



**HAL**  
open science

## Les filières de valorisation des boues d'épuration en France : état des lieux, état de l'art

A.L. Reverdy, Marilys Pradel

### ► To cite this version:

A.L. Reverdy, Marilys Pradel. Les filières de valorisation des boues d'épuration en France : état des lieux, état de l'art. [Rapport de recherche] irstea. 2010, pp.50. hal-02593493

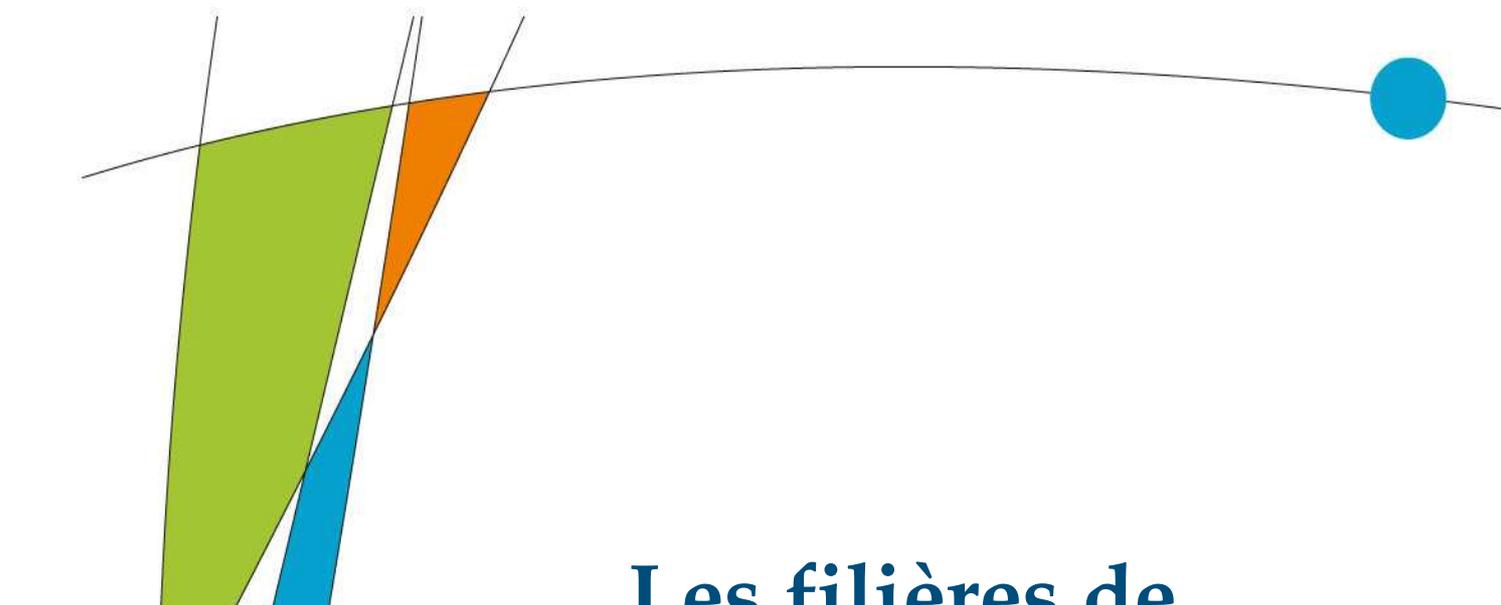
**HAL Id: hal-02593493**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02593493v1>**

Submitted on 15 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Les filières de valorisation des boues d'épuration en France

## Etat des lieux – Etat de l'art

*Juin 2010*

**REVERDY Anne-Laure, PRADEL Marilys**

Cemagref  
Centre de Clermont-Ferrand  
Site de Recherche et d'Expérimentation de Montoldre

Domaine des Palaquins  
03150 MONTOLDRE





## TABLE DES MATIERES

<b>Partie 1 : Les boues d'épuration</b>	<b>3</b>
<b>1. La réglementation appliquée aux boues de stations d'épuration</b>	<b>3</b>
<b>2. La production des boues d'épuration</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Le traitement des eaux usées : l'origine des boues d'épuration</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Les boues d'épuration</b>	<b>7</b>
2.2.1. Définition	7
2.2.2. Les types de boues	7
<b>3. Le traitement des boues</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Les retours en tête de station</b>	<b>9</b>
<b>3.2. La réduction de la teneur en eau</b>	<b>9</b>
3.2.1. Le conditionnement	9
3.2.2. L'épaississement	9
3.2.3. La déshydratation	10
3.2.4. Le séchage	12
<b>3.3. Les procédés de stabilisation et d'hygiénisation</b>	<b>13</b>
3.3.1. La digestion aérobie et anaérobie	13
3.3.2. Le compostage	13
3.3.3. Le chaulage	14
<b>3.4. Le coût du traitement des boues</b>	<b>16</b>
<b>Partie 2 : Etat de la production des boues en France</b>	<b>18</b>
<b>1. La filière épandage</b>	<b>20</b>
<b>1.1. La santé publique et l'analyse des risques</b>	<b>20</b>
<b>1.2. Les plans d'épandage</b>	<b>20</b>
<b>2. La filière compostage</b>	<b>21</b>
<b>3. La filière incinération</b>	<b>21</b>
<b>3.1. L'incinération spécifique</b>	<b>21</b>
<b>3.2. La co-Incinération</b>	<b>22</b>
<b>4. La mise en décharge</b>	<b>22</b>

<b>5. Les Autres techniques de valorisation, moins développées en France</b>	<b>22</b>
5.1. La valorisation en cimenteries	22
5.2. La végétalisation	22
5.3. La gazéification et la pyrolyse	23
5.4. L'Oxydation par Voie Humide (OVH)	23
<b>6. Comparaison économique des différentes filières d'élimination des boues</b>	<b>23</b>
<b>Partie 3 : Typologie des filières de traitement des boues de STEP</b>	<b>26</b>
1. Méthodologie de collecte des données mise en place	26
2. Les procédés de traitement des boues identifiés	29
2.1. Les boues Liquides	29
2.2. Les boues liquides à pâteuses	30
2.3. Les boues pâteuses ou solides	30
2.4. Les boues solides ou sèches	32
3. Répartition des filières de traitement et des voies d'élimination des boues en France	33
<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>
<b>Annexe : Exemples de données brutes fournies par les Agences de l'Eau</b>	<b>40</b>

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs limites de concentration en éléments traces dans les sols	3
Tableau 2 : Teneurs limites en éléments traces dans les boues	4
Tableau 3 : Teneurs limites en composés traces organiques dans les boues	4
Tableau 4 : Nombre de STEP en France en 2004	6
Tableau 5 : Comparaison des données du tonnage de boues évacuées en 2007 par les stations d'épuration entre les Agences de l'Eau et l'APCA	19
Tableau 6 : Systèmes homogènes – 3 000 EH – Boues liquides	24
Tableau 7 : Systèmes homogènes – 50 000 EH – Boues pâteuses	24
Tableau 8 : Systèmes homogènes – 300 000 EH – Boues solides/sèches	24
Tableau 9 : Coûts des filières d'éliminations des boues en Euros par tonne de matière sèche	25
Tableau 10 : Source des données des filières de traitement et de productions de boues pour l'année 2007	26
Tableau 11 : Nombre de STEP présentes dans les données fournies, et nombre de STEP ayant réellement été utilisées pour l'étude	27
Tableau 12 : Extrapolation de la nature des boues en fonction du traitement du traitement	28
Tableau 13 : Répartition de la quantité de boues évacuées par filière de traitement des boues en France en 2007 (excepté Agence de l'Eau Adour-Garonne)	34

---

---

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'un poste de pré-traitement des eaux usées en tête de station d'épuration	6
Figure 2 : Schéma simplifié de la formation des boues d'épuration	7
Figure 3 : Schéma récapitulatif des procédés de traitement des boues d'épuration urbaines	15
Figure 4 : Coûts du fonctionnement du traitement des boues en fonction de la taille des STEP et de la scissité des boues obtenues	17
Figure 5 : Variation des filières d'élimination des boues entre 2000 et 2008	18
Figure 6 : Répartition des principales voies d'élimination de boues en France en 2007 selon l'APCA	19
Figure 7 : Représentation schématique des scissités des boues en fonction du traitement de celles-ci	28
Figure 8 : Estimation de la répartition des filières d'élimination des boues, en fonction du traitement appliqué en 2007	35

Quelles qu'elles soient, les activités humaines nécessitent de l'eau pour être effectuées, qu'il s'agisse d'eaux de production, de nettoyage ou de consommation...

Autrefois, les cours d'eau présentaient l'avantage de transporter les déchets ; ce qui était déposé à un instant "t" disparaissait quasi-instantanément. C'est pourquoi, pendant des siècles ils ont été utilisés comme étant des poubelles naturelles, recevant les eaux et les déchets ménagers.

Progressivement, avec l'accroissement démographique, ainsi que l'augmentation constante des quantités d'eaux consommées et des produits utilisés, les rejets se sont complexifiés entraînant une pollution des cours d'eau.

Les politiques publiques se sont alors engagées vers une protection de l'environnement et une préservation de l'eau et des milieux aquatiques. Pour cela de nombreuses usines de traitement des eaux usées ont été installées.

Au cours des deux dernières décennies, l'Union Européenne a instauré la Directive Eaux Résiduaires Urbaines (1992) ainsi que la Directive Cadre sur l'Eau (2000) visant à restaurer une bonne qualité des milieux aquatiques. Ces directives ont été retranscrites en droit français par le décret du 3 juin 1994 et par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006. Ces réglementations ont ainsi entraîné des contraintes de plus en plus importantes sur le traitement des eaux usées.

La dépollution de ces eaux domestiques ou industrielles est inévitablement à l'origine de la production de boues qui doivent être à leur tour éliminées. Cependant, le traitement des boues ne permet pas de les supprimer totalement, il s'agit simplement de plusieurs phases visant à réduire leur teneur en eau, à les stabiliser et à les hygiéniser avant de les envoyer vers une valorisation agricole, thermique ou en centre d'enfouissement.

Dans les années 2000, plus de 60% des tonnages de boues étaient éliminées par la voie de l'épandage agricole (ADEME 2000). Mais, avec l'apparition de la crise de la vache folle, dans les années 1990, de nombreuses inquiétudes sont nées dans les industries agro-alimentaires, les professions agricoles, ainsi que chez les consommateurs. C'est ainsi que les pouvoirs publics en sont venus à renforcer les réglementations concernant les boues, et principalement la valorisation agricole. Face à ces contraintes, la situation actuelle a-t-elle été modifiée ?

Dans le cadre de la convention cadre 2009-2013 entre le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer et le Cemagref, une étude du bilan carbone des filières de valorisation des boues résiduaires en France est mise en place.

Ce rapport constitue la première partie d'une étude plus conséquente, l'analyse des impacts environnementaux des filières de traitement et de valorisation des boues.

En fonction des stations d'épuration et du contexte socio-économique local, les boues sont traitées et éliminées par des voies différentes. Chaque filière va ainsi générer des impacts environnementaux et énergétiques distincts, et contribuer de manière différente au réchauffement climatique.

L'objectif final de l'étude sera donc de mettre en évidence les différents impacts des filières d'élimination des boues sur le réchauffement climatique au travers de la mise en place d'un outil d'évaluation de type bilan carbone.

Le présent rapport donne un état des lieux et un état de l'art des filières de traitement et de valorisation des boues d'épuration en France.

