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ stabilisation
- ✓ hygiénisation partielle à poussée suivant les cas.
- ✓ Améliore la déshydratabilité
- ✓ élimination des odeurs pour stockage de longue durée
- ✓ alternative au chaulage des boues si les sols sont alcalins
- ✓ admission éventuellement aisée dans un four à lit fluidisé (par rapport aux boues chaulées)

IV.3.12. Co-incinération avec OM

Fiche de synthèse du procédé <i>Co-incinération avec OM</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses ou sèche
Qualité des boues/résidus en sortie	Résidus solides: mâchefers et cendres volantes
Degré de développement du procédé	Epruvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Petites capacités: mélange en fosse (moins de 3% du volume d'OM) ou dosage en trémie. Moyenne à grande capacité: réception, stockage et injection et boues sèches limitées à environ 10% en masse par rapport aux OM
Principales difficultés et limitations du procédé	Mélange homogène avec les OM pour éviter les coups de feu si les boues sèches à 90% (alimentation en trémie). Par extrusion: augmentation des imbrûlés dans

	mâchefers -> peut restreindre la valorisation routière. Par pulvérisation chambre: augmentation des cendres volantes.
Consommation d'énergie	Faible si boues déshydratées mécaniquement et si bon PCI
Ordre de grandeur coûts-types	Co-traitement: 50 à 100 EU/t de boues brutes. Lié à l'investissement de matériel spécifique.
Cadre législatif applicable	Législation pour réutilisation des mâchefers. Directives européennes

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ élimination thermique des boues organiques
- ✓ élimination thermique de polluants organiques

IV.3.13. Co-incinération en cimenterie

Fiche de synthèse du procédé <i>Co-incinération en cimenterie</i>	
Type de boue pour le procédé	En zone chaude: <ul style="list-style-type: none"> ✓ boues organiques sèches ✓ boues biologiques humides chaulées à 25-70% de siccité (cas en progression en France) ✓ boues physico-chimiques non chaulées provenant de la chimie/pharmacie (boues non urbaines), pelletable, minimum 30% En zone froide: <ul style="list-style-type: none"> ✓ boues brutes minérales
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses ou sèches Pour les boues chaulées en zone chaude: 25 à 70% Pour les boues urbaines en zone chaude 90% de siccité Boues physico-chimiques (chimie/pharmacie) minimum 30%
Qualité des boues/résidus en sortie	Intégré au ciment produit.
Degré de développement du procédé	En voie de développement; moins fréquent que la co-incinération OM
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Doit être suffisante pour justifier l'investissement d'installations de réception, stockage et dosage : typiquement supérieur à 10 000 t boues brutes par an qui peuvent provenir de regroupement de plusieurs producteurs.
Principales difficultés et limitations du procédé	Pour les boues brutes minérales sans organiques en zone froide: <ul style="list-style-type: none"> ✓ limite en hydrocarbures totaux pour les DIS < 5000 mg/kg sur brut ✓ $CaO+SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 > 80\%$ des cendres (valorisation matière de tous ces éléments) Besoin de boues séchées si valorisation énergie en zone chaude. Préférence pour boues non fermentées car meilleur PCI. Influence négative du P (formation ciment).

	<p>Pour toutes les boues:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hg: < 10 ppm ✓ Hg+Cd+Tl: < 100 ppm ✓ Sb+As+Pb+Cr+Co+Ni+V+Sn+Tl+Se : en fonction de l'arrêté préfectoral ✓ PCB < 50 ppm ✓ Cl: < 2% (sur sec) ✓ P2O5 < 5% (sur sec) ✓ Alcalin: Na et K: selon cimenterie (à demander) <p>Exigences supplémentaires:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Teneur en Cr (au cas par cas dans le respect des exigences de la directive européenne) ✓ Stabilisation et hygiénisation pour les boues brutes urbaines (pas de risques sanitaires)
Consommation d'énergie	<p>Faible, généralement neutre pour des boues déshydratées mécaniquement et production d'énergie si les boues sont sèches.</p> <p>Exemple de PCI de boues sèches en zone chaude: 3000 kcal/kg</p>
Ordre de grandeur coûts-types	<ul style="list-style-type: none"> ✓ boues minérales en zone froide valorisée comme matière première: 40 à 80 EU/tonne ✓ boues industrielles en zone chaude: 80 à 120 EU/tonne ✓ boues urbaines séchées à 90% de siccité: 60 à 70 EU/tonne <p>Exonération de la TGAP pour valorisation matière en cimenterie</p> <p>En Belgique: environ 30 EU par tonne MS sans le séchage</p>
Cadre législatif applicable	<p>Directives européennes</p> <p>Arrêtés ministériels du 20/09/2002 relatifs à l'incinération et à la co-incinération de déchets dangereux et non dangereux.</p>

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ élimination thermique des boues organiques
- ✓ valorisation matière de boues minérales
- ✓ coût de traitement réduit pour le possesseur de la boues et (comme pour tout le monde : incinération, CSDU,...)

IV.3.14. Mono-incinération

Fiche de synthèse du procédé	
<i>Mono-incinération</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses ou sèches
Qualité des boues/résidus en sortie	Résidus cendres volantes minérales (flux principal) Résidus solides traitement des fumées (charbon actif) Sels de neutralisation (traitement des fumées)

	Résidus sableux
Degré de développement du procédé	Eprouvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	> 10 000 t boues brutes par an
Principales difficultés et limitations du procédé	Variations rapides de composition ou flux. Corps étrangers aux boues solides peu combustibles. Systèmes de traitement des fumées à mettre en place. Déshydratation mécanique efficace au préalable pour le PCI. Métaux alcalins (Na, K), P, V, chaux (diminution de t° et prise en masse). Présence de Cl ou F Nécessité d'avoir du personnel d'exploitation expérimenté.
Consommation d'énergie	Incinération, liée au PCI des boues déshydratées (faible à négatif). Si boues bien déshydratées: bilan positif. Généralement, besoin d'utiliser du combustible auxiliaire.
Ordre de grandeur coûts-types	Onéreux: 300 à 450 EU/t MS (boues avec siccité de 25 à 30%) -> 75 à 110 EU/t boues brutes
Cadre législatif applicable	Directives incinération

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ élimination thermique des boues organiques en tant que solution complète
- ✓ élimination de produits organiques toxiques
- ✓ réduction maximale de volume
- ✓ production d'énergie dans certains cas (grande capacité, bonne qualité des boues, co-traitement avec d'autres déchets avec bon PCI).

IV.3.15. Digestion aérobie thermophile

Fiche de synthèse du procédé <i>Digestion aérobie thermophile</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques et minimum 60% MO sur MS
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides épaissies (5 à 10%)
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues liquides stabilisées
Degré de développement du procédé	Eprouvé
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	0,2 à 1.1 t MS/j ou 60 à 400 t MS/an
Principales difficultés et limitations du procédé	Odeurs suite aux NH3 Production de mousse Optimisation du procédé (personnel qualifié)..
Consommation d'énergie	500 kWh/t MS
Ordre de grandeur coûts-types	Investissement de 150.000 à 1.050.000 EU (0,2 à 1.1 t MS/j)
Cadre législatif applicable	Hygiénisation

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ réduction des quantités de boues à déshydrater, transporter, stocker et épandre
- ✓ stabilisation des boues
- ✓ hygiénisation

- ✓ boues plus homogènes
- ✓ augmente la proportion sous forme ammoniacale de l'azote (assimilation plus rapide par les végétaux).

IV.3.16. Digestion anaérobie (et hydrolyse)

Fiche de synthèse du procédé <i>Digestion anaérobie mésophile ou thermophile</i> <i>(Hydrolyse préalable)</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques (préférentiellement primaires ou mixtes) minimum 60% MO sur MS
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides épaissies
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues liquides stabilisées si procédé mésophile simple ou hygiénisé si procédé thermophile et/ou si précédé d'une phase d'hydrolyse.
Degré de développement du procédé	Epruvé avec développements
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	2 à 13 t MS/j ou plus (pas vraiment de limite) 700 ou plus t MS/an
Principales difficultés et limitations du procédé	Pas de composés toxiques (pour biomasse). Teneurs en CN-, métaux lourds et détergents. Risque faibles d'odeurs. Personnel expérimenté
Consommation d'énergie	50 à 100 kWh/t MS (faible par rapport à la digestion aérobie)
Ordre de grandeur coûts-types	Investissement de 450.000 à 6.000.000 EU (pour 2 à 13 t MS/j)
Cadre législatif applicable	Hygiénisation

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ Réduction des MS et du volume des boues
- ✓ stabilisation des boues (si temps de séjour suffisant dans le réacteur)
- ✓ hygiénisation partielle ou complète si thermophile ou combinée avec une hydrolyse préalable
- ✓ production de biogaz

IV.3.17. HydroStab (couverture de décharge)

Fiche de synthèse du procédé <i>HydroStab (couverture de décharge)</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques et minérales Le mélange de boues et autres matières (ex: cendres volantes) doit contenir maximum 15% de MO sur MS
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues pâteuses et boues solides (minimum 28% de MS).
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues intégrées aux matériaux de couverture de décharge.
Degré de développement du procédé	Epruvé (exemples en Belgique et Pays-Bas)
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Déjà applicable à de faibles volumes de boues car l'installation de préparation est rudimentaire et possibilité de mélange avec d'autres matières.
Principales difficultés et limitations du	Risques faibles d'odeurs.

procédé	Présence de métaux lourds. Nécessité d'avoir une décharge à proximité à réhabiliter.
Consommation d'énergie	Faible
Ordre de grandeur coûts-types	200 EU/t MS (prix à payer pour la reprise des boues)
Cadre législatif applicable	Valeurs seuils pour produits valorisés comme couverture de décharge.

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ obtention d'un matériau à basse perméabilité pour couverture de décharge
- ✓ Mise en décharge avec valorisation matière par les propriétés des boues qui peuvent s'apparenter à de l'argile.

IV.3.18. Oxydation en voie humide

Fiche de synthèse du procédé <i>Oxydation en voie humide</i>	
Type de boue pour le procédé	Boues organiques Minimum 25 g/l DCO Maximum 120 g/l DCO Maximum 100 g/l de MS
Etat physique de la boue en entrée du procédé (siccité)	Boues liquides concentrées. Maximum 10%
Qualité des boues/résidus en sortie	Boues liquides, gaz résiduaires et techno-sables.
Degré de développement du procédé	Innovant pour l'utilisation comme traitement complet sur des boues de STEP. Le procédé OVH existe depuis plus de 30 ans comme procédé de prétraitement également sur des effluents liquides concentrés industriels (ex: ZIMPRO)
Capacités commerciales (ordre de grandeur)	Traitement des boues de STEP de 50.000 à 200.000 EH voire 1.200.000 EH (Station Nord à Bruxelles)
Principales difficultés et limitations du procédé	Rejets liquides à envoyer en STEP qui doit être conçue en fonction de l'OVH Corrosion Sécurité Risque d'odeurs Nécessité d'avoir un personnel d'exploitation hautement spécialisé
Consommation d'énergie	Autonomie énergétique à partir d'une DCO de 15.000 ppm
Ordre de grandeur coûts-types	Investissement élevé Environ 300 EU/t MS
Cadre législatif applicable	Sécurité stockage oxygène (pour le procédé ATHOS qui travaille à l'O ₂). Installations techniques pour haute pression

Pourquoi ce procédé est utilisé ?

- ✓ très grande capacité de traitement
- ✓ alternative à l'incinération de boues organiques dans le cas où l'incinération n'est pas acceptable au niveau de contraintes locales
- ✓ limitation des rejets gazeux au strict minimum (pas de système annexe de traitement des fumées)
- ✓ production de sous-produits recyclables (mais reste à démontrer)

V. OUTIL DECISIONNEL

V.1. ELEMENTS GENERAUX

Les éléments principaux pris en compte pour l'élaboration

1. Proposition de critères d'exclusion, de pré-sélection et de sélection : quelles sont les grandes tendances généralisables en fonction :
 - du type de boues (boue organique, minérale, huileuse,...), de la quantité (taille de l'installation) et de la qualité des boues (présence de métaux lourds ou d'autres polluants industriels),
 - de la situation géographique (exemple : possibilité de regroupement des boues liquides de petites installations en vue d'un pré-traitement intermédiaire, acidité du sol¹⁵,...)
 - des débouchés potentiels (demande en compost et en matière organique des agriculteurs viticulteurs... énergie thermique à proximité du lieu de traitement des boues, ...)
2. Proposition d'autres critères décisionnels à prendre en compte lors du choix d'un filière de traitement/valorisation (possibilité de stocker les boues,...) et des attentes du décideur (optimisation des coûts, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux)

L'outil, qui consiste en un **fichier Excel** complété par des Fiches des procédés de traitement des boues (cf. *Annexe 5*) et des tableaux de synthèse (cf. *paragraphe IV.3*) reprend les points suivants :

- Caractérisation de la situation :
 - quantité et type de boues,
 - caractéristiques des boues :
 - présence de métaux lourds
 - qualité pathogénique
 - présence de composés xénobiotiques (molécules provenant des médicaments pris par une population vieillissante), sans doute le plus grand risque aujourd'hui sur la valorisation agricole
 - risques liés aux odeurs générées par le procédé ou par les boues elles-mêmes
 - Risque lié à la perception du produit
- Caractéristiques locales : demande en matière organique, sensibilité des cultures, existence d'installations de traitement thermique avec capacité disponible, situation de la production odeurs / perception du grand public...
- Encodage d'une série de critères d'exclusion pour réduire les choix potentiels en fonction de la combinaison de ces critères avec la caractérisation de la situation. Les critères d'exclusion portent sur
 - les conditions minimum à respecter en fonction du type de valorisation retenu
 - des critères d'exclusion (ou de limitation) pratiques
- Présentation des résultats sous forme de graphiques et de tableaux qui montrent quelles filières sont pertinentes en fonction de critères clés, qui permettent au décideur de savoir quelles filières répondent le mieux à ses priorités (minimalisation des coûts et des risques économiques, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux, autres critères décisionnels identifiés,...)
Les grandes options sont :
 - traitement centralisé ou décentralisé
 - séchage ou non
 - traitement destructif (thermique, OVH) ou valorisation matière, voire pas de valorisation du tout (mise en CET)
- Présentation de fiches de synthèse par type de boues, qui reprendront, en se référant aux fiches « techniques / filières », :

¹⁵ Un sol acide sera favorable pour une valorisation agricole par chaulage des boues.

- la solution dite « classique » (c-à-d la moins chère qui est conforme à la réglementation en vigueur)
- une mise en évidence, et si possible une quantification des paramètres clés qui constituent la menace principale sur la filière classique
- une mise en perspective des risques les plus importants (les plus probables) qui peuvent peser sur la filière classique et la ou les solutions de repli possibles en cas par exemple de changement de la législation (cf. autres pays européens : crises dans le secteur agroalimentaire, en particulier la crise de la vache folle qui a mené à une interdiction de la valorisation agricole).

V.2. ELEMENTS METHODOLOGIQUES

L'**outil Excel** complété des fiches de procédé et tableaux de synthèse montre quelles filières sont pertinentes en fonction de critères clés, qui permettent au décideur de savoir quelles filières répondent le mieux à ses priorités :

- ✓ Tout d'abord le domaine d'applicabilité du procédé prime et donne une présélection de tous les procédés envisageables à partir des caractéristiques principales des boues (= les "*critères d'entrée*").
- ✓ Ensuite d'autres aspects sont pris en compte des boues (minimalisation des coûts et des risques économiques, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux, autres critères décisionnels identifiés, problèmes spécifiques liés à la composition des boues pour un procédé donné, limitations des procédés, ...). Ces autres points sont soit intégré à l'outil Excel soit mis en évidence en tant qu'information dans les fiches (à ne consulter que pour les procédés présélectionnés).

L'outil développé ne donne **pas une réponse unique** en fonction d'une analyse multicritère quantitative mais une **guidance** pour la décision grâce aux fiches de renseignements techniques, aux critères d'exclusion, de présélection et de contexte local.

Les critères sont les suivants:

Critères d'entrée (réponse obligatoire)

1. Quelles quantités annuelles ?
2. Quelle teneur en MS ?
3. Quelle teneur en matière organique ?
4. Valorisation agricole envisageable (contraintes réglementaires)
5. Etat de stabilisation ou hygiénisation

Critères de validation de la filière d'épandage:

Est-ce que la teneur maximale en Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Se, PCB et HAP respecte les valeurs réglementaires ?

Ces critères permettent donc de définir les grandes caractéristiques des boues.

Tableaux de critères de quantités

Le tableau suivant présente le domaine d'applicabilité en fonction de la quantité de boues et de l'état physique de ces boues pour les différents procédés (ce critère permet alors l'exclusion de certains procédés si les quantités annuelles sont trop petites ou trop grandes). Les différentes siccités possibles (boues liquides, pâteuses ou sèches) sont prises en compte.

Critère "quantité" pour des boues organiques (en fonction de l'état physique des boues)					
		Filière considérée	petit	moyen	grand
Boue sèche	Boue liquide	Co-traitement en STEP	X	X	
		Digestion anaérobie			X
		Digestion aérobie thermophile		X	
		<i>Oxydation par voie humide</i>			X
		Déshydratation mécanique	(X)	X	X
		idem + séchage thermique		(X)	X
		Co-compostage des boues liquides	X	(X)	
		Mélange (regroupement avant traitement)	X		
	<i>Epandage boues liquides</i>	X			
	Boue pâteuse	Stabilisation chimique (chaux, nitrites)	X	X	
		Compostage dédié		X	X
		Chaulage avec chauffage externe - hygiénisation		X	
		Séchage solaire	(X)	X	
		Séchage thermique		X	X
<i>Mono incinération</i>				X	
<i>Co-incinération ¹</i>	X*	X	X		
<i>Regroupement avant traitement</i>	X	X			
<i>Hydrostab</i>	X	X	X		
<i>Co-compostage</i>	X	X	X		
<i>Epandage des boues</i>	X	X	X		

Procédé final

* si pas de nécessité d'équipement de réception et stockage spécifique

¹ en UIOM, avec déchets industriels, en cimenterie, en centrale à charbon

X: applicable

(X): domaine d'applicabilité restreint

La mise en CSDU est également un procédé final.

Tableau 30: Critère de quantité pour les boues organiques en fonction de l'état physique des boues et des procédés

Quantités (valeurs typiques données à titre d'exemple):

- ✓ Petit: < 100 tonnes MS/an
- ✓ Moyen: > 100 tonnes MS/an et < 2000 tonnes MS/an
- ✓ Grand: > 2000 tonnes MS/an

Etat physique:

- ✓ Boues liquides:
- ✓ Boues pâteuses:
- ✓ Boues sèches:

Remarque: la siccité en fonction de l'état physique des boues dépend du type organique ou minéral des boues (des boues minérales sont plus facilement liquides que des boues organiques à même teneur en MS).

V.3. CRITERES DE SITUATION

Les critères de situation peuvent être:

- ✓ Disponibilité d'une source d'énergie (ex: favorise le séchage)
- ✓ Proximité de l'usine de traitement
- ✓ Caractéristiques locales (débouché présent...)
- ✓ ...

Tous ces points sont reliés aux fiches (et tableaux de synthèses) afin de tenir compte des contraintes et limitations inhérentes aux procédés.

Le décideur devra donc prendre connaissance des fiches ou tableaux de synthèse correspondant afin d'analyser plus en détail la pertinence des solutions de traitement proposées.

V.4. TABLEAU DE PROBLEMES SPECIFIQUES

La composition type (d'une boue urbaine de bonne qualité) est celle pour laquelle aucun problème spécifique n'est à craindre pour les procédés existants. Nous définissons des valeurs limites (parfois également des valeurs minimales) au-delà desquelles, des problèmes pour certains procédés sont à envisager. Si une valeur est située entre les valeurs typiques et extrêmes (minimale, maximale), le décideur est mis en garde du risque d'avoir un problème particulier sur tel ou tel procédé.

Les valeurs limites pour l'épandage agricole sont également mentionnées dans le tableau de problèmes spécifiques.

Toutes ces valeurs de composition de boues découlent de l'expérience des industriels qui ont été confrontés à des problèmes spécifiques. Il faut donc considérer ces valeurs comme un retour d'expérience pratique pour la gestion d'installations industrielles mais pas comme des valeurs d'exclusion en tant que telles.

Elément	Formule	Valeur couramment observée	Valeur limite pour l'épandage agricole	Seuils		Unité	Méthode analytique	Procédés pour lequel le composant peut être un problème
				mini	maxi			
pH		7		6	8			
Organique	Matières organiques	60		40	80	% MS	NF EN 12176 NF EN 12875	Très bas, boue minérale => traitement boues minérales. Très haut, attention aux traitements par séchage (risque vis à vis de la sécurité car peut indiquer la présence d'hydrocarbures Séchage => risque de bouchage, blocage, et de la qualité du produit séché (produit pulvérulent, densité apparente faible donc volume élevé). Modification de la granulométrie et conditions d'exploitation du sécheur. Séchage (risque sécurité, et perte efficacité du procédé). Digestion biologique (problème de formation de chapeau et bouchage) Déshydratation mécanique centrifuge, séchage: risque d'abrasion et endommagement idem
Fibres / Cheveux		< 15			20	% MS	BRECHT HOLL	
Graisse & huile		10			20	% MS	Extraction soxhlet DIN 38409	
Sable	SiO ₂	7			15	% MS	méthode gravimétrique	
	SiO ₂ + Al ₂ O ₃	10			20	% MS	NF EN 13346 & NF EN ISO 11885	
Chlorure	Cl ⁻	2000			6000	mg/kg MS		
Fluorure	F ⁻	200			600	mg/kg MS		
Sulfure	S	6000			20000	mg/kg MS	NF EN 13346 & NF EN ISO 11885	
Fertilisant/amendement	Ca (chaux)	5			15	% MS	NF EN 13346 & NF EN ISO 11885- ICP AES	

Phosphorus	Al	0.2	env 25 à 40 % de l'azote assimilable et 50 % du phosphore la première année	6	% MS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	Voir abrasion par Al ₂ O ₃ dans la déshydratation mécanique centrifuge et le séchage	
	Mg	0.6			% MS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	Pas un problème	
	Fe	2			% MS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	Risque d'autoéchauffement de boues séchées, si dosage de chlorure de Fe (floculant) en excès	
	Mn	0.02			% MS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	-	
	P	3			% MS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	Cimenterie=> risque sur la qualité du ciment (P= retardateur de prise). Limitation à 8 % en P2O5	
Azote	NH ₄ -N	0.2	env 25 à 40 % de l'azote assimilable et 50 % du phosphore la première année	1.5	% MS	CEE 2.6 ou colorimétrie	incinération et co-incinération => risque de colmatage (des échangeurs de chaleur) et fixation sur les réfractaires. Incinération, co-incinération => risque de NOx. Emission d'ammoniac lors du chaulage (gêne pour le personnel)	
	Kjeldahl-N Total-N	2			% MS % MS	NF EN 13654-1 NF EN 13654-2	- Incinération, co-incinération => risque de NOx. Emission d'ammoniac lors du chaulage (gêne pour le personnel)	
Eléments à évaluer pour la valorisation agricole	C/N	< 8	env 25 à 40 % de l'azote assimilable et 50 % du phosphore la première année			sans objet	- (pour un bon compost il faut un C/N de 10 à 30) - (bon pour l'épandage) - (bon pour l'épandage)	
	N - NTK							
	P - P2O5 Biodisponibilité de l'azote et du phosphore							
	stabilité biologique					norme XPU 44 162	A réaliser pour l'épandage (stabilisation ou hygiénisation pour épandage sauf dérogation)	

Métal alcalin	Na	2500		10000	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	centrale charbon, incinération. Risque de colmatage
Métal alcalin	K	5000		15000	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	centrale charbon, incinération. Risque de colmatage (métaux alcalins dont des fondants pour les cendres -> volatilisation et condensation, sur parois moins chaudes).
Température de fusion des cendres		>1300	<1000	-	°C	NC	centrale charbon, incinération. Risque de colmatage
Contaminant	Hg	4	10	12	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	cimenterie, centrale charbon, incinération, co-incinération => risque sur les émissions gazeuses
	Cd	5	10	30	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	cimenterie, centrale charbon, incinération, co-incinération => risque sur les émissions gazeuses
	Tl	1		6	mg/kgMS	NC	cimenterie, centrale charbon, incinération, co-incinération => risque sur les émissions gazeuses
	As	15		30	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	centrale à charbon => risque de pollution du DeNOX catalytique (car il est mis avant le dépoussiérage en centrale à charbon)
	Cr	200	1000	1500	mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	Attention au chrome VI dans le traitement des cendres
	Ni	100	200		mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Sb	10			mg/kgMS		
	Pb	220	800		mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Co	10			mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Cu	600	1000		mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	

	Mn	300			mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	centrale charbon, incinération, co- incinération. Risque de colmatage (température de fusion -> volatilisation et condensation sur parois moins chaudes)
	V	10		200	mg/kgMS	NC	
	Sn	50			mg/kgMS	NC	
	Ag	50			mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Zn	2000	3000		mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Be				mg/kgMS	NC	
	Al				mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	Te				mg/kgMS	NC	
	Se				mg/kgMS	NF EN 13346 &NF EN ISO 11885	
	CN-	1			mg/kgMS	NC	
Hydrocarbures totaux	HCT			5 000	mg/kgMatières brutes	NC	
	PCB	0.5	0.8	5	mg/kgMS	XPX 33-012	
	Fluoranthène		5		mg/kgMS	NF ISO 13877	idem
	Benzo (a) pyrène		2		mg/kgMS	NF ISO 13877	idem
	Benzo (b) fluoranthène		2.5		mg/kgMS	NF ISO 13877	idem
Dioxines/furannes	...					NC	émission incinérateurs : 0,1 ng/Nm3
	...					NC	
	...					NC : Non connu	

Tableau 31: Problèmes spécifiques liés à la composition des boues pour les différents procédés de traitement (retour d'expérience des industriels) et pour l'épandage agricole

Remarque: le 3^{ème} draft pour la révision de la Directive 86/278/CE tend à imposer de futures normes pour l'épandage pour prendre en compte d'autres polluants dont les micro-polluants organiques (CTO: composés traces organiques). Le Tableau 27 présente le renforcement des normes pour les métaux lourds contenus dans les boues urbaines en vue de leur épandage dans le cadre de la révision de la Directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux résiduaires.
De nouvelles contraintes réglementaires sont donc à prévoir pour le futur.

V.5. ARBRE GENERAL DE DECISION ET DE PRESENTATION DES PROCEDES

V.5.1. Boues organiques

Toutes les fiches de procédés ainsi que les critères d'exclusions pour l'applicabilité des procédés de traitement permettent de définir un **arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés**. L'outil EXCEL (cf. paragraphe suivant) permet d'implémenter de manière pratique les **séquences de procédés envisageables avec les critères d'entrée et complémentaires**.

Dans cet arbre, seules les *séquences "logiques"* sont prises en compte, c'est-à-dire que par exemple:

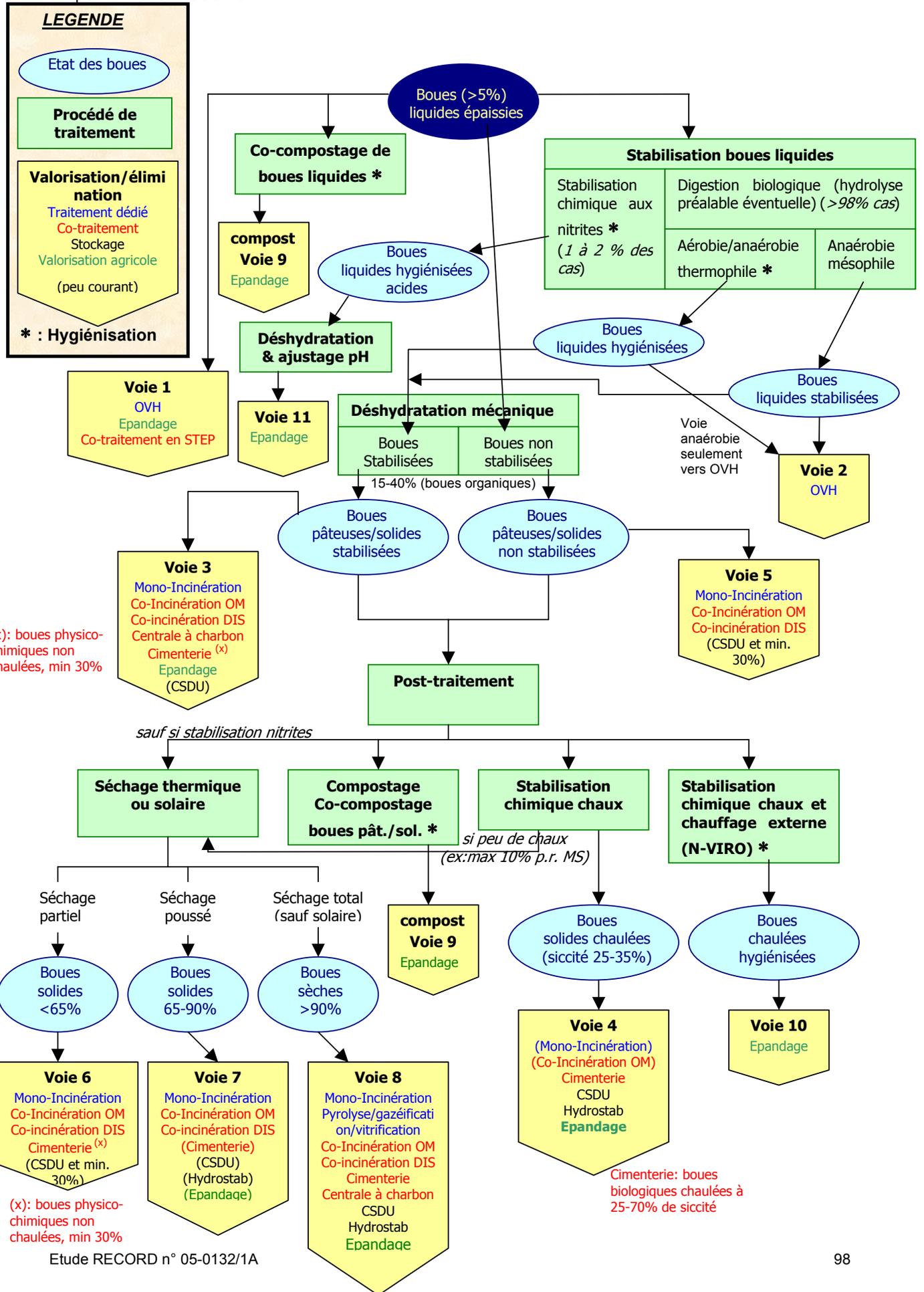
- ✓ Les boues compostées vont en épandage car le compostage a pour but de valoriser les boues pour l'agriculture (ainsi une mise en CSDU n'est pas considérée).
- ✓ Pour une digestion biologique, les quantités de boues traitées sont importantes. Ainsi, elles ne sont quasiment jamais épandues directement sur les champs sous forme liquide et sont donc déshydratées au préalable pour réduire le volume (transport).
- ✓ Même s'il est théoriquement autorisé de mettre des déchets fermentescibles en CSDU (et si la siccité est supérieure à 30%), cela ne se fait que très peu dans la pratique étant donné les nuisances créées. Ainsi, pour les boues solides < 65%, la voie CSDU est quand même mentionnée et pour les boues entre 65 et 90% elle est également considérée avec réserve ou limitation (*nom mis entre parenthèses dans la figure*).
- ✓ Il en va de même pour les voies 3 et 5: la filière CSDU est mentionnée entre parenthèses mais est appelée à disparaître.
- ✓ Si une hygiénisation par chaulage et chauffage externe a eu lieu (procédé N-VIRO), les boues vont en épandage où le critère d'hygiénisation est requis (ces boues ne vont pas en CSDU même si théoriquement rien ne s'y oppose).
- ✓ Des boues séchées ne vont pas en compostage (même s'il était possible de les humidifier pour ensuite les composter; cette séquence n'étant pas logique, elle n'est pas considérée).
- ✓ Etc.