L'état des lieux consiste à réaliser une synthèse du nombre d'installations de stations d'épuration en France, ainsi que les tonnages de boues éliminées par celles-ci. Quant à l'état de l'art, il consiste à dresser une synthèse des procédés de traitement des boues qui peuvent être utilisés.

L'étude a été menée selon trois étapes principales qui constituent chacune une partie du rapport :

- **La réalisation d'une étude bibliographique** ayant pour objectif d'identifier les différents traitements qui peuvent être appliqués aux boues d'épuration.
- **La réalisation d'une enquête auprès des six agences de l'eau françaises, ainsi que d'autres organismes comme l'APCA, le SYPREA, ...**, afin de réaliser un état des lieux de la situation française tant en ce qui concerne les filières de valorisation, que les processus de traitement employés pour le traitement des boues.
- **La réalisation d'une typologie des principales filières de valorisation en fonction des grands types de boues.** Celle-ci est basée sur une extrapolation des données synthétisées lors de l'analyse bibliographique.

## PARTIE 1 : LES BOUES D'EPURATION

### 1. LA REGLEMENTATION APPLIQUEE AUX BOUES DE STATIONS D'EPURATION

Face aux installations de plus en plus importantes de stations d'épuration sur le territoire européen, l'Union Européenne a mis en place une première directive datant de 1975 (**directive 75/442/CEE du 15 juillet 1975**). Ce texte de loi définit la notion de déchet et interdit l'abandon, le rejet, et l'élimination incontrôlée de ceux-ci.

Ce texte a été transposé en droit français par **la loi n°756-633 du 15 juillet 1975** relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.

Les boues d'épuration sont ainsi définies comme étant des déchets, sur lesquels toutes les réglementations relatives s'appliquent.

Puis la loi du **13 juillet 1992** relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement prévoit de nombreux points, comme :

- la valorisation des déchets par réemploi, recyclage, ou toute autre action visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie,
- donne une définition du déchet ultime.

Enfin la **Directive 1999/31/CE du 26 avril 1999** concernant la mise en décharge des déchets introduit 3 grandes classes de déchets (dangereux, non dangereux, inertes). Seuls les déchets ultimes seront alors acceptés dans les décharges.

Cette directive a été transcrite en droit français par des modifications de **l'arrêté du 9 septembre 1997** (arrêté du 19 janvier 2006). Celui-ci définit que les boues présentant une scissité inférieure à 30 % ne peuvent plus être acceptées dans des centres d'enfouissement technique.

Une réglementation particulière est instaurée, dans chaque cas d'élimination des déchets :

#### **Epandage :**

- Directive 86/278 du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement, et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration,
- 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,

L'article 11 de ce présent arrêté précise que les boues ne peuvent être épandues :

- Si les teneurs en éléments-traces métalliques dans les sols dépassent l'une des valeurs limites figurant au tableau 1,

**Tableau 1 : Valeurs limites de concentration en éléments traces dans les sols**

Eléments-traces dans les sols	Valeur limite en mg/kg MS
<i>cadmium</i>	2
<i>chrome</i>	150
<i>cuivre</i>	100
<i>mercure</i>	1
<i>nickel</i>	50
<i>plomb</i>	100
<i>zinc</i>	300

- Tant que l'une des teneurs en éléments ou composés traces dans les boues excède les valeurs limites figurant aux tableaux 2 et 3,
- Dès lors que le flux, cumulé sur une durée de 10 ans, apporté par les boues sur l'un de ces éléments ou composés excède les valeurs limites figurant aux tableaux 2 et 3.

Tableau 2 : Teneurs limites en éléments traces dans les boues

Eléments traces	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)		Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/m <sup>2</sup> )	
	cas général	épandage sur pâturages	cas général	épandage sur pâturage
<i>cadmium</i>	20		0,03	
<i>chrome</i>	1000		1,5	
<i>cuivre</i>	1000		1,5	
<i>mercure</i>	10		0,015	
<i>nickel</i>	200		0,3	
<i>plomb</i>	800		1,5	
<i>zinc</i>	3000		4,5	
<i>chrome + cuivre + nickel + zinc</i>	4000		6	

Tableau 3 : Teneurs limites en composés traces organiques dans les boues

Composés-traces	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)		Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (mg/m <sup>2</sup> )	
	cas général	épandage sur pâturages	cas général	épandage sur pâturage
<i>Total des 7 principaux PCB *</i>	0,8	0,8	1,2	1,2
<i>Fluoranthène</i>	5	4	7,5	6
<i>benzo(b)fluoranthène</i>	2,5	2,5	4	4
<i>benzo(a)pyrène</i>	2	1,5	3	2

### **Compostage :**

- Application de la norme NFU 44-095 obligatoire depuis le 26 mars 2004, les boues acquièrent alors un véritable statut de produit valorisable au lieu de celui de déchet.
- Si l'unité de compostage est située sur le site de la station, elle fait alors partie intégrante de la station d'épuration et elle est uniquement soumise à la loi sur l'Eau. Il en est de même pour le compost produit qui sera soumis à la Loi sur l'Eau et au décret du 8 décembre 1997 et de l'arrêté du 8 janvier 1998.
- Si l'unité de compostage est séparée de la station d'épuration, elle sera régie par la loi de 1976 concernant les installations classées

### **Incinération :**

- Les boues en elles-mêmes ne sont pas soumises à une réglementation particulière, il s'agit des installations d'incinération ou de co-incinération qui sont concernées.  
Il s'agit alors d'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement soumise à l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif à l'incinération des déchets.

### **Mise en décharge :**

- L'article L-541-21 du code de l'environnement prévoit que depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2002, les centres d'enfouissement technique ne sont autorisés à recevoir que des déchets ultimes. D'après cette réglementation, les boues d'épuration, ne constituant pas des déchets ultimes, ne sont donc théoriquement plus admises en CET, excepté lorsque leur composition les rendent incompatibles

avec une autre valorisation (par exemple concentration en métaux lourds), et seulement si elles présentent plus de 30% de scissité.

## 2. LA PRODUCTION DES BOUES D'EPURATION

### 2.1. Le traitement des eaux usées : l'origine des boues d'épuration

Aujourd'hui, en France, de nombreux procédés de traitement sont employés afin de rendre des eaux compatibles avec le milieu naturel. Ceux-ci peuvent être classés selon :

- Les procédés extensifs :
  - Filtres à sables,
  - Lits plantés de roseaux,
  - Lagunage,
- Les procédés intensifs :
  - Boues activées,
  - Bio-filtres,
  - Disques biologiques.

*Lits plantés de roseaux*



*Clarificateur d'une boue activée*



*Lagunage (Source : STEP de Rochefort)*



*Biofiltres (Source : STEP de Flouere)*

Chaque technologie possède ses propres avantages et inconvénients. Elles sont en général choisies en fonction de nombreux paramètres propres aux effluents à traiter (nombre d'équivalents-habitants, composition des effluents...)

Sur la base d'une enquête menée par l'association RECORD, basée sur des résultats de 2004, la France comptait environ 16 731 stations d'épuration réparties comme indiqué dans le tableau 4.

**Tableau 4 : Nombre de STEP en France en 2004**

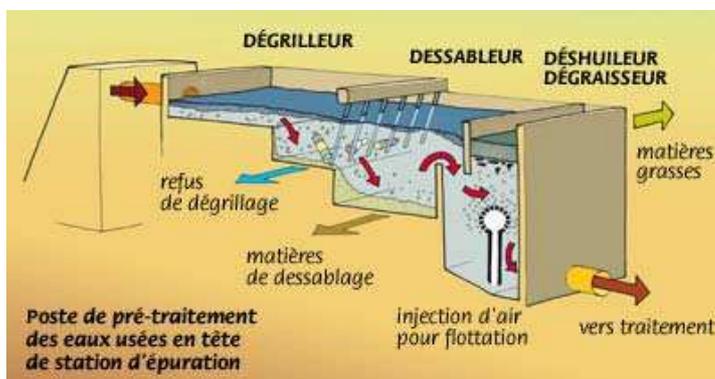
Source : RECORD 2007

Agence de l'Eau	Nombre de STEP	Répartition de la proportion d'installations par bassins hydrographiques
Agence de l'Eau Adour-Garonne	2941	17,6%
Agence de l'Eau Artois-Picardie	445	2,7%
Agence de l'Eau Loire-Bretagne	5498	32,9%
Agence de l'Eau Rhin-Meuse	571	3,4%
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse	4837	28,9%
Agence de l'Eau Seine-Normandie	2439	14,6%
<b>TOTAL</b>	<b>16 731</b>	<b>100%</b>

Quel que soit le mode de traitement des eaux utilisé, celui-ci est inévitablement à l'origine de sous-produits qui nécessitent à leur tour un traitement (Figure 1):

- les matières de curage des réseaux,
- les graisses des bacs à graisses,
- les refus de dégrillage,
- les matières de dessablage,
- les matières grasses de dégraissage-déshuilage,
- les boues.

Seules les boues d'épuration font l'objet de ce rapport.



**Figure 1 : Schéma d'un poste de pré-traitement des eaux usées en tête de station d'épuration**

Source : ADEME 2000

## 2.2. Les boues d'épuration

### 2.2.1. Définition

Les boues constituent des résidus du traitement des eaux usées. Elles sont principalement constituées de particules solides (matières organiques, matières minérales et micro-organismes) qui n'ont pas été éliminées lors des étapes du traitement des effluents.

Le traitement des boues constitue un point prioritaire dans la conception et l'exploitation d'une station d'épuration, et ce afin de :

- Concevoir et dimensionner correctement l'installation,
- Exploiter au mieux la station d'épuration,
- Choisir et mettre en œuvre la meilleure filière de traitement et d'évacuation des boues,
- Estimer au mieux le coût du traitement et d'évacuation des boues.

### 2.2.2. Les types de boues

#### 2.2.2.1. Les grandes catégories

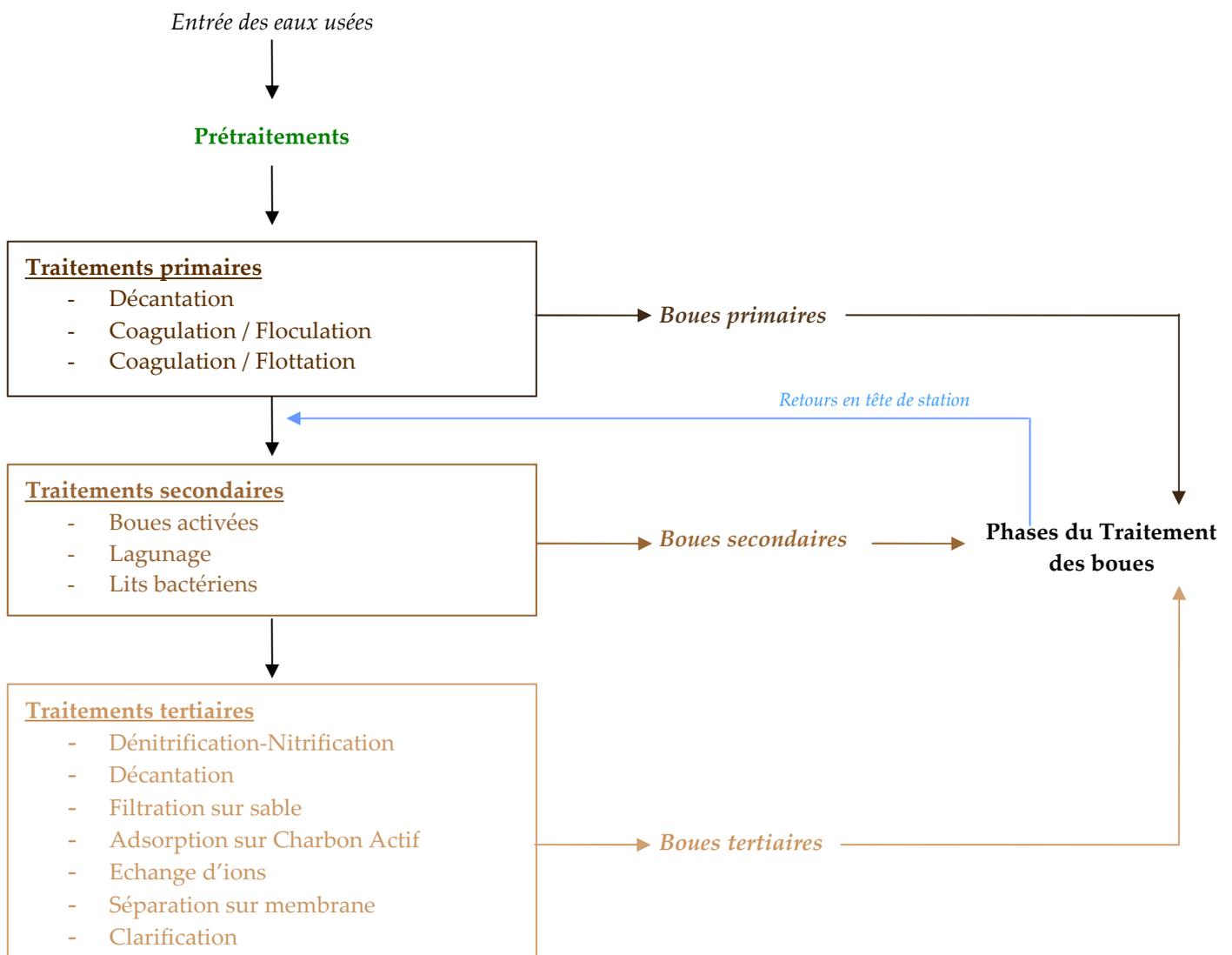


Figure 2 : Schéma simplifié de la formation des boues d'épuration

Les grandes catégories de boues sont définies à l'issue du traitement des eaux usées (Figure 2).

Trois classes sont recensées :

- **Les boues primaires** : elles sont issues d'une simple décantation des matières en suspension contenues dans les effluents.
- **Les boues secondaires biologiques** : elles proviennent de la décantation des résidus de matières organiques contenant des bactéries cultivées dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries minéralisent la matière organique contenue dans les effluents et participent ainsi à la dépollution des eaux.

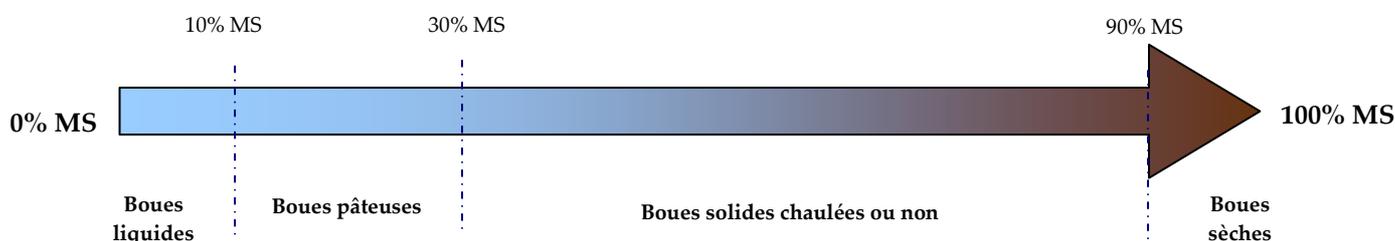
Afin d'éviter le développement d'une biomasse en excès, une partie des boues est régulièrement éliminée et envoyée en filière de traitement des boues.

- **Les boues tertiaires** : elles sont issues d'un traitement physico-chimique des effluents contenant des colloïdes.  
Les colloïdes sont des particules nanométriques chargés négativement. Ils se repoussent entre eux, et leur taille infime les empêche de décanter naturellement. C'est pourquoi un agent coagulant est ajouté (sels de fer ou d'aluminium), déstabilisant les colloïdes qui finissent par précipiter. Les boues sont alors constituées de ces matières organiques particulières ainsi que des agents coagulants.

### 2.2.2.2. La nature des boues

Une fois que les boues sont sorties du système de traitement, elles possèdent une concentration en matière sèche (MS) variable. Cette teneur en matière sèche est définie par la scissité des boues.

- **Les boues liquides** : 1 à 10 % de scissité,
- **Les boues pâteuses** : 10 à 30 % de scissité,
- **Les boues solides** : 30 à 90 % de scissité,
- **Les boues sèches** : Plus de 90 % de scissité.



### 2.2.2.3. La complexité du traitement des boues

Toutes les boues d'épuration sont différentes les unes des autres. Leur composition et leur valeur agronomique va dépendre d'un certain nombre de paramètres :

- La composition des effluents entrants,
- La nature de ces effluents (proportion d'effluents urbains, d'effluents industriels),
- Le type de traitement utilisé dans la filière eau,
- Une fois les boues produites (primaires, secondaires, tertiaires), celles-ci peuvent être mélangées dans des bâches à boues et suivre la même voie de traitement ; dans d'autres cas, chaque type de boue peut avoir sa propre filière de traitement.

Les boues ainsi issues de la filière de traitement des eaux présentent alors un aspect liquide. Elles peuvent être éliminées directement, surtout dans les stations d'épuration de faible capacité, ou alors suivre des phases de traitement.

### 3. LE TRAITEMENT DES BOUES

Le traitement des boues est constitué de trois phases principales ayant pour objectifs :

- ***La réduction de la teneur en eau***, qui vise à diminuer les quantités de boues à stocker et à valoriser,
- ***La stabilisation***, qui a pour but de diminuer la fermentescibilité des boues afin de générer le moins d'odeurs possible,
- ***L'hygiénisation***, qui est destinée à éliminer les micro-organismes contenus dans les boues d'épuration, et limiter ainsi les risques sanitaires pour une utilisation sur les sols agricoles.

#### ***3.1. Les retours en tête de station***

Il s'agit des eaux plus ou moins chargées issues des différentes voies de traitement des boues. Celles-ci sont renvoyées en tête de station, avant la filière de traitement secondaire afin de subir un nouveau passage dans la filière eau.

#### ***3.2. La réduction de la teneur en eau***

Afin de diminuer le volume des boues et d'éliminer une partie de l'eau claire, les boues peuvent-être soumises à trois procédés :

- L'épaississement,
- La déshydratation,
- Le séchage.

##### **3.2.1. Le conditionnement**

Au préalable, les boues peuvent être conditionnées, c'est-à-dire que leurs caractéristiques sont modifiées de manière à favoriser la séparation entre la phase solide et la phase liquide.

Le conditionnement peut être de deux types :

- **Chimique :**
  - **minéral** : grâce à l'ajout de chaux, de fer ou d'aluminium afin de former de petits floccs stables mécaniquement,
  - **organique** : grâce à l'ajout de polymères cationiques créant des floccs plus gros mais moins stables.
- **Thermique :** Les boues sont chauffées à des températures pouvant s'étaler de 150 à 220°C pendant 30 minutes à 2 heures.

Ce procédé permet de modifier la structure des boues en rompant les liaisons colloïdales propres à la rétention de l'eau.

Cette technique, présente trois inconvénients principaux expliquant pourquoi elle reste peu utilisée en France :

- Un problème de séchage des boues dans les canalisations,
- La nécessité d'un système de traitement des odeurs,
- La formation de retours en tête de station chargés.

##### **3.2.2. L'épaississement**

L'épaississement des boues constitue la première étape de la réduction de la teneur en eau.

Il existe deux épaississements principaux permettant d'obtenir des concentrations variant de 15 à 100 g.L<sup>-1</sup> :

- **L'épaississement gravitaire :** les boues s'épaississent par une simple décantation. Cette technique est destinée à des stations d'épuration de faible capacité (< 2000 EH) car elle présente une emprise au sol moyenne d'environ 2,5 m<sup>2</sup> par EH.
- **L'épaississement dynamique :**
  - **la flottation :** les boues sont d'abord conditionnées, puis grâce à un système d'aérofloitation, les floccs légers vont flotter et seront récupérées en surface.
  - **la table d'égouttage :** après avoir été conditionnées chimiquement, les boues sont comprimées entre deux toiles filtrantes séparant l'eau des floccs,
  - **la centrifugation :** la force centrifuge accélère la sédimentation des particules solides.

### Synthèse des avantages et inconvénients de chaque technique d'épaississement

Procédé	Avantages	Inconvénients	Capacité conseillée	Scissité
<b>Epaisissement gravitaire</b>	> Peu coûteux, > Consommations énergétiques faibles	> Résultats souvent aléatoires	> inférieure à 2000 EH	3 %
<b>Flottation</b>	> Réduction par 4 de la surface des ouvrages (par rapport à l'épaississement gravitaire), > Absence de fermentation	> Utilisation de polymère	> 2000 à 5000 EH	3 à 7 %
<b>Table d'égouttage</b>	> Simplicité d'utilisation > Consommations énergétiques limitées (50 kWh/t MS)	> Utilisation de polymère > Main d'œuvre nécessaire > Consommations importantes d'eaux de lavage	-	4 à 8 %
<b>Centrifugation</b>	> Faible emprise au sol, > Procédé automatisable, > Pas de fermentation	> Nécessité d'un réactif, > Consommation énergétique élevée, > Personnel qualifié pour la maintenance	-	6 à 7 %

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

### 3.2.3. La déshydratation

La déshydratation est toujours réalisée après l'épaississement des boues d'épuration.

Il existe deux types de déshydratation :

- La déshydratation mécanique,
- La déshydratation naturelle.

Dans le cas de la **déshydratation mécanique**, les boues atteignent une scissité variant de 15 à 50 % en fonction du process qui sera appliqué.

Cette déshydratation peut-être assurée par :

**Les centrifugeuses :** les boues conditionnées et l'eau sont séparées grâce à la force centrifuge. Les scissités obtenues s'étendent de 17 à 20 %.

Dans le cas de centrifugation "haute performance", l'épaississement et la déshydratation sont couplés, permettant d'augmenter les scissités de 6%.

Centrifugeuse  
(Photographie STEP de Besançon)



### Les systèmes de filtration :



Filtre presse  
(Photographie STEP de Limoges)

- **Filtration à bandes** : les boues floculées sont mises sous pression entre deux toiles, permettant ainsi l'évacuation de l'eau. Ce système permet d'obtenir des scissités moindres de 15 à 18 %.
- **Filtration à plateaux** : les boues conditionnées sont déshydratées par compression entre deux plateaux dotés de toiles filtrantes, dans le cas des filtres à plateaux conventionnels. Dans le cas de la filtration à plateaux membranes, les plateaux sont recouverts d'une membrane élastomère gonflée avec de l'eau pressurisée ou de l'air comprimé. Ce procédé permet d'augmenter les scissités de 5 à 15 % de plus.

**La déshydratation naturelle** est réalisée par l'intermédiaire de lits de séchage, ou de lits plantés de roseaux. Les boues sont appliquées à l'air libre sur des lits de sables drainés. La déshydratation des boues se fait par drainage de l'eau libre et par évaporation de l'eau liée aux molécules formant la boue, pour donner des scissités pouvant atteindre 50 %. Cependant ce procédé rustique reste fortement dépendant des conditions climatiques, et reste adapté aux petites stations d'épuration étant donné sa très forte emprise au sol (0,25 à 0,5 m<sup>2</sup> / EH).