Pour l'arbre (figure suivante):

- ✓ L'**état** des boues (résultat d'un procédé) est mis dans une **ellipse sur fond bleu**
- ✓ Le **procédé** de traitement est mis dans un **rectangle vert**
- ✓ La **filière** de valorisation ou élimination est mise **en jaune** et montre la différence entre
 - un traitement dédié
 - un co-traitement (en installation existante)
 - le centre de stockage (ou HydroStab)
 - la valorisation agricole
- ✓ L'astérisque * signifie que le procédé permet l'hygiénisation des boues en sortie de process

Figure 24: Arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés pour les boues organiques

CF. PAGE SUIVANTE



Le tableau suivant montre les voies possibles de valorisation/élimination des différents types de boues suite aux traitements de stabilisation, digestion, déshydratation, séchage et compostage.

Voies de valorisation/élimination des différents types de boues suite aux traitements de stabilisation, digestion, déshydratation, séchage et compostage											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	liquide épais	liquide épais stabilisé	pâteuse / solide stabilisé	solide chaulée 25-35%	pâteuse / solide non-stabilisé	solide <65%	solide 65-90%	solide >90%	Compostée	chaulée hygiénisée (N-VIRO)	Hygiénisée (nitrite) déshydratée
Mono-incinération			X	(X)	X	X	X	X			
Co-incinération OM DIB			X	(X)	X	X	X	X			
Co-incinération déchets DIS			X		X	X	X	X			
Cimenterie/briqueterie			(x) ^{3*}	(X) ^{4*}		(x) ^{3*}	(X)	X			
Centrale à charbon			X					X			
Pyrolyse								X			
Gazéification								X			
Vitrification								X			
CSDU			(X) ^{2*}	X*	(X) ^{2*}	(X) ^{2*}	(X)	X			
Hydrostab				X			X	X			
Epandage	X		X	X			(X)	X	X	X	X
Oxydation Voie Humide	X	X									
Co-traitement en STEP	X										

* si acceptation des boues contenant de la chaux dans le CSDU (conditions d'exploitation)

^{2*}: minimum 30% de siccité

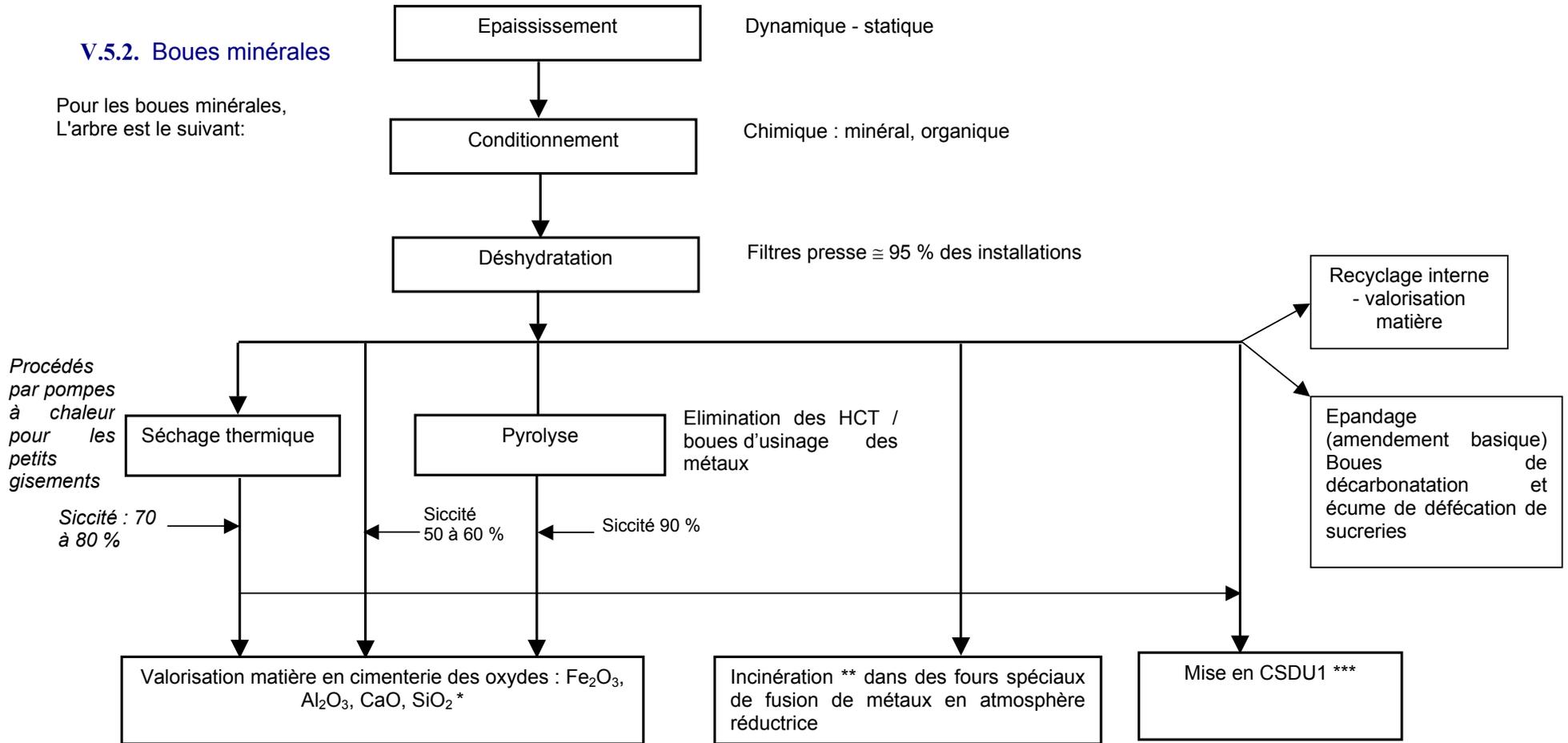
^{3*}: boues physico-chimiques non chaulées d'une siccité >30% (ex: secteur chimie/pharmacie)

^{4*}: boues biologiques chaulées à 25-70% de siccité

Tableau 32: Voies possibles de valorisation/élimination des différents types de boues suite aux traitements de stabilisation, digestion, déshydratation, séchage et compostage

V.5.2. Boues minérales

Pour les boues minérales,
L'arbre est le suivant:



* Boues de métallurgie de l'aluminium, fer et carrières – Contrainte : $SiO_2 + Al_2O_3 + CaO + Fe_2O_3 > 80\%$ des cendres - HCT < 5 000 mg/kg sur brut

** pour récupération des métaux : cuivre, zinc, nickel (valorisation par pyrométallurgie)

*** centre stockage déchets ultimes : contrainte siccité, contrainte de la lixiviation des métaux lourds – stabilisation par solidification

Figure 26: Arbre général de décision et de présentation des séquences de procédés pour les boues minérales

VI. CONCLUSIONS: UTILISATION DE L'OUTIL DÉCISIONNEL PAR LE DÉCIDEUR

Le **fichier Excel** a pour but de dire au décideur :

- ✓ quelles sont les voies possibles,
 - directes (ex : épandage de boues épaisses à proximité du site),
 - indirectes (après stabilisation, déshydratation mécanique et/ou séchage)
- ✓ quelles sont les raisons pour lesquelles les procédés non retenus ne sont pas applicables ainsi que quelques pistes à envisager pour rendre caduques ces raisons (ex. regroupement des boues si les quantités sont insuffisantes, demande de dérogation pour dépassement de normes); dans ce cas, il faut changer les valeurs données aux critères

sur base de données à encoder à un seul endroit du fichier

- ✓ critères d'entrée :
 - quantité annuelle de MS
 - teneur en MS
 - teneur en matière organique
 - nécessité de stabiliser ou hygiéniser
 - possibilité de valorisation agricole (oui / non)
- ✓ critères complémentaires :
 - distance à des installations existantes de traitement
 - autres critères spécifiques (ex. teneur en chlore des boues, critère retenu pour aller en cimenterie)

Le décideur dispose alors d'une liste de procédés possibles (ou séquence) pour lesquels il lui est conseillé de :

- ✓ lire les fiches de procédés (et/ou les tableaux de synthèse de ces procédés) dans lesquelles il trouvera les informations détaillées qui lui sont nécessaires pour affiner ses choix,
- ✓ consulter le tableau de problèmes spécifiques en fonction de la composition des boues.

Des instructions précises d'utilisation sont données dans l'outil Excel lui-même.

Des renvois aux fiches ou tableaux de synthèse de procédés peuvent être faits pour analyser les détails, les limitations et contraintes de chaque procédé.

Ainsi, cette étude fournit aux détenteurs de boues urbaines et industrielles les éléments de décision permettant le choix (de la ou) des filières de traitement / valorisation les mieux adaptées à leurs spécificités (caractéristiques des boues, taille des installations, technicité requise, type de débouchés, coûts approximatifs, etc.).

VII. ANNEXES

La liste des annexes est :

Annexe 1: Liste et description des usines papetières: usine de pâte à papier et fabrication de papier, cartonneries, transformation de papier-carton

Annexe 2: Liste et description des usines dans le secteur de la tannerie/mégisserie

Annexe 3: Présentation des eaux urbaines en général - pollution engendrée - paramètre biologique et définition de l'équivalent-habitant

Annexe 4: Vue schématique des étapes pour la conception et l'exploitation annuelle en ce qui concerne l'épandage des boues pour valorisation agricole

Annexe 5: Fiches des procédés de traitement des boues

ANNEXE 1

Liste et description des usines papetières: usine de pâte à papier et fabrication de papier, cartonneries, transformation de papier-carton

TABLEAU DES USINES DE PATE A PAPIER ET FABRICATION DE PAPIER

Dpt	Raison sociale	Production	Production boues t BH/an	Mode de déshydratation	Siccité %	Destination des boues
2	EVERBAL	Papier recyclé : 30 000t/an	boues physico-chimiques : 2 100 t/an	presse FAN	40%	Agriculture TVD+ agri local
2	GREENFIELD	pâte marchande : 120 000 t	boues primaires : 80 000t/an Boues mixtes : 15 000 t/an	filtre à bandes BELMER	BP : 60 % - BM : 35 à 40 %	Agriculture
2	SAICA France	pate à papier	actuellement 37500 à 42500t/an de MB boues physico-chimique 90 % et biologique 10 %	filtre à bande 25 % remplacé par des TASTER siccité > 50 %	25 à terme 50 %	agriculture
7	ARJO WIGGINS CANSON	Papiers à usages graphiques - Papiers industriels et spéciaux	BPC : 150t - BB : 1360 t	NC	BPC : 30 à 40 % - BB : 19 %	NC
9	MATUSSIÈRE ET FOREST	papiers à usages graphiques : 60 000 t	24 000 t /an MB composé de 95 % de physico-chimique et 5 % biologique	Filtre à bandes DEGREMONT + presse à Vis SERNAGIOTTO	50 - 51 %	Val agricole locale
9	PAPETERIES DE ST-GIRONS	papiers à usages graphiques, d'emballage, industriels et spéciaux	4 000 t MB - boues physico-chimiques	TASTER - Presse à Vis	33%	Val agri : 50 % - Co- incinération : 50 %
9	PAPETERIES LEON MARTIN	papier emballage 2 098 t, pap à usages domestiques 525 t	350t de MB	Fitre presse à plateaux	55%	valo agricole
13	INTERNATIONAL PAPER		NC			
13	TEMBEC TARASCON		10 000 t /an de boues en mélange Primaire + biologiques (répartition non communiquée)	Filtre à bandes presseuse ANDRITZ	30	incinération pour la production d'énergie pour le procédé

16	ALAMIGEON PAPETERIES	Papiers à usages graphiques	NC			
16	PAPETERIES DE VEUZE	production de papier : 87 500 t	650t de boues séchées	séchage thermique par sécheur disques SIL	> 90	valorisation agricole - rayon 20 km
24	AHLSTROM LABELPACK	papiers divers	5120t MB en 2004 - 6032 t en 2005 - uniquement BPC	filtre presse	34,2 à 35,5	valorisation matières dans le production de panneaux d'isolation thermique et phonique
24	BERNARD DUMAS	Papiers industriels et spéciaux pour batteries et filtres	250 t de BPC	Presse à vis	25 à 35 %	CET N° 2
24	CONDAT	pap à usages graphiques 500 000 t	NC			
24	GUYENNE PAPIER	pap industriels et spéciaux	BPC : 40t/an essentiellement composé de CaCO3 et pigments	Filtre presse	57%	CET2
27	AHLSTROM SPECIALITES	Papiers industriels et spéciaux : 24 000 t/an	NC	pressdeg	20%	Epandage agricole
27	GEORGIA-PACIFIC France	Papiers à usages domestiques 77900t/an	11 400 MB	filtre à bande	28%	valorisation agricole
27	GEORGIA-PACIFIC France	OITERIE - production de coton peigneuse	491 de MB - BB uniquement	filtre presse philippe	24	Société Flore Bleu Notre dame de Bliquefuit (76) à 12 km de la production
27	M-REAL ALIZAY	papiers à usages graphiques	NC			
31	TEMBEC SAINT-GAUDENS	pâte marchande : 285 000 t	23 279 t de MB - BP 97 % et BB 3 %	centrifugeuse	32 à 35 %	valorisation agricole pour la majeure partie et incinération dans chaudière à écorce pour la partie la plus faible
33	PAPETERIE DE BEGLES	Papiers industriels et spéciaux	2450 t (mélange BP+ BB)	centrifugeuse	19.2	compostage PENA

33	SMURFIT CELLULOSE DU PIN	papiers d'emballage : 445 000 t	Physico-chimique + digestion anaérobie - Production boues env 17 000 t MB	Filtre presse	50	incinération sur site
37	SEYFERT DESCARTES	papiers pr ondulé : 145 000 t	Boues anaérobies : 128,5 t MS/an sous forme liquide à 100 g/l- BB : 198,6 t MS	sans objet	Boues anaérobie liquide : 10 %	Boues anaérobie : val agricole rayon de 20 km BB recyclées dans le process
38	AHLSTROM BRIGNOUD	fabrication de non-tissés	530 t/an fibres (cellulose, polyester...) et 470 t/an latex (acrylique, pigments, résines fluorées, charges minérales) soit un total de 1000 t/an au total environ	flottation + presse à vis pour les fibres et centrifugeuse pour le latex	30 % latex et 45 % fibres	CET II à St Quentin sur Isère : LELY ENVIRONNEMENT
38	AHLSTROM LABELPACK	papiers à usages graphiques	4000 t/an MB	2 presses à vis	40%	stockage sur site, puis épandage agricole de juillet à décembre
38	ARJO WIGGINS	papiers à usages graphiques /	3300 t MB de mélange BPC + BIO (très faible quantité)	filtre à bandes DEG	34	val agricole
38	ARJO WIGGINS		490 t MB BPC	filtre à bandes	31	val agricole
38	MATUSSIÈRE ET FOREST	papiers à usages graphique, papiers d'emballage : 140 000 t	4500 t MS			
38	MATUSSIÈRE ET FOREST	Papiers industriels et spéciaux	11300 t MB en 2004 et 9500 t/an MB en 2005 (baisse de la production de papier)	Presse Taster et centrifugeuse	45 - 55 % en moyenne	compostage par SERTI ISERE avant épandage
38	PAPETERIE DES ALPES	papiers à usages graphiques	10 380 t de mélange BPC et BB 50/50	filtres à bandes EMO	25%	compostage
38	MOULIN VIEUX	papiers à usages graphiques : 24 000 t, pâte marchande : 11 000 t	NC			
38	PAPETERIE DE VIZILLE		860,4 de boues PC	Presse à vis	55	cimenterie VICAT de ST EGREVE et MONTHALIEU

38	PAPETERIE DE PONT DE CLAIX voir papeterie de CRAN		3000 t de BPC		50	épandage agricole
38	PAPETERIES DE LA GORGE	papiers à usages graphiques : 22 000 t, papiers ind. et spéciaux	863 t BPC	Presse à vis	45.30%	Initialement valo agricole (problème de la carence en azote - depuis 2004 : co-compostage des boues avec dechets vers
38	PAPETERIES DE LANCEY	papiers à usages graphiques : 130 000 t	NC			
40	PAPETERIES DE GASGOGNE	production de pate : 138 758 t (2004)	2 filières : ligne efflent pate à papier : 3000t BPC - ligne fabrication papier : 6000 t BPC	presses à bande pour ligne pate - taster pour ligne papier	30 % et 47 -48 %	décharge dédiée interne pour les boues de la pate et réintroduction chez les papetier des fibbres - du kaolin et CaCO3
40	TEMBEC TARTAS		Décantation primaire (750 t MS/an boues de résinification avant lagunage : 4 750 MS + Lagunage aérée	NC	40%	Incinération dans trois four à écorces + biomasse débit unitaire 90t/j
44	KAPPA SIEMCO	carton ondulé : 30 000 t	19t BPC uniquement	filtre presse	30-33 %	CET SECHE
45	GEORGIA-PACIFIC France	Papiers à usages domestiques marque LOTUS	3 500 t BPC	TASTER	30%	Séchage solaire + addition de sciure pour incinération ds des fours à biomasse
49	MONDI PACKAGING France	carton ondulé	43 t/an MB - BPC et BB	Filtre-presse	35%	CET II à Nuillé près du Mans
50	OTOR NORMANDIE	papiers pour ondulé	600 m3/an	sans objet	<à 5 %	incinération SARP à LIMAY
54	KIMBERLEY-CLARK	bte mouchoirs	Decantation + timent biologique : 5000t MB avec 80 %de BP et 20% de BB	Presse à vis	mélange	briquetterie ALSACE BAINA BERGHER

55	AHLSTROM LABELPACK	papiers à usages graphiques et d'emballage	13292 t MB mélange de boues physico-chimique (>95 %) et de boues biologiques (<5 %)	2 presses à vis	50%	épandage agricole 70 % - Coïncinération cimenterie 30 %
59	AHLSTROM SPECIALITES	papiers d'emballage	21055 t MB composée de 95 % de BP et 5 % de BB	centrifugeuse	31	val agricole pour 50 % - CET2 pour 50 %
60	KAYSERSBERG PACKAGING		boues BPC et BB ; env. 400 t/an - boues avec cuivre dans encres	filtre-presse	40%	CET classe II à BAILLEUL THERAIN (60)
60	M-REAL PSM	papiers à usages graphiques	6077 t MB mélange BP à 90 % et BB < 10 %	centrifugeuse	48.70%	Valorisation agricole
61	INTERNATIONAL PAPER	carton ondulé : 227 000 t*	1200 t MB BPC	Filtre-presse	> 30 % mais NC avec précision	CET II COLONNARD
61	SCA HYGIENE PRODUCTS	Papiers à usages domestiques	BPC : 97 % et BB : 3 % prod boues = 630 t MB	filtre-presse + presse à vis	env 45 %	co-incinération en cimenterie chez HOLCIM passage par le conditionneur de charge SOVRAC à St Etienne de Vouvrey
62	ARJO WIGGINS PAPIERS COUCHES	papiers de l'AA	2/3 BP + 1/3 BB = 10 000 t/an	NC	33%	agriculture - PE 1200 à 1600 ha (rotation 3 à 4 ans
62	CASCADES	Cartons	8 650 t de MB répartie en tre 70 % de BP et 30 % de BB	Filtre à bandes ANDRITZ	35	val agricole
62	INTERNATIONAL PAPER	papiers à usages graphiques	NC			
62	NORAMPAC AVOT-VALLEE	papiers pour ondulé	Mélange 50/50 BP et BB : 8577 t MB (2004) - 9700 t MB en 2005	NC	28%	val agricole pour 99 % CET N°2 pr 1 %
62	STORA ENSO CORBEHEM	papiers à usages graphiques : 500 000 t*	Mélange de BP, BB, Boues de décarbonatation : 82822 t MB		34%	Val agricole pour 16 785 t Mise en CET interne pour 11425 t

63	PAPETERIE BANQUE DE France	Papiers à usages graphiques	750 t MB	Presse à vis TASTER	42%	Incinérateur BdF pour 60 % environ et 40 % en CET 2
63	PAPETERIES DE GIROUX	pap pr ondulé : 22 000 t	NC	pas de déshydratation / lagune	sans objet	sans objet
64	SAICA France	papiers pour ondulé	Boues biologiques : env 5000 t MB	centrifugeuse	22%	compostage sur site puis valorisation agricole
66	ARJO WIGGINS	40 000 t de papiers médicaux	2 556 t MB BPC pas de boues Bio - pas de boues de déencrage	Presse à vis	34	Valorisation agricole
67	LANA MANUFACTURE DU PAPIER	Papiers à usage graphiques	NC			Briquetterie
67	UPM KYMMENE - STRACEL	papiers à usages graphiques	BP (2/3) + BB (1/3) : 26 134 t MB	Filtres à bandes ANDRITZ et BELLMER	33%	incinération sur site dans un four finlandais OCTOCUMPOU (actuellement FOSTER WHEELER)
67	INTERNATIONAL PAPER		NC			
68	GEORGIA-PACIFIC France	pap à usages domestiques	357 tonnes MS/an - BPC	presse	30%	épandage agricole
68	KAYSERSBERG PACKAGING		17 000t MB BPC uniquement	presse à bandes et presse à vis	55%	briquetterie pour 80 à 90 % et Valorisation énergétique pour le complément
68	MATUSSIÈRE ET FOREST		Cellucal 1 : 433 t MS - Cellucal 2 : 1084 t MS		cellucal 1 : boues chaulées 56 - cellucal 2 : boues chaulées : 42,4 %	val agricole

72	ARJO WIGGINS LE BOURRAY	Papiers à usages graphiques : 65 000 t/an - Papiers à usages domestiques : 30 000 t/an	27630 t MB de boues primaire (98 %) et 2 % de BB - - 80 % des boues primaires proviennent du déencrage des vieux papiers	Presse à vis	57.6	Valorisation agricole pour 30 % - Compostage pour 11% - Briquetrie pour 6 de 0,5 % - le reste en CET dédié sur site
72	ARJO WIGGINS PAPIERS COUCHES		17 169 T MB composée de boues PC et Bio pas de boues de déencrage	Filtre à bandes	34.8	Valorisation agricole 100 %
73	CASCADES	cartons/pâtes	15 000t MB boues mixtes	Filtre à bandes BELLMER	30%	Incinération dans la chaudière à écorce
74	PAPETERIES DE CRAN	papiers divers	1390 t de boues physico-chimiques	presse à bandes EMO	30.20%	mise ne déchargeCET 2 LELY ENVIRONNEMENT : 50 % Val agricole pour l'autre partie
74	PAPETERIES DU LEMAN	papiers à usages graphiques, industriels et spéciaux : 55 à 60 000 t	5000 t MB	Taster	50%	revégétalisation en Allemagne par BIOCOSTNATURA et briquetterie
76	UPM KIMMENE CHAPELLE D'ARBLAY	papiers à usages graphiques, d'emballage : 340 000t de papier	188584 t MB dont 88 % proviennent du déencrage	3 TASTER	58%	incinération chaudière à écorce pour 65 000t/an - le reste en VA (123 500t)
76	OTOR PAPETERIE DE ROUEN	pap pour ondulés	méthanisation suivi d'un procédé aérobic : 1200 t de boues anaérobic par an et 1000 t de boues biologique	sans objet	sans objet	Boues anaérobies revendues à société Pâques - Boues aérobies recyclées dans le process papeterie
77	ARJO WIGGINS	pap à usages graphiques Préparation du carton qui entre dans la fabricatioin du papier	2250t MB composée de BPC (98 %)et bous bio (2 %) boues très organiques : 80 % de MV	Presse à vis	35%	valorisation agricole jusqu'en juillet 2005 : puis compostage avec TVD depuis cette date

77	CASCADES	cartons spéciaux ignifugés : 6000t/an	BPC à 100 % : 782 t MB	PRESSDEG	50%	Val agricole par AGRODEV - accessoirement co- incinération cimenterie
84	ANNUNZIATA France/BUXEUIL	Papiers à usages domestiques	env 600 t		50%	
84	PAPETERIES DE MALAUCENE	pap industriels et spéciaux	400 t/an MB BPC	TASTER	30%	CET puis stabilisation/valorisation
87	INTERNATIONAL PAPER	pap à usages graphiques	9890t MB de boues primaires - traitement des effluents décantées par lagunage aérée	Presse à Vis	40%	Incinération dans la chaudière à écorce pour 94 % et le reste est stockées en CET interne
87	SMURFIT LIMOUSIN	pap pour ondulé	BPC recyclage process et BB anaérobie vendues pr réensemencement de réacteurs anaérobie: 250 m3	aucun	8%	vente pour les STEP et exportation vers l'Espagne
88	ARJO WIGGINS PAPIERS COUCHES	pap à usages graphiques et pap industriels et spéciaux	8 à 9000 t/an		50%	CET 2 de INTERMOSELLE
88	MATUSSIÈRE ET FOREST	pap d'emballage, frictionné	calcul : 14 000 t MB soit 7 000t MS	Presse à bandes + Taster en série	48 - 50 %	Épandage pour 50 % du gisement
88	NORSKE SKOG GOLBEY	Pap à usages graphiques : 620 000 t	93 000t boues brutes	table d'égouttage et presse à vis ANDRITZ pour les BP - TASTER ou presse à vis NEYRTEC pour le mélange BB+BP	60 % pour les BP et 50 pour BB + BP	Incinération sur site - four Tampala

88	NOVACARE	pap à usages domestiques : 50 000 t	boues de déencrage et bio : 27 571 t		30%	multifilières : val agricole, cimenterie, tuilerie, briquetterie compostge
88	PAPETERIE CLAIREFONTAINE	pap à usages graphiques : 170 000 t	production de boues PC+ Bio traitement aérobie : 7 460 t MB	filtre à bandes PressDEG	29 à 33 %	Compostage sur site par AGRODEVELOPPEME NT
88	PAPETERIE DES VOSGES	Papiers à usages graphiques : 45 000 t	NC			
88	PAPETERIES DE DOCELLES UPP KYMENE	pap pour production d'enveloppes et ramettes papier : 120 000 t	Boues biologiques pour l'essentiel : 2682t MB - pas de boues de déencrage	Filtres à bandes ANDRITZ	31.30%	Valorisation agricole par SEDE
88	PAPETERIES DU SOUCHE GROUPE ADAPACK	support pour étiquette : 69 300 t/an	BPC pour l'essentiel : 6473 t très faible pourcentage BB	centrifugeuse	38	54 % en hollande : co- incinération cimenterie AVR AVIRA - 36 % compostage ABCD à Vittel et 10 % en CET
88	PAPETERIES de CHATELLES		586t de boues physico chimique et 717t de boues biologiques - pas de boues de déencrage de vieux papiers	presse à vis pour les boues PC - Presse à bandes pour les boues biologiques	PC : 45 % - BB : 12 %	élimination des boues physico-chimiques contenant des fibres et charges en Papeterie qui traite les vieux papiers et compostage pour les boues bio

TABLEAU DES CARTONNERIES AVEC RECYCLAGE DES BOUES DANS LE PROCESS

Dpt	Raison sociale	Production	Production boues t BH/an	Mode de déshydratation	Siccité %	Destination des boues
13	INTERNATIONAL PAPER	papiers pour ondulé	pas de STEP -			recyclage de la totalité des boues et des fibres dans le process papetier
16	AHLSTROM SPECIALITES		1120 t MB - Boues physico-chimiques	PRESSDEG	20%	recyclage des fibres en cartonnerie
16	OTOR DAUPHINE	papiers pr ondulé	STEP : Flottation + traitement biologique	pas de déshydratation	sans objet	recyclage en fabrication des boues primaires flottées (fibres) et des boues biologiques après adjonction de biocide
16	Cartonnerie de la BOEME (COHEN)		traitement physico-chimique + lagunage			Recyclage comlet des boues physico-chimique dans le process cartonnerie
18	PAPETERIE DE BIGNY	papiers pr ondulé, carton ondulé	traitement anaérobie suivi d'un traitement aérobie : boues ana utilisé pour le réencement et boues bio vers le process	aucun	sans objet	recyclagecomplet
19	SMURFIT SOCAR	papiers pr ondulé : 450 000 t - carton ondulé : 620 000 t *	flottation+méthanisation +flottation secondaire - pas de boues	sans objet	sans objet	recyclage de la totalité des boues produites dans le process papetier
25	OTOR VELIN	Pap pr ondulé : 7 000 t - carton ondulé : 38 000 t*	production de 3 306 t MS (Boues primaires) et 730 t (Boues biologiques)	aucun	sans objet	recyclage de la totalité dans le process papetier

25	PAPETERIE DE MANDEURE	pap à usages graphiques 23 000 t, pap ind et spéciaux 5 000 t	traitement par flottation - boues physico-chimique : 1250t MB	presse à vis	36%	recyclage de la totalité dans le process papetier de OTOR VELIN
25	PAPETERIE ZUBER RIEDER	pap à usages graphiques : 9 000 t - pap d'emballage : 1 000 t - pap. Industriels et spéciaux : 1 000 t	762 t de BPC	presse à vis	50%	recyclage dans la papetrie OTOR VELIN de NOVILLARS
26	PAPETERIES DE MONTSEGUR	papiers d'emballage extra fin : 1 000 t/an	Traitement physico-chimique par flottation			recyclage de la totalité des boues dans le process papetier
26	PAPETERIES EMIN LEYDIER	papiers pour ondulé (PPO): 426 000 t *	traitement par boues activées - recyclage des boues dans le process 109200 m3 à 36,3 g/l = 3963 t/an			recyclage process
27	SMURFIT SOCAR	papier pr ondulé	311 t MS recyclé à partir du decanteur rimaire et biologique - pas d'extraction à partir du méthaniseur	sans objet	sans objet	recyclage Process
33	CORENSO France	pap pr ondulé, carton ondulé	497 t MS BB recyclé en fabrication sortie Clarificateur à 8-10g/l			recyclage process
33	PAPETERIE DU CIRON HEXAFORM	papiers pour ondulé, d'emballage, cartons, carton ondulé	Traitement biologique avec recyclage des boues clarifiées dans la cartonnerie : soit 300MS/an soit environ 2 % du papier produit	sans objet	sans objet	recyclage process
37	CARTONNERIE OUDIN	cartons : 26 000 t	traitement par lagunage aérée suivi d'un fottateur KROFTA : recyclge de 400 m3/j à 350mg/l de Mes et 310j année : 43,5 t MS	sans objet	sans objet	recyclage process cartonnerie