Au début des années 90, une variante des lits de séchage est apparue : les lits plantés de roseaux.

Les boues sont déposées à la surface d'un massif filtrant, drainé, et dans lequel des macrophytes (roseaux) se développent.

Les roseaux confèrent à cette technique de déshydratation, de nombreux avantages :

- Autour de chaque tige de roseau, un anneau libre se crée laissant passer l'eau interstitielle des boues. Les matières en suspension sont quant à elles retenues en surface où elles s'accumulent,
- Les mycorhizes des roseaux permettent de minéraliser les boues,
- En été, l'évapotranspiration des roseaux va permettre d'améliorer la déshydratation.



Déshydratation naturelle par lits plantés de roseaux  
(Source : CG Vendée)

Comme toute technique, la déshydratation naturelle présente à la fois des avantages et des inconvénients. Les boues ne sont éliminées en moyenne que tous les 5 à 10 ans en fonction de la hauteur de boues accumulées ; mais le curage des lits n'est pas toujours facile (Liénard, Troesch et al. 2008) :

- Bien souvent les curages sont trop tardifs ou trop précoces à cause d'un manque d'anticipation de l'exploitant,
- L'accessibilité de la pelleuse, des tracteurs et des épandeurs n'est pas toujours optimisée.

### Synthèse des avantages et des inconvénients de chaque technique de déshydratation

Procédé	Avantages	Inconvénients	Capacité conseillée	Scissité
<i>Filtre à bandes</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Système continu,</li> <li>&gt; Facilité d'entretien,</li> <li>&gt; Coût d'investissement modéré</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Consommations importantes d'eaux de lavage,</li> <li>&gt; Surveillance nécessaire</li> </ul>	5 000 EH	15 à 18 %
<i>Centrifugation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Faible emprise au sol,</li> <li>&gt; Procédé automatisable,</li> <li>&gt; Fonctionnement continu,</li> <li>&gt; Capotage intégral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Nécessité d'un réactif,</li> <li>&gt; Consommation énergétique élevée,</li> <li>&gt; Personnel qualifié pour la maintenance,</li> <li>&gt; Texture de la boue</li> </ul>	20 000 EH	17 à 20 %
<i>Filtre presse</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Scissité la plus importante,</li> <li>&gt; Bonne texture des boues,</li> <li>&gt; Bon rendement de capture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Fonctionnement discontinu,</li> <li>&gt; Surveillance nécessaire,</li> <li>&gt; Consommation en réactifs élevée,</li> <li>&gt; Coût d'investissement élevé</li> </ul>	50 000 EH	30 à 40 %
<i>Lits de séchage, Lits plantés de roseaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Facilité d'exploitation,</li> <li>&gt; Fréquence d'extraction faible,</li> <li>&gt; Boues valorisables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Fonctionnement lié aux variations climatiques,</li> <li>&gt; Emprise au sol importante,</li> <li>&gt; Coût d'exploitation élevé</li> <li>&gt; Incompatible avec une déphosphatation biologique</li> </ul>	500 à 15 000 EH	5 à 30 % (variable selon les conditions climatiques)

#### 3.2.4. Le séchage

Le séchage des boues correspond au procédé final qui peut être employé pour réduire le volume des boues. Il aura toujours lieu après une phase d'épaississement et de déshydratation.

Il vise quatre objectifs principaux :

- La réduction du poids et du volume par élimination de l'eau contenue dans les boues,
- L'augmentation du pouvoir calorifique,
- La stabilisation des boues,
- L'amélioration de la texture de la boue.

Les boues peuvent être séchées de façon thermique ou solaire.

**Le séchage thermique** est le procédé qui ouvre le plus grand nombre de voies de valorisation et/ou d'élimination des boues.

Le coût du séchage thermique est lié à la teneur en eau contenu dans les boues ; de ce fait il est intéressant de pousser la scissité par déshydratation le plus haut possible.

Les boues ainsi séchées atteindront au final des scissités allant de 40 % (dans le cas d'un séchage partiel ou poussé) à 90 % (dans le cas d'un séchage total).

Le séchage thermique est plutôt adapté aux stations de grande capacité en complément d'une déshydratation par centrifugation ou filtre presse.

**Le séchage solaire** est basé sur le même principe que celui de l'effet de serre. Les boues préalablement déshydratées sont stockées sous serre et la concentration des rayons lumineux va accélérer l'évaporation de l'eau contenue dans celles-ci. Ce système est préférentiellement appliqué sur des stations d'épurations de 10 000 EH (pour avoir suffisamment de boues) à 50 000 EH (afin de limiter l'emprise au sol). Comparé au séchage thermique, l'emprise au sol d'un tel système est environ 50 fois plus importante.

Les scissités finales sont comparables à celles du séchage thermique (de 60 à 70 %) et ce, pour un investissement moindre, et des coûts de fonctionnement estimés plus faibles.

Cependant, ce système reste consommateur d'énergie, afin de réaliser la ventilation des serres, et il est fortement dépendant des conditions météorologiques.



Serre de séchage solaire –  
(Source ADEME)

### **3.3. Les procédés de stabilisation et d'hygiénisation**

La stabilisation consiste à réduire le caractère fermentescible des boues, et l'hygiénisation permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes.

Il existe principalement cinq procédés de stabilisation et d'hygiénisation :

- La digestion aérobie,
- La digestion anaérobie,
- Le compostage,
- Le chaulage,
- Le séchage (cf. §3.2.4).

#### **3.3.1. La digestion aérobie et anaérobie**

Ces deux procédés ont lieu après la phase d'épaississement et avant la phase de déshydratation des boues.

**La digestion aérobie** des boues est assurée par l'injection d'air dans une cuve portée à 50°C. Le développement des bactéries aérobies métabolise la matière organique soluble en CO<sub>2</sub> et en eau. Ceci assure la réduction du volume des boues ainsi que leur stabilisation.

Dans le cas où la température est portée à 65°C, l'hygiénisation est assurée par destruction des bactéries pathogènes.

Le traitement des boues par **digestion anaérobie** est au cœur des objectifs du Grenelle de l'Environnement, relatif à *la valorisation de la biomasse*. Cette technique, qui reste encore peu étudiée et représentée en France présente de nombreux avantages, en plus de la stabilisation des boues :

- Elle diminue les volumes de boues jusqu'à 40%,
- Elle produit un biogaz riche en CH<sub>4</sub>, qui peut-être valorisé thermiquement ou énergétiquement,
- Elle produit un digestat riche en matières organiques qui peut être facilement composté.

Dans le cadre de la convention cadre entre le MEEDDM et le Cemagref, une action concernant la digestion anaérobie est menée. Celle-ci a pour objectif la réalisation d'un état des lieux de la méthanisation des boues résiduaires urbaines en France ainsi que la rédaction d'un rapport.

#### **3.3.2. Le compostage**

Le compostage permet à la fois de stabiliser et d'hygiéniser les boues d'épuration. Il s'agit d'un système basé sur une décomposition thermophile des matières organiques d'un mélange de boues fraîches et d'un co-produit (déchets verts, sciures...).

Il existe principalement deux techniques :

- La fermentation lente en andains retournés, l'aération est alors assurée par simples retournements périodiques pendant 1 à 2 mois.
- La fermentation accélérée, l'aération est effectuée par un système de ventilation.

Avant le compostage, les boues sont déshydratées afin d'obtenir une scissité voisine de 20%, puis elles sont associées à un co-produit qui augmente artificiellement la scissité des boues, diminue leur aspect collant et permet ainsi une bonne aération du tas de "compost".

Le compostage peut se faire sur le site de la station d'épuration ou sur une plate-forme de compostage.

### **3.3.3. Le chaulage**

Le chaulage des boues d'épuration peut-être réalisé :

- Avant la déshydratation, comme conditionnement,
- Après la déshydratation afin de stabiliser et d'hygiéniser les boues. Pour cela, le chaulage doit-être suffisant, c'est-à-dire permettre une augmentation du pH au-delà de 12.

La chaux peut-être utilisée sous deux formes : la chaux vive et la chaux éteinte.

La chaux éteinte est moins avantageuse que la chaux vive, car elle crée une scissité "artificielle". Pour obtenir une même scissité finale, il faudra en moyenne 1,5 à 2 fois plus de chaux éteinte que de chaux vive.

Les boues ainsi obtenues sont de nature pâteuse ou solide et présentent un avantage agronomique de part la présence d'un amendement calcique pour les sols acides.

La figure 3 ci-après présente un schéma récapitulatif des procédés de traitement des boues d'épuration.

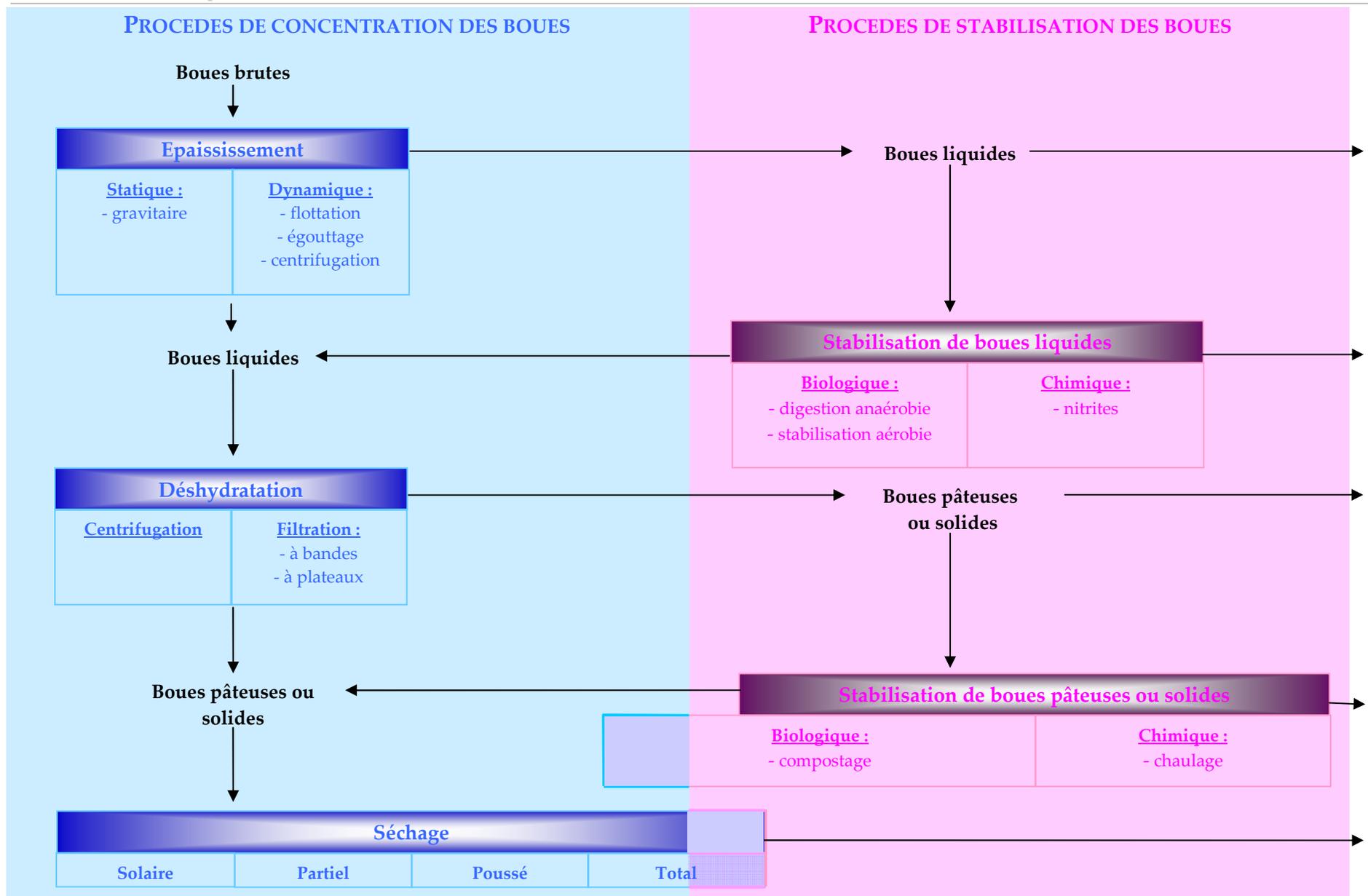


Figure 3 : Schéma récapitulatif des procédés de traitement des boues d'épuration urbaines  
(Adapté d'OTV 1997)

ENVOI VERS LES FILIERES DE VALORISATION DES BOUES

### **3.4. Le coût du traitement des boues**

L'étude la plus récente concernant les coûts du traitement des boues d'épuration urbaines date de 1999. (ADEME et CEMAGREF 1999).

Les chiffres présentés sur la Figure 4 présentent les coûts de fonctionnement sur 15 types de filières de traitement de stations d'épuration. Les coûts de fonctionnement comprennent :

- les coûts d'exploitation,
- les grosses réparations,
- l'amortissement,
- les frais financiers.

Il s'agit donc de valeurs traduisant le plus fidèlement possible l'ensemble des coûts à supporter pour un choix de filière donné.

Ces données sont cependant à prendre avec précautions. En effet, les coûts obtenus sont relatifs à des scissités de boues précises, étant donné qu'ils ont été déterminés à partir de coûts d'investissement et d'exploitation sur des ouvrages spécifiques.

Le coût de fonctionnement du traitement des boues varie d'un facteur 7 en fonction de la taille de la station et du type de traitement appliqué, et donc de la scissité des boues obtenues. Plus le traitement des boues est poussé et plus le coût de fonctionnement est important.

Pour un même traitement appliqué sur des stations différentes, il semblerait que le coût de fonctionnement du traitement soit moins important sur les stations de plus grand dimensionnement.

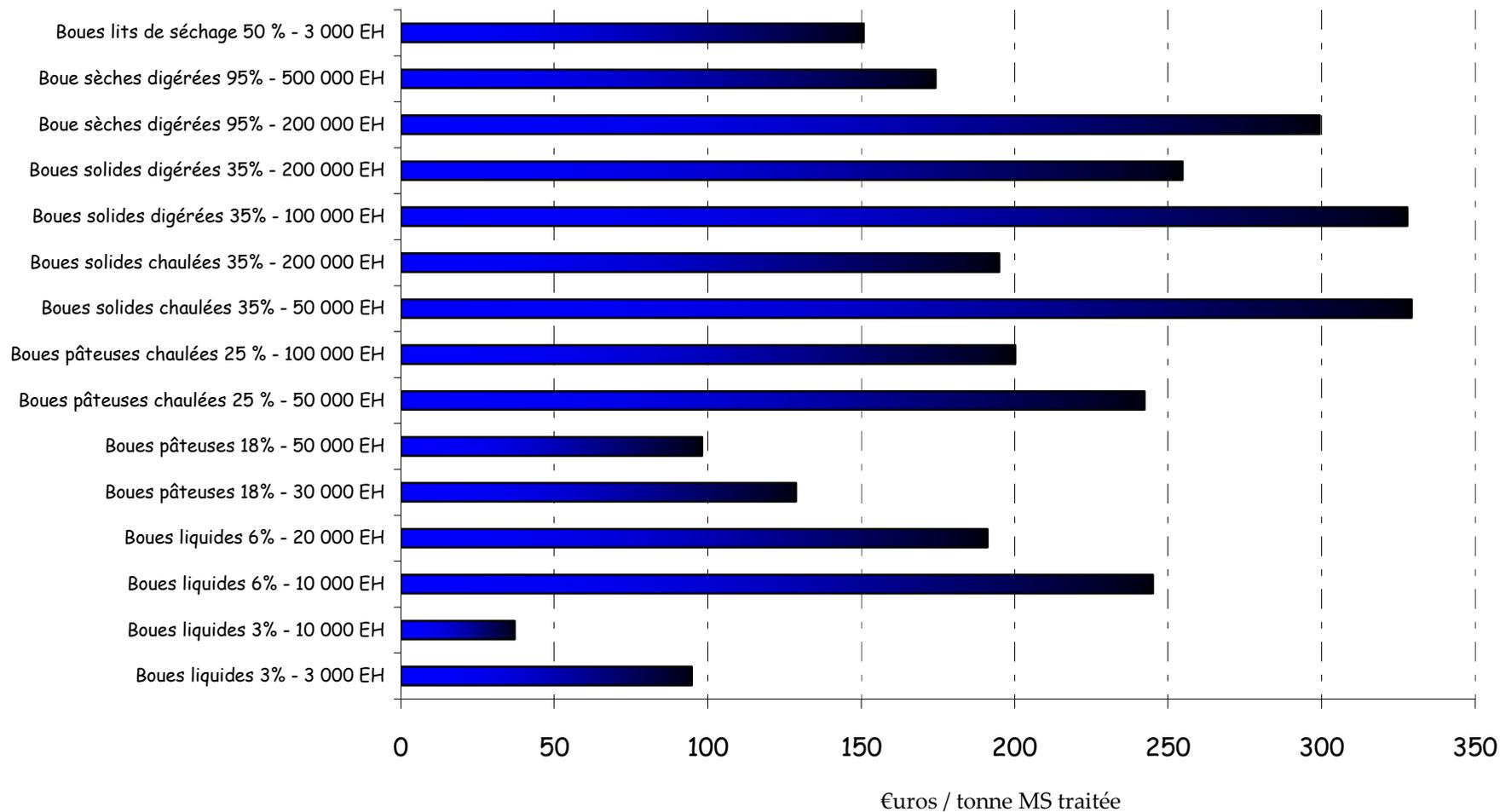


Figure 4 : Coûts du fonctionnement du traitement des boues en fonction de la taille des STEP et de la scissité des boues obtenues

## PARTIE 2 : ETAT DE LA PRODUCTION DES BOUES EN FRANCE

Une enquête a été réalisée par le Cemagref en 2010 auprès des agences de l'eau et de la DIREN Ile de France (pour le bassin Seine-Normandie), de l'ADEME et de l'APCA afin de connaître les quantités de boues produites par zone hydrographique. Les données ainsi collectées sont celles de 2007 et 2008.

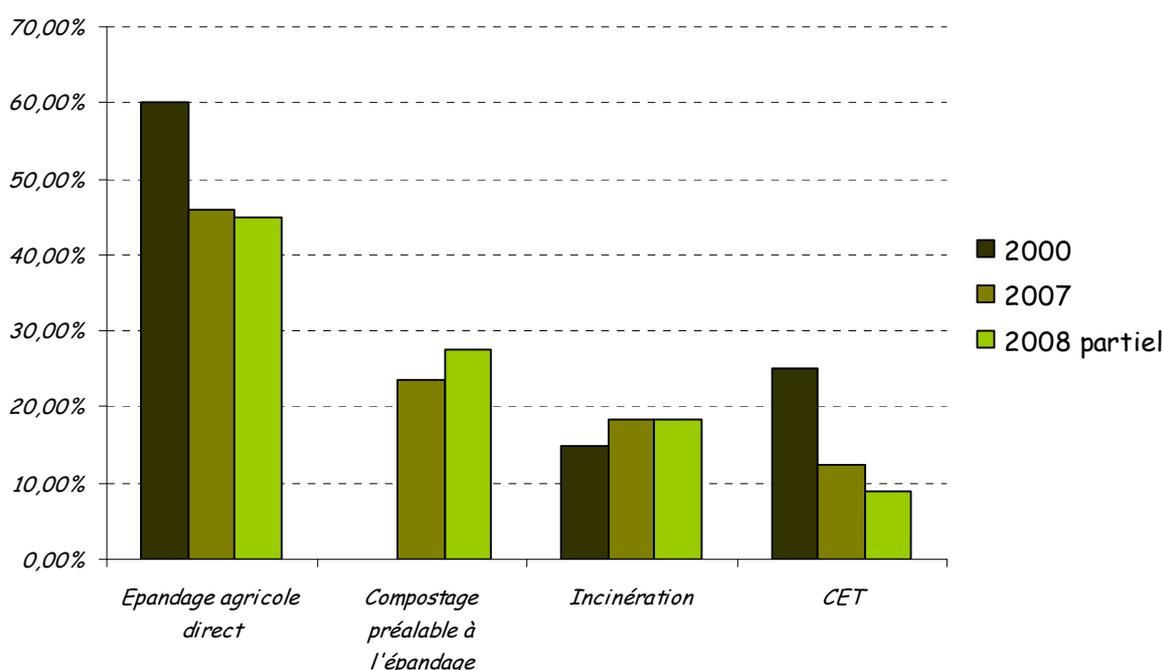
En 2000, date de la dernière étude sur l'élimination des boues, 60 % étaient épandues, 25 % étaient mises en décharge, et 15 % étaient incinérés (ADEME 2000).

L'enquête réalisée auprès de l'APCA montre qu'en 2007, près de 70 % des boues d'épuration étaient valorisées en agriculture, répartie de la façon suivante : 46 % en épandage direct, et 23 % après compostage préalable.

La mise en décharge a été divisée par deux, passant en 2007 à 12 % des boues éliminées, et l'incinération n'a connue qu'une très légère augmentation passant à 18 %.

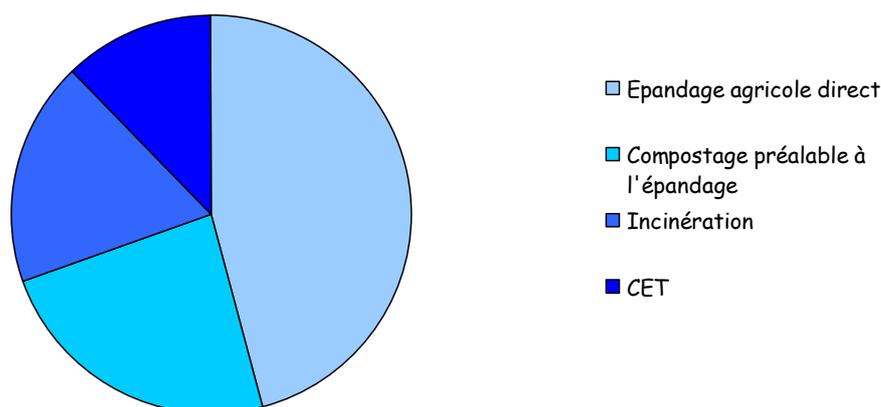
L'épandage agricole reste donc en France la voie privilégiée d'élimination des boues, que ce soit sous forme brute, ou après compostage.

Les données de 2008 sont partielles car l'APCA n'avait pas récupéré la totalité des tonnages de boues éliminés par les stations d'épuration au moment de l'enquête. Celles-ci sembleraient présenter une tendance à l'augmentation du compostage (28 %), et une diminution de la mise en décharge (9 %). Quant aux voies d'épandage et d'incinération, elles sembleraient rester constantes. Ces données sont répertoriées dans la figure 5.