43	ABZAC LE CROUZET	cartons pour tube	STEP Biologique recyclage de 3 m3h à 10g/l soit 250 t MS/an	sans objet	1%	recyclage process après timent biocide
45	KAYSERSBERG PACKAGING	pap pr ondulé 136 000 t, carton ondulé 152 000 t	Boues physico-chimique séparées par KROFTA pas de connaissance du flux recyclé.			recyclage Process
56	LYDALL FILTRATION SEPARATION	fabrication de cartons pour emballage des fruits				recyclage process
56	OFIC CELLULOSE DE LA LOIRE	fabrication de plateaux d'emballage pour les oeufs	recyclage de la totalité des boues des flottateurs : 340 j X 24 X 170m3/h X (1-0,1g/l) = 1250t MS/an	sans objet	< à 1 %	recyclage process
59	SONOCO PAPER France	46500t de plaques carton pour fabrication de tube	recyclage des boues biologiques flottées à la concentration de 4 à 5 % pompées par pompe PCM quantité estimée < à 1000 tMS/an	sans objet	boues flottées	process
60	ALLARD EMBALLAGES	transformation papier carton	boues physicochimiques : fibres			recyclage en fabrication
62	CARTONNERIES DE GONDARDENNES	papiers pr ondulé : 140 000 t carton ondulé : 132 000 t	pas de production de boues - circuit fermé - recyclage process nouveau procédé en cours d'étude ANAEROBIE+ AEROBIE	sans objet	sans objet	recyclage procédé

62	SICAL	papier pr ondulé dans la papeterie : 36 000 t, papiers d'emballage et de carton ondulé dans la cartonnerie : 65 000 t	traitement primaire et biologique - la totalité des boues sont recyclées dans le process papetier 3t/j de MS X 355 j = 1065 t dans la cartonnerie récupération de 500 m3/an de boues de déencrage à 10-15 % de MS	sans objet	sans objet	recyclage
67	FABRIQUE DE PAPIERS BRUCKER	Papiers pr ondulé, d'emballage, carton ondulé petite unité	eaux sortant du pulpeur sont traitées dans la STEP de HERBZHEIM	sans objet	sans objet	recyclage de l'eau en mode interne
67	SONOCO PAPER France	papiers d'emballage : 4 500 t, cartons : 62 000 t*	traitement biologique avec recyclage des boues : 430t MS/an	sans objet	sans objet	process
68	PAPETERIES DU RHIN	Cartons 60 000 t /an de tubes et rouleaux pour bobine de papier	traitement par procédé BIOSEP (VEOLIA) recyclage de 140t de boues activées dans le process (0, 23 % de la masse de cartion produite)	sans objet	sans objet	Process de fabrication du carton
69	CGP INDUSTRIE	Papiers emballage-papiers indus. et spéciaux	138 t de MS	pas de déshydratation - technique membranaire	BA à 6 %	recyclage process après timent biocide
72	ALLARD EMBALLAGES	papiers pour ondulé	2279 t MS	pas de déshydratation	boues liquides	recyclage process
84	PAPETERIE DE GROMELLE	pap pour ondulés, carton	boues physico-chimiques : 45 t/an MS pas de ttraitement biologique			recyclage fabrication
87	LACAUX FRERES	pap pr ondulé : 35 000 t, carton ondulé 30 000 t	recyclage des boues biologiques dans le process papetier : 355 t MS/an			recyclage

88	GREGOIRE CARTONNERIE	pap d'emballage 8000 t, cartons 52 000 t	pas de STEP recyclage de la totalié des eaux dans le process			pas de recyclage de boues
----	----------------------	---	--	--	--	------------------------------

TABLEAU DES USINES DE TRANSFORMATION DE PAPIER CARTON

Dpt	Raison sociale	Production	Production boues t BH/an	Mode de déshydratation	Siccité %	Destination des boues
1	ALLARD EMBALLAGES *	papiers pour ondulé : 75 000 t/an *	pas de STEP - Pas de boues			
1	DUBREUIL	cartons : 2 000 t	NC			
1	EMIN LEYDIER	carton ondulé	pas de STEP boues d'amidon de maïs pour collage - séparation par décantation : 144t/an	sans objet	sans objet	boues d'encrage à TREDI SALAISE SUR SANNE
1	EMIN LEYDIER	carton ondulé	pas de STEP boues d'amidon de maïs pour collage - séparation par décantation Quantité non connue			boues d'encre qq tonnes/an
2	MONDI PACKAGING France	carton ondulé	pas de STEP boues d'amidon de maïs pour collage - séparation par décantation Quantité non connue			
2	SAICA France	caisserie	eaux usées traitées sur le STEP ci-dessus			
8	CARTONNERIE SMURFIT MARTIN GUILLEMIN	pap pr ondulé : 62 000 t				
10	LUCART France	Papiers à usages domestiques	pas de STEP sur site rejet sur la STEP de BARBEREY TROYES			
14	ONDULYS INDUSTRIE	papiers pour ondulé	50t de MB - boues produite à partir des lavage de colle et d'impression	electroflocculation	40-40 %	Incinération CITRON le HAVRE
16	MOULIN DU VERGER	papier à usages graphiques				
16	SAICA France	carton ondulé	STEP physico-chimique : pas de production de boues			
16	SCA EMBALLAGES	carton ondulé uniquement transformateur	pas de STEP			

16	SOFPO	cartons, carton ondulé	pas de STEP : production de terres de filtration avec pigments naturels : 108t/an		65 à 75 %	élimination en CET (auparavant compostage)
19	ALLARD EMBALLAGES (1)	cartons ondulés	pas de STEP - pas de production de boues			
19	SMURFIT SOCAR	papier pr ondulé				
21	SAICA France	papier ondulé	Pas de STEP - uniquement décantation des colles			
21	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	Boues physico- chimiques < à 50t/an	filtre presse	50%	CET 2 de RAMBON
24	PRAT DUMAS & CIE	pap. indust. Spéciaux 400 000 t	sans objet trop petit			
27	ONDULYS	pap pr ondulé carton ondulé	pas de STEP			
27	SCA EMBALLAGES	carton ondulé				
29	OTOR BRETAGNE	carton ondulé - transformateur	pas de STEP eaux usées domestiques traitées sur le STEP ville de CARHAIX			
29	PAPETERIE DE CASCADEC (SCHOELLER & HOESCH)		NC			
29	PAPETERIES DE MAUDUIT (SCHWEITZER MAUDUIT		NC			
30	STONE CEVENNES EMBALLAGES	carton ondulé : 30 000 t	installation récente			
31	BARTHIER NOUVELLES PAPETERIES	Papiers d'emballage, industriels et spéciaux, à usages domestiques	pas de STEP - petite entreprise 28 personnes			
31	EMBALLAGES CARTONNAGES MIDI (ECAM)	carton ondulé	Pas de STEP - uniquement boues de déencrage : 6t/an	sans objet	sans objet	sans objet
31	SAICA France	Papier pour ondulé				
33	SAICA France	fabrcation d'emballage	pas de STEP			
33	SMURFIT SOCAR	fabrcation d'emballage	pas de STEP			
35	NORMANDIE ONDULE	fabrication d'emballage - transformateur	pas de STEP			
38	OTOR DAUPHINE	papiers pour ondulé, carton ondulé	pas de STEP			
38	PAPETERIES DE FURES	papiers d'emballage : 3500 t	pas de STEP			

39	SAPACEN	cartons : 2500 t	pas de STEP			
42	CARTONNERIES DE GONDARDENNES	papiers pour ondulé : 140 000 t, carton ondulé : 132 000 t *	pas de STEP			
42	SCA HYGIENE PRODUCTS	Papiers à usages domestiques	STEP industrielle arrêté - rejet sur la STEP de la ville de ROANNE			
42	SEYFERT FOREZ	Carton ondulé	pas de STEP			
43	INTERNATIONAL PAPER	carton ondulé : 227 000 t*	2004 : 109 t et 2005 : 143 t - BPC - Boues de déencrage - floculation préalable			TREDI à Salèze/sanne
44	KAPPA SCAO	carton ondulé 73 032 t*	boues de déencrage séchées sur cylindres sècheurs PASA : 90 t MS/an	aucun	>95 %	CET 2
44	MONDI PACKAGING France	carton ondulé	Pas de STEP			
44	SCA EMBALLAGES	carton ondulé	28,4 t MB en 2005	NC	NC	CET à Auriol (S.O.)
44	PAPETERIES DE NANTES		rejet dans la STEP de la ville de la CU de nANTES : 50 000 m3 eaux usées par mois à DCO			
45	KAPPA SCAO	carton ondulé : 73 032 t*	évapo-concentrator sur cylindre DUPRAT de la totalité des eaux de déencrage et de colles à base d'amidon (10 à 15 % d'amidon maxi) - 14t de Matériau séché	séchage par tambour sécheur	> à 90 %	Incinération chez TRIADIS près d'ETAMPES
45	MONDI PACKAGING France	carton ondulé	petite station de déencrage pour séparation des encres : 95 t/an	sans objet	10%	incinération repris par un conditionneur de charge : SITREM
49	PAPETERIE D'ANJOU	transformation de pap à usages domestiques : 5000 t	pas de STEP			
50	PAPETERIES DU CONTENTIN-PAPECO	pap à usages domestiques : 7 000 t	pas de STEP à ce jour			

51	SEYFERT CHAMPAGNE	carton ondulé : 23 500 t	Procédé d'électrocoagulation pour la séparation des encres d'impression			
51	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	UF pour le traitement des encres (230 m3 à 12 %+ décantation pour les eaux de atelier de collage à l'amidon (61 m3 à 30 %)	pas de déshydratation	Concentration UF : 12 % concentration Dec : 30 %	destruction des boues de déencrage par TERIS (pas de calais - Compostage des boues d'amidon
51	SMURFIT SOCAR		UF + égouttage sur bande ; 327 m3		10%	destruction des boues de déencrage par TERIS (pas de calais)
51	SOFREC - SOCIETE DES EMBALLAGES MOULES	cartons	Station biologique à boues activées - fonctionnement batch			
53	EMIN LEYDIER	carton ondulé	pas de STEP boues d'amidon de maïs pour collage - séparation par décantation Quantité non connue qq t/an			
53	SAICA France	carton ondulé	pas de STEP			
54	DELIPAPIER	pap à usages domestiques : 110 000 t	boues de dégrillage contenant fibres et plastics + boues biologiques déshydratées : 181 t MB	boues biologiques : centrifugeuse	15 % après déshydratation mais concentration jusqu'à 30 % par séchage naturel	CET 2
56	SCA EMBALLAGES	faabrication de carton ondulé et de boîtes cartons préimprimées - Transformateur	843 m3 de boues de déencrage très diluées	sans objet	< à 10 %	co-incinération en cimenterie à RANVILLE - prise en compte par TREDI pour faire un conditionnement de charge préalable

59	ONDULYS	carton ondulé	Pas de STEP			
59	ONDULYS	carton ondulé	Pas de STEP			
59	SCA HYGIENE PRODUCTS	Papiers à usages domestiques	step sur-dimensionnée réservée aux eaux usées domestiques sans objet pour la production de boue			
59	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	pas de STEP			
59	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	boues de déencrage : encres flexographiques procédé UF : 200 t /an et boues d'amidon obtenues par décantation : 40 t/an	sans objet	boues d'amidon : 40 à 50 % - Boues de déencrage : 2 à 3 %	Incineration en centre spécialisé
60	INTERNATIONAL PAPER CARTON ONDULE	carton ondulé : 227 000 t*	boues de déencrage : 25 m3/an + boues d'amidon 25 t/an à 40 % obtenu par décantation	sans objet	liquides pour les boues de déencrage à 10 % et Solide pour les boues d'amidon	Incineration à la SITREM à NOISY LE SEC pour boues de déencrage et mise en CET pour les boues d'amidon
60	SCA HYGIENE PRODUCTS	Papiers à usages domestiques	NC			
62	ONDULYS LIANE	carton ondulé uniquement transformateur	pas de STEP			
62	PROWELL	carton ondulé : 80 000 t	pas de STEP			
63	CELTA GROUPE ROSSMANN	pap pr ondulé : 32 000 t, carton ondulé : 65 000 t	boues à base de colle d'amidon et de féculé extraite par décantation : 7t/an	sans objet	sans objet	incinération SECHE à Salaise /sanne
63	CGP INDUSTRIE	Papiers emballage-papiers indus. et spéciaux Transformateurs	à l'origine timent physico-chimique puis déshydratation FP	mise en service d'un évapoconcentrateur LEAD ITALIA pour traiter 500 m3/an à 1-2 % de concentration	finale > à 90 %	élimination par CHIMIREC
63	CGP INDUSTRIE	papiers d'emballage : 14 000 t - papiers industriels et spéciaux : 10 000 t - transformateurs	pas de STEP sur site			
63	KAPPA DORE EMBALLAGE	cartons, carton ondulé	pas de STEP			
67	ROSSMANN	carton ondulé	installation de déencrage			

68	PAPETERIES ROSSMANN	pâte, trait vieux papiers : 30 000 t	pas de STEP - fonctionnement en circuit fermé			
69	SAICA France	papier pour ondulé	process cartonnerie - recyclage complet pompage de 4 m3/an d'amidon en pied de cuve	sans objet	sans objet	sans objet
71	INTERNATIONAL PAPER	carton ondulé	pas de STEP			
71	SCA HYGIENE PRODUCTS	pap à usages domestiques	NC			
73	MATUSSIÈRE ET FOREST	transformation papier	pas de STEP			
73	MONDI PACKAGING SAVOIE	carton ondulé - transformateur	NC			
76	GEORGIA-PACIFIC France	papier à usages domestiques - Transformation	pas de STEP			
76	KIMBERLEY-CLARK	bte mouchoirs				
76	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	STEP OUI			
77	KAPPA CONTAINERBOARD	carton ondulé	Pas de STEP - boues d'amidon			
78	MONDI EMBALLAGES	carton ondulé	boues déencrage d'encres séparées par filtration : 95 t/an	sans objet		coïncinération en cimenterie - prise en compte par SITREM
80	EMIN LEYDIER	carton ondulé	pas de STEP biologique - boues d'amidon de mais pour collage - séparation par décantation : Quantité non connue qq t/an et boues de déencrage qq t/an.			
80	OTOR PICARDIE	pap pr ondulé, carton ondulé	pas de production de boues biologiques : uniquement boues d'amidon			
80	SAICA France	carton ondulé	recyclage des eaux dans le process boues de déencrage d'encre			
84	SEYFERT PROVENCE	carton ondulé : 13 000 t	NC			

85	SMURFIT SOCAR	carton ondulé	essentiellement résidus de fond de cuve contenant de l'amidon : 36 t /an pas de STEP Biologique		50%	
86	OTOR GODARD	pap pour ondulés	Lagunage complété par flottateur -			
87	EMIN LEYDIER	pap pour ondulés, carton ondulé	pas de STEP boues d'amidon de maïs pour collage - séparation par décantation Quantité non connue			boues d'encre qq tonnes/an
87	SOLECO	carton ondulé : 24 000 t	Boues d'amidon pour collage : 30 m3/an et boues de déencrage (flexographie : 40 t an max	FP pour les boues de déencrage	50%	Boues de déencrage : Co-incinération cimenterie Boues d'amidon : NC
88	EXTEN PACKAGING	pap industriels et spéciaux transformateur	pas de STEP			
88	MATUSSIÈRE ET FOREST		NC			
88	OTOR VELIN	pap pour ondulés, carton ondulé	NC			
91	KAPPA CENTRAL PAC	pap pour ondulés	pas de STEP			
91	KAPPA CENTRAL PAC	carton ondulé	pas de STEP			
91	ONDULYS ROY	carton ondulé	pas de STEP			
91	ONDULYS LIANE	carton ondulé	pas de STEP			
91	ONDULYS TAILLEUR	carton ondulé	pas de STEP			
92	SMURFIT SOCAR					
95	ARCO CARTON	carton ondulé	pas de STEP			
	COUPE SERVICE	transformation du papier	pas de STEP			

ANNEXE 2

*Liste et description des usines dans le secteur de la
tannerie/mégisserie*

RAISON SOCIALE	salariés	DEPT	LIEU	t BOUES humides	SICCITE %	EVACUATION
TANNERIES DU PUY	164	43	PUY EN VELAY	1250		NC
TCIM	130	72	VIVOIN	118.46	30	CET 2
COSTIL TANNERIES DE France	111	67	LINGOLSHEIM	pas de STEP - raccordé sur STEP Communauté urbaine		
TANNERIE ROUX	102	26	ROMANS	200	35 - 38	CET 2
TANNERIE D'ANNONAY	84	7	ANNONAY	500	≈ 25	CET 1
BODIN JOYEUX	78	36	LEVROUX	300		NC
SOVOS	78	88	LE THILLOT	400		NC
DUPIRE	78		CHATEAUNEUF SUR SARTHE	400		NC
COSTIL PONT AUDEMER UNT	75	27	PONT AUDEMER			fermeture usine
TANNERIE HAAS	73	67	EICHHOFFEN	110	30	INCINERATION CUS (UIOM)
TANNERIES NOUVELLES PECHDO	58	12	MILLAU	100	30	CET 1
HERVY MERCIER	54	12	MARVEJOLS	200		deux types de boues : chrome + biologique
GORDON CHOISY	54	77	MONTEREAU FAULT/YONNE	200		NC
SAS MONTBRUN	51			150		NC
CARRIAT	50	64	ESPELETTE	167	≈ 30	CET 2
FORTIER BEAULIEU	50	42	ROANNE	150		NC
CHAMOISERIE DE France	47	79	LA CRECHE	150		NC
JOQUEVIEL CATHALA	44	81	GRAULHET	150		NC
CET (COMPAGNIE EUROPEENNE DE TANNAGE)	42	49	CHATEAUNEUF SUR SARTHE			NC
TANNERIES DE FRANCE	41					
DEGERMANN	40	67	BARR	55 - 60	35 - 45	TREDI STRASBOURG
TANNERIE DE PERIERS	39					
MEGISSERIE RICHARD	35	12	CREISSELS	< 50	35	CENTRE TRI
GUYARD CHESNEAU	32	36	ISSOUDUN			NC
TANNERIE DE FLEURIAIS	29		MONTAGNE SUR SEURE			NC
B.C.S.	29	1	RUMILLY	Pas de tannage - teinture et rejet STEP RUMILLY		
MEGISSERIE COLOMBIER	28	87	ST JUNIEN			NC
CHATEAUNEUF CUIR	28	49	CHATEAUNEUF SUR SARTHE			NC
MEGISSERIE LAURET	26	12	MILLAU	33	30	CENTRE TRI
SA RAYNAUD JEUNE	26					NC
ALRIC	25	12	MILLAU	12	37	CENTRE TRI
SOCIETE NOUVELLE MEGISSERIE	25					NC
ALRAN D, et CIE	21	81	MAZAMET			NC
TANNERIE F ARNAL	20		LE MONASTERE			NC

EURO SERVICE CUIRS	20	79	PARTHENAY			NC
OMINI CUIR	19	81	GRAULHET			NC
CUIR DU FUTUR	19	81	GRAULHET			NC
ETAVE	19	36	ISSOUDUN			NC
ETS RENE VIDAL ET CIE	19					NC
SOGECUIR	19					NC
ETS J TASSIN S.A.	17					NC
MARTIN ESTRABAUD	16	81	MAZAMET			NC
TANNERIE-COURROIERIE DE LAVAL G.	16					NC
ARPO	15	81	GRAULHET			NC
MAURY JEAN	15	81	MAZAMET			NC
BASTIN ET FILS	14	87	ST LEONARD DE NOBLAT			NC
TANNERIE GAL	14	87	BELLAC			NC
DERAYAGE SERVICE	14	81	GRAULHET			NC
SOFACUIR	14					NC
TANNERIE DE LA VALLEE DE L'OISE	14					NC
MEGISSERIE DU MIDI	13		GRAULHET			NC
MEGISSERIE ROUSSEAU	13	36	LEVROUX			NC
CUIR ET GUTTAGE	13	81	GRAULHET			NC
BOINOT INDUSTRIES	12	79	NIORT			NC
STE NOUVELLE DES ETS SENAT	12	81	GRAULHET			NC
SARL TANNERIES DU LOUBAT	12					NC
INTERCUIR EUROPE	10	18	VIERZON	< 10 t/an		NC
LES TANNERIES DE CHAMONT	10					NC
ARIES	10					NC
SARL MELSA	10					NC
CHAMOIS AS	5		AUSSILLON			NC
DUMAS ET CIE	5	7	ANNONAY			NC
CHÂTEAU FRANCIS	3	16	MONTBRON			NC
MEGISSERIE DE LA MOLIERE	3	81	GRAULHET			NC
STE MAGICUIR	3	81	GRAULHET			NC
HERVY MEGISSERIE	1	87	ISLES			NC
PHILIPPE GONTHIER	1	81	GRAULHET			NC
SERRAGOR	1	81	GRAULHET			NC
TANNAPEL	1	81	GRAULHET			NC
TANNERIE A CIULLI	1		TRIE CHÂTEAU			NC
GAMCUIR	1	87	ST JUNIEN			NC

71 usines

Env 5500 boues
déshydratées

Liste des tanneries et nombre d'employés

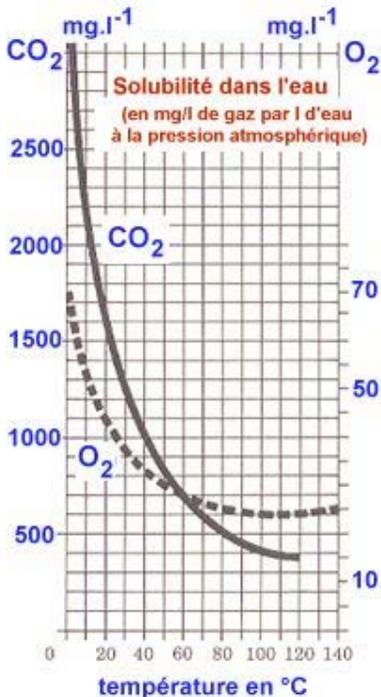
RAISON SOCIALE	salariés
TANNERIES DU PUY	164
TCIM	130
COSTIL TANNERIES DE France	111
TANNERIE ROUX	102
TANNERIE D'ANNONAY	84
BODIN JOYEUX	78
SOVOS	78
DUPIRE	78
COSTIL PONT AUDEMER UNT	75
TANNERIE HAAS	73
TANNERIES NOUVELLES PECHDO	58
HERVY MERCIER	54
GORDON CHOISY	54
SAS MONTBRUN	51
CARRIAT	50
FORTIER BEAULIEU	50
CHAMOISERIE DE France	47
JOQUEVIEL CATHALA	44
CET (COMPAGNIE EUROPEENNE DE TANNAGE)	42
TANNERIES DE FRANCE	41
DEGERMANN	40
TANNERIE DE PERIERS	39
MEGISSERIE RICHARD	35
GUYARD CHESNEAU	32
TANNERIE DE FLEURIAIS	29
B.C.S.	29
MEGISSERIE COLOMBIER	28
CHATEAUNEUF CUIR	28
MEGISSERIE LAURET	26
SA RAYNAUD JEUNE	26
ALRIC	25
SOCIETE NOUVELLE MEGISSERIE	25
ALRAN D, et CIE	21
TANNERIE F ARNAL	20
EURO SERVICE CUIRS	20
OMINI CUIR	19
CUIR DU FUTUR	19
ETAVE	19
ETS RENE VIDAL ET CIE	19
SOGECUIR	19
ETS J TASSIN S.A.	17
MARTIN ESTRABAUD	16
TANNERIE-COURROIERIE DE LAVAL G.	16
ARPO	15
MAURY JEAN	15
BASTIN ET FILS	14
TANNERIE GAL	14
DERAYAGE SERVICE	14
SOFACUIR	14
TANNERIE DE LA VALLEE DE L'OISE	14
MEGISSERIE DU MIDI	13
MEGISSERIE ROUSSEAU	13
CUIR ET GUTTAGE	13
BOINOT INDUSTRIES	12
STE NOUVELLE DES ETS SENAT	12
SARL TANNERIES DU LOUBAT	12
INTERCUIR EUROPE	10
LES TANNERIES DE CHAMONT	10
ARIES	10
SARL MELSA	10
CHAMOIS AS	5
DUMAS ET CIE	5
CHÂTEAU FRANCIS	3
MEGISSERIE DE LA MOLIÈRE	3
STE MAGICUIR	3
HERVY MEGISSERIE	1
PHILIPPE GONTHIER	1
SERRAGOR	1
TANNAPEL	1
TANNERIE A CIULLI	1
GAMCUIR	1

ANNEXE 3

*Présentation des eaux urbaines en général - pollution engendrée -
paramètre biologique et définition de l'équivalent-habitant*

Les eaux urbaines en général - pollution

L'eau peut dissoudre de nombreuses substances chimiques minérales ou organiques. De plus, elle met en suspension les matières insolubles et les déchets solides. A l'opposé, comme les gaz, l'oxygène est peu soluble dans l'eau. En eau douce, la solubilité de l'air dans l'eau est de 14,4 mg / l à 0° C, elle diminue rapidement avec une élévation de la température ; à 30° C elle n'est plus que de 7,53 mg / l.



Les charges polluantes minérales et surtout organiques déversées atteignent aujourd'hui une valeur telle que les micro-organismes présents dans le milieu aquatique ne peuvent plus réaliser, comme par le passé, une auto-épuration valable. Lorsque cette capacité d'auto-épuration est dépassée, il arrive fréquemment que le taux en oxygène dissous du récepteur devienne nul, ce qui provoque le développement d'autres micro-organismes capables de vivre en anaérobiose (absence d'oxygène) avec pour conséquence la formation de gaz putrides malodorants.

Ces charges polluantes contenues dans les eaux usées ont des origines diverses. On s'accorde à considérer l'industrie comme le principal agent polluant ne serait ce que par ses responsabilités indirectes (matière d'emballage, substances chimiques nocives à long terme).

Les six principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, la circulation, l'urbanisation, les forces armées.

Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eau et plus généralement tout le milieu naturel.

Ces rejets comprennent :

- ✓ les eaux ménagères, c'est-à-dire des eaux de cuisine, de toilette et de lessive contenant des graisses, savons, détergents et déchets divers ;
- ✓ les eaux-vannes provenant des lieux d'aisances, contenant les matières fécales et les urines ;
- ✓ les eaux d'origines diverses telles les eaux de pluie et de drainage ;
- ✓ les eaux usées agricoles provenant de l'élevage dont les fumiers et lisiers sont riches en matières organiques azotées mais dont certains composés, les nitrates par exemple, peuvent être entraînés, en raison de leur grande solubilité, par les eaux de lessivage et de percolation ;
- ✓ les eaux atmosphériques ou de ruissellement provenant du lavage de l'atmosphère (pluies acides) et du lessivage des sols de voirie et de toute surface imperméable (routes, chemins de fer, parkings, surfaces bâties).

Ces effluents entraînent une pollution du milieu aquatique qu'on peut classer en plusieurs types que l'écosystème parvient à maîtriser avec plus ou moins d'efficacité.

- ✓ La pollution organique est la plus répandue. Elle peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'auto-épuration n'est pas atteinte. Au delà de cette limite, la respiration de divers organismes aquatiques prend le pas sur la production d'oxygène.
- ✓ La pollution microbiologique se développe conjointement à la pollution organique, par une prolifération de germes d'origines humaine ou animale dont certains sont éminemment pathogènes.
- ✓ La pollution par les hydrocarbures qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager et leur vitesse de propagation dans le sol est 5 à 7 fois supérieure à celle de l'eau. Ils constituent un redoutable danger pour les nappes aquifères. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère.
- ✓ La pollution thermique par l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation, la prolifération des germes. Il s'ensuit qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution.
- ✓ La pollution minérale due essentiellement aux rejets industriels modifie la composition minérale de l'eau. Si certains éléments sont naturellement présents et sont indispensables au développement de la vie, un déséquilibre de ces mêmes éléments provoque le dérèglement de la croissance végétale ou des troubles physiologiques chez les animaux. D'autres comme les métaux lourds hautement toxiques ont la fâcheuse propriété de s'accumuler dans certains tissus vivants et constituent une pollution différée pour les espèces situées en fin de chaîne alimentaire.

- ✓ La pollution chimique génère des pollutions souvent dramatiques pour les écosystèmes par leur concentration dans le milieu naturel à certaines époques de l'année. C'est le cas des herbicides, des sels d'épandage par exemple.
- ✓ La pollution radioactive a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérogènes et mutagènes de ses rayonnements.
- ✓ La pollution mécanique provient de la mise en suspension dans l'eau de fines particules d'origines diverses. Essentiellement, elle provient du lessivage des sols lors de pluies abondantes et des travaux réalisés par l'homme qui rendent le sol imperméable, provoquant une concentration des écoulements et des volumes entraînant avec eux des boues. Celles-ci colmatent les fonds des ruisseaux et des rivières et diminuent ainsi les échanges possibles entre l'eau et la terre.

On le voit, les eaux usées peuvent être chargées de bien des pollutions et forment un milieu très complexe. L'analyse de l'eau résiduaire permet de connaître la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration. La charge en agents polluants dans une eau peut être évaluée à partir de certains paramètres. Ils sont généralement exprimés en mg / l.

- ✓ La demande biochimique en oxygène ou D.B.O. est la consommation en oxygène des micro-organismes présents dans le milieu en essai pour assimiler les substances organiques présents dans ce même milieu. La durée de l'essai est de cinq jours d'où le nom de D.B.O5. Durant cette période, la consommation en oxygène provient de deux réactions. D'une part, il se produit une oxydation lente par voie chimique des composés organiques ou minéraux réducteurs en présence d'oxygène dissous. D'autre part, les micro-organismes présents dans le milieu consomment de l'oxygène pour métaboliser les matières organiques assimilables. La connaissance de cette valeur permet d'évaluer la charge polluante contenue dans l'eau usée.
- ✓ Certaines matières organiques sont très difficilement biodégradables par les micro-organismes et il faut pour oxyder ces matières faire appel à un oxydant chimique fort. La demande chimique en oxygène détermine la quantité globale d'oxygène nécessaire à la dégradation de la pollution. La D.C.O s'exprime aussi en milligrammes d'oxygène par litre.
- ✓ Les matières solides non dissoutes et en suspension dans les eaux usées sont mesurées en général par filtration ou centrifugation et donne les M.E.S.
- ✓ La connaissance des teneurs en azote et phosphore est importante parce que ces paramètres ont une incidence sur le milieu aquatique : consommation d'oxygène, développement excessif des algues, ...
- ✓ Ces différents paramètres permettent de définir l'Equivalent Habitant ou l'E.H. Il exprime la charge polluante contenue dans 180 litres d'eau usée c'est-à-dire la production d'un habitant et pour un jour.

Equivalent-Habitant:

Un Equivalent Habitant correspond à 60g de D.B.O5 , 135g de D.C.O, 9,9g d'azote, 3,5g de phosphore.

Plus spécifiquement, le décret du 10 décembre 1991 a défini la quantité de pollution journalière rejetée par un habitant comme un équivalent -habitant.

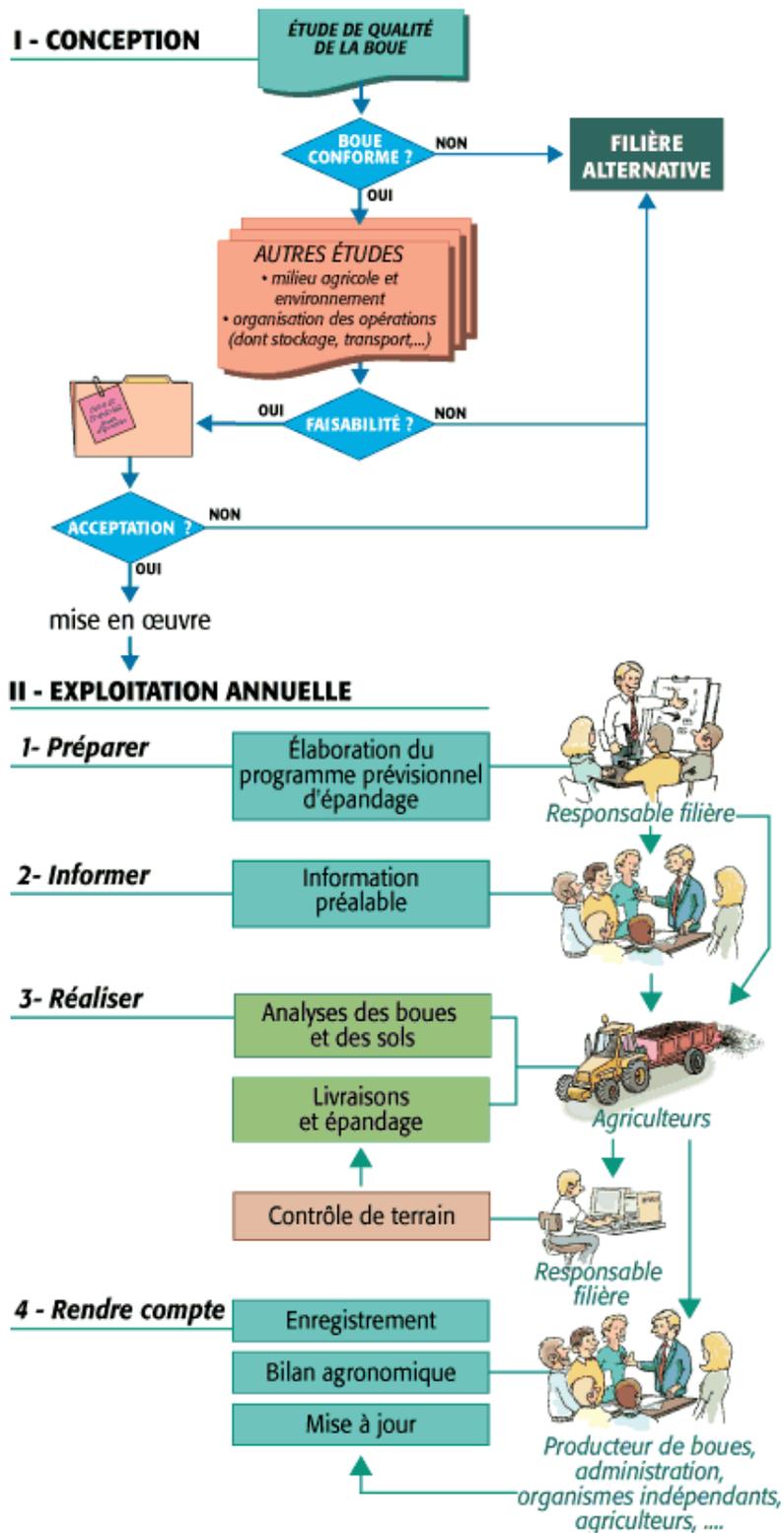
Définition de Équivalent-Habitant (EH) : Unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Cette unité de mesure se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour.

1 EH = 60 g de DBO5/jour soit 21,6 kg de DBO5/an.

La directive européenne du 21 mai 1991 définit l'équivalent-habitant comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour.

ANNEXE 4

Vue schématique des étapes pour la conception et l'exploitation annuelle en ce qui concerne l'épandage des boues pour valorisation agricole



ANNEXE 5

Fiches des procédés de traitement des boues

Fiches de procédé

Table des matières

Fiche de procédé - Déshydratation mécanique.....	4
Principes / domaine d'application.....	4
Etat de développement.....	6
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	7
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	7
Liste de références du procédé (parc d'installations).....	7
Limitations / difficultés.....	8
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts.....	8
Bibliographie.....	9
Fiche de procédé - Séchage thermique.....	10
Principes / domaine d'application.....	10
Etat de développement.....	12
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	13
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	13
Liste de références du procédé (parc d'installations).....	14
Limitations / difficultés.....	14
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts.....	16
Bibliographie.....	16
Fiche de procédé - Séchage solaire.....	17
Principes / domaine d'application.....	17
Etat de développement.....	18
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	18
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	18
Liste de références du procédé (parc d'installations).....	19
Limitations / difficultés.....	19
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts.....	19
Bibliographie.....	20
Fiche de procédé - Pyrolyse.....	21
Principes / domaine d'application.....	21
Etat de développement.....	21
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	22
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	22
Liste de références du procédé (parc d'installations).....	22
Limitations / difficultés.....	22
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts.....	23
Bibliographie.....	23
Fiche de procédé – Gazéification/vitrification.....	24
Principes / domaine d'application.....	24
Etat de développement.....	25
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	25
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	25
Liste de références du procédé (parc d'installations).....	26
Limitations / difficultés.....	26
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts.....	27
Bibliographie.....	27
Fiche de procédé – Stabilisation chimique par chaulage (& chauffage externe) ou par les nitrates....	28
Principes / domaine d'application.....	28
Etat de développement.....	29
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires.....	30
Devenir des résidus et sous-produits du procédé.....	30

Liste de références du procédé (parc d'installations)	30
Limitations / difficultés	31
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	31
Bibliographie	32
Fiche de procédé – Co-incinération avec les ordures ménagères	33
Principes / domaine d'application	33
Etat de développement	34
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	34
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	34
Liste de références du procédé (parc d'installations)	35
Limitations / difficultés	35
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	35
Bibliographie	35
Fiche de procédé – Co-incinération en cimenterie	36
Principes / domaine d'application	36
Etat de développement	37
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	37
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	37
Liste de références du procédé (parc d'installations)	37
Limitations / difficultés	37
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	38
Bibliographie	39
Fiche de procédé – Mono-incinération	40
Principes / domaine d'application	40
Etat de développement	42
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	42
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	42
Liste de références du procédé (parc d'installations)	43
Limitations / difficultés	43
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	44
Bibliographie	45
Fiche de procédé – Digestion aérobie thermophile	46
Principes / domaine d'application	46
Etat de développement	47
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	47
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	47
Liste de références du procédé (parc d'installations)	47
Limitations / difficultés	47
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	48
Bibliographie	48
Fiche de procédé – Digestion anaérobie	49
Principes / domaine d'application	49
Etat de développement	51
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	52
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	52
Liste de références du procédé (parc d'installations)	52
Limitations / difficultés	53
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	53
Bibliographie	54
Fiche de procédé – Hydrostab	55
Principes / domaine d'application	55
Etat de développement	55
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	55
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	55
Liste de références du procédé (parc d'installations)	56
Limitations / difficultés	56
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	56
Bibliographie	56
Fiche de procédé – Oxydation par voie humide	57
Principes / domaine d'application	57

Etat de développement	57
Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires	58
Devenir des résidus et sous-produits du procédé	58
Liste de références du procédé (parc d'installations)	58
Limitations / difficultés	59
Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts	59
Bibliographie	59

Liste des procédés de traitement des boues	
Procédé d'augmentation de siccité	
	Déshydratation mécanique
	Séchage thermique
	Séchage solaire
Boues liquides	
	Digestion anaérobie (hydrolyse au préalable) thermophile ou mésophile
	Digestion aérobie thermophile sur boues biologiques
	Oxydation par voie humide
	Co-compostage de boues liquides
	Stabilisation chimique aux nitrites
	Epandage de boues liquides
Boues pâteuses et solides	
	stabilisation chimique à la chaux
	chaulage avec chauffage externe pour hygiénisation
	Hydrostab (couverture de décharge après mélange avec cendres volantes)
	Compostage dédié & co-compostage
	Mono incinération
	Co-incinération avec OM/DIS
	Cimenterie
	Centrale à charbon
	Gazéification
	Pyrolyse
	Vitrification
	Epandage de boues pâteuses et solides

Pour certains procédés, seul un tableau de synthèse est donné dans le corps de l'étude (paragraphe IV.3).

Fiche de procédé - Déshydratation mécanique

Principes / domaine d'application

La déshydratation intervient après un épaississement, et permet de réduire le volume de boue par effet de concentration. Généralement, une boue est jugée apte à être déshydratée lorsque sa concentration est au minimum de 15g/l. L'optimum est à 40 à 50 g/l.

La siccité maximum obtenue après déshydratation est:

- ✓ Boues organiques primaires: possibilité d'atteindre 40% (boues pâteuses)
- ✓ Boues minérales : jusqu'à 60 %

La siccité obtenue après déshydratation doit être:

- ✓ de l'ordre de 15 (20) à 30% pour permettre une bonne opération de compostage
- ✓ de 30 à 40 % pour assurer l'auto-combustibilité en cas de traitement thermique dans un four spécifique (boues digérées 40%)
- ✓ de 15 à 30% pour une co-incinération de boues pâteuses par injection avec les ordures ménagères
- ✓ d'un minimum de 30% pour la mise en décharge.

L'étape de déshydratation, à elle seule, ne permet pas toujours d'atteindre ces objectifs. Il est parfois souhaitable de prévoir une étape supplémentaire de chaulage ou séchage. De plus, en cas de valorisation agricole ou de stockage prolongé, une stabilisation s'avère nécessaire.

Il existe deux grandes familles de techniques.

- La déshydratation sur décanteuse centrifuge
 - L'eau est séparée de la boue sous l'effet d'une accélération de plusieurs milliers de g. En terme de siccité, cette technique permet généralement d'obtenir de meilleures performances que le filtre à bandes
 - **La centrifugation directe** permet maintenant de combiner les fonctions d'épaississement et de déshydratation dans une même machine.
- La déshydratation par filtration
 - **Sur filtre à bandes**: La boue floculée est déshydratée par compression et cisaillement entre deux toiles.
 - **Sur filtre à plateaux**: La boue conditionnée est déshydratée par compression entre deux plateaux. Ce type de traitement permet d'obtenir des niveaux de siccité élevés (30 à 40%) mais, contrairement aux autres techniques, l'opération s'effectue en discontinu.
- Les autres procédés
 - **Le lit de séchage** est un procédé rustique qui nécessite de la place et mobilise de la main d'œuvre. Plusieurs fois par an, le lit de boues déshydratées est enlevé et remplacé par de nouvelles boues. La technique du lit de séchage est surtout utilisée sur des petites installations, et s'applique à des boues préalablement stabilisées. Il faut compter environ 1 m² de surface de lit nécessaire pour 3 à 5 éq.hab).
 - **La filtration sous vide** n'est plus guère utilisée aujourd'hui, car ses performances sont faibles.
 - **le presseur rotatif, la vis presseuse**

La déshydratation sur **décanteuse centrifuge** est employée lorsque l'espace disponible ne permet pas de mettre en place un procédé plus extensif. Elle est facilement automatisable et ne nécessite qu'une maintenance réduite. Celle-ci doit toutefois être assurée par du personnel qualifié. Il existe plusieurs types de décanteuses centrifuges : les décanteuses conventionnelles et celles dites "haute performance", qui permettent d'atteindre des niveaux de siccité plus importants. Elles rendent également possible

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : déshydratation mécanique

l'épaississement et la déshydratation dans une seule et même machine. Le principe de fonctionnement d'une décanteuse est d'introduire à l'intérieur du rotor le mélange à déshydrater. Ce mélange est réparti entre le bol et la vis convoyeuse de sédiments, où il est soumis à l'effet d'une force centrifuge importante. L'action de la centrifugeuse est définissable, en mesurant la concentration des boues après cette phase de traitement. Le liquide clarifié, est entraîné vers un orifice d'évacuation, tandis que la boue progresse à une vitesse réglée par le différentiel de rotation de la vis d'extraction par rapport au bol, pour être évacuée à l'extrémité conique de ce même bol.

La déshydratation sur **filtre à bandes** est souvent employée dans les petites et moyennes unités, notamment lorsque la boue est valorisée en agriculture. Dans ce cas, en effet, les exigences de siccité sont moindres. Les filtres à bandes sont moins utilisés avant un séchage ou un traitement thermique, car les niveaux de siccité obtenus sont plus faibles qu'avec les autres techniques. Selon les performances recherchées, différents types de filtres peuvent être utilisés.

- La filtration à **basse pression**¹ (environ 4 bar) est surtout utilisée dans de petites usines (jusqu'à 10 000 éq.hab) valorisant leurs boues en agriculture.
- La filtration à **moyenne pression** (environ 5 bar)
- La filtration à **haute pression** (environ 7 bar) permet d'obtenir environ deux points de siccité de plus que la moyenne pression. Un gain qui ne justifie pas toujours le surcoût d'investissement.

Il existe aussi des filtres à très haute pression (8 à 30 bar). Ils permettent d'augmenter la siccité d'une dizaine de points par rapport aux filtres haute pression. Toutefois, ils ne sont pas adaptés à la déshydratation des boues très organiques (qui fluent) et le coût de leur mise en œuvre est élevé. Les filtres à basse et moyenne pression sont le plus couramment employés, le filtre à haute pression étant plus onéreux.

Les **filtres à plateaux** sont très utilisés lorsque la boue est destinée à être valorisée en agriculture, mais assez rarement avant une élimination thermique du fait qu'ils fonctionnent en discontinu. Les coûts d'investissement sont relativement élevés par rapport aux autres procédés, surtout pour des capacités importantes. Il existe deux types de filtres à plateaux.

- **Les filtres à plateaux conventionnels** : La boue conditionnée est déshydratée par compression entre deux plateaux dotés de toiles filtrantes.
- **Les filtres à plateaux membranes** : La phase de pressage est complétée par une pressurisation à l'aide de membranes en élastomère. Cette membrane est gonflée avec de l'eau pressurisée ou de l'air comprimé. Ces filtres permettent d'augmenter la siccité d'environ 5 points par rapport aux filtres à plateaux, mais leur coût est très élevé et leur consommation énergétique de 25 à 35% plus importante.

Un des grands désavantages des filtres à plateaux est le fait qu'ils fonctionnent en discontinu, par contre ils permettent une siccité élevée et une bonne texture de la boue.

Les capacités sont (ordre de grandeur par machine):

- ✓ Décantation centrifuge: habituellement de 0,3 à 11 tonnes MS/jour mais possible jusqu'à 60 t MS/j (à Valenton)
- ✓ Filtres à bandes: de 0,7 à 20 tonnes MS/jour
- ✓ Filtres à plateaux: de 0,4 à 45 tonnes MS/jour

Les consommations d'énergie (électricité) sont:

- ✓ Filtre à bandes: 10 à 25 kWh/t MS
- ✓ Filtre centrifuge: 60 à 80 kWh/t MS
- ✓ Filtre presse: 25 à 35 kWh/t MS

¹ Pression exercée par les vérins sur la toile.

Etat de développement

Indéniablement, la **centrifugation** s'est imposée sur le marché de la déshydratation cette dernière décennie. C'est principalement dû à ses atouts:

- déshydratation en continu dans une enceinte close, réduisant les nuisances olfactives et le coût de désodorisation des locaux;
- installation compacte dans un atelier restant salubre et propre s'il est bien conçu (le lavage des machines est automatique);
- travail possible sans surveillance si la boue est relativement constante. Toutes les sécurités mécaniques font partie de l'équipement standard et grâce aux nouveaux capteurs de concentration des boues, l'automatisation de l'atelier devient fiable;
- augmentation significative des siccités qui, sur certaines boues s'approchent de la siccité du filtre-pressé (4 à 6 points de mieux de siccité par rapport aux anciennes machines basse pression);
- adaptation à tous types de boues, même les plus difficiles et notamment aux boues huileuses;
- fonctionnement in-line (sans bêche tampon) lorsque la centrifugeuse précède un sécheur thermique ou un four;
- déshydratation sans médium filtrant donc sans les contraintes associées (lavage, ...);
- possibilité de modifier très rapidement les fonctions de la machine: d'une déshydratation plus ou moins poussée à un épaissement plus ou moins soutenu et cela par simple modification des variables opérationnelles.

En revanche, certaines sujétions restent fortes, sans toutefois remettre en question le succès de cet appareil:

- fortes consommations de polymères,
- consommations élevées d'énergie,
- protection contre le bruit inévitable,
- maintenance réduite mais spécialisée,
- obligation d'un appareil de secours dans beaucoup de cas.

Les **filtres à bandes** sont très répandus pour plusieurs raisons:

- grande facilité d'exploitation et bon contrôle visuel de la boue en cours de déshydratation;
- coût d'exploitation et d'investissements modérés;
- conception de machines avec pré-épaissement intégré permettant de traiter des boues très diluées tirées directement des bassins d'aération;
- continuité du procédé et du lavage des bandes filtrantes;
- simplicité de la mécanique;
- production de boues pelletables.

Par ailleurs, ils représentent le procédé quasi universel (tout type de boues) et le moins énergivore des procédés de déshydratation.

Par contre, les gâteaux produits sont les plus humides.

La technique des **filtres-pressés**, relativement ancienne, reste très répandue. Son atout majeur, et très souvent décisif, est la production d'un gâteau qualifié "solide", généralement à plus de 30% de MS (donc la gamme de siccité la plus élevée en déshydratation mécanique). Pourtant, ses désavantages restent majeurs:

- caractère discontinu du fonctionnement (bâchées successives appelées cycles);
- débit d'alimentation dégressif tout au long du cycle;
- investissement plus élevé que les autres ateliers de déshydratation mécanique;
- décharge mécanisée entre chaque cycle mais aide manuelle généralement inévitable pour la tombée des gâteaux (tout au moins avec une grande majorité de boues).

A noter cependant quelques voies de progrès ces dernières années:

- fiabilisation d'un conditionnement aux polymères donc sans utilisation de chaux;

- quelques filtres automatiques ont été développés mais la sûreté mécanique et la fiabilité opérationnelle restent à confirmer sur l'ensemble des boues notamment les boues hydrophiles difficiles.

Les filtre-presse et centrifuge permettent d'obtenir les plus haut taux de siccité.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

La déshydratation mécanique n'est pas un procédé d'épaississement, l'hygiénisation a aussi lieu mais n'y est pas visée et contrôlée. Ceci n'est pas directement un inconvénient car la plupart des boues épandues en France ne sont pas hygiénisées, la maîtrise du risque sanitaire reposant de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques:

- Le législateur a retenu un certain nombre d'éléments-traces (ET) et de composés-traces organiques (CTO) comme indicateurs de la qualité réglementaire des boues d'épuration et en a fixé les valeurs limites.
- Si l'un de ces indicateurs dépasse la valeur fixée, l'épandage des boues est interdit.
- pour les boues dangereuses: un procédé fermé peut être requis

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Les résidus et les sous-produits de la déshydratation mécanique peuvent être utilisés dans l'agriculture ou comme combustible dans la co-incinération selon la siccité des boues après la déshydratation.

Le chaulage avant déshydratation est moins efficace qu'après déshydratation. La chaux éteinte donne en effet de moins bons résultats que la chaux vive, en terme d'hygiénisation. De plus, il n'y a pas d'absorption d'eau de constitution.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Les décanteuses centrifugeuses

- Station d'épuration des eaux à Valenton, France
- ...

Les filtres à bandes

- Aquafin Wetteren, Belgique
- station d'épuration d'Avernas-le-Bauduin, France
- ...

Les filtres à plateaux

- Installation d'Archères, capacité : 230 tonnes de matières sèches par jour
- ...

Les grands fournisseurs d'installations de ce genre sont (en ordre alphabétique, liste non-exhaustive):

- Décanteuses centrifugeuses
 - Degremont
 - Euroby
 - Rina Technology
 - ...
- Filtres à bandes et filtres à plateaux
 - AJM / Polyfilters

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : déshydratation mécanique

- Degrémont
- Durco
- Hoffland Environmental, Inc
- Lenntech
- Welders Filtration Technology
- ...

Le nombre de producteurs de ce genre d'installations est très grand.

Limitations / difficultés

La difficulté dans tous les systèmes utilisant des toiles est la propreté de la toile. La boue peut rester collée à la toile et diminuer la capacité de traitement de l'installation.

Toutes les techniques reprises dans cette fiche technique nécessitent l'apport de polymères ou de chaux. Pour les centrifugeuses le taux de polymère se trouve entre 7 et 12 kg de polymère actif par tonne de MS. Pour le filtre à bandes, le taux de polymère se trouve entre 4 et 6 kg de polymère actif par tonne de MS. Pour le filtre à plateaux, le taux de polymère se trouve entre 3 et 9 kg de polymère actif par tonne de MS.

Les désavantages des différents systèmes sont les suivants.

- Pour les centrifugeuses
 - Maintenance et entretien spécialisés
 - Texture de la boue de qualité pauvre
 - Bruit (une protection phonique est nécessaire)
 - Consommation élevée d'énergie électrique
- Pour les filtres à bandes
 - Siccité limitée
 - Consommation importante d'eau de lavage
 - Nécessité d'une surveillance
- Pour les filtres à plateaux
 - Fonctionnement en discontinu, productivité faible
 - Peu compact, lourd
 - Consommation en réactifs élevée en cas de conditionnement minéral
 - Nécessité d'une surveillance
 - Coût d'investissement élevé

Par ailleurs, la déshydratation mécanique n'a pas d'effet de stabilisation et d'hygiénisation !

En résumé:

- ✓ Sensibilité à l'abrasion (boues avec SiO₂ et Al₂O₃) pour filtre centrifuge
- ✓ Apport de polymère (coût) ou de chaux
- ✓ Filtres à bandes: forte consommation d'eau de lavage
- ✓ Centrifugeuse: taux de capture (mauvaise séparation) et bruit
- ✓ Odeurs (filtre à bande ou presse)
- ✓ Filtres à plateaux: encombrement
- ✓ Procédé batch pour filtre presse -> nécessité de stockage

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Les coûts d'investissement sont dans le même ordre de grandeur (entre 150 000 € et 450 000 € pour une tonne de MS par jour calendaire) pour les différents systèmes. Dans les différents types de systèmes il y a encore une grande variation entre les différents types de procédés.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : déshydratation mécanique

Pour le système des décanteuses centrifuges les capacités vont de 0,3 tonnes de MS par jour calendaire à 11 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 135 000 € et 1 050 000 € (source: OTV).

Pour le système des filtres à bandes les capacités vont de 0,7 tonnes de MS par jour calendaire à 4,5 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 105 000€ et 225 000 € (Source: OTV).

Pour le système des filtres à plateaux les capacités vont de 0.4 tonnes de MS par jour calendaire à 14 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 225 000 € et 1 650 000 € (Source: OTV).

La déshydratation sur filtre à plateaux est la technique de déshydratation qui nécessite les coûts d'investissements les plus élevés (notamment les filtres à plateaux-membranes). Les coûts de fonctionnement sont fort élevés dus à la présence obligatoire d'une personne pour contrôler le débâtissage des plateaux et du aux polymères qui sont indispensables au bon fonctionnement des installations.

Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteux et contraignants d'emploi que les filtres à bandes et les centrifugeuses. Des perfectionnements technologiques sont régulièrement enregistrés.

En exploitation, les coûts sont::

- ✓ filtre à bandes: 30 à 40 EU/t MS
- ✓ filtre centrifuge: 40 à 60 EU/t MS
- ✓ filtre presse à plateau: 50 à 60 EU/t MS

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Etude de faisabilité d'une mise en place de régulation par logique floue, sur une centrifugeuse à boues fonctionnant en épaissement. Degrémont, 1998
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, "Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung", 1998.
- Biosolids Technology Fact Sheet: Recessed-Plate Filter Press, USEPA, 2000
- Degrémont, mémento technique de l'eau
- ...

Fiche de procédé - Séchage thermique

Principes / domaine d'application

Le séchage thermique est un procédé intermédiaire de traitement des boues qui intervient après une déshydratation mécanique en vue de faciliter l'élimination ou la valorisation des boues grâce à :

- la réduction du poids et du volume par évaporation de l'eau contenue dans les boues;
- la concentration des éléments fertilisants et l'augmentation du pouvoir calorifique;
- la stabilisation (dans le cas d'un séchage complet);
- la pasteurisation (dans le cas d'un séchage complet à haute température);
- l'amélioration de la texture de la boue avant épandage.

D'une manière générale, le séchage thermique est le procédé de (pré-)traitement des boues qui ouvre les plus grandes possibilités de valorisation et/ou d'élimination des boues.

En termes généraux, le séchage thermique est l'opération qui consiste à évaporer l'eau de la boue après une déshydratation mécanique poussée. En pratique, les procédés de séchage, qui peuvent être très différents les uns des autres, sont toujours composés de systèmes de stockage, de transport, de manutention mécanique et distribution de matière, de production d'énergie et d'échange de chaleur, de traitement d'air et d'auxiliaires.

Les systèmes de séchage thermique des boues peuvent être mis en œuvre pour des boues organiques ou minérales. Cependant, d'une manière générale, la technologie ne sera appliquée que sur des boues organiques pour des capacités moyenne à grande.

En effet, les boues minérales peuvent généralement être portées à des degrés importants de siccité par voie mécanique uniquement. En outre, à l'instar de la déshydratation mécanique mais à une autre échelle, la complexité des systèmes de séchage thermique, tant au point de vue de leur construction que de leur exploitation et maintenance, rend le séchage thermique inintéressant pour les petites capacités. Dans des cas particuliers, on pourra retrouver des usines traitant seulement 3 000 tonnes par an de boues brutes, mais plus généralement, ces procédés ne commencent véritablement à être économiquement viables que pour généralement plus de 10 000 tonnes par an de boues brutes.

Dans tous les cas, étant donné que les installations de séchage de boues sont dimensionnées en fonction de la quantité d'eau à évaporer, il est intéressant de pousser la siccité des boues par déshydratation mécanique le plus haut possible. La siccité des boues en sortie de déshydratation mécanique a un impact prépondérant sur le coût d'une filière de traitement comprenant un séchage thermique.

Les différents systèmes de séchage thermique peuvent être classifiés de la manière suivante :

1. *mécanisme de transfert de chaleur*: indirect (conductif), direct (convectif) ou hybride (combinaison des modes conductif et convectif);
2. *mécanisme de transition de la phase plastique de la boue*: par recirculation des boues séchées, par transition frontale, par préconditionnement;
3. *température de séchage*: à haute ou basse température;
4. *siccité obtenue dans le produit en sortie de séchage*: boues pré-séchées (siccité sous le niveau de la phase plastique, c'est-à-dire généralement à moins de 40% de MS), boues partiellement séchées (siccité au-dessus de la phase plastique et typiquement inférieure à 90% de MS), boues complètement séchées (boues stables à siccité supérieure à 90% de MS)
5. *forme du produit obtenu en sortie de séchage*: granulés, fines ou poussières, variable.

Les 2 premiers critères de classification auront principalement un impact sur le coût de l'installation et de son exploitation en fonction du problème spécifique (localisation du site, performances à atteindre, caractéristiques des boues à traiter, synergies possibles de l'usine de séchage avec d'autres

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : séchage thermique

installations,...). A moins d'avoir réalisé une pré-étude très fouillée, l'ingénieur en charge de l'écriture du cahier des charges ne devrait pas porter de choix à priori sur ces critères.

Les 3 derniers critères auront un impact direct sur le produit séché, sa valorisation ou son élimination. Il est important de pouvoir définir le plus précisément possible à l'avance le type principal de valorisation ou d'élimination afin de préciser les caractéristiques du produit séché en sortie d'installation. Cela conduira à une meilleure adéquation des choix de procédés avec le besoin réel. Il n'est généralement pas judicieux de demander à une installation d'être capable de produire des boues séchées sous différentes formes et à différentes siccités. Quelques exemples illustreront ce propos:

- Si les boues sont destinées à être incinérées, co-incinérées ou valorisées thermiquement ou si les boues à traiter ne contiennent pas de germes pathogènes (boues minérales), il est dès lors envisageable d'utiliser un système de séchage à basse température;
- Si les boues doivent être transportées sur de longues distances et stockées pendant une période longue, on préférera obtenir des boues sous formes de granulés à plus de 90% de siccité;
- Si les boues peuvent rapidement être éliminées par incinération, co-incinération ou valorisation en cimenterie ou en centrale à charbon, on pourra se contenter de boues partiellement séchées en poudre contenant de fines ou de granulométrie variable .

Au niveau de la pasteurisation, celle-ci est obtenue par la combinaison de l'effet de l'élévation de la température du produit avec un temps de séjour. Une augmentation de la température permet de réduire le temps de séjour minimum nécessaire ; par exemple, on obtiendra une destruction des pathogènes après 30 min à 65°C, après seulement 7 min à 70°C. Dans la pratique, on considérera néanmoins que pour du séchage thermique, il est nécessaire de porter le produit à une température d'au moins 80°C et d'obtenir un produit avec une siccité inférieure à 10% de MS.

Afin d'illustrer la grande diversité de systèmes de séchage existants sur le marché, on citera par exemples:

- Les sécheurs tambours rotatifs;
- Les sécheurs à disques;
- Les sécheurs verticaux à plateaux;
- Les sécheurs à bande;
- Les sécheurs à lit fluidisé;
- Les sécheurs turbines;
- Les sécheurs broyeurs;
- Les sécheurs à vis;
- Les sécheurs à couches minces;
- Les sécheurs flash;
- ...