**Figure 5 : Variation des filières d'élimination des boues entre 2000 et 2008<sup>1</sup>**  
(Source : APCA-ADEME)

<sup>1</sup> CET = Centre d'Enfouissement Technique



**Figure 6 : Répartition des principales voies d'élimination de boues en France en 2007 selon l'APCA**  
(Source : APCA)

Le tableau 5 compare les résultats des Agences de l'Eau et de l'APCA concernant les tonnages de boues évacués par les stations d'épuration françaises en 2007.

L'exploitation des données des Agences de l'Eau donne un tonnage de boues évacuées de 1 056 531 tonnes en 2007, alors qu'il est de 1 118 795 pour les données de l'APCA.

Les données concernant l'incinération et la mise en décharge sont équivalentes, en revanche les tonnages de boues évacués en épandage et en compostage sont différents.

Ces résultats traduisent un manque d'homogénéisation dans l'ensemble des données françaises pouvant être fournies en matière de traitement des boues d'épuration urbaines.

Dans l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse il est bien stipulé que les données présentées sont issues des modes de calcul des redevances et des primes pour épuration, définis par la réglementation en vigueur. Ces démarches peuvent induire des biais dans les données, pouvant nuire à leur représentativité physique. Ainsi, leur utilisation dans un autre contexte, notamment pour évaluer la pression exercée par les différentes activités sur le milieu naturel, doit faire l'objet d'une certaine prudence et reste de l'entière responsabilité de l'utilisateur.

**Tableau 5 : Comparaison des données du tonnage de boues évacuées en 2007 par les stations d'épuration entre les Agences de l'Eau et l'APCA**

	Agences de l'Eau		APCA	
	tonnage	%	tonnage	%
Epannage	397 695	38%	512 928	46%
Compostage	341 392	32%	263 377	24%
Incinération	201 597	19%	204 592	18%
CET	115 847	11%	137 898	12%
<b>TOTAL</b>	<b>1 056 531</b>	<b>100%</b>	<b>1 118 795</b>	<b>100%</b>

## 1. LA FILIERE EPANDAGE

Les boues d'épuration sont riches en phosphore et dans une moindre mesure en azote ce qui leur confère un atout pour la croissance des plantes.

Cependant, bien que présentant de nombreux avantages, des boues trop concentrées en éléments traces métalliques <sup>et/ou</sup> en composés traces organiques peuvent présenter un danger pour la santé humaines et les milieux naturels, c'est pourquoi, des législations particulières ont été mises en place (Partie 1 §1).

Les boues d'épuration sont majoritairement épandues en France. Ceci peut être expliqué pour plusieurs raisons :

- Le coût avantageux de l'épandage comparé aux autres techniques,
- Toutes les natures de boues peuvent être épandues.

Toutefois, l'épandage présente certaines contraintes :

- Il peut être réalisé qu'une ou deux fois par an, les stations doivent donc être équipées d'une zone de stockage des boues d'une capacité suffisamment importante,
- Il peut parfois constituer un obstacle psychologique vis-à-vis des populations, même si aujourd'hui l'utilisation des boues en agriculture s'intègre progressivement dans les mœurs.

### 1.1.La santé publique et l'analyse des risques

Face aux nombreuses inquiétudes vis-à-vis de l'épandage des boues d'épuration, la législation française a été renforcée via les nombreuses réglementations mises en place.

Ainsi, pour éviter toute source de contamination des sols, les boues d'épuration ne doivent pas dépasser les valeurs limites en micropolluants organiques et en éléments traces métalliques fixées par la législation.

En parallèle, une cellule nationale de veille vétérinaire des épandages de boues a été instaurée en 1997 dans le cadre d'un partenariat entre l'ADEME et les écoles nationales vétérinaires.

Cette cellule de veille est installée à Lyon au sein du Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaires de l'Ecole Nationale Vétérinaire. Elle fonctionne en parallèle avec les autres centres anti-poisons vétérinaires de Nantes et de Maisons-Alfort afin d'obtenir des informations concernant des cas de pathologies animales qui pourraient être liées à l'épandage des boues.

**A ce jour, l'épandage des boues n'a jamais été porté pour responsable de maladies portées sur des troupeaux.**

### 1.2.Les plans d'épandage

Les épandages de boues de stations d'épuration sont soumis à des plans d'épandage.

Celui-ci est divisé en trois phases (INRA) :

- 1) **La conception** : il s'agit d'une étude préalable à l'épandage permettant de définir les principes de l'organisation, de choisir et de valider le périmètre de l'épandage retenu, de nommer les intervenants, de fixer le choix du matériel et des équipements pour le stockage, le transport et l'épandage. Les boues sont analysées de façon régulière. par l'exploitant.
- 2) **L'exploitation annuelle** : chaque année, un programme prévisionnel d'épandage est établi. Celui-ci permet de préciser les périodes d'épandages, les parcelles agricoles retenues, ainsi que les personnes responsables.  
A la date choisie, les opérations sont déclenchées, et l'ensemble des données concernant l'épandage est consigné dans le registre des épandages.
- 3) **Rendre compte** : chaque année, un bilan agronomique est réalisé par les producteurs de boues, à destination du préfet.

## 2. LA FILIERE COMPOSTAGE

Depuis 2006, le compostage des boues d'épuration s'est fortement développé, représentant 24 % de la totalité des boues éliminées par les stations d'épuration en 2007.

De nombreux co-substrats peuvent-être employés, comme les écorces, des déchets verts ligneux, des plaquettes de bois, des rafles de maïs... Chaque co-substrat possédant ses propres caractéristiques en tant que substrat carboné, il est important d'adapter la proportion du co-substrat par rapport à celle des boues.

Pour exemple, une étude réalisée en 2006 , montre que le ratio 1:1 entre des sciures de bois et des boues d'épuration issues d'un traitement aérobie, semble être la proportion la mieux adaptée afin de réaliser le compostage des boues.

Avec l'application de la norme NFU 44-095 obligatoire depuis le 26 mars 2004, les boues d'épuration acquièrent un véritable statut de "produit" valorisable au lieu de celui de "déchet". Les boues sont alors éliminées en même temps qu'une partie des déchets verts des communes et deviennent un produit pouvant être commercialisé.

Il est vrai que cette technique est plus contraignante que pour un épandage classique quant au niveau de l'innocuité des produits, qu'à la justification de leur valeur agronomique, ce qui demande un suivi plus régulier des boues. Mais ceci peut être compensé soit par la vente d'une partie du compost, ou par une meilleure intégration de la station d'épuration auprès des riverains, qui peuvent alors bénéficier d'un produit valorisable.

## 3. LA FILIERE INCINERATION

En 2007 l'incinération des boues d'épuration en France représentait 18 % des boues produites par les stations d'épuration.

Cette technique d'élimination des boues d'épuration présente l'avantage :

- De réaliser une forte diminution des volumes de boues. En effet, des études ont montré que la réduction du volume occupé par les boues après incinération était de l'ordre de 90 %.
- Les composés organiques sont éliminés,
- Le pouvoir calorifique des boues d'épuration est comparable à celui du charbon, de ce fait, l'incinération offre la possibilité de produire de l'énergie,
- L'incinération minimise les créations d'odeurs.

Cette méthode présente de nombreux avantages, mais elle reste coûteuse, et ne permet d'éliminer que partiellement les boues.

En effet, environ 30 % de la partie solide obtenue est constituée de cendres. Ces cendres sont généralement enfouies en centre de stockage des déchets ultimes, et dans certains cas, elles peuvent être hautement toxiques du fait d'une concentration importante en métaux lourds.

Comme pour l'épandage des boues, cette technique présente un obstacle psychologique vis-à-vis des populations.

L'incinération des boues peut être réalisée de deux façons :

- Spécifiquement sur le site de la station d'épuration : l'incinération spécifique ou dédiée,
- Incinération dans des unités d'incinération des ordures ménagères : la co-incinération.

### *3.1.L'incinération spécifique*

Un recensement réalisé par l'ADEME en 2004 (données de 2003) faisait état de 21 sites d'incinération dédiée en activité dont 19 avec des fours à lits fluidisés.

17 de ces 21 sites traitaient plus de 125 000 tonnes de matières sèches, soit plus de 66 % des boues incinérées sur le territoire français en 2003.

### ***3.2.La co-Incineration***

La co-incinération des boues d'épuration est réalisée dans les unités d'incinération des ordures ménagères.

Les données du Système d'Information et d'Observation de l'Environnement donnent en 2010, 32 installations réalisant la co-incinération des boues avec les ordures ménagères (soit près de 24 % des unités existantes) :

- 2 installations dans le bassin Artois-Picardie,
- 3 installations dans le bassin Rhin-Meuse,
- 4 installations dans le bassin Adour-Garonne,
- 5 installations dans le bassin Seine-Normandie
- 6 installations dans le bassin Loire-Bretagne,
- 12 installations dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

## **4. LA MISE EN DECHARGE**

L'article L-541-21 du code de l'environnement prévoit qu'à partir du premier juillet 2002, les centres d'enfouissement ne sont autorisés à recevoir que des déchets ultimes.

Pourtant, en 2007, 12 % des boues étaient encore enfouies. Ces résultats sont certes inférieurs à ceux de 2003 où 20 % des boues étaient enfouies, mais ils restent importants.

Pour l'année 2008, la tendance mesurée grâce à des données partielles, donnerait une diminution de la proportion des boues enfouies, ne représentant plus que 9 % de la totalité de ces déchets.

## **5. LES AUTRES TECHNIQUES DE VALORISATION, MOINS DEVELOPPEES EN FRANCE**

### ***5.1.La valorisation en cimenteries***

Les boues d'épuration peuvent être employées comme combustibles dans les cimenteries. En effet, leur pouvoir calorifique inférieur est comparable à celui du papier carton ou des sciures imprégnées (communication personnelle de Didier Laffaire).

Les données fournies par l'Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques estiment à 16 000 tonnes la quantité de boues d'épuration éliminées dans les industries cimentières pour l'année 2007.

### ***5.2.La végétalisation***

Lors des travaux d'aménagement comme la création de routes, de friches industrielles et urbaines ou de piste de ski..., le sol peut-être fortement endommagé ou avoir disparu.

Les boues d'épuration sont alors employées comme apport important en matières organiques, en général lors d'un épandage unique.

La végétalisation suit les mêmes plans d'opération que l'épandage agricole.

En ce qui concerne la réglementation, cette technique de valorisation des boues doit respecter les mêmes lois que les épandages, à savoir, la Directive 86/278 et le Décret n°97-133 du 8 décembre 1997.

Un arrêté spécifique aux prescriptions techniques et caractéristiques des boues utilisées pour la végétalisation est prévu depuis la création du décret du 8 décembre 1997.

A l'heure actuelle, celui-ci est toujours en projet et devrait s'appuyer sur le guide de l'ADEME-Cemagref concernant les "bonnes pratiques d'utilisation des déchets en végétalisation" (1999) (ADEME 2000).

### **5.3. La gazéification et la pyrolyse**

La gazéification et la pyrolyse sont des méthodes qui ne sont pas utilisées pour le traitement des boues d'épuration en France, car ces techniques doivent faire face à un manque d'adaptation aux procédés de traitement des boues.

La gazéification correspond à une combustion partielle des composés organiques des boues en gaz, et ce en présence de l'oxygène des boues (Pérez-Elvira, Nieto Diez et al. 2006).

La gazéification génère du gaz qui peut être valorisé énergétiquement (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), et des cendres enfouies en décharges car elles sont considérées comme des déchets ultimes.

Dans le cas où cette combustion est réalisée en milieu anaérobie, il s'agit d'une pyrolyse.