Chaque système peut être disponible sous différentes variantes.

La comparaison des différents systèmes de séchage et de leurs caractéristiques n'entre pas dans le domaine de cette étude. Insistons néanmoins sur le fait qu'il n'existe pas de procédé de séchage thermique qui soit intrinsèquement supérieur aux autres dans tous les cas de figure, et qu'il est dès lors essentiel de faire un choix qui soit basé sur les spécificités du problème particulier à résoudre.

En résumé, les boues en sortie du procédé de séchage ont les caractéristiques suivantes:

Boues sèche de 40 à plus de 90% de siccité.

- séchage partiel à poussé:
 - jusqu'à 40%: pré-séchée pour incinération dédiée
 - jusqu'à 70%: co-incinération avec déchets
- séchage complet à 90%
 - stockage aisé
 - valorisation en tant que combustible de substitution (cimenterie, central thermique au charbon, incinération OM)
 - pyrolyse, gazéification, vitrification

Les capacités commerciales sont typiquement supérieures 10.000 tonnes boues brutes/an (2500 t MS/an si la siccité est de 25%).

La consommation d'énergie thermique est d'environ 1000 kWh (électricité) par tonne d'eau évaporée à plus ou moins 20% ce qui est élevé !

Etat de développement

Le séchage est l'un des procédés les plus répandus dans l'industrie de transformation. La grande majorité des procédés de séchage appliqués aujourd'hui sur les boues d'épuration provient de l'industrie agro-alimentaire.

La plus ancienne usine de séchage industriel sur boues d'épuration a démarré en 1926 dans le district de Milwaukee, aux Etats-Unis. Ce n'est néanmoins qu'au début des années 1990 que les usines de séchage thermique des boues ont été construites en nombre en Europe de l'Ouest et en Amérique du nord sur la base de nombreux systèmes différents. On peut dès lors considérer cette technologie appliquée sur des boues d'épuration comme relativement récente.

Le séchage thermique sur des boues d'épuration a connu de nombreux revers sous les aspects principaux suivants:

- Incidents liés à la sécurité (explosions, feux);
- Usure prématurée des équipements;
- Problème de dimensionnement des équipements;
- Problème de disponibilité des équipements;
- Problèmes d'odeurs;
- Coûts de traitement largement supérieurs aux coûts originellement escomptés.

Ces revers sont principalement dus à la méconnaissance des caractéristiques des boues d'épuration, à la rapidité avec laquelle cette technologie est passée à un stade industriel dans un environnement très concurrentiel et à l'inadéquation du personnel d'exploitation avec le procédé.

Aujourd'hui, ces problèmes sont résolus dans les grandes lignes. Néanmoins, au vu de la variabilité des boues, de la complexité des problèmes spécifiques liés à la nature des boues et des procédés et au vu de l'importante pression sur les prix, il n'est pas permis d'exclure que des revers aient encore lieu dans l'avenir. C'est pour ces raisons et du fait de la pression du Ministère Britannique en charge de la sécurité et l'hygiène, que l'ensemble des exploitants d'usines de séchage de boues se sont réunis dans le "UK dryer users group" afin d'échanger leurs expériences.

Des développements ont encore lieu dans le domaine du séchage thermique en vue d'obtenir les résultats suivants:

1. Conception de systèmes permettant un traitement économiquement viable pour des capacités de plus en plus réduites par une diminution des coûts d'équipements et des coûts de personnel liés à son exploitation;
2. Combinaison de la digestion anaérobie avec du séchage thermique permettant une valorisation du biogaz généré dans le procédé de séchage, ce qui limite la facture énergétique du procédé de séchage. Ce couple biogaz/séchage est à favoriser;
3. Conception de systèmes permettant l'utilisation d'énergie à basse température afin, entre autres, de permettre l'utilisation d'énergie à basse enthalpie (vapeur basse pression);
4. Conception de systèmes présentant une plus grande sécurité intrinsèque afin de répondre plus facilement aux exigences nouvelles en matière de sécurité;
5. Diminution des coûts de production par une standardisation des équipements et l'achat d'équipements dans des pays à moindre coût de main d'œuvre;
6. Mise en place de systèmes permettant l'ajout d'éléments fertilisants au sein du procédé ou après afin d'homologuer les boues séchées comme produit fertilisant; des initiatives similaires sont probablement en préparation pour permettre l'homologation des boues séchées comme combustible de substitution.
7. Application d'un champ électrique (procédé canadien) afin d'augmenter la siccité à 50% (ce qui réduit les besoins de séchage thermique par la suite).

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : séchage thermique

Par exemple, le succès commercial actuel important des systèmes de séchage à bande répond aux objectifs des quatre premiers points cités, même si ces systèmes génèrent potentiellement d'importants volumes de gaz odorants et ne produisent pas nécessairement un produit séché de grande qualité (densité apparente, forme physique très variable, teneur en poussières, qualité pathogénique).

Pour être complet, citons également des procédés qui permettent théoriquement une réduction significative des besoins en énergie thermique:

- Le procédé Carver-Greenfield réalisant une évaporation étagée;
- La recompression mécanique de vapeur.

Ces 2 procédés sont utilisés avec succès dans l'industrie agroalimentaire sur des produits généralement nobles et de composition constante. Pour les boues d'épuration, les 2 procédés ont été testés il y a plus de 10 ans. Le premier a été mis en œuvre à échelle industrielle sur la grande station d'épuration d'Hyperion à Los Angeles, et le second dans des installations pilotes telles que l'installation d'Econdry aux Pays-Bas. Dans les 2 cas, les longs travaux de développement réalisés n'ont pas donné lieu à un succès commercial, du fait des nombreux problèmes techniques, des coûts d'investissement importants.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

La réglementation ATEX (articulée en 2 textes : ATEX 95-Directive 94/9/EC et ATEX 137-Directive 1999/92/EC) entrée pleinement en application le 1er juillet 2003 a un impact significatif sur les usines de traitement de boues par séchage thermique.

En effet, cette réglementation s'applique dans les cas où il existe un risque d'explosion de gaz ou de poussières, ce qui est toujours le cas dans une usine de séchage de boues organiques. Cette réglementation fixe les responsabilités des différents acteurs (exploitant, fabricant) et impose, entre autres, la réalisation d'études de risques déterminant le plan de zonage qui a des répercussions sur les équipements électriques.

Il ne fait aucun doute que cette réglementation contribue à réduire les risques d'incident, mais qu'elle a un impact significatif au niveau des coûts d'investissement et d'exploitation des usines de séchage de boues.

Au niveau environnemental, le séchage thermique peut présenter les 2 impacts significatifs particuliers suivants:

- à échelle locale, les gaz en contact avec les boues sont généralement très odorants ce qui génère souvent d'importantes nuisances de voisinage si un traitement d'odeur adéquat n'a pas été installé; dans la plupart des cas, un traitement thermique d'oxydation est nécessaire pour s'affranchir du problème;
- à échelle globale, des besoins importants en énergie thermique (qui sont généralement d'origine fossile) doivent être mis en jeu.

En outre, les rejets liquides sont normalement fortement chargés et odorants, ce qui pose problème si l'usine de séchage ne se trouve pas sur une station d'épuration d'eau où les rejets peuvent être retournés.

Au plan sanitaire, si des précautions élémentaires de base sont à prendre pour le personnel d'exploitation, vis-à-vis des risques d'exposition à la poussière, le séchage des boues ne présente pas de risques particuliers par rapport aux risques présents dans toutes les usines de traitement d'eau et de boues.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Les boues pré-séchées (jusqu'à par exemple 40% de MS) sont généralement destinées à être incinérées dans un four à boues dédié.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : séchage thermique

Les boues partiellement séchées (jusqu'à par exemple 70% de MS) sont généralement destinées à être co-incinérées avec d'autres déchets.

Lorsque les boues organiques sont complètement séchées (siccité supérieure à 90% de MS), celles-ci peuvent être stockées et valorisées en agriculture, en amendement de sol ou par voie thermique. Lorsqu'une valorisation des boues en agriculture est réalisée, le plan d'épandage devra prendre en considération le temps nécessaire d'assimilation par les cultures des éléments fertilisants contenus dans la boue; d'une manière générale, la disponibilité de l'azote et des phosphates sera plus lente que pour les fertilisants d'origine chimique. La valorisation par voie thermique des boues complètement séchées a généralement une utilisation en tant que combustible de substitution:

- en cimenterie;
- en centrale thermique au charbon;
- en incinérateur de déchets.

Un séchage complet est également requis pour envisager une pyrolyse, gazéification ou une vitrification des boues.

Notons que pour des boues organiques, un pré-séchage ou un séchage partiel ne stabilise pas les boues et oblige un post-traitement quasi immédiat afin d'éviter toute prise en masse ou échauffement des boues.

Enfin, des effluents liquides, condensats, seront générés par l'usine de séchage. Ces condensats fortement chargés en DBO5, DCO et en composés ammoniacaux nécessitent un traitement spécifique ou sont plus généralement retournés en tête de station d'épuration.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Il existe de nombreuses usines de traitement de boues par séchage thermique dans le monde occidental. En Europe, on dénombre plus de 500 usines de séchage thermique de boues dont la plupart ont été installées sur des STEP municipales à partir de 1995. Il convient néanmoins de mentionner qu'un nombre significatif de ces usines ont connu de sérieux problèmes d'exploitation, et ont du être profondément adaptées ou mises à l'arrêt. Il existe de nombreux fournisseurs de sècheurs sur le marché. Citons quelques fournisseurs ayant des références industrielles :

- Andritz
- Buss – SMS
- Innoplana
- Keppel Seghers
- KHD
- Vomm
- Klein
- Sevar
- Sil
- STC
- Stord-Atlas
- Wulf

Limitations / difficultés

La plupart des difficultés proviennent de la méconnaissance des caractéristiques des boues ainsi que la complexité pratique d'exploitation des procédés de séchage thermique des boues.

Au niveau de la composition des boues, les caractéristiques suivantes sont souvent sources de problèmes importants:

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : séchage thermique

- La variabilité importante de la composition des boues dans le temps cause des difficultés de contrôle du procédé. C'est entre autres pour cette raison que des boues digérées par voie anaérobie sont généralement plus faciles à traiter par séchage.
- L'abrasivité des boues, notamment suite à la teneur en silice, cause une usure prématurée des systèmes mécaniques de manutention. Une teneur en silice supérieure à typiquement 7% (sur gâteau de boues) sera considérée comme élevée.
- La concentration élevée en huile et en graisse rend les systèmes de séchage plus sensibles aux départs de feux et à d'éventuels risques d'explosion; de plus, le séchage et la formation de granulés sont rendus plus difficiles. Une teneur en graisse supérieure à généralement 10% sur MS sera considérée comme importante.
- La concentration importante en fibres peut générer des blocages mécaniques et rendre difficile la formation de granulés. Une teneur en fibre supérieure à typiquement 10% sur MS sera considérée comme importante.
- Les propriétés rhéologiques de certaines boues de type industrielles ou générées par certains procédés (digestion aérobie par exemple) rendent parfois les opérations de transport et séchage des boues extrêmement difficiles.
- La concentration en certains composés ferriques peut donner lieu à des difficultés lors du stockage et du transport des boues séchées car ces composés, en s'oxydant, provoquent un autoéchauffement des boues séchées, ce qui peut générer d'autres réactions chimiques exothermiques jusqu'à une incandescence voire une combustion des boues séchées.
- Il existe un risque de formation du CrIII en CrVI mais uniquement pour les boues de tannerie en conditions oxydante.

L'autre source de problème d'exploitation est souvent l'inadéquation du personnel d'exploitation avec le procédé de séchage. En effet, une usine de séchage des boues s'apparente plus à une usine de l'industrie de transformation qu'à une usine d'épuration d'eau.

Les autres limitations principales de la technologie de traitement des boues par séchage sont:

- Les risques sécuritaires inhérents au procédé qui met en œuvre une matière organique combustible contenant souvent d'importantes quantités de poussières mises au contact de gaz ou de surface à haute température en présence de plus ou moins d'oxygène.
- Les risques liés au stockage du produit séché et à sa manutention, et ce particulièrement si le produit est pulvérulent.
- La complexité des équipements ne permettant pas de la mettre économiquement en place pour des petites capacités.
- La nécessité d'implanter une usine de séchage des boues sur une STEP pour traiter les condensats des buées, sauf dans les cas très particuliers où les buées de séchage peuvent subir une oxydation thermique (injection des buées directement dans un oxydeur thermique ou en post-combustion dans un incinérateur existant). Remarquons qu'une oxydation des buées sans condensation n'est pas favorable au bilan thermique global de l'usine de séchage.
- L'importance de la consommation en énergie thermique pour les procédés de séchage thermique rend le coût de cette opération extrêmement sensible aux variations du coût de l'énergie (si combustibles fossiles).
- La difficulté d'utiliser des calories à basse température (vapeur basse pression, gaz de fumées à basse température) est également une limitation.

Enfin, la possibilité de valoriser les boues séchées en agriculture ou par voie thermique en tant que combustible de substitution et d'en retourner une partie des avantages économiques au propriétaire et/ou exploitant de l'usine de traitement des boues par séchage, sera un élément déterminant le succès éventuel commercial futur de cette option de traitement.

Pour rappel, à moins de sécher les boues jusqu'à 90 %, le séchage ne permet pas de stabiliser les boues (au delà de 90%, elles sont stabilisées et hygiénisées).

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

La fiabilité des technologies de séchage des boues a été très médiocre dans le passé. Aujourd'hui, la plupart des systèmes ont connu leurs problèmes de "jeunesse" et peuvent être considérés comme fiables, pour autant qu'ils soient construits et exploités par des organisations qui en ont l'expérience. Certains systèmes moins adaptés ont disparu commercialement du marché.

La taille et le coût de traitement des boues par séchage thermique dépendent principalement de la quantité d'eau à évaporer. Ainsi, pour un système de séchage donné (dont l'efficacité énergétique peut varier généralement de 10 à 20%), l'énergie thermique consommée, qui représente généralement un tiers du coût de traitement, est uniquement fonction de ce paramètre. C'est la raison pour laquelle il est beaucoup plus pertinent d'exprimer les coûts de traitement par tonne d'eau évaporée que par tonne de matières sèches.

En second lieu, la nature des boues pourra avoir un impact sur le coût d'investissement et d'exploitation. Au niveau de l'investissement, certains types de boues vont imposer l'ajout de certains équipements supplémentaires ou l'adaptation du choix de certains matériaux (pour améliorer la résistance à l'abrasion ou la corrosion par exemple). Au niveau des frais d'exploitation, certaines boues généreront :

- ✓ une maintenance plus fréquente (nettoyage de filtre, remplacement de pièces usées,...),
- ✓ et/ou un personnel d'exploitation plus important pour garantir une bonne disponibilité (présence régulière de l'exploitant pour assister l'automate de contrôle en cas de variations rapides de la qualité des boues par exemple).

Ces deux facteurs, couplés au nombre de types de sècheurs différents disponibles sur le marché et à la difficulté d'obtenir des données fiables et comparables, expliquent la diversité des coûts de traitement des boues par séchage que l'on retrouve dans la littérature.

L'équipement électromécanique d'une usine de traitement des boues par séchage se trouve généralement dans la fourchette suivante : 1 à 2,5 M € par tonne/heure de capacité évaporatoire installée.

Pour des capacités supérieures à 10 000 tonnes de boues brutes par an et après une déshydratation mécanique efficace, le coût total de traitement par séchage des boues organiques (incluant l'amortissement de l'investissement et les coûts d'exploitation, mais excluant le coût/revenu de l'élimination/valorisation des boues séchées) se situent généralement dans une fourchette entre 50 et 100 € par tonne d'eau évaporée (TEE).

Bibliographie

- WHIPPS, HOLDEN, « Operational Experiences with Collaborative Cooperation : the UK Dryer Users Group », 10th BIOSOLIDS conference Wakefield UK, 2005
- CEN/TC 308/TR 13767, "Caractérisation des boues – Bonnes pratiques d'incinération des boues avec ou sans graisse et refus de dégrillage", 2004
- JANSES, POLLET, OLIVIER, « Managing safety aspects in accordance with European ATEX and US NFPA legislation », 8th BIOSOLIDS conference Wakefield UK, 2003
- SCHILP, "Trocknungstechniken als weitergehender Verfahrensschritt zur KS – Entsorgung", VDI seminar Klärschlamm/Tiermehl, Gülle, Biogene Abfälle, 2003
- CEN/TC 308/WG 2 N 351, "Guide 9. Draft guide for sludge drying", 2003
- US Water Environment Federation – Bioenergy Technology Subcommittee, "White paper on sludge thermal drying", 2003
- SEDE – Andersen, "Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge", 2002
- VITO, "Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI – en gelijkaardig industrieel afvalwaterzuiveringslib", 2001
- POLLET, "Séchage et granulation des boues d'épuration d'eaux usées". Mines et Carrières, 2001
- THOME-KOZMIENSKY Karl J., « Klärschlammentsorgung », 1998
- THOME-KOZMIENSKY Karl J., « Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung », 1998
- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997
- CHABRIER, MOSNIER, REIFENSTUHL CEN/TC 308/ draft guide for sludge drying

Fiche de procédé - Séchage solaire

Principes / domaine d'application

Le séchage thermique est rendu nécessaire vu les limitations rencontrées par la déshydratation mécanique. L'élimination de cette eau liée, par évaporation, nécessite la création d'un gradient de température entre la surface extérieure de grains ou flocons constituant la boue et le cœur de ceux-ci. Lors de ce processus, la vapeur d'eau formée au cœur diffuse vers la couche superficielle, dite couche limite. L'énergie à mettre en œuvre est la somme de la chaleur latente et de l'énergie de liaison de cette eau (faible devant la première).

Cette chaleur peut être de la chaleur solaire. Les systèmes existants sont basés sur le principe de l'effet de serre.

L'énergie contenue en France dans le rayonnement solaire est en France variable de 1 200 à 1 750 kWh.m⁻².an⁻¹, dont 40% émise dans le domaine visible et 50% dans le domaine de l'infrarouge. L'effet de serre repose sur le fait que les matériaux utilisés depuis longtemps par les serristes (verre, plexiglas, films plastiques, polycarbonate, ...) ont des propriétés très différentes dans ces deux domaines spectraux: ils sont transparents au rayonnement solaire mais absorbent le rayonnement infrarouge.

Le séchage solaire va utiliser ce principe largement connu pour accélérer le processus d'élimination de l'eau contenue dans des boues déshydratées. Pour cela, la boue à sécher est étalée puis véhiculée à l'intérieur de la serre au moyen d'une machine de scarification.

L'échauffement de la surface du lit de boue, dû au rayonnement solaire et au rayonnement infrarouge émis par le matériau transparent de la serre, va ainsi augmenter la pression de vapeur de l'eau contenue dans la boue. Un flux d'air frais admis sur la surface du lit de boue va donc se charger d'humidité. Or, quand il est humide et plus chaud, l'air est plus léger. Les différences de températures, couplées à la différence d'humidité, engendrent un mouvement de convection naturelle, qui peut être assisté par une convection forcée (ventilation mécanique). Le renouvellement continu de l'air (le "milieu asséchant") présent dans la serre permet de maintenir un degré d'hygrométrie favorable à l'optimisation de l'évaporation. La machine de scarification permet:

- de répartir la boue (pâteuses et au minimum 15 à 25% de MS) sur la largeur de la serre;
- d'augmenter et de renouveler régulièrement la surface d'échange entre la boue et le milieu asséchant grâce à ses fonctions de scarification de la surface de la boue;
- d'éviter les phénomènes de fermentation non contrôlés en rentrant constamment un milieu aérobie au sein du lit de boue (pas de production d'odeurs);
- d'assurer l'homogénéisation et la granulation du produit final grâce à ses fonctions de malaxage;
- de transporter peu à peu la boue, de plus en plus sèche, d'une extrémité à l'autre de la serre, sans utilisation d'autres engins.

On peut ainsi espérer évaporer en France de 600 à 1200 kg eau.m⁻².an⁻¹ suivant la région.

L'étape de fermentation, favorisée par le retournement régulier des boues, accélère le processus d'évaporation grâce à l'énergie dégagée par la réaction d'oxydation de la matière organique présente dans les boues.

La vitesse d'avancement de la machine, la vitesse de rotation du tambour et la profondeur de pénétration dans le lit de boue sont réglables. Son fonctionnement est d'habitude automatisé et ne nécessite pas de surveillance permanente.

Les serres sont alimentées en boues pâteuses à l'aide:

- soit d'un chargeur mécanique automatisé : dans ce cas, les boues sont introduites à une extrémité de la serre et nécessitent d'être étalées et poussées vers l'autre extrémité;
- soit d'une pompe gageuse: les boues sont déposées à intervalles réguliers sur toute la longueur de la serre. Dans ce cas, et compte tenu de la viscosité des boues entrantes, on utilise couramment un

dispositif de lubrification, consistant en une injection de polymère dans le collecteur de distribution, pour faciliter l'écoulement des boues, et ce sur toute la longueur de distribution.

Etat de développement

Ce procédé réussit à convaincre bon nombre de collectivités grâce à ses très bonnes performances, comparables à celles du séchage thermique poussé (siccité finale comprise entre 60 et 70 %), et ce à un moindre coût en investissement, mais aussi grâce aux faibles coûts de fonctionnement qu'il engendre. Ce procédé n'est cependant pas sans contraintes: le chargement et l'étalement des boues requièrent un état pâteux, nécessitant une étape préalable de déshydratation (figure 4).

Avec les modèles d'installations plus coûteuses il est possible d'atteindre des siccités de l'ordre de 90%.

Experiment no.	Sludge Type	Initial dry solids	Final dry solids	Evaporation rate*	Volatile solids reduction	Faecal coliform content of dried product	Power consumption
		% w/w	% w/w	kg/m ² .day	%	× 10 ⁶ cfu/g	kWh/t water evaporated
1	Extended aeration	15	82	6.9	4.1	0.6	32
2	Anaerobically digested	19	91	4.4	4.3	0.6	-
3	Extended aeration	12	88	2.9	3.6	0.2	44
4	Anaerobically digested	24	83	4.2	2.2	-	29
5	Anaerobically digested	20	70	5.0	7.1	0.023	-
6	Anaerobically digested	24	90	5.6	6.9	-	35

*Evaporation rate based on initial ds content of 20% w/w

Si applicable, le séchage solaire peut se faire pour des boues de STEP à partir de 10.000 EH (environ 600 t/an de boues brutes) et maximum pour STEP d'environ 50 000 EH (dépend de la superficie nécessaire).

La consommation d'électricité est de 20 à 40 kWh/tonne d'eau évaporée.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Le séchage solaire n'est pas un procédé d'hygiénisation mais un procédé d'épaississement. Les risques sanitaires ont fortement diminué avec ce procédé.

Les problèmes d'odeurs sont d'habitude très limités sur ce genre d'installation.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

La boue séchée se présente sous la forme de granules de 1 à 4 cm de diamètre, elle est facile à manipuler, entreposer et épandre. Il est possible d'obtenir une siccité de plus de 70%.

L'épandage s'effectue à partir de matériel agricole courant nécessitant peu d'adaptations.

Comme les autres produits séchés, il peut être utilisé en co-incinération.

Les réactions qui se déroulent pendant la fermentation sont exothermiques. On observe une montée en température importante (50 à 60°C) qui permet d'hygiéniser les boues tout en les séchant. La qualité des boues séchées répond aux exigences de la future directive européenne sur l'épandage des boues.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Les procédés existants sont:

- Héliantis, Degrémont
- Solia, Veolia
- Heliocycle, Stéreau
- Wendewolf®, Anlagenbau GmbH, Allemagne
- Thermo-System, Industrie- & Trocknungstechnik GmbH, Allemagne
- ...

Ce type d'installation se trouve:

- Station d'épuration de Chateaulin (29) - 2 100 m² / 25 000 éq.hab
- Station d'épuration de Fonsorbes (31) - 1 000 m² / 9 000 éq.hab
- Station d'épuration de Forbach (57) - 250 et 4 800 m² / 70 000 éq.hab
- Station d'épuration de Le Veron (37) - 1 300 m² / 17 000 éq.hab
- Station d'épuration de Brumath
- ...

Limitations / difficultés

Le séchage solaire peut s'effectuer sur tous les types de boues.

Le séchage solaire s'effectue d'habitude sur des boues avec une siccité d'au moins 26% (certains systèmes peuvent accepter des boues liquides avec une moindre siccité mais c'est plus complexe en terme d'opérations techniques).

En hiver il faut chauffer la serre pour obtenir un séchage. Si la serre n'est pas chauffée en hiver elle peut faire office d'entrepôt de stockage.

En résumé:

- ✓ Place pour stockage.
- ✓ Nécessité d'un état pâteux avant l'étalement
- ✓ Faible risque d'odeurs
- ✓ Séchage limité en hiver
- ✓ Surface nécessaire
- ✓ Boues séchées de qualité médiocre (pas stabilisé, pas homogène)

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Le temps de retour sur investissement est en moyenne de 20 à 30 ans pour le bâtiment et de 10 à 20 ans pour les machines.

Les frais de réparation et d'entretien des installations peuvent être estimés à 1% du coût de l'installation.

Les coûts de main d'œuvre sont négligeables. Il n'y a qu'aux entrées et aux sorties de la boue du système de séchage qu'il faut de la main d'œuvre. Dans certaines installations le remplissage et la vidange de l'installation peuvent se faire d'une manière automatique.

Les coûts sont peu comparables avec ceux du séchage thermique car les quantités sont différentes et l'impact financier est conditionné par le prix du terrain !

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Degrémont, "Mémento technique de l'eau", dixième édition;
- Véolia, séchage solaire, Solutions et Techniques,
- L'EAU, L'INDUSTRIE, LES NUISANCES, N° 286
- Prediction of evaporation rate in a solar dryer for sewage sludge, I. Seginer and M. Bux

Fiche de procédé - Pyrolyse

Principes / domaine d'application

La pyrolyse ou peut s'appliquer à des solides contenant de la matière organique. Ce procédé consiste à chauffer ces solides à des températures modérées (*pyrolyse*) sous atmosphère réductrice. Les réactions de décomposition de la matière organique sont endothermiques.

La pyrolyse se déroule en l'absence totale d'oxygène entre 350 et 600°C. Ce procédé génère un résidu solide (coke de pyrolyse), un gaz de pyrolyse dont une partie est condensable et l'autre partie est incondensable. Le coke de pyrolyse contient la matière minérale et du carbone fixe. Les condensables sont généralement composés d'eau, d'huile, de composés aromatiques et de goudrons. Les incondensables contiennent des gaz légers tels l'hydrogène, le méthane, le monoxyde et le dioxyde de carbone, l'azote. Les procédés travaillant dans les fourchettes basses de température favoriseront la production de solide au détriment de la phase gazeuse. A plus haute température, c'est l'inverse qui se produit. En théorie, l'huile de pyrolyse peut être valorisée dans des applications nobles.

D'une manière générale, la pyrolyse est une opération préalable de séchage poussé des gâteaux de boues. Ces techniques sont parfois envisagées sur des mélanges de déchets ou des mélanges associant par exemple du coke de lignite.

Les intérêts principaux des techniques de pyrolyse, par rapport à l'incinération, sont:

- la possibilité de valoriser de manière plus optimale les produits de la décomposition des matières solides organiques par:
 - recyclage chimique
 - production énergétique avec un rendement plus élevé
- la réduction du volume des fumées et des émissions gazeuses.

A l'heure actuelle, ces avantages ne sont pas suffisants pour compenser les difficultés techniques supplémentaires et leurs coûts associés.

Les capacités typiques sont supérieures à 2500 (ou 3000) t MS/an pour des boues organiques avec minimum 60% de matière organique sur MS. Cette capacité découle de la nécessité d'un séchage thermique.

Etat de développement

Les procédés de pyrolyse ont été mis en œuvre de manière industrielle sur du charbon depuis plus de 60 ans.

L'utilisation de ces procédés sur des déchets, bien que très prometteuse, a connu de nombreux avatars. Les tentatives de valorisation concernent de nombreux types de déchets et entre autres les boues organiques.

La difficulté de base pour mettre au point ces procédés sur des déchets provient la plupart du temps de la variabilité intrinsèque de la composition des déchets à traiter.

Il existe très peu d'unités industrielles dans le monde fonctionnant avec des déchets solides et/ou boues.

Les difficultés qui doivent être résolues génèrent toujours une augmentation importante du coût de traitement, rendant du même coup la grande majorité des projets qui se basent sur ces procédés non économiquement viables.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Les directive européenne tendent à limiter de plus en plus des déchets contenu une fraction organique (tendance vers maximum 5%) ce qui pose à terme le problème d'élimination du résidu carboné de la pyrolyse.

En théorie, les procédés de pyrolyse ont un impact environnemental plus réduit que l'incinération au niveau des fumées. Remarquons néanmoins qu'à la sortie de la cheminée, du fait de l'efficacité des systèmes actuels de traitement de fumées, cet impact sur l'environnement est pratiquement inexistant.

Pour démontrer la faisabilité des technologies "innovantes", et par volonté politique de promouvoir des alternatives à l'incinération, il existe un risque que des installations soient construites et mises en fonctionnement sans prendre toutes les mesures nécessaires qui s'imposeraient pour limiter leur impact environnemental.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Le devenir des résidus carbonés est un *problème clef de la pyrolyse*. Ce déchet n'est pas simple à traiter car il concentre de nombreux polluants : métaux lourds, chlorures,...

Si les résidus carbonés issus de la pyrolyse ou si les gaz de synthèse pyrolyse sont lavés, un traitement spécifique des effluents de lavage est à prévoir.

Le gaz de pyrolyse et l'huile de pyrolyse sont de qualité de composition variable contenant des contaminants en général.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Il existe de nombreux procédés brevetés. Mais il n'y a en réalité que très peu d'installations industrielles qui ont été construites pour traiter des déchets en général, et encore moins pour traiter des boues en particulier.

Pour la pyrolyse de boues, citons le procédé Enersludge de la société australienne ESI. Ce procédé a été mis en œuvre à échelle industrielle à Perth en Australie. Cette usine était composée d'un sécheur complet, d'un pyrolyseur, d'un récupérateur d'huile et d'une unité d'incinération des résidus carbonés et gaz incondensables. Après la résolution des problèmes liés au traitement de boues primaires très fibreuses, l'installation complète a fonctionné quelques années. L'huile générée n'ayant pas la qualité escomptée, elle était brûlée dans une fabrique de briques. Aujourd'hui, l'installation de pyrolyse a été mise à l'arrêt et la société en charge de la commercialisation du procédé a remis bilan.

Limitations / difficultés

Au niveau de la pyrolyse, 2 difficultés sont à résoudre pour leur application sur des boues d'épuration:

- l'obtention d'une huile de pyrolyse de bonne qualité, et de qualité constante;
- le devenir du résidu solide carboné;
- nécessité de procéder à une opération de séchage poussé au préalable

L'opération de *séchage préalable* est *énergivore*. La pyrolyse est faiblement endothermique. L'utilisation des gaz et huiles de pyrolyse permet largement de couvrir les besoins de la pyrolyse sur des boues sèches (et peut en théorie fournir l'énergie nécessaire au séchage si les boues possèdent une siccité élevée à l'entrée du procédé de séchage).

Par rapport à l'incinération ou la gazéification, ce procédé peut en théorie s'envisager dans des unités de plus petites tailles et décentralisées (faible température). Mais le problème vient de la nécessité de faire une opération de séchage

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Tout d'abord, il est important de rappeler que tous les procédés de pyrolyse ne peuvent travailler que sur des résidus contenant une quantité limitée d'eau. Pour des boues organiques, une opération préalable de séchage sera donc au moins toujours nécessaire.

Ensuite, dans la mesure où il n'existe pas véritablement d'usine de traitement à échelle industrielle fonctionnant exclusivement sur des boues organiques, d'éventuelles données sur les aspects économiques sont à prendre avec les précautions nécessaires. En général, les données citées sont du même ordre que les coûts de la mono-incinération. C'est probablement optimiste dans la mesure où ces procédés sont aussi complexes que l'incinération et qu'ils demandent une opération préalable de séchage poussé.

Bibliographie

- CEN/TC 308/TR 13767, "Caractérisation des boues – Bonnes pratiques d'incinération des boues avec ou sans graisse et refus de dégrillage", 2004
- SEDE – Andersen, "Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge", 2002
- VITO, "Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI – en gelijkaardig industrieel afvalwaterzuiveringslib", 2001
- JUNIPER CONSULTANCY SERVICE Ltd, « Pyrolysis & gasification of waste : a world wide technology and business review », Volume 2 : Technologies & Processes, 2000
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Klärschlammbehandlung », 1998
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung », 1998
- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997
- ...

Fiche de procédé - Gazéification/vitrification

Principes / domaine d'application

La gazéification s'applique à des solides contenant de la matière organique. Ce procédé consiste à chauffer ces solides à des températures élevées sous atmosphère réductrice.

Les températures auxquelles on travaille se situent généralement entre 700 et 950°C. Un flux limité d'air ou de la vapeur d'eau est le plus souvent utilisé pour favoriser la gazéification des composés organiques. La gazéification génère un résidu solide pratiquement inerte et un gaz de synthèse plus ou moins riche en CO et hydrogène ou méthane selon les conditions de procédé. Le gaz de synthèse peut en théorie être utilisé comme combustible d'une turbine à gaz ou d'un moteur ou servir de matière première à la chimie de synthèse.

Lorsqu'ils travaillent à haute température, les procédés de gazéification comprennent parfois une opération de *vitrification* des matières minérales résiduelles. Remarquons que la vitrification peut également être réalisée directement à partir de boues séchées ou cendres d'incinération.

D'une manière générale, gazéification et vitrification requièrent une opération préalable de séchage poussé des gâteau de boues. Ces techniques sont parfois envisagées sur des mélanges de déchets ou des mélanges associant par exemple du coke de lignite.

Les intérêts principaux des techniques de gazéification, par rapport à l'incinération, sont:

- la possibilité de valoriser de manière plus optimale les produits de la décomposition des matières solides organiques par:
 - recyclage chimique
 - production énergétique avec un rendement plus élevé
- la réduction du volume des fumées et des émissions gazeuses.

A l'heure actuelle, ces avantages ne sont pas suffisants pour compenser les difficultés techniques supplémentaires et leurs coûts associés.

L'intérêt de la vitrification est la réduction maximale du volume de déchets, l'immobilisation des métaux lourds dans une gangue vitreuse et la possibilité de recycler celle-ci du fait de l'absence de risque de lixiviation de composés toxiques. Si la gazéification présente souvent un bilan thermique favorable, la vitrification au vu des températures mise en œuvre (1100 à 1600°C) demandent toujours un apport important en énergie.

Les capacités typiques sont supérieures à 2500 (ou 3000) t MS/an pour des boues organiques avec minimum 60% de matière organique sur MS. Cette capacité découle de la nécessité d'un séchage thermique.

La vitrification nécessite un apport important d'énergie.

Etat de développement

Les procédés de gazéification ont été mis en œuvre de manière industrielle sur du charbon depuis plus de 60 ans.

L'utilisation de ces procédés sur des déchets, bien que très prometteuse, a connu de nombreux avatars. Les tentatives de valorisation concernent de nombreux types de déchets et entre autres les boues organiques.

La difficulté de base pour mettre au point ces procédés sur des déchets provient la plupart du temps de la variabilité intrinsèque de la composition des déchets à traiter.

Il existe très peu d'unités industrielles dans le monde fonctionnant avec des déchets solides et/ou boues.

Les difficultés qui doivent être solutionnées génèrent toujours une augmentation importante du coût de traitement, rendant du même coup la grande majorité des projets qui se basent sur ces procédés non économiquement viables.

La vitrification des déchets s'est bien développée au Japon. L'importance des coûts de mise en décharge, les coûts relativement faibles de l'énergie et la volonté des autorités et des entreprises locales à promouvoir cette technique en sont les raisons principales. Il est à remarquer que le prix de traitement des déchets au Japon est sensiblement plus élevé (typiquement le double) qu'en Europe ou en Amérique du Nord, rendant possible la mise en œuvre de technologies plus onéreuses.

Par rapport à l'incinération, ce procédé peut en théorie s'envisager dans des unités de plus petites tailles (faible température). Mais le problème vient de la nécessité de faire une opération de séchage et la gazéification est applicable sur des quantités plus grandes que celles pour la pyrolyse (car on travaille à plus haute température en gazéification).

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

En théorie, les procédés de gazéification ont un impact environnemental plus réduit que l'incinération au niveau des fumées. Remarquons néanmoins qu'à la sortie de la cheminée, du fait de l'efficacité des systèmes actuels de traitement de fumées, cet impact sur l'environnement est pratiquement inexistant.

Pour démontrer la faisabilité des technologies "innovantes", et par volonté politique de promouvoir des alternatives à l'incinération, il existe un risque que des installations soient construites et mises en fonctionnement sans prendre toutes les mesures nécessaires qui s'imposeraient pour limiter leur impact environnemental.

Il faut tenir compte de la production de NOx thermique lors de l'étape de vitrification.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Les résidus solides de la gazéification de boues s'apparentent normalement à des cendres d'incinération avec des traces de carbone. Ces cendres généralement pulvérulentes contiennent peu d'organique et les gaz de synthèse contiennent des goudrons et fines particules nécessitant un traitement poussé pour permettre une valorisation « noble » (turbine à gaz, moteur, recyclage chimique).

Les résidus vitrifiés issus d'une opération de vitrification (présentant de bonnes propriétés de lixiviation) devraient être facilement recyclés dans la construction en tant que matériau inerte.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Il existe de nombreux procédés brevetés. Mais il n'y a en réalité que très peu d'installations industrielles qui ont été construites pour traiter des déchets en général, et encore moins pour traiter des boues en particulier.

Pour la gazéification mettant en œuvre un lavage poussé des gaz de synthèse, citons les procédés suivants :

- Waste to Energy
- CPL
- Waste Gas Technology
- PKA
- Lurgi LR process
- UET
- PKA (CORAS-H)
- SVZ (Sekundärrohstoff Verwertungszentrum Schwarze Pumpe)

La plupart de ces procédés sont à l'échelle de pilotes industriels. Seule SVZ est une unité de taille industrielle transformant des déchets solides divers (plastiques, caoutchouc, pneus, bois contaminé, résidus de peinture, résidus de broyage automobiles, boues d'épuration...) en méthanol. SVZ était à l'origine une unité de production de méthanol à partir de charbon.

Pour la gazéification ne filtrant pas ou peu les gaz de synthèse, on citera les procédés suivants:

- Lurgi CFB
- PRM Energy
- Technip
- Traidec
- Serpac
- Nesa

Ces procédés sont moins complexes et peuvent parfois être avantageusement combinés avec d'autres installations industrielles ayant des besoins en gaz et qui sont déjà équipées de systèmes de traitement de fumées (centrales à charbon, cimenterie par exemple). Les procédés Serpac et Nesa sont très proches des procédés d'incinération car ils font en réalité en combustion étagée. Spécifiquement pour des boues d'épuration, une unité Nesa, basée sur la technologie du four à soles, va être prochainement démarrée sur la station d'épuration de Valenton à partir de boues séchées. Le gaz de synthèse produit sera utilisé pour couvrir une partie des besoins énergétiques de l'opération de séchage.

En ce qui concerne la vitrification, il n'existe pas à notre connaissance d'unité industrielle fonctionnant sur boues d'épuration en Europe.

Au Japon, il existe plusieurs références industrielles dont un certain nombre construit par la société TSK. Aux Etats Unis, il existe une unité de vitrification fonctionnant avec des boues papetières et basée sur le procédé de la société Minergy. Au début des années 2000, la société Minergy avait remporté un important contrat pour le traitement des boues urbaines fortement contaminées de la ville de Detroit. Ce contrat n'a finalement pas pu être réalisé car non économiquement faisable.

Limitations / difficultés

Un des défis techniques principaux des systèmes de gazéification est la gestion des poussières et des goudrons, tout deux indésirables pour la production d'un gaz de synthèse de qualité. Les goudrons provoquent des bouchages intempestifs lorsqu'ils se condensent, et les poussières limitent les possibilités de recyclage chimique ou énergétiques (problèmes mécaniques et émissions dans les fumées après utilisation). C'est pour ces raisons que, lorsqu'on met en œuvre un système de gazéification sur des déchets et sur des boues en particulier, seules 2 options semblent réalistes:

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : gazéification/vitrification

- La valorisation des gaz de synthèse par combustion directe, à priori sans refroidissement et sans lavage, ni filtration. On peut alors parler de combustion étagée.
- Le lavage poussé des gaz de synthèse pour permettre leur recyclage chimique ou leur utilisation dans une turbine ou un moteur à gaz.

En plus du coût d'investissement important d'une unité de vitrification, sa limitation principale est son besoin important en énergie. De plus, du fait des températures élevées utilisées, des NO_x thermiques sont produits, ce qui demande une étape de traitement supplémentaire des fumées issues de la vitrification.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Tout d'abord, il est important de rappeler que tous les procédés de gazéification ou gazéification/vitrification ne peuvent travailler que sur des résidus contenant une quantité limitée d'eau. Pour des boues organiques, *une opération préalable de séchage sera donc au moins toujours nécessaire* (avec les coûts associés).

Ensuite, dans la mesure où il n'existe pas véritablement d'usine de traitement à échelle industrielle fonctionnant exclusivement sur des boues organiques, d'éventuelles données sur les aspects économiques sont à prendre avec les précautions nécessaires. En général, les données citées sont du même ordre que les coûts de la mono-incinération. C'est probablement optimiste dans la mesure où ces procédés sont aussi complexes que l'incinération et qu'ils demandent une opération préalable de séchage poussé.

Au vu des températures beaucoup plus élevées que l'incinération générant, entre autre, des volumes de gaz importants et de la nécessité d'avoir un traitement de fumées similaire à l'incinération, les coûts sont typiquement deux fois plus élevés que pour l'incinération.

Bibliographie

- CEN/TC 308/TR 13767, "Caractérisation des boues – Bonnes pratiques d'incinération des boues avec ou sans graisse et refus de dégrillage", 2004
- SEDE – Andersen, "Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge", 2002
- VITO, "Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI – en gelijkaardig industrieel afvalwaterzuiveringslib", 2001
- JUNIPER CONSULTANCY SERV ICE Ltd, « Pyrolysis & gasification of waste : a world wide technology and business review », Volume 2 : Technologies & Processes, 2000
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Klärschlammsorgung », 1998
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung », 1998
- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997
- ...

Fiche de procédé - Stabilisation chimique par chaulage (& chauffage externe) ou par les nitrites

Principes / domaine d'application

La stabilisation chimique peut se faire d'une part par le chaulage et d'autre part par la stabilisation aux nitrites.

Le **chaulage** sur des boues organiques (de 15 à 65% de siccité et minimum 25% de matière organique sur MS) remplit deux fonctions principales:

- la stabilisation
- et des conditions plus poussées: l'hygiénisation de la boue.

Il permet aussi d'améliorer la siccité et la texture de la boue.

La stabilisation se fait par élévation du pH au-delà de 12, détruisant ou inhibant la biomasse responsable à la dégradation.

L'hygiénisation se fait par augmentation du pH, et élévation momentanée de la température lorsque le traitement est réalisé à la chaux vive.

L'augmentation de la siccité résulte de l'effet conjoint:

- du mélange de la boue avec un produit sec et
- (en cas d'utilisation de chaux vive) de l'évaporation de l'eau et de sa transformation en eau de constitution de la chaux éteinte.

Il y a une amélioration de la tenue en tas, notamment en cas de stockage avant épandage. Cette propriété est particulièrement intéressante lorsque la boue déshydratée est pâteuse.

Apport d'un amendement calcique pour les terres arides.

La chaux utilisée peut se présenter sous deux formes différentes: chaux vive (CaO) ou chaux éteinte (Ca(OH)₂).

La chaux est une base forte. Elle permet d'atteindre et de maintenir un pH de 12, dont l'action est doublement stabilisatrice:

- par inactivation des germes
- par déplacement de l'équilibre physico-chimique des molécules soufrées malodorantes (en pH basique, le dégagement de ces composés soufrés malodorants est inhibé).

Lorsque le traitement est réalisé à la chaux vive la réaction avec l'eau de la boue produit deux actions supplémentaires:

- une action déshydratante poussée, par migration d'une partie de l'eau libre de la boue vers la chaux vive. Celle-ci réagit alors avec l'eau pour former une chaux éteinte.
- une action germicide, par augmentation de la température et du pH.

La dose permettant d'obtenir un pH 12 dépend du pouvoir tampon de la boue (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %). Elle doit être déterminée expérimentalement, puis faire l'objet d'un suivi durant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. En effet, le pH obtenu après mélange évolue avec le temps, et ce d'autant plus rapidement que sa valeur initiale est basse.

Pour l'hygiénisation, des taux de 200% de chaux par rapport à la MS doivent être obtenus.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : Stabilisation chimique par chaulage (& chauffage externe) ou par les nitrites

Un cas particulier pour le chaulage est le procédé **Agroviro**. Ce procédé a pour but de produire un fertilisant contenant de la chaux. Ce procédé s'appelait **N-Viro**. Des produits contenant de la chaux sont rajoutés aux boues d'épuration. Le poids des produits rajoutés est environ égal au poids de la MS de la boue. Les boues entrant dans ce procédé contiennent environ 20% de MS. Après une phase de maturation (12 heures) et une phase de compostage (4 jours) un produit final stabilisé est obtenu. Une MS jusqu'à 70% peut être obtenue et *la boue chaulée est hygiénisée avec moins de chaux vive*.

Les capacités typiques vont jusqu'à environ 7000 t MS/an (0,6 à 4 tonnes MS/jour).

En terme d'énergie, le chaulage consomme environ 1 kWh/m³ de boues déshydratées (électricité) Le procédé Agroviro nécessite le chauffage en plus.

La **stabilisation aux nitrites** étant réalisée sur boue épaissie (liquides de 5 à 10% de siccité et minimum 25% de matière organique sur MS), les nuisances olfactives sont éliminées dès le début de la filière. La boue peut ensuite être stockée plusieurs mois, sans dégager d'odeurs. Cette technique permet de stabiliser la boue, mais aussi de l'hygiéniser de façon plus ou moins importante, selon le mode de traitement utilisé.

La stabilisation aux nitrites peut avoir un intérêt avant épandage et avant oxydation thermique.

- Intérêt avant épandage: Ce procédé constitue une alternative au chaulage, en substituant le schéma "épaississement – stabilisation aux nitrites – déshydratation" au schéma "épaississement – déshydratation – chaulage". Il est donc très indiqué lorsque les parcelles d'épandage ne peuvent pas accueillir des boues chaulées (sols alcalins).
- Intérêt avant oxydation thermique: A la différence d'une boue déshydratée chaulée, une boue déshydratée après stabilisation aux nitrites peut être admise dans un four à lit fluidisé. D'autre part cette technique permet d'améliorer la siccité de la boue déshydratée, donc son autocombustibilité. Mais aucune référence particulière n'est connue et des risques de corrosion sont à craindre.

Le procédé peut être mis en œuvre selon deux modes.

- Mode stabilisation et hygiénisation partielle: La boue épaissie est admise dans un milieu acide maintenu à un pH de l'ordre de 3. Elle est alors soumise, pendant un minimum de 30 minutes à l'action des ions nitrites NO₂⁻. Ce traitement oxyde les composés malodorants (H₂S, mercaptans...) et élimine les agents responsables de la dégradation des matières organiques.
- Mode stabilisation et hygiénisation poussée: Le principe de fonctionnement est le même que dans le premier cas, mais les paramètres de fonctionnement sont optimisés:
 - pH plus faible: de l'ordre de 2
 - temps de séjour plus long: au moins 2 heures
 - concentration plus forte de nitrites

Les capacités typiques vont jusqu'à environ 2000 t MS/an (0,6 à 4 tonnes MS/jour).

Etat de développement

La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides.

Environ 200 stations d'épuration pratiquent le chaulage en France, ce qui représente 2 % du parc français (exprimé en nombre de stations, soit 25 % de la capacité de traitement installée). Il s'agit généralement de stations de taille supérieure à 15 000 équivalent-habitants, avec une moyenne voisine de 40 000 équivalent-habitants.

Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation. Toutefois, pour des boues primaires ou physico-chimiques, ce sont les uniques modes de stabilisation.

D'autres techniques chimiques, basées sur le blocage de l'activité biologique, commencent à être proposées (exemple : procédé de traitement aux nitrites à pH acide).

En cas de mise en décharge, la siccité de 30% est facilement obtenue. Cette technique, très répandue en France, présente en outre l'avantage d'être peu coûteuse².

Pour la stabilisation aux nitrites, ce système est beaucoup moins appliqué en France: par exemple les STEP de Cognac, Joeuf et Ustaritz pratiquent cette technique.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

On considère qu'une boue est hygiénisée lorsque les concentrations en micro-organismes pathogènes sont réduites en-dessous d'un seuil défini par rapport à des micro-organismes témoins ou tests [définition : arrêté du 8 janvier 1998, articles 11 et 16]. Ces témoins ont été choisis pour leur fréquence dans les boues, leurs impacts sanitaires, l'existence de méthodes de détection et leur capacité de résistance aux traitements (œufs d'helminthes viables). Leur disparition atteste de l'efficacité des traitements hygiénisants appliqués aux boues³. Cette hygiénisation est obtenue dans le cas où la stabilisation chimique a été effectuée correctement.

Des émissions d'ammoniac et de poussières sont présentes dans le procédé Agroviro. Ces émissions peuvent être captées, recyclées et rajoutées au matériel de base.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Les boues traitées et hygiénisées peuvent être épandues sans aucune restriction d'usage. L'hygiénisation est normalement bonne après la stabilisation chimique.

Le chaulage et le compostage modifient profondément la vocation fertilisante des boues; les boues chaulées sont utilisées comme amendement basique dans les sols trop acides. Ceci signifie qu'elles permettent d'entretenir ou d'améliorer la structure du sol, son activité biologique ou encore de contrôler son acidité.

Dans la mesure où elle permet d'améliorer la déshydratabilité, la stabilisation aux nitrites peut être utilisée avant une oxydation thermique, pour améliorer l'autocombustibilité de la boue.

Les produits finaux du procédé Agroviro ont un taux de matières sèches de 70%, sont partiellement désamonifiés. Le produit final ne contient plus de poussières (donc facile à l'utilisation), plus d'odeurs ni de pathogènes et est stable au stockage. En comparaison avec les boues d'épuration non-traitées le matériel Agroviro contient un plus petit taux de matière sèche grâce aux compostage. Les caractéristiques typiques du produit Agroviro sont:

- matière sèche: 70%
- pH: 11
- matière organique: < 10%
- valeur neutralisante: 30 à 40%

La composition précise du matériel Agroviro peut être adaptée à la demande du client. Le matériel Agroviro est surtout employé en tant que fertilisant de chaux avec une grande capacité à neutraliser l'acidité du sol.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Les installations de chaulage :

- usine OTV du beausset (30 000 éq.hab): stabilisation par chaulage

² <http://www.veoliaeaust.com/fr/dossiers/?file=925>

³ Fiche Technique Santé Publique; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture; les micro-organismes pathogènes présents dans les boues d'épuration.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : Stabilisation chimique par chaulage (& chauffage externe) ou par les nitrites

- Cortina d'Ampezzo, Italie (1998) – (9 000 éq.hab)
- Cognac, France (2002) – (50 000 éq.hab)
- Ustaritz, France (2003) – (13 000 éq.hab)
-

Les producteurs d'installations de chaulage ou de traitement aux nitrites:

- Veolia, France: Procédé Saphyr; oxydation chimique aux nitrites

La stabilisation aux nitrites est principalement réalisé par VEOLIA en France.

Le procédé Agroviro est protégé mondialement par des brevets européens et américains. Aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne ce procédé est utilisé régulièrement. Dans ces pays-là on ajoute surtout de la chaux et de la poussière de four de cimenterie.

La société DEC a obtenu la licence pour exploiter ce procédé dans le Benelux.

Limitations / difficultés

La qualité du mélange boue déshydratée/chaux est très importante. Le mélange doit être le plus intime possible, et il est souhaitable d'éviter la production de grosses boulettes non-chaulées au cœur.

Au contact du dioxyde de carbone de l'air ou de l'eau, la chaux (vive ou éteinte) produit des carbonates, chimiquement inactifs mais préjudiciables au stockage et à la manutention. Aussi est-il souhaitable de ne pas conserver la chaux vive plus de trois mois, et la chaux éteinte plus d'un an.

Ce blocage n'est que temporaire. En effet, un stockage prolongé, en particulier à ciel ouvert, impliquera un retour progressif du pH en dessous de 9, autorisant alors le redéveloppement des bactéries et la reprise de la fermentation⁴.

Le procédé Agroviro peut accepter des boues qui contiennent des taux de métaux lourds équivalents aux taux de métaux lourds qui peuvent se trouver dans les boues qu'on peut épandre sur des terres agricoles.

Pour la stabilisation aux nitrites, le traitement nécessite la manipulation de réactifs chimiques, la gestion de la remontée du pH avant épandage (maîtrise de la remontée du pH après plusieurs mois de stockage). Il existe des risques de corrosion si un séchage thermique (voie non prise en compte après une stabilisation aux nitrites). Les possibilités de compostage de boues stabilisées aux nitrites sont peu connues.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Le poste électricité se limite au pompage de la boue et à son malaxage. L'énergie nécessaire s'élève généralement à environ 1 kWh/m³ de boue déshydratée, soit 5 kWh/t MS.

Pour le système de chaulage les capacités vont de 0.6 tonnes de MS par jour calendaire à 4 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 30 000€ et 180 000 € (Source: OTV).

La stabilisation aux nitrites est bien adaptée aux usines de petite taille, pour lesquelles une déshydratation suivie d'un chaulage n'est pas envisageable économiquement.

Le coût pour traiter des boues avec le procédé Agroviro se situe entre 60 € et 85€ la tonne de boue d'épuration (avec une siccité de 20%). Dans ce coût les coûts de l'analyse de qualité et de l'analyse du sol chez le client ont déjà été incorporés. Le matériel obtenu grâce au procédé Agroviro peut apporter des recettes (dépendant des régions, du type de sol).

Peu de données existent pour la stabilisation aux nitrites.

⁴ Office International de l'Eau

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- ADEME: fiche technique
- Fiche Technique Santé Publique; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture; les micro-organismes pathogènes présents dans les boues d'épuration.
- Office International de l'Eau
- Opwerking to kalkhoudende bodemverbeteraar (type Agroviro), BBT-kenniscentrum; VITO; 2001.

Fiche de procédé - Co-incinération avec les ordures ménagères

Principes / domaine d'application

La co-incinération avec des ordures ménagères (OM) consiste à utiliser les équipements d'incinération et de traitement des fumées des usines d'ordures ménagères pour incinérer des boues organiques sous forme pâteuse ou sèche (minimum 18% de siccité et 25% de matière organique par rapport à la MS) en limitant les investissements.

La co-incinération peut être pratiquée de trois manières, suivant la proximité du four d'incinération des ordures ménagères et les caractéristiques de la boue :

- **Introduction de boues séchées à 90% ou +:** La boue est introduite dans la fosse de réception des ordures ménagères ou dans la trémie d'alimentation du foyer. Le PCI de la boue séchée étant important, il est nécessaire de réaliser un mélange aussi homogène que possible avec les ordures ménagères, sous peine de créer des "coups de feu", de la vitrification locale et de l'accrochage sur les parois réfractaires.
- **Introduction de boues séchées à 60-65%:** La boue est introduite dans la fosse de réception des ordures ménagères ou dans la trémie d'alimentation du foyer. Sa siccité et son PCI étant proches de ceux des ordures ménagères, un mélange préalable est inutile.
- **Injection directe de boues pâteuses (généralement à 18-30%):** Cette solution présente l'avantage de limiter les coûts d'investissements, car la boue déshydratée est injectée directement dans le foyer ou à la sortie de la chambre de combustion. Il n'est donc pas nécessaire de la sécher. En revanche, sa forte humidité nécessite généralement de limiter son apport à une valeur comprise entre 10 et 20% du tonnage d'ordures ménagères. La forme pâteuse nécessite également l'utilisation d'un injecteur adapté, dont le rôle est d'introduire la boue en un point où elle ne perturbe pas la combustion des ordures ménagères. Cette fonctionnalité est remplie par le choix judicieux du point d'injection, et par l'action que peut avoir l'injecteur sur la présentation de la boue dans le foyer : division, dispersion.

Il existe trois principaux systèmes d'injection directe, qui ne garantissent pas les mêmes performances de traitement.

- **L'injection directe par extrusion:** Les boues sont filées dans des injecteurs et transformées en "chipolatas" d'une vingtaine de millimètres de diamètre. Ces boudins sèchent au cours de leur formation, puis se détachent sous leur poids et tombent sur la grille du four pour être mélangés et incinérés avec les ordures ménagères. Le diamètre des "chipolatas" étant important, les boues peuvent parfois être cuites en surface et ne pas brûler au cœur. Dans ce cas, le taux d'imbrûlés dans les mâchefers augmente considérablement.
- **L'injection directe par pulvérisation à la sortie de la chambre de combustion:** Ce procédé consiste à pulvériser des boues pâteuses à contre-courant d'un flux de gaz ascendant à haute température, en l'occurrence les fumées provenant de l'incinération des OM. L'équipement utilisé se présente sous la forme d'une tour, installée immédiatement au-dessus de la chambre de combustion du four. Les fumées chaudes provenant de l'incinération des ordures ménagères sont introduites à la base de cette tour, tandis qu'un pulvérisateur situé à mi-hauteur projette de fines gouttelettes de boue vers le bas. Au contact du flux de chaleur, la partie liquide de la boue se vaporise, tandis que les matières sèches s'enflamment et brûlent instantanément.
- **L'injection directe par pulvérisation dans le four:** Ce procédé, qui constitue un compromis entre les deux techniques précédentes, peut être adapté à tout type de four d'ordures ménagères. Le réglage du débit et de la pression d'air de pulvérisation permet de diviser la boue en particules d'une finesse optimale, avant de les pulvériser sur le lit d'ordures ménagères. Cette division, associée à un ajustement de la trajectoire des gouttelettes dans le four, permet une répartition homogène de la boue sur le lit d'ordures ménagères et garantit une parfaite combustion.

Les considérations ci-dessus ont pour conséquence de limiter, à environ 10-12%, le ratio tonnage de boues brutes traitées/tonnage ordures brutes alimentées.

En terme de capacité, les données sont:

- ✓ Petites capacités: mélange en fosse (moins de 3% du volume d'OM) ou dosage en trémie.
- ✓ Moyenne à grande capacité: réception, stockage et injection et boues sèches limitées à environ 10% en masse par rapport aux OM. Il n'existe donc pas de limite de capacité hormis la proportion maximum de boues dans les OM

Etat de développement

A ce jour, la filière de co-incinération des boues la plus fréquente est celle qui consiste à un co-traitement avec les ordures ménagères dans les fours à grilles. Ce co-traitement peut se faire soit avec des boues déshydratées, soit avec des boues préséchées.

La combustion des boues de STEP avec les OM est une voie en plein développement⁵.

Ecrin a recensé 22 sites de co-incinération avec les OM qui incinèrent des boues urbaines. La pratique de la co-incinération des boues usées urbaines concerne aussi bien les petites que les grandes collectivités.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Comme tous les procédés ont pour objectif de produire des mâchefers reconnus valorisables suivant la réglementation des installations classées, la co-incinération des boues ne doit pas modifier la caractéristique de ces mâchefers au-delà des seuils définis (voir circulaire mâchefer 2002).

Il faut tenir compte des directives européennes pour l'incinération et les arrêtés du 20 septembre 2002 pour les installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux et non dangereux.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Le devenir des sous-produits dépend du système d'injection:

- **L'injection directe par extrusion:** Cette technique augmente à la fois la quantité de mâchefers et le taux d'imbrûlés qui y sont présents. Si la teneur en imbrûlés dans les mâchefers reste inférieure à la norme réglementaire (moins de 5%) il est possible de les valoriser en soubassements routiers. Dans le cas contraire, ils doivent être envoyés en centre de stockage, après stabilisation, si nécessaire.
- **L'injection directe par pulvérisation à la sortie de la chambre de combustion:** La majorité de la boue est transformée en cendres volantes qui, si elles sont récupérées avec les produits de neutralisation, sont considérées comme des Refioms et doivent être évacuées en centre de stockage, après stabilisation, si nécessaire.
- **L'injection directe par pulvérisation dans le four:** Les petites particules de matière minérale se retrouvent plutôt au niveau des mâchefers et les teneurs en cendres sont réduites.

Dans la majorité des cas, les teneurs en éléments-traces métalliques des cendres et des lixiviats sont en conformité avec les valeurs de référence définies pour la valorisation des mâchefers et des cendres d'OM incinérées dans un four à lit fluidisé. Il serait donc possible d'en valoriser une partie en techniques routières.