La pyrolyse génère trois types de produits (Fytili and Zabaniotou 2006) :

- Une partie gazeuse, contenant une grande quantité d'hydrogène, de méthane, de dioxyde de carbone, et qui peut être valorisée énergétiquement,
- Une fraction liquide, contenant des acides acétiques, de l'acétone, du méthanol et qui peut être utilisée comme substance brute dans des industries chimiques,
- Une partie solide inerte enfouie en centre de stockage.

Ces systèmes complexes nécessitent un pré-traitement des boues allant jusqu'au séchage.

### **5.4. L'Oxydation par Voie Humide (OVH)**

La matière organique des boues est oxydée dans des réacteurs spécifiques à des températures comprises entre 200 et 300°C et sous des pressions de 30 à 150 bars (Pérez-Elvira, Nieto Diez et al. 2006).

Le produit résultant de cette OVH est composé à plus de 95% par des composés minéraux, et à moins de 3% par des composés organiques.

Cette technique n'est pas une voie d'élimination en soi, les résidus sont ensuite déshydratés et peuvent-être envoyés en recyclage agricole ou en centre d'enfouissement des déchets.

Ce procédé oxyde les composés organiques en rejets gazeux propres (vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>, azote moléculaire), et la température relativement basse d'oxydation évite la formation de gaz de type NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, de dioxines et de furannes.

Ce procédé n'est pas appliqué pour le traitement des boues d'épuration urbaines en France (excepté en prétraitement de la digestion anaérobie sur quelques stations d'épuration). De plus, cette technique reste très onéreuse en moyens humains et financiers.

## **6. COMPARAISON ECONOMIQUE DES DIFFERENTES FILIERES D'ELIMINATION DES BOUES**

L'audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines réalisé en 1999 par le cabinet Arthur ANDERSEN Environnement, a permis de définir une comparaison des coûts globaux pour des systèmes homogènes définis.

Ce ne sont pas des coûts réels qui sont présentés, mais des estimations comparatives :

- en prenant pour référence l'épandage (base 100),
- en prenant un niveau de référence se situant après une déshydratation à 20 % de scissité.  
Lorsque la scissité de la boue est inférieure aux 20 % de référence, l'économie réalisée pour le système a été intégrée. De même, quand la scissité est supérieure à 20 %, le surcoût de la déshydratation est pris en compte.

Ces résultats ne sont pas là pour donner des coûts précis du traitement, mais pour présenter une base comparative de différents systèmes homogènes des voies d'élimination.

Les situations sont données pour trois dimensionnements de stations : 3 000, 50 000 et 300 000 EH.

**Tableau 6 : Systèmes homogènes – 3 000 EH – Boues liquides**

<b>Filières d'élimination</b>	<b>Base</b>
<i>Epandage boues liquides</i>	100
<i>Co-incinération boues liquides</i>	220
<i>Centre d'Enfouissement Technique</i>	260

D'après le tableau 6, il apparaît que l'épandage de boues liquides est bien plus avantageux que la co-incinération.

De plus, la co-incinération est légèrement moins coûteuse que la mise en décharge.

**Tableau 7 : Systèmes homogènes – 50 000 EH – Boues pâteuses**

<b>Filières d'élimination</b>	<b>Base</b>
<i>Epandage boues pâteuses non chaulées</i>	100
<i>Epandage boues pâteuses chaulées</i>	120
<i>Co-incinération boues pâteuses</i>	160
<i>Centre d'Enfouissement Technique</i>	260

Il semblerait que l'épandage de boues pâteuses (chaulées ou non) soit plus avantageux en termes de coûts (tableau 7). De plus, l'écart entre les différents systèmes est suffisamment important pour distinguer chaque filière. Ainsi, il semble possible de dire que l'épandage est légèrement plus économique que l'incinération et bien plus rentable que la mise en décharge.

**Tableau 8 : Systèmes homogènes – 300 000 EH – Boues solides/sèches**

<b>Filières d'élimination</b>	<b>Base</b>
<i>Epandage boues solides</i>	100
<i>Epandage de boues compostées</i>	145
<i>Co-incinération boues séchées</i>	150
<i>Incineration spécifique</i>	150
<i>Epandage des boues sèches</i>	185

L'épandage de boues solides est le système le plus avantageux sur des stations de 300 000 EH.

L'épandage de boues compostées, la co-incinération, ainsi que l'incinération spécifique présentent des caractéristiques économiques très proches. En revanche, l'épandage des boues séchées semble être très désavantageux.

Une seconde étude présente des coûts des filières d'élimination des boues (ADEME et CEMAGREF 1999)

Les coûts présentés intègrent :

- Les coûts de traitements des boues en station d'épuration,
- Les coûts d'élimination finale spécifiques aux différentes filières concernées : frais de stockage, de transport, d'épandage, les amortissements des installations et équipements, les intérêts d'emprunt, les coûts d'entretien, de main d'œuvre, et de réactifs utilisés.

**Tableau 9 : Coûts des filières d'éliminations des boues en Euros par tonne de matière sèche**

Taille de la STEP	Epandage	Epandage	Co- incinération	Co- incinération	Incinération spécifique
<i>Equivalent habitants</i>	<i>Boues liquides, pâteuses ou chaulées</i>	<i>Boues séchées, compostées</i>	<i>Boues pâteuses</i>	<i>Boues séchées</i>	
<b>3 000 à 10 000</b>	381 à 640 €	-	-	-	-
<b>50 000 à 100 000</b>	320 à 411 €	-	-	-	-
<b>100 000 à 300 000</b>	274 à 320 €	396 à 457 €	304 à 396 €	381 à 442 €	487 à 609 €
<b>300 000 à 500 000</b>	259 à 274 €	350 à 396 €	243 à 304 €	289 à 381 €	350 à 487 €

Le tableau 9 montre que les filières d'épandage semblent être les plus avantageuses d'un point de vue économique. Seules les filières sur des stations de plus de 100 000 EH peuvent être comparées.

Il apparaît alors que seule la co-incinération de boues pâteuses permet d'avoir des coûts comparables à ceux de l'épandage, mais ce, uniquement sur des stations de plus de 300 000 EH.

Ces données sont présentées à titre indicatif, et traduisent mal la réalité des budgets à mobiliser, aussi bien du point de vue de l'investissement que du fonctionnement ; chaque station d'épuration étant unique et présentant ses propres caractéristiques de boues.

## PARTIE 3 : TYPOLOGIE DES FILIERES DE TRAITEMENT DES BOUES DE STEP

### 1. METHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNEES MISE EN PLACE

La partie 3 a été réalisée sur la base d'enquêtes auprès des six Agences de l'Eau françaises. L'origine des données est présentée dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Source des données des filières de traitement et de productions de boues pour l'année 2007**

<b>Agence de l'Eau Adour-Garonne</b>	Pas de données exploitables pour cette étude
<b>Agence de l'Eau Artois-Picardie</b>	Filière de traitement – Production de boues – Destination par station <i>Tableau Excel transmis par l'AEAP – Fichier bruts à traiter</i>
<b>Agence de l'Eau Loire-Bretagne</b>	Filière de traitement – Production de boues – Destination par station <i>Tableau Excel transmis par l'AELB – Fichier bruts à traiter</i>
<b>Agence de l'Eau Rhin-Meuse</b>	Filière de traitement – Production de boues – Destination par station <i>Tableaux Excel transmis par l'AERM – Fichiers bruts à traiter</i>
<b>Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse</b>	Fichiers STEP – traitement des boues – production des boues <i>Extraits des données communiquées sur le site de l'AERMC <a href="http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr">www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr</a></i>
<b>Agence de l'Eau Seine-Normandie</b>	Filières de traitement par station issues de la base de données du logiciel Poupée <i>Tableau Excel transmis par l'AESN Productions et Destination par station Tableau Excel transmis par la DIREN Ile-de-France</i>

Le tableau 11 présente le nombre de stations utilisées en France métropolitaine afin de réaliser l'étude. Les Agences de l'Eau n'ont fourni des données que sur 10 362 stations, et seulement 4 884 ont évacué des boues en 2007.

De plus, le tableau 11 donne la représentativité des données utilisées pour cette étude en les comparant aux nombres de STEP utilisées par l'étude RECORD pour 2004 (RECORD 2007).

La représentativité est variable d'une agence de l'eau à l'autre et le bassin Loire-Bretagne présente la plus faible source d'information. En revanche dans les bassins Artois-Picardie, Rhône-Méditerranée-Corse, Seine-Normandie, la totalité des stations d'épuration étaient fournies dans les données.

Cependant en ce qui concerne les stations d'épuration ayant évacué des boues en 2007, la quantité d'information fournie diminue. Sur les bassins Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée-Corse, moins d'1/3 des stations présentaient des données. Ceci peut être en partie expliqué par le fait que toutes les stations n'évacuent pas forcément des boues (lagunage, lits plantés de roseaux) ; mais ces résultats proviennent également d'un manque de données concernant l'évacuation des boues dans les stations d'épuration.

**Tableau 11 : Nombre de STEP présentes dans les données fournies, et nombre de STEP ayant réellement été utilisées pour l'étude**

	Etude 2010	Etude RECORD 2007*	Etude 2010	Etude RECORD 2007*
	Nombre de STEP présentes dans les données fournies	% représentatif par rapport au nombre de STEP total du bassin	Nombre de STEP sur les données fournies ayant évacué des boues en 2007	% représentatif par rapport au nombre de STEP total du bassin
Agence de l'Eau Adour-Garonne	-	-	-	-
Agence de l'Eau Artois-Picardie	454	100%	329	74%
Agence de l'Eau Loire-Bretagne	2014	37%	1264	23%
Agence de l'Eau Rhin-Meuse	429	75%	412	72%
Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse	5053	100%	1498	31%
Agence de l'Eau Seine-Normandie	2412	99%	1381	57%
<b>TOTAL</b>	<b>10 362</b>	<b>75%</b>	<b>4 884</b>	<b>35%</b>

\* Le nombre de STEP total du bassin est issu de l'étude RECORD de 2007 et présenté dans le tableau 1 (données de 2004).

Il est important de noter que ces résultats sont à prendre avec précautions. Ils proviennent de 6 agences de l'eau, elles-mêmes combinant les données d'environ 90 SATESE différents. Les marges d'erreurs sont très importantes. En effet, chaque SATESE possède sa propre façon de fonctionner, et ne fournit pas nécessairement les mêmes données aux agences de l'eau.

De plus, dans chaque bassin hydrographique, les informations demandées ne sont pas forcément les mêmes et ne combinent pas le même degré de précisions.

Les types de données fournies par les agences de l'eau sont présentés en Annexe.

Après synthèse de ces données, seulement 15 systèmes de traitement des boues ont été identifiés (en additionnant tous les bassins hydrographiques). Certains bassins présentent une plus grande variabilité des traitements que d'autres. Par exemple, 12 systèmes de traitement ont été identifiés dans les Agences de l'Eau Loire-Bretagne ou Rhône-Méditerranée-Corse, et seulement 4 systèmes dans l'Agence de l'Eau Seine-Normandie.

Ceci peut-être expliqué par plusieurs raisons :

- Les données des filières de traitement des boues de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie proviennent d'un logiciel "Poupée", lequel n'est plus utilisé, et n'est donc plus actualisé depuis plusieurs années,
- Les informations combinées au sein de chaque Agence de l'Eau ne possèdent pas le même degré de précision, et il est donc impossible de réaliser une réelle base comparative.

L'ensemble des systèmes n'a pas pu être facilement identifié.

Il serait donc important dans un avenir proche de pouvoir homogénéiser les données au sein des six Agences de l'Eau, afin que les paramètres de traitement des boues aient le même degré de précision et que des analyses comparatives fiables et représentatives de la réalité puissent être réalisées.