Pour les **cendres volantes** les voies de valorisation envisageables diffèrent selon la nature des cendres:

⁵ Dechetcom

- **utilisation en réalisation de chaussées routières (cendres sèches et humides):** A l'instar des cendres volantes d'OM incinérées sur lit fluidisé, les cendres volantes de boues (conformes aux exigences réglementaires) pourraient être valorisées à l'état brut dans la couche de forme ou la couche de fondation d'une chaussée.
- **utilisation dans les bétons de construction (cendres sèches):** Les cendres volantes peuvent être incorporées en tant que filler (adjuvant) dans la fabrication des bétons, sous réserve que la concentration en chlorures n'excède pas 0.1%. Sur le plan technique les essais de stabilité et de résistance en compression montrent que la qualité du béton n'est pas altérée et que les cendres présentent un intérêt certain. Sur le plan environnemental les tests de lixiviation donnent des résultats très satisfaisants. Ils garantissent que l'utilisation des cendres de boues en tant que filler dans les bétons est une voie aussi sûre que celle des cendres de houille. La structure très poreuse des cendres de boues nécessite cependant un surplus d'eau pour fabriquer le béton, ce qui peut constituer un handicap au plan économique.
- **épandage en agriculture (cendres sèches):** L'épandage en agriculture constitue une autre voie de valorisation possible pour les cendres, qui présentent l'intérêt d'être parfaitement hygiénisées. Après incinération, les cendres subissent une extinction, puis sont dirigées vers des lits de séchage. Cette opération, dont la durée dépend des conditions météorologiques, est suivie d'une période de stockage. Les cendres sont ensuite livrées chez les agriculteurs, suivant un planning très précis, puis épandues à faibles doses (10 à 15 tonnes brutes à l'hectare). Les teneurs en éléments-traces métalliques sont rigoureusement contrôlées dans les cendres et dans les sols, afin de respecter les exigences de la réglementation. Même si l'incinération a tendance à concentrer les éléments-traces métalliques dans les cendres, les teneurs résiduelles y sont généralement inférieures aux teneurs limites imposées par la législation sur l'épandage des boues en agriculture.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Liste des procédés existants:

- Pyromix, Veolia
- ...

Limitations / difficultés

Les difficultés liées à ce procédé sont dues à la bonne gestion qui est nécessaire pour éviter de produire des mâchefers qui ne correspondent plus à la législation en vigueur.

D'autres limitations sont:

- ✓ Mélange homogène avec les OM pour éviter les coups de feu si les boues sèches à 90% (alimentation en trémie)
- ✓ Par extrusion: augmentation des imbrûlés dans mâchefers -> peut restreindre la valorisation routière.
- ✓ Par pulvérisation chambre: augmentation des cendres volante

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Le coût du co-traitement est de 50 à 100 EU/t de boues brutes et est lié à l'investissement de matériel spécifique pour accepter les boues en UIOM.

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Degremont, "Mémento technique de l'eau", dixième édition;

Fiche de procédé - Co-incinération en cimenterie

Principes / domaine d'application

Le traitement des boues dans un four de cimenterie (four à clinker) est une technique d'élimination/valorisation des boues.

Les motivations de l'industrie cimentière sont triples :

- valorisation énergétique de la matière organique contenue dans les boues permettant une réduction des besoins en autres combustibles pour ce procédé énergivore,
- valorisation des composés minéraux des boues dans le clinker permettant une réduction des apports en matières premières minérales dans le four,
- génération d'un revenu financier pour le traitement de déchet.

Le clinker, composé principal du ciment, est formé principalement par le mélange de 4 oxydes (CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3) dans des conditions réductrices et à haute température dans un four rotatif recouvert de réfractaire (le four à clinker).

Les étapes de la formation du clinker et zone de températures associées sont les suivantes :

- séchage et préchauffage des matières premières : jusqu'à 550°C
- decarbonatation : de 550 à 900°C
- calcination : de 900°C à 1300°C
- frittage et formation de clinker : de 1300°C à 1450°C

Selon le degré d'humidité des matières premières minérales utilisées, différents types de procédés sont mis en œuvre :

- le procédé humide si les matières premières contiennent jusqu'à 30% d'eau
- le procédé semi-sec ou semi-humide
- le procédé sec

La clinkérisation (calcination-frittage) a lieu dans un four rotatif, celui-ci pouvant faire partie d'un système de cuisson du type à four long par voie humide ou sèche, à four avec préchauffeur à grille (four Lepol) par voie semi-humide ou semi-sèche, à four avec préchauffage en cyclones par voie sèche ou à four avec préchauffeur/précalcinateur. On considère que la meilleure technique disponible pour la production du clinker est le four à voie sèche avec préchauffage par mise en suspension multiétagée en cyclones et précalcination du fait de son bilan énergétique plus favorable.

Actuellement, les fours par procédé sec assurent environ 78 % de la production de ciment en Europe, les fours en voie semi-sèche et semi-humide représentent 16 % de la production et le reste, environ 6 %, vient des fours à voie humide. Les fours à voie humide fonctionnant en Europe sont généralement appelés à être convertis en systèmes de four à voie sèche lors de leur renouvellement; il en ira de même pour les systèmes de four à voie semi-sèche et semi-humide.

Les possibilités de traitement pour les boues sont

- ✓ En zones froide: boues minérales brutes
- ✓ En zone chaude:
 - boues organiques (urbaines) sèches
 - Boues biologiques chaulées à 25-70% de siccité et pelletable (cas plus rare)

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : co-incinération en cimenterie

- des boues physico-chimiques non chaulées d'une siccité >30% et pelletable (secteur chimie/pharmacie)

Pour les capacités de traitement des boues en cimenterie, les quantités doivent être suffisantes pour justifier l'investissement d'installations de réception, stockage et dosage : typiquement supérieur à 10 000 t boues brutes par an.

La consommation d'énergie est faible et généralement neutre pour des boues déshydratées mécaniquement. Une production d'énergie est obtenue si les boues sont sèches (exemple de PCI de boues sèches en zone chaude: 3000 kcal/kg).

Etat de développement

Ce procédé est au point et mis en œuvre depuis de nombreuses années par les cimentiers (Lafarge, Calcia, Vicat, Holcim, etc...)

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Les impacts peuvent être:

- ✓ Odeur
- ✓ Poussières
- ✓ Précautions à prendre pour limiter les risques liés au stockage et à la manutention de poussières « explosives »

La législation à prendre en compte est:

- ✓ Les directives européennes
- ✓ Les arrêtés du 20 septembre 2002 pour les installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux et non-dangereux.
- ✓ Les conditions particulières dans des arrêtés préfectoraux peuvent modifier les conditions d'acceptabilité des boues pour la teneur en métaux lourds

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Intégré à la matrice pour la plupart des métaux lourds (valorisation matière et énergie)

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Nombreuses installations en Europe. La Suisse et la Belgique faisant partie des pionniers.

- ✓ Holcim
- ✓ Lafarge
- ✓ Calcia
- ✓ Vicat

Limitations / difficultés

En résumé, les limitations suivantes sont:

ANNEXE 5 - *Fiches de procédé : co-incinération en cimenterie*

- ✓ Nécessite l'utilisation de boues séchées thermiquement au préalable pour les boues urbaines introduites en tuyère
- ✓ Odeurs
- ✓ Problèmes liés au stockage
- ✓ Phosphore
- ✓ Mercure et autres composés volatiles
- ✓ Risques sanitaires des boues

Plus particulièrement:

- ✓ Pour les boues brutes minérales sans organiques en zone froide:
 - limite en hydrocarbures totaux pour les DIS < 5000 mg/kg sur brut
 - elles doivent être composées d'au moins 80% sur matière calcinée de $\text{CaO}+\text{SiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$
- ✓ Besoin de boues séchées si valorisation énergie en zone chaude de boues urbaines.
- ✓ Les boues fermentées ont une plus grande teneur en Ca, Si, Al, Fe et S mais les cimentiers n'ont pas d'intérêt pour les boues fermentées car leur PCI est plus faible
- ✓ Influence négative du P (formation ciment).
- ✓ Pour les boues chaulées en zone chaude: celles ci doivent être pelletables
- ✓ Pour boues sèches en zone chaude: la teneur en métaux lourds pour $\text{Sb}+\text{As}+\text{Pb}+\text{Cr}+\text{Co}+\text{Ni}+\text{V}+\text{Sn}+\text{Tl}+\text{Se}$ est définie dans les arrêtés préfectoraux.
- ✓ Pour toutes les boues selon une charte profession:
 - Hg: < 10 ppm
 - Hg+Cd+Tl: < 100 ppm
 - PCB < 50 ppm
 - Cl: < 2% (sur sec)
 - P_2O_5 < 5% (sur sec)
 - Alcalin: Na et K: selon cimenterie (à demander)

Exigences supplémentaires:

- ✓ Teneur en Cr (au cas par cas dans le respect de la réglementation européenne concernant la limite de CrVI dans le ciment)
- ✓ Stabilisation et hygiénisation pour les boues urbaines brutes (pas de risques sanitaires)

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Concernant les indications tarifaires:

- ✓ boues minérales en zone froide valorisée comme matière première: 40 à 80 EU/tonne
- ✓ boues industrielles en zone chaude: 80 à 120 EU/tonne
- ✓ boues urbaines séchées à 90% de siccité: 60 à 70 EU/tonne

Exonération de la TGAP pour valorisation matière en cimenterie.

En Belgique (source: Aquafin pour boues séchées) un chiffre de 30 EU est cité pour les boues urbaines séchées à 90% de siccité.

On peut également signaler que la société TERIS, pôle de traitement de DIS de Suez, est un opérateur qui s'occupe du pré-traitement et de la valorisation de DIS en cimenterie (pour Calcia, Lafarge et Vicat : 500.000 t de déchet par an) pour les aspects techniques et commerciaux. Elle possède différentes unités de traitement et assure la prise en charge de certaines des catégories de déchets utilisés par les cimentiers comme combustibles de substitution.

Bibliographie

- Integrated Pollution Prevention and Control, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les industries de fabrication du ciment et de la chaux, EU, 2001
- OTV
- Lafarge et Calcia

Fiche de procédé - Mono-incinération

Principes / domaine d'application

Les procédés de mono-incinération des boues consistent à oxyder la matière organique à haute température (750-850 °C) en phase gazeuse. Ces procédés traitent principalement les boues organiques avec, dans certains cas, des quantités limitées d'autres déchets tels que des graisses, qui sont produites par le traitement d'eau.

Les objectifs de l'incinération sont :

- La réduction maximale du volume de déchet par l'évaporation de l'eau et l'oxydation de la matière organique. Il ne reste donc que la fraction minérale
- La destruction de composants organiques toxiques le cas échéant
- Dans certains cas, la production d'énergie

Pour un bon processus de combustion, il est essentiel de veiller à respecter la règle des 3 T:

- Température
- Temps
- Turbulence

Cette règle fondamentale impose que ces 3 paramètres aient une valeur suffisante dans le système de combustion. La réglementation Européenne en vigueur impose d'ailleurs que la température de la phase gazeuse doit être au minimum de 850°C pendant au moins 2 secondes avec 6% de O₂ sur sec ou humide⁶ (ou de 1100°C s'il s'agit de déchets dangereux ayant une teneur en substances organiques halogénées, exprimée en chlore, supérieure à 1%). La Turbulence (ou mélange) est essentielle pour assurer la rencontre entre l'oxygène de l'air et le composé gazeux ou solide à oxyder.

Il existe deux procédés industriels répandus de mono-incinération de boues :

- Le four à soles (ou à étages)
- Le four à lit fluidisé

Moins bien adaptés à la mono-combustion de boues parce que gênés par les propriétés rhéologiques des boues ou par la dimension variable de la boue à traiter, on peut également retrouver des systèmes mettant d'autres types de fours en œuvre :

- Le four cyclonique
- Le four à tambour rotatif
- Le four à grille

Ces fours peuvent néanmoins être utilisés si les boues sont préalablement séchées complètement et si les particules de boues séchées sont calibrées. Ces exigences limitent bien entendu l'attractivité économique de ces procédés.

Parmi les systèmes éprouvés et largement répandus, le four à soles est le plus ancien. Il existe encore de nombreuses unités aux Etats-Unis mais il y en a beaucoup moins en Europe, où le four à lit fluidisé bouillonnant l'a supplanté au vu de ses nombreux avantages, en particulier:

- Investissement plus réduit du fait de sa simplicité de construction et du volume minimal de fumées générées par le procédé (faible excès d'oxygène car excellent mélange), réduisant du même coup l'investissement sur le traitement de fumées;

⁶ Ce taux d'oxygène n'est pas requis si la destruction des déchets est démontrée.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : mono-incinération

- Excellent bilan thermique dû au contrôle précis de la combustion, permettant de travailler avec peu ou pas de combustible d'appoint et un faible excès d'oxygène;
- Coût de maintenance plus réduit du fait principalement de l'absence de pièces mobiles dans le four;
- Plus grande flexibilité d'exploitation traduite par exemple par le fait que le système peut être mis à l'arrêt sans requérir un refroidissement forcé du four, ce qui permet dès lors un redémarrage rapide à chaud;
- Combustion complète de la matière organique, et production d'un résidu de combustion sous forme de cendres volantes homogènes, permettant d'envisager un recyclage de ces cendres.

Les éléments différenciateurs principaux d'un lit fluidisé à l'autre sont :

- Le réfractaire au niveau du four : utilisation d'acier réfractaire ou de briques ou béton réfractaire pour les parties du four en contact avec le sable bouillonnant et les fumées
- Le type de boîte à vent: froide ou chaude
- Le système supportant les tuyères de distribution de l'air de fluidisation : arche en briques réfractaire ou plateau en acier réfractaire
- La méthode d'injection des boues : dans le lit de sable, distribuée sur le côté du four au-dessus du lit de sable par un répartiteur mécanique, par gravité au-dessus du lit
- La forme de la chambre de post combustion (ou zone de revanche) : plus ou moins évasée, ou avec une double chambre
- L'injection d'air secondaire
- La conception et la position de l'échangeur récupérateur préchauffant, le cas échéant, l'air de combustion
- L'extraction de sable, et d'éventuels corps étrangers pouvant perturber la fluidisation

Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de faire une étude détaillée de ces différences de conception et de leurs implications.

Tous les fours d'incinération doivent être équipés d'un système de traitement de fumées. Ces systèmes peuvent être nettement plus différents que les fours à lit fluidisés entre eux. Une tendance tend néanmoins à se dégager aujourd'hui pour les nouvelles installations: l'utilisation de systèmes secs qui présentent l'avantage de la simplicité.

L'incinération n'est applicable que pour des boues de type organique. Pour des raisons évidentes de bilan thermique, on veillera à ne traiter que des boues qui ont été efficacement déshydratées par voie mécanique. A l'exclusion des boues contenant des hydrocarbures en grande quantité et des boues issues de l'industrie papetière, les gâteaux de boues organiques auront toujours un PCI faible voire même négatif si la déshydratation mécanique n'est pas efficace (siccité < 20 %). Cela explique l'importance de pouvoir recycler l'énergie générée par le processus de combustion afin de limiter, voire d'éliminer les besoins en combustible d'appoint. La récupération d'énergie se fera généralement par l'intermédiaire d'un échangeur gaz/air placé en sortie de four préchauffant l'air de combustion à haute température, et, dans le cas d'unités d'une certaine taille, par l'installation de système de préséchage des boues dont l'énergie provient généralement d'un récupérateur placé après l'échangeur de préchauffage de l'air de combustion.

Pour les grandes unités seulement, il peut parfois être intéressant d'envisager la production de vapeur et/ou d'électricité en fonction des conditions locales et de la qualité des boues.

Du fait de la complexité de ces systèmes et des aspects réglementaires associés, ceux-ci ne sont économiquement envisageables que pour des capacités moyennes à grandes. Une capacité de d'au moins 10 000 tonnes/an de gâteaux de boues (siccité 15-35% après déshydratation mécanique) semble être un minimum sachant que des effets d'échelle très significatifs existent pour des capacités allant jusqu'à typiquement 50 000 tonnes de boues par an.

Plus spécifiquement, les valeurs minimales à prendre à compte sont de 5000 t MS/an, 18% de siccité et 40% de matière organique sur MS.

Etat de développement

Les systèmes à lit fluidisé bouillonnant pour la mono-incinération des boues sont éprouvés. Il existe de nombreuses installations en Europe qui fonctionnent de manière satisfaisante depuis plus de 20 ans.

Beaucoup de ces anciennes installations présentent néanmoins un potentiel de rénovation intéressant en vue:

- d'améliorer leur bilan thermique;
- d'améliorer la qualité des rejets gazeux et liquides;
- d'augmenter la capacité de traitement.

Ces améliorations sont possibles en raison:

- des progrès réalisés au niveau de la qualité des matériaux : aciers réfractaires en particulier;
- des progrès liés à la mise au point de réactifs améliorant les rendements de captation des polluants;
- des progrès liés à la modélisation des réactions et de la mécanique des fluides rendant possible un contrôle plus fin de la combustion, de la récupération d'énergie et du traitement de fumées.

Comme pour le séchage thermique, il y a une demande du marché pour construire des installations de capacités de plus en plus réduites. C'est la raison pour laquelle certains constructeurs ont introduit un certain degré de standardisation, d'autres, des concepts mettant en œuvre des matériaux moins onéreux, pour offrir des solutions économiquement attractives. Néanmoins, la standardisation reste difficile à réaliser en pratique du fait des spécificités de chaque projet et de la complexité technique et réglementaire liés aux systèmes d'incinération. En ce qui concerne l'utilisation de matériaux moins onéreux, citons par exemples les concepts qui visent à se passer de briques ou béton réfractaires par l'utilisation de métaux réfractaires et/ou de laine isolante à base de matériau réfractaire. Le succès commercial de ces concepts est très limité aujourd'hui du fait des mises au point qui semblent être encore requises. La même remarque s'applique au système couplant un four d'incinération avec un malaxeur/sécheur alimenté à l'aide du sable chaud prélevé au niveau du four à lit fluidisé (ex: FMI et OTV). Il est possible que ces mises au point conduisent à des systèmes relativement complexes et onéreux, ce qui réduirait fortement l'attractivité de ces nouveaux concepts.

La valorisation des cendres volantes provenant de la mono-incinération de boues en lit fluidisé permet de réduire sensiblement les coûts de la filière. Ces cendres sont déjà valorisées dans certaines applications notamment en Allemagne, en Belgique et aux Pays-Bas.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

- Directives Européennes
- Les arrêtés du 20 septembre 2002 pour les installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux et non-dangereux.
- Classification Française des résidus de l'incinération en tant que cendre volante impliquant un traitement en décharge de classe 1 (vérifier si toujours d'application)
- Nécessité de faire un traitement spécifique des purges du traitement humide des fumées (cf directive européenne)
- Future réglementation sur la production de N₂O (N₂O n'est pas un NO_x !!) ou gaz hilarant.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

La mono-incinération de boues organiques produites peut générer en général les résidus solides suivants :

- des cendres volantes minérales, composées principalement de silice, d'alumine et de phosphates;
- des résidus solides provenant de l'adsorption de composés toxiques tels que dioxines ou métaux volatils, par du charbon actif ou du coke;

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : mono-incinération

- des composés contenant principalement des sels provenant de neutralisation des acides générés par l'incinération, et une fraction importante de métaux lourds. En cas de traitement par voie humide, on retrouvera ces composés dans les gâteaux issus du traitement physico-chimique des purges;
- des résidus issus de la purge éventuelle des lits de sable, en vue d'en extraire le sable en excédant, les corps étrangers et/ou d'autres composants pouvant perturber la fluidisation.

Les cendres volantes représentent le résidu principal de l'incinération des boues en lit fluidisé. Si ces cendres volantes ne sont pas mélangées avec d'autres résidus, une valorisation de ces cendres est possible. Citons les applications suivantes :

- Valorisation dans la construction (en technique routière en particulier) après mélange avec d'autres cendres volantes (telles qu'issues des centrales thermiques au charbon) et du clincker;
- Valorisation par mélange avec, entre autre des gâteaux de boues d'épuration, pour la réalisation de la couverture réhabilitant les centres d'enfouissement technique.

Les résidus concentrant les métaux lourds et les sels doivent être mis en décharge, éventuellement après un traitement spécifique pour améliorer leurs propriétés de lixiviation.

De plus, des effluents liquides peuvent également être générés par l'usine d'incinération :

- des condensats issus d'une opération de pré-séchage le cas échéant. Ces condensats fortement chargés en BOD, COD et en composés ammoniacaux nécessitent un traitement spécifique ou sont plus généralement retournés en tête de station;
- des purges issues d'un traitement humide des fumées le cas échéant. Ces purges doivent subir, en accord avec la réglementation en vigueur, un traitement physico-chimique en vue d'en extraire principalement les métaux lourds.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Il existe de nombreuses usines de mono-incinération de boues. Par contre, du fait du peu d'usines qui ont été construites ces 10 dernières années, on ne recense aujourd'hui qu'un nombre restreint de fournisseurs Européens avec références industrielles sur le marché.

On citera de manière non exhaustive par ordre alphabétique :

- Bamag
- Degrémont
- FMI
- Keppel Seghers
- NESAs
- OTV
- Raschka

Limitations / difficultés

Les unités de mono-incinération de boues, et en particulier les lits fluidisés, s'accommodent mal de variations rapides de la composition et/ou du flux de matière à traiter. Cela s'explique par la rapidité des réactions qui se produisent dès l'introduction des boues dans le réacteur. En effet, l'ordre de grandeur du temps nécessaire à l'évaporation de l'eau et l'oxydation de la matière organique en lit fluidisé est la seconde. On veillera dès lors à alimenter les fours de la manière la plus constante et homogène possible.

Les corps étrangers dans les boues tels que briquillons, pièces de métal ou autres corps solides peu ou pas combustibles pourront générer des problèmes de transport et d'alimentation du four, et une fois dans le lit de sable du four à lit fluidisé, perturber la fluidisation.

De même, une concentration trop importante en métaux alcalins (Na, K en particulier), en phosphore, en Vanadium, en chaux peuvent occasionner une diminution de la température de fusion des cendres et/ou une

réaction avec la silice du sable du lit fluidisé, ce qui peut entraîner une prise en masse partielle du lit, et donc perturber la fluidisation. La diminution du point de fusion des cendres peut également provoquer un colmatage au niveau des parois moins chaudes du four, dans les carnots d'évacuation des fumées ou les échangeurs de chaleur.

Une perturbation de la fluidisation gênera le mélange au sein du lit de sable et entraînera une diminution de l'efficacité des transferts de masse et d'énergie ayant pour conséquences:

- L'apparition de points chauds dans le lit, pouvant à leur tour provoquer une agglomération, voir une vitrification partielle du lit;
- Une moins bonne éluviation des cendres, et donc une accumulation de composés minéraux dans le lit;
- Des problèmes d'émissions gazeuses liés au procédé: CO, NO_x en particulier.

On remarquera également que certains composés formés lors de la combustion contenant des métaux alcalins se volatilisent dans le lit et peuvent se condenser sur des surfaces plus froides et occasionner des bouchages de carnots ou de certaines surfaces d'échange de chaleur.

D'une manière générale, les boues contiendront souvent une concentration importante en composés soufrés. Cette concentration en soufre constitue un paramètre majeur pour le dimensionnement du système de traitement de fumées. Ce paramètre influencera également le mode de refroidissement des fumées afin d'éviter les problèmes liés au point de corrosion acide qui dépend principalement de la concentration en SO₃ dans les fumées.

Certaines boues industrielles contiennent parfois des concentrations importantes en composés acides. Citons les composés chlorés et fluorés par exemples, qui demandent qu'une attention toute particulière soit portée à la sélection des matériaux en contact avec les gaz de combustion.

Les fours à soles, rotatifs et à grilles sont en général moins sensibles aux corps étrangers. Tous les types de fours sont par contre concernés par la problématique de la diminution du point de fusion des cendres, la condensation intempestive de certains composés alcalins, les problèmes de corrosion des surfaces métalliques et d'usure prématurée du réfractaire.

En résumé:

- Variations rapide de composition ou flux.
- Corps étrangers aux boues solides peu combustibles.
- Systèmes de traitement des fumées à mettre en place.
- Déshydratation mécanique efficace au préalable pour le PCI.
- Métaux alcalin (Na, K), P, V, chaux (diminution de t° et prise en masse).
- Présence de Cl ou F
- Nécessité d'avoir du personnel d'exploitation expérimenté.
- ...

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

La mono-incinération des boues organiques est l'une des méthodes de traitement les plus onéreuses sur le marché. Elle présente néanmoins les avantages suivants :

- Solution techniquement fiable et largement éprouvée;
- Solution complète et finale au problème des boues organiques;
- Les coûts de traitement sont bien connus et définis. Le coût de traitement par cette méthode de traitement est peu susceptible d'augmenter dans l'avenir du fait de causes externes.

Si on exclut les cas difficiles liés à des boues particulières, et pour des installations d'une taille suffisante bénéficiant des effets d'échelle, les coûts totaux de mono-incinération de boues organiques sont de l'ordre de 300 à 450 Euro par tonne de matières sèches pour des boues avec une siccité d'environ 25 à 30% de

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : mono-incinération

MS, ce qui correspond à typiquement 75 à 110 Euro par tonne de gâteau de boues. L'amortissement de l'investissement compte pour typiquement 40% dans le coût total de traitement.

Les coûts de traitement par mono-incinération peuvent varier à l'avenir. Cette variation peut avoir lieu dans le sens d'une diminution des coûts du fait de :

- La diminution des coûts d'investissement de par la standardisation des équipements, la fabrication des équipements et l'ingénierie dans les pays émergents à bas prix;
- La possibilité de valoriser les cendres volantes, en lieu et place de leur mise en CET.

Cette variation peut avoir lieu dans le sens d'une augmentation des coûts du fait de:

- La faible intensité concurrentielle liée au nombre limité de constructeurs sur le marché;
- La faible intensité concurrentielle pour la livraison du bicarbonate de sodium, réactif prépondérant pour la filière de traitement sec des fumées;
- L'introduction possible de nouvelles normes d'émissions;
- L'introduction de taxes spécifiques liées à l'incinération.

La variation du coût de traitement liée à ces facteurs est toutefois limitée.

Par contre, si les boues organiques s'écartent sensiblement de la fourchette de siccité de 25 à 30% de MS, les coûts de traitement peuvent varier de manière plus conséquente.

Par exemple, des boues à 20% de siccité ou moins nécessiteront, même avec l'installation d'un système de préséchage dans l'usine d'incinération, l'apport important de combustible d'appoint. En plus de l'augmentation des coûts d'exploitation liés aux besoins en combustible, cela conduira nécessairement à des surinvestissements importants liés au volume d'eau et de fumées à traiter. En première approximation, on peut considérer que l'augmentation du coût de traitement par tonne de MS correspond à l'augmentation du volume de boues à traiter. Dans l'exemple considéré, cela correspond à plus de 20%.

Dans le cas où les boues contiennent sensiblement moins d'eau, comme par exemple pour des boues provenant de l'industrie papetière après une déshydratation mécanique efficace, la diminution du volume de fumées générées par l'incinération induira des coûts d'investissement et d'exploitation plus réduits. En outre, l'incinérateur présentera un bilan énergétique nettement positif ce qui ouvre la voie à une production de vapeur ou d'électricité.

Bibliographie

- CEN/TC 308/TR 13767, "Caractérisation des boues – Bonnes pratiques d'incinération des boues avec ou sans graisse et refus de dégrillage", 2004
- CEN/TC 308/WG 2 N 351, "Guide 9. Draft guide for sludge drying", 2003
- US Water Environment Federation – Bioenergy Technology Subcommittee, "White paper on sludge thermal drying", 2003
- SEDE – Andersen, "Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge", 2002
- VITO, "Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI – en gelijkaardig industrieel afvalwaterzuiveringslib", 2001
- Olivier Pollet, "Séchage et granulation des boues d'épuration d'eaux usées". Mines et Carrières, 2001
- Fuel 79, "The prediction of behaviour of ashes from five different solid fuels in fluidised bed combustion", p.1353-1361, 2000
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Klärschlammensorgung », 1998
- Karl J. Thomé-Kozmiensky, « Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung », 1998
- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997
- Dorr-Oliver Inc., United States Patent 3,907,674, « Fluid bed Incineration of wastes containing alkali metal chlorides », Sept. 23 1975
- C.J. Wall, J.T. Graves, E.J. Roberts, Dorr-Oliver, "How to burn salty sludges", Chemical Engineering, April 14 1975
- ...

Fiche de procédé - Digestion aérobie thermophile

Principes / domaine d'application

Appliquée sur boue épaissie, cette technique répond à la même logique de dégradation des MV que la digestion. Moyennant un temps de séjour de quelques jours, dans une cuve portée à plus de 50°C, elle poursuit trois objectifs :

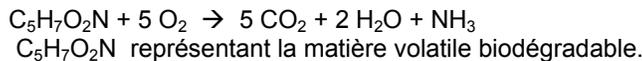
- la réduction des MS et, par conséquent, du volume de la boue
- la stabilisation de la boue
- l'hygiénisation

La stabilisation aérobie thermophile peut aussi être utilisée en prédigestion. Le temps de séjour de la boue dans l'ouvrage est alors inférieur à une journée. La boue chauffée (donc hygiénisée) est ensuite admise dans un digesteur anaérobie mésophile qui réduit les MV.

La digestion aérobie thermophile consiste en une oxydation biologique effectuée par injection d'air dans une cuve agitée. Le principe n'est donc pas fondamentalement différent de celui des boues activées, aux concentrations et à la température près.

Toutefois, au-dessus de 40°C la flore impliquée n'est plus la même.

La réaction d'oxydation est la suivante :



L'hygiénisation/pasteurisation de la boue est obtenue en assurant un traitement d'au moins 30 minutes, à 65°C.

La réduction des matières volatiles, paramètre clé du dimensionnement, dépend de l'activité de la flore aérobie. Celle-ci est liée, notamment, aux caractéristiques de la boue à traiter, à la température et au temps de séjour dans le réacteur.

En principe, la stabilisation aérobie thermophile ne nécessite pas d'ajout de réactif. Toutefois, l'ajout d'un sel de fer (réactif de Fenton) permet de diminuer le temps de séjour dans le réacteur et d'améliorer la stabilisation. Le taux de réduction des MV n'est pas plus important, mais l'indice de fermentiscibilité est réduit.

Le procédé s'applique sur des boues organiques (préférentiellement primaires ou mixtes) avec minimum 60% de matière organique sur MS.

L'électricité constitue le poste principal des consommables nécessaires. La consommation peut être estimée à 500 kWh/t MS (donc de 5 à 10 fois plus que la digestion anaérobie mésophile).

Etat de développement

Le procédé de digestion aérobie thermophile peut être combiné avec le procédé d'anaérobie. La digestion anaérobie se passe après la digestion aérobie dans un réacteur séparé. La combinaison des deux procédés permet d'obtenir une meilleure efficacité.

Le procédé est éprouvé.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Il est important de bien suivre la température des boues durant la durée de la digestion aérobie pour s'assurer que l'hygiénisation se soit bien déroulée. Ceci doit se faire pour éviter des risques sanitaires.

Un des avantages de la digestion aérobie thermophile en comparaison avec la digestion anaérobie est le fait qu'il n'y a pas de formation de toluène.

La digestion aérobie peut produire des odeurs désagréables dues à la formation de NH_3 .

Législation en matière de stabilisation et hygiénisation (arrêté de 1998 pour l'épandage agricole).

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Le produit obtenu est un fertilisant de bonne qualité (Biosolids Class A) sans restrictions pour l'utilisation pour épandage.

Les boues produites sont des boues liquides stabilisées et hygiénisées. Elles sont plus homogènes et le traitement augmente la proportion sous forme ammoniacale de l'azote (assimilation plus rapide par les végétaux).

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Liste des procédés:

- BioTherm,
- Véolia,
- ...

Limitations / difficultés

Il est impératif de veiller à la qualité des entrées. Les procédés aérobies sont toutefois moins sensibles que les procédés impliquant une digestion anaérobie.

- L'optimisation du volume d'un digesteur aérobie thermophile est difficile. Il faut en effet concilier les interactions suivantes, souvent antagonistes :
- L'augmentation du volume du réacteur entraîne celle du temps de mise en contact, mais aussi les pertes calorifiques par rayonnement et par évaporation ;
- Une température élevée entraîne une cinétique de réaction plus rapide, mais contraint à une puissance d'aération plus forte pour tenir compte de la moindre solubilité de l'oxygène ;
- Une dépense d'énergie d'aération plus forte est favorable à l'oxygénation, mais cause des pertes calorifiques importantes

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : Digestion aérobie thermophile

Dans les installations de digestion aérobie thermophile, des dispositions particulières doivent être prises pour maîtriser la production de mousse et l'émanation occasionnelle d'odeurs désagréables.

Le procédé n'est plus efficace après 15 jours de traitement, il devient très lent à ce moment, ceci est du au fait que la matière organique restante ressemble à de l'humus.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Pour le système des décanteuses centrifuges les capacités vont de 0,2 tonnes de MS par jour calendaire à 1.1 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 150 000€ et 1 050 000€ (source: OTV).

Les coûts totaux (investissement et coûts opérationnels) sont relativement bas. Ces installations sont très performantes à petite échelle.

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Degrémont, "Mémento technique de l'eau", dixième édition;
- Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI- en gelijkaardige industrieel afvalwaterzuiveringsslib, VITO, 2000.
-

Fiche de procédé - Digestion anaérobie

Principes / domaine d'application

La **fermentation mésophile**, au voisinage de 35°C, est celle généralement mise en œuvre.

Appliquée à la boue épaisse, la digestion anaérobie mésophile poursuit trois principaux objectifs:

- réduire la masse de boue, en dégradant une partie des MV (et donc des MS)
- stabiliser la boue, sous réserve de respecter un temps de séjour suffisant dans le réacteur
- hygiéniser partiellement la boue, en plaçant les espèces pathogènes dans un environnement peu propice à leur survie.
- Production de biogaz

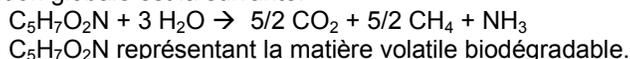
Les matières organiques digérables, dissoutes ou particulaires, subissent les réactions biologiques suivantes.

- Phase 1 – Hydrolyse des macromolécules en composés simples (par des enzymes spécifiques).
- Phase 2 – Production de composés acides, à partir de ces composés simples (par une flore acidogène).
- Phase 3 - Gazéification, essentiellement sous forme de CO₂ et CH₄ (par une flore méthanogène).

Ces bioréactions sont mises en œuvre dans un réacteur confiné, à une température de l'ordre de 35°C. La phase acidogène (phase 2) est rapide. Elle délivre les métabolites nécessaires à la phase méthanogène (phase 3), plus lente, qui constitue l'étape limitante du procédé.

En aucun cas, la phase acide ne doit être prédominante (augmentation des AGV et diminution du pH) car elle inhiberait alors la phase méthanogène. Il est donc indispensable de garantir l'équilibre de l'écosystème en maintenant pH, TAC et AGV dans une gamme de valeurs précises.

La réaction globale est la suivante:



L'azote de la boue restant en majeure partie dans le milieu liquide (sous forme d'ammonium), la charge en azote dans les retours en tête doit être prise en compte lors du dimensionnement de l'installation.

La boue épaisse est admise dans une chambre de mélange où elle est réchauffée par de la boue digérée, elle-même chauffée grâce à un échangeur. L'ensemble est ensuite envoyé dans le digesteur qui est agité par un dispositif mécanique ou par injection de gaz.

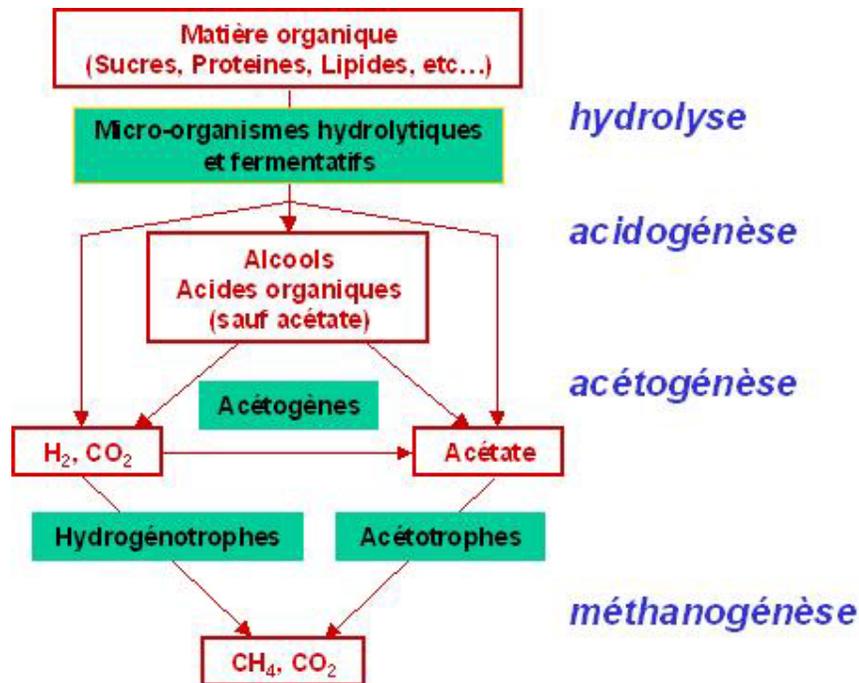
Le biogaz, prélevé dans le ciel gazeux du digesteur est réinjecté à la base de celui-ci, via un compresseur. L'excédent est stocké dans une cloche à gaz. Il est ainsi possible de garantir la pression d'alimentation de la torchère ou de la chaudière fournissant l'énergie nécessaire au réchauffement de la boue.

A l'issue de sa digestion, la boue est généralement évacuée vers un stockage qui garantit l'alimentation régulière de l'atelier de déshydratation. Ce stockeur est parfois appelé digesteur secondaire, lorsqu'il est confiné et agité comme le digesteur proprement dit (appelé alors digesteur primaire). Une purge de fond permet d'éliminer les sables et les grossiers.

Ce traitement nécessite de récupérer le biogaz, de chauffer et de maintenir les boues à une température optimale, tout en assurant la sécurité du personnel et des installations.

Plus le temps de séjour est élevé, moins la boue est fermentescible et odorante. Aussi est-il recommandé de maintenir un temps de séjour supérieur à 20 jours, voire 25 à 30 jours.

Des temps de séjour plus faibles (15 jours) permettent d'obtenir une réduction significative des MV et une production de biogaz qui assure l'autothermicité du procédé. Toutefois, les boues risquent alors d'être insuffisamment stabilisées et de présenter une faible aptitude à la déshydratation.



La **fermentation thermophile** (50-60°C) est plus rarement utilisée: elle permet pourtant une réduction jusqu'à un facteur 2 des volumes de réacteurs et une plus forte élimination des germes pathogènes avec, en revanche, un bilan énergétique moins favorable.

La digestion thermophile présente les avantages suivants:

- Investissements moindres (fonctionnement à plus forte charge)
- Hygiénisation des boues en fonctionnement batch ou semi-batch
- Élimination plus élevée des matières organiques (2 à 5% des matières organiques totales)

La digestion thermophile présente les inconvénients suivants:

- Moins d'énergie récupérable
- Retours en tête de station plus élevés (DCO)
- Exploitation plus délicate
- Plus de réactifs en déshydratation

Il existe aussi la **digestion anaérobie deux phases**. Ce procédé est simple dans son principe puisqu'il se fonde sur la dissociation des deux étapes fondamentales de la digestion anaérobie, l'étape hydrolyse/acidification et celle de la méthanogénèse (production de CH₄). Ces deux étapes sont fondamentalement différentes puisque:

- elles ne font pas appel aux mêmes populations bactériennes, lesquelles n'ont pas les mêmes conditions optimales de fonctionnement;
- les cinétiques de chaque étape sont différentes.

Ce procédé, en plus de diminuer les temps de séjour et donc les volumes de digestion, apporte d'autres avantages :

- il permet d'encaisser des variations de charges beaucoup plus importantes que le procédé classique. Ceci constitue un avantage non négligeable compte tenu des différentes productions de boues enregistrées sur les stations d'épuration (temps de pluie, période de pointe). Ainsi, l'étape 1, dimensionnée en moyenne à 2 jours de temps de séjour, peut accepter de passer à 1.5 jours de temps de séjour en gardant la même efficacité;
- il permet de traiter des boues plus visqueuses: préchauffées à 55°C, elles sont de ce fait plus fluides et assurent une alimentation plus stable du mésophile;

- il assure une meilleure qualité de boue en seconde étape : après hydrolyse les boues restent plus fluides même à 35°C, le brassage (homogénéisation) sera donc facilité.

Deux à trois jours de temps de séjour des boues à 55°C permet de détruire une grande partie des bactéries pathogènes notamment les salmonelles; ce point est important car il pourra influencer sur les post-traitements à mettre en place après la déshydratation avant épandage des boues en agriculture.

L'efficacité globale de ce procédé est identique à celui d'une digestion classique pour les mêmes qualités et quantité de boues à traiter.

Etat de développement

Procédés susceptibles d'améliorer les performances de la digestion anaérobie.

Les objectifs recherchés sont multiples:

- éliminer plus de matière organique (évacuer moins de boue de la station) et augmenter les productions de biogaz (valorisation in situ);
- augmenter les cinétiques des réactions et diminuer les volumes des réacteurs (diminuer les investissements).

Un grand nombre de techniques a été proposé, parmi celles-ci:

- Prétraitements thermiques
 - Plusieurs procédés ont été proposés et certains connaissent des applications industrielles.
 - Les boues fraîches sont fortement épaissies, chauffées entre 150 et 180 °C afin de casser la matrice organique (hydrolyse thermique) puis envoyées en digestion mésophile forte charge (temps de séjour de 10 à 15 jours). L'élimination plus poussée des matières organiques n'est pas systématiquement démontrée. Le risque pour ce type de traitement est de produire des composés de type mélanoinique (réaction de Maillard) très difficilement biodégradables voire toxiques pour la flore méthanogène. Un excellent contrôle de l'étanchéité des ouvrages doit être assuré pour limiter les émanations olfactives. Une attention particulière doit être apportée aux retours en tête de station vu leur concentration (solubilisation de MES).
- Prétraitements enzymatiques
 - L'ajout de cocktail enzymatique approprié à la boue fraîche ou dans le digesteur montre qu'il est possible d'augmenter les cinétiques de dégradation mais rarement d'aller plus loin dans l'élimination des matières organiques. L'apport d'enzymes exogènes représente un coût important dans le bilan d'exploitation et permet au mieux d'absorber des à-coups de charge excessifs.
- Prétraitements mécaniques
 - Il est également possible de casser la structure de la boue via des dispositifs de broyeurs à billes, extrudeuses, ... Même si une certaine efficacité est prouvée, la mise en œuvre industrielle n'a encore pas démontré sa fiabilité (abrasion, colmatage, tenue dans le temps).
- Prétraitements par ultrasons
 - Les ondes ultrasonores générées à des longueurs d'ondes comprises entre 20 et 40 kHz créent des phénomènes de cavitation dans le milieu où elles se propagent. Cette cavitation induit un désintégration des boues et une solubilisation partielle de la matière organique.
 - Dans certaines expériences industrielles, des augmentations de production de biogaz de l'ordre de 30% liées à des rendements d'élimination de matière organique plus importants sont enregistrées. Les ultrasons sont également appliqués pour détruire les bactéries filamenteuses se trouvant notamment dans les boues biologiques pour ainsi réduire les risques de moussage en digestion.
- Prétraitements chimiques
 - Des agents fortement oxydants comme l'ozone peuvent également être utilisés pour hydrolyser la boue avant digestion; les coûts de production de l'ozone et la présence fréquente de composés soufrés réduits, qui consomment préférentiellement l'ozone, limitent néanmoins l'utilisation de tels agents.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Bien conduite, la digestion permet une quasi élimination des germes fécaux et une forte inactivation des entérovirus. Elle est cependant moins efficace sur les métazoaires, ce qui entraîne une possible survie des œufs d'Helminthe.

Afin de ne pas affecter la biomasse, l'introduction de composés toxiques doit être évitée. L'oxygène doit être quasiment absent sous la forme moléculaire dissoute, et en quantité limitée sous ses formes combinées (NO_3^- , SO_3^{2-}).

Les teneurs en certains ions (tels que les cyanures), en métaux lourds et en détergents doivent être réduites.

Plus la variation des teneurs en toxiques est rapide, plus leur action perturbatrice est sensible. Si la variation est lente et continue, la biomasse peut s'adapter à son environnement, sous réserve de ne pas dépasser certains seuils de toxicité.

Certains composés (ions ammonium, par exemple) peuvent avoir une action stimulatrice à faible dose, et inhibitrice à plus forte dose.

Des synergies d'inhibition entre les espèces chimiques sont possibles.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Le biogaz est généralement composé (en volume) de deux tiers de méthane et d'un tiers de dioxyde de carbone, soit un PCI de l'ordre de 6.53 kWh/Nm³ et une densité de 1.13 kg/Nm³.

Le biogaz peut être utilisé de manières suivantes.

- Le biogaz est souvent utilisé comme combustible pour la chaudière qui fournit l'énergie nécessaire pour le réchauffage de la boue.
- Moyennant un investissement supplémentaire, il peut être brûlé dans un générateur d'électricité. Dans ce cas, il est possible d'assurer la production d'électricité pour tout ou partie de l'usine, et de récupérer l'énergie thermique pour chauffer le digesteur.
- Lorsqu'un sécheur est installé sur le site, le biogaz peut permettre de l'alimenter en énergie.

Les boues produites sont des boues liquides stabilisées si le procédé est mésophile simple ou hygiénisé si le procédé est thermophile et/ou si précédé d'une phase d'hydrolyse.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Les procédés existants de digestion anaérobie sont:

- Procédé DS, Linde (Allemagne)
- Procédé 2PAD, Degremont
- Procédé Digéco, Degremont
- Procédé Dranco; digestion anaérobie thermophile
- ...

Les installations existantes sont:

- Station d'épurations des eaux d'Aix-en-Provence
- Dranco, Flandre, Belgique
- ...

Des installations récentes en cours de construction ou de mise en service

- Strasbourg

- St Etienne
- Hyères

Limitations / difficultés

Les performances sont meilleures sur les boues primaires que sur les boues mixtes (voir biologiques pures). En effet, les MV biodégradables des boues primaires (véhiculées par l'eau brute) n'ont pas été consommées par la biomasse aérobie des bassins à boues activées ou des biofiltres (comme c'est le cas pour les boues biologiques).

Lors de la digestion des boues mixtes ou biologiques, la biomasse anaérobie dégrade à la fois les MV présentes dans l'eau brute (qui n'ont pu être dégradées préalablement) et la biomasse aérobie. Celle-ci devient alors un substrat, au même titre que les MV véhiculées par l'eau brute.

Il peut y avoir un impact négatif en raison de la présence de composés toxiques, de la teneur en CN-, métaux lourds et détergents. (pour la biomasse).

Une apparition de nuisances olfactives résiduelles est possible. Celle-ci est un signe de la baisse de la qualité de la stabilisation et peut être due à:

- une surcharge hydraulique: elle peut entraîner un lessivage des organismes méthanogènes et, à terme, l'arrêt du processus biologique
- surcharge en matières organiques: elle peut aussi entraîner une augmentation de la viscosité et, par voie de conséquence, affecter la qualité du brassage
- réduction du volume utile du digesteur (et donc du temps de séjour de la boue) due à une accumulation de sable
- système d'agitation endommagé.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Pour le système des décanteuses centrifuges, les capacités vont de 2 tonnes de MS par jour calendaire à 13 tonnes de MS par jour calendaire et les coûts d'investissements varient entre 450 000€ et 6 000 000€ (source: OTV).

Les consommables nécessaires sont:

- L'électricité, utilisée pour l'agitation et le pompage, constitue le poste principal (environ 3 à 7 W/m³ de cuve, soit 50 à 100 kWh/tMS entrantes). La consommation est plus faible lorsque l'agitation est réalisée en discontinu.
- Lors de la mise en route:
 - une quantité importante de chaux (poudre ou lait de chaux) voire de bicarbonate de sodium est utilisée pour équilibrer le PH et obtenir un bon rapport AGV/TAC.
 - la chaudière est alimentée uniquement par du fioul, aucun biogaz n'étant encore disponible (boues froides)
- En exploitation courante:
 - le fioul reste nécessaire pour pallier toute interruption d'alimentation de la chaudière en biogaz. Toutefois, la mise en place d'un stockage de gaz plus volumineux peut permettre de compenser les baisses de production de biogaz.
 - l'utilisation de chaux est parfois nécessaire (boues acides en entrée).

La station d'épuration des eaux de Penthaz (Suisse) a construit une installation de digestion anaérobie de 1 300 000 € HT, pour traiter les boues d'un équivalent de 5 600 eq. hab.

Bibliographie

- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Degrémont, "Mémento technique de l'eau", dixième édition;
- C. BOUGRIER, H. CARRERE, J.-P DELGENES, Disintegration of waste activated sludge by ultrasonic treatment, Journal of Chemical Engineering, 106 (2005) 163-169
- Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement
- SOLAGRO AGENCE DE L'EAU ADOUR GARONNE « La digestion des boues urbaines» 2001
- SOLAGRO- ARENE ILE DE France, ADEME, GDF « La méthanisation des déchets municipaux et assimilés » 2000
- ADEME, GDF, SOLAGRO, ALTENER, » La valorisation d biogaz en Europe » 2000

Fiche de procédé - Hydrostab

Principes / domaine d'application

Le but du procédé Hydrostab est d'obtenir un matériau à basse perméabilité qui peut être employé pour couvrir une décharge, ceci pour remplacer les matériaux classiques telles que les mélanges de sable et de bentonite.

La création d'un matériau peu perméable peut se faire à l'aide du procédé Hydrostab. Le procédé Hydrostab est basé sur la technologie pour imperméabiliser des sols naturels à l'aide de verre soluble, une solution de silicates de soude et de potasse. Des mélanges de matières de sols naturels et de verre soluble obtiennent leur imperméabilité grâce aux liens et au remplissage des pores dans les sols avec la formation in situ de polymères de silicate. Les liens entre le verre soluble et les particules de sol sont les plus efficaces à une distribution de taille de particules de sols spécifique. A côté des liens physiques entre le verre soluble et les particules du sol, le verre soluble a la capacité d'immobiliser des ions de métal sous forme de silicates de métaux.

Dans le procédé Hydrostab, des déchets ayant la même distribution de taille que les particules de sol remplacent l'utilisation de sol naturel.

La part de boues d'épuration se trouve entre 40 et 45% du poids total. Les boues d'épuration ont une fonction perméabilisante et plastifiante grâce à leur structure fileuse. Les boues fileuses se mettent dans les pores de la structure portante et offrent un mélange couvrant et comprimable. Grâce au verre soluble, la couverture est encore plus efficace. Sans les boues, le mélange serait trop granuleux, trop sec et pas assez plastique pour obtenir une couverture et une imperméabilité suffisante.

Ce procédé s'applique sur les boues organiques et minérales mais le mélange de boues et autres matières (ex: cendres volantes) doit contenir maximum 15% de matière organique sur MS.

Au point de vue capacité, ce procédé est déjà applicable à des faibles volumes de boues car l'installation de préparation est rudimentaire et possibilité de mélange avec d'autres matières. Il est peu utilisé pour des quantités supérieures à 10 000 t MS/an.

Etat de développement

Ce procédé est principalement éprouvé aux Pays-Bas et en Belgique.

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Il n'y a pas d'émissions importantes durant le procédé. Il est possible qu'il y ait certaines émissions d'odeurs.

Valeurs seuils pour produits valorisés comme couverture de décharge.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Le produit final du procédé Hydrostab est un mélange granuleux qui durcit au contact de l'eau ou de l'air. Il est conforme aux normes des produits pour couvrir une décharge. Le matériel est très imperméable (valeur k de $5 \cdot 10^{-10}$ m/s.). Sa capacité de rétention d'eau est équivalente à celle de la terre glaise. Le matériel Hydrostab est plus résistant à la sécheresse et aux déchirures que la terre glaise.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : Hydrostab

Normalement le matériel Hydrostab contient plus de Cd, Cu, Pb, Ni et de Zn que la valeur moyenne dans le sol. Les valeurs retrouvées dans le matériel Hydrostab ne dépassent pas les valeurs seuils pour des produits qui sont valorisés comme couverture de décharge.

Il est cependant important de tenir les concentrations de métaux lourds à l'œil. Les producteurs employant le procédé Hydrostab cherchent à diminuer l'impact des métaux lourds contenus dans le matériel Hydrostab.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Le procédé Hydrostab est effectué aux Pays-Bas par BKB Reststoffen management et Dalssen. Le procédé Hydrostab est protégé par des brevets dont BKB détient les licences pour l'Europe. La firme Tobometal a un accord d'exclusivité avec BKB pour l'utilisation du procédé Hydrostab en Belgique et au Luxembourg.

Limitations / difficultés

Dans le procédé Hydrostab il est possible d'utiliser des boues déshydratées, qui peuvent être dégradées par fermentation (min. 28% MS). Les teneurs en matières organiques (pour le mélange) ne peuvent pas être plus élevées que 15%.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Il n'y a pas de données disponibles sur le coût du procédé Hydrostab. Les stations d'épuration d'eaux usées doivent payer environ 200 € par tonne de matière sèche qu'elles font traiter.

Bibliographie

- Best Beschikbare Technieken voor de verwerking van RWZI- en gelijkaardige industrieel afvalwaterzuiveringsslib, VITO, 2000.
- ...

Fiche de procédé - Oxydation par voie humide

Principes / domaine d'application

Cette technique constitue une alternative par rapport à l'incinération, pour un coût global de traitement (investissement et exploitation) généralement inférieur.

L'OVH n'est pas une technologie nouvelle, à proprement parler, mais les premiers procédés appliqués aux boues présentaient un certain nombre d'inconvénients. Ils recirculaient beaucoup de pollution, imposaient des conditions d'exploitation drastiques et présentaient une forte prédisposition à la corrosion.

Les boues épaissies sont éliminées par oxydation à chaud, en présence d'oxygène, sous pression et en milieu humide, sans générer de polluants tels que dioxyde de soufre, oxydes d'azote, acide chlorhydrique, poussières, dioxines...

Il s'agit, en quelque sorte, d'une "combustions sans flamme" où les gaz acides sont traités dès leur formation dans le réacteur d'oxydation. Ainsi, il n'est plus nécessaire de réaliser des installations annexes de traitement des fumées. De même, les équipements de déshydratation sont plus légers puisque le traitement ne porte que sur les matières minérales.

Ces procédés se différencient en fonction de la localisation de leur zone de fonctionnement (couple pression-température) par rapport au point critique de l'eau (221 bar, 373°C).

- En dessous du point critique: **l'oxydation humide en voie subcritique** a été développée dans les années 1950 pour le traitement des liqueurs noires et boues. Dans ce procédé biphasique, l'oxygène dissous dans la phase liquide réagit avec les composés organiques. Appliqué aux boues, la gamme de pression se situe dans la fourchette 40 –100 bar.
- Au-delà du point critique: **l'oxydation humide en voie supercritique** utilise le fait que la solubilité des composés organiques et des gaz (oxygène) peut être considérée comme infinie. Tout se passe, comme si on était monophasique c'est-à-dire sans l'étape de transfert d'oxygène, aussi atteint-on des taux de destruction très élevés (> 99%) pour des temps de séjour très faibles (de l'ordre de la minute). Le développement de cette technique comporte cependant des difficultés principalement liées aux contraintes résultant à la fois des conditions de pressions et des problèmes de précipitation des sels minéraux qui, eux, présentent une solubilité quasi nulle. La précipitation induit également des problèmes de corrosion, particulièrement lorsqu'il y a des composés chlorés. A ce jour, dans le domaine des boues d'épuration, le procédé supercritique reste **expérimental**.

Les caractéristiques des boues en entrées sont

- Boues organiques
- Minimum 25 g/l DCO
- Maximum 120 g/l DCO
- Maximum 100 g/l de MS (10%): boues liquides

Etat de développement

La nouvelle génération d'OVH est bien adaptée aux usines de dépollution de moyenne capacité (50 à 200 000 équivalents habitants). Il existe des exemples de 1 200 000 EH (Station Nord à Bruxelles).

Ses performances sont équivalentes à celles de l'incinération et le traitement des fumées reste simple.

Par ailleurs, l'OVH est un procédé compact. Il peut donc être intégré dans les usines de traitement des eaux résiduaires, y compris lorsque la surface disponible est faible.

L'oxydation par voie humide, utilisée depuis plus de 40 ans aux Etats-Unis, commence à s'imposer en Europe comme une voie alternative de traitement.

Plusieurs recherches sont en cours pour faire de l'oxydation par voie humide avec d'autres oxydants. L'ozonisation en est un exemple; Huysmans et al. (2001) a calculé que le coût total est de l'ordre de 500 € par tonne de matière sèche éliminée.

L'oxydation par voie humide est considérée comme une technique efficace pour traiter des boues avec une grande teneur en matière organique.

OVH est un traitement innovant pour l'utilisation comme traitement complet sur des boues de STEP. Il existe depuis plus de 30 ans comme procédé de prétraitement également sur des effluents liquides concentrés industriels (ex: ZIMPRO)

Réglementation, impacts environnementaux et risques sanitaires

Il faut prévoir une conception d'échangeurs aptes à subir des nettoyages périodiques (fréquence selon le type de boues).

L'emploi d'oxygène pur impose des règles et dispositifs de sécurité fiables.

Le choix des équipements, plus particulièrement vannes et pompes, doit être adapté aux contraintes de la haute pression en présence de matériaux abrasifs.

Devenir des résidus et sous-produits du procédé

Après traitement, il ne reste plus que des sous-produits inertes pouvant être recyclés:

- **Un résidu solide minéral** contenant moins de 3% de matières organiques, de même composition que les sous-produits de l'incinération. Il peut, par exemple, être recyclé en tant qu'additif dans les bétons ou être utilisé pour la fabrication de tuiles.
- **Une solution aqueuse**, titrant de 5 à 10 g/l de DCO soluble facilement biodégradable, pouvant être recyclée en tête d'usine et utilisée pour l'élimination de l'azote.
- **Des gaz résiduels** ne contenant ni poussières, ni polluants acides, qui peuvent être renvoyés à l'atmosphère sans traitement complexe. Les quantités émises par tonne de matières sèches sont largement inférieures à celles émises par l'incinération.

Liste de références du procédé (parc d'installations)

Procédé existants:

- Minéralis, par: Degremont.
- Athos, par: Vivendi, Veolia
- ...

Installations existantes ou en construction:

- Station d'épuration des eaux urbaines d'Orbe, Suisse.
- Station d'épuration des eaux urbaines; Acquiris, Bruxelles, Belgique (1 100 000 éq.hab)
- Station d'épuration des eaux urbaines de Toulouse, France (50 000 éq.hab)
- Station d'épuration des eaux urbaines de Epernay, France (150 000 éq.hab)
- Station d'épuration des eaux urbaines de SIAAP (20 000 éq.hab)
- Station d'épuration des eaux urbaines de Milan, Italie (160 000 éq.hab)

- ...

Aux Pays-BAS, Vartech a installé un réacteur sous forme de tube qui peut traiter 600 000 m³ de boues d'épuration. Pour obtenir une pression de 100 bar, le réacteur sous-terrain a une hauteur de 1280 mètres (ne fonctionne plus depuis avril 2004, du à une calamité).

Limitations / difficultés

L'oxydation par voie humide s'applique à des **boues liquides concentrées mais non déshydratées**.

Avantages de l'OVH:

- Rejets gazeux : zéro émission de NO_x, SO_x, excepté H₂O, CO₂, O₂, traces CO;
- Consommation énergétique: l'autonomie énergétique de l'OVH est acquise à partir d'une DCO de 15 000 ppm contre 200 000 ppm pour l'incinération (entre 800 & 1000)

Désavantages de l'OVH:

- Corrosion entartrage
- Sécurité
- Coûts d'investissement
- Risque d'odeurs
- Nécessité d'avoir du personnel hautement qualifié.

Aspects technico-économiques : fiabilité, coûts et pérennité des coûts

Un prix de traitement par tonne de matières sèches moins élevé que pour une installation d'incinération classique.

Cette technologie a été choisie pour traiter les boues de Bruxelles (1,2 million d'équivalents habitants, soit 17 tonnes de matières sèches par jour). Le coût de l'investissement (seulement donné à titre indicatif car le procédé s'insère dans toute une filière de traitement des eaux usées) est estimé à 15 millions d'euros.

Le coût d'exploitation pour une unité de 50 000 éq.hab est de environ 300 € par tonne de MS. Ce coût peut être divisé de manière suivante:

- Oxydant (O₂): 20%
- Electricité: 15%
- Evacuation des solides: 8%
- Coût du personnel: 33%
- Maintenance: 12%
- Autres: 12%

Bibliographie

- <http://www.gch.ulaval.ca/bgrandjean/gch13201/p5.pdf#search=%22stabilisation%20chimique%20boues%20d%C3%A9s%20avantages%22>
- OTV, "Traiter et valoriser les boues", 1997.
- Degremont, "Mémento technique de l'eau", dixième édition
- Huysmans et al. 2001. Ozonation of activated sludge in the recycle stream. J. Chem. Technol. and Biotechnology 76: 321-324.

ANNEXE 5 - Fiches de procédé : oxydation par voie humide

- Genc N, Yonsel S, Dagasan L, Onar AN., Wet oxidation: a pre-treatment procedure for sludge., Waste Management, 2002;22(6):611-6.