De plus pour la plupart des Agences de l'Eau, excepté Artois-Picardie, la nature des boues sortant des stations d'épuration n'est pas répertoriée ; ainsi, il n'est pas directement possible de définir les filières d'élimination des boues en fonction de la nature de celles-ci.

Dans la première partie du rapport, nous avons établi quatre natures de boues en fonction de leurs scissités ainsi que les différents traitements possibles, et les scissités finales potentielles des boues pour ceux-ci.

De ce fait, en combinant les deux données, il est possible d'extrapoler la nature des boues en fonction du traitement (tableau 12).

**Tableau 12 : Extrapolation de la nature des boues en fonction du traitement du traitement**

Niveau maximum de traitement des boues	Nature des boues obtenues
Pas de traitement	Boues liquides
Épaississement	Boues liquides épaissies
Déshydratation	Boues pâteuses ou solides
Séchage	Boues sèches

Par exemple :

L'épaississement est une technique offrant au maximum une scissité de 8%.

En dessous de 10%, les boues sont considérées comme étant liquides, donc l'épaississement donne des boues liquides.

L'épaississement et la déshydratation combinés donne des boues dont la scissité varie entre 15 et 40%.

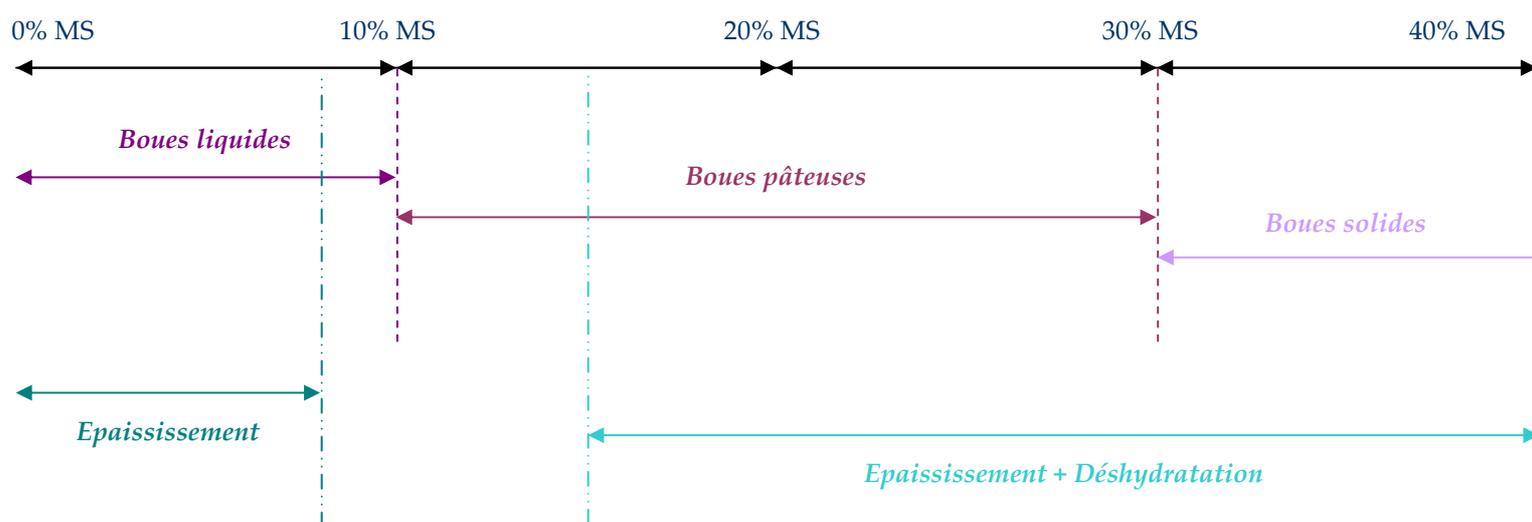
Or de 10% à 30%, les boues sont considérées comme étant pâteuses, et au dessus de 30%, elles sont considérées comme étant solides.

Ainsi, l'épaississement associé à la déshydratation donnera des boues pâteuses ou solides.

Cependant, l'élimination par les stations d'épuration de boues pâteuses et solides ne peut-être distinguée. En effet, celles-ci sont obtenues par des traitements de déshydratations différents, lesquels donnent des scissités variant de 15 à 40 %.

Or de 10 à 30 % de scissité les boues sont pâteuses, et au-delà de 30 % elles sont solides.

Il pourrait donc sembler intéressant de développer les données des agences de l'eau concernant la nature des boues qui partent dans telle ou telle filière de valorisation.

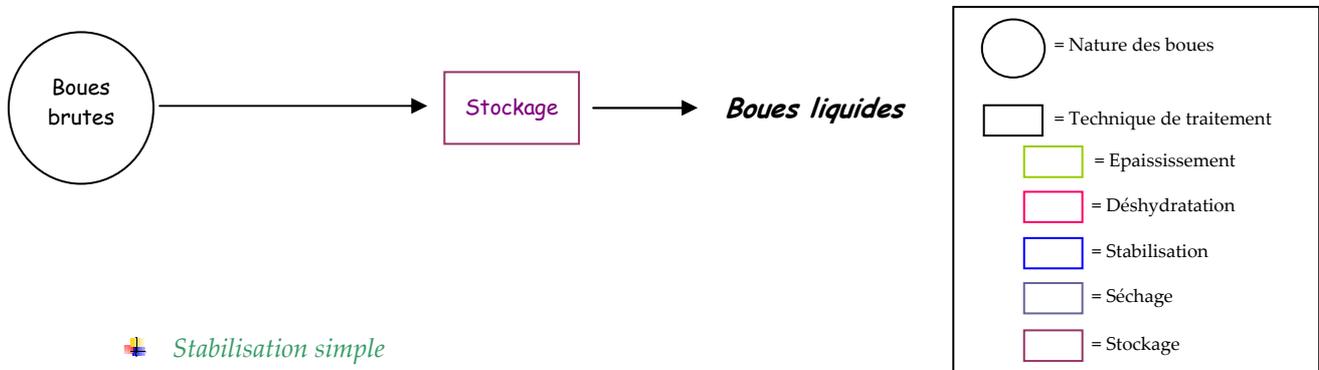


**Figure 7 : Représentation schématique des scissités des boues en fonction du traitement de celles-ci**

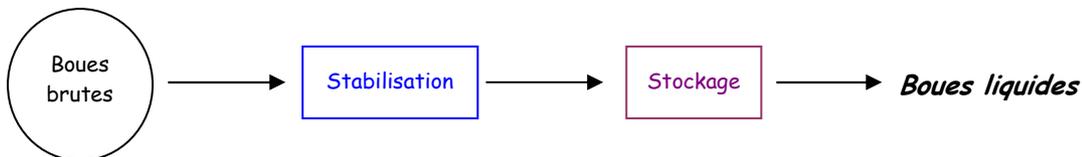
## 2. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES BOUES IDENTIFIES

### 2.1. Les boues Liquides

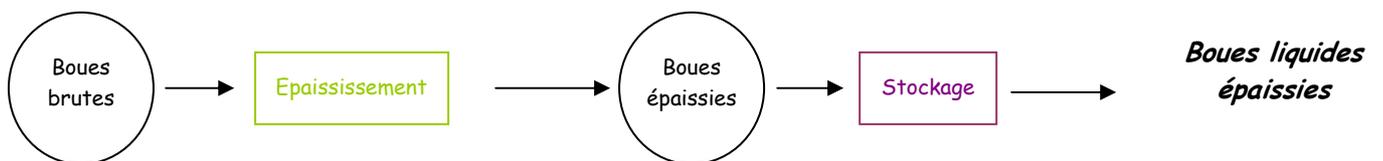
#### Aucun traitement des boues



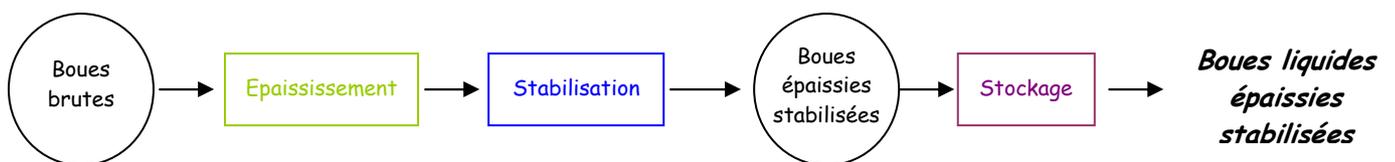
#### Stabilisation simple



#### Epaissement + Stockage

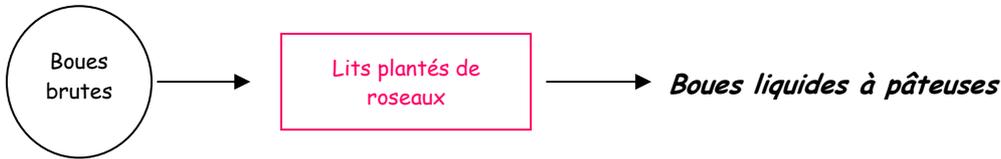


#### Epaissement + Stabilisation + Stockage



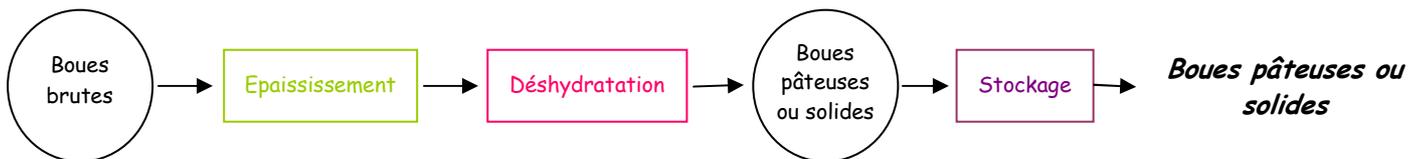
### 2.2. Les boues liquides à pâteuses

🚧 *Déshydratation naturelle par lits plantés de roseaux*

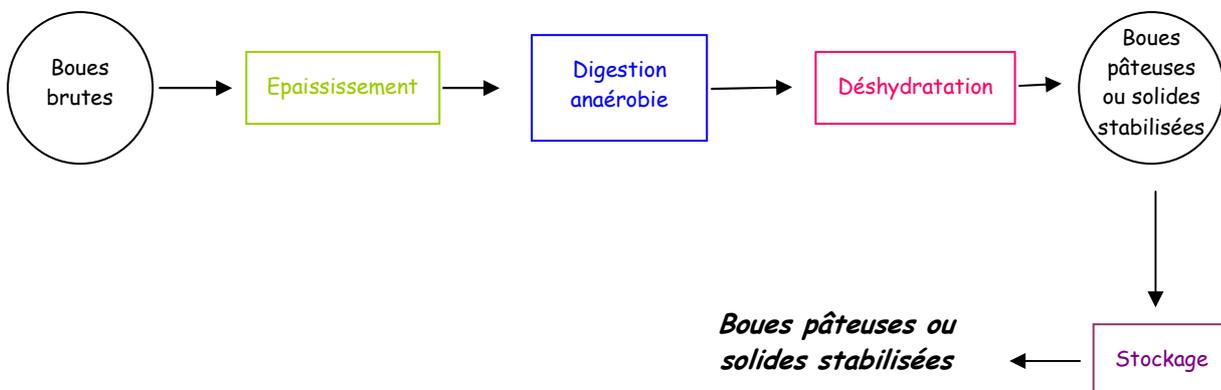


### 2.3. Les boues pâteuses ou solides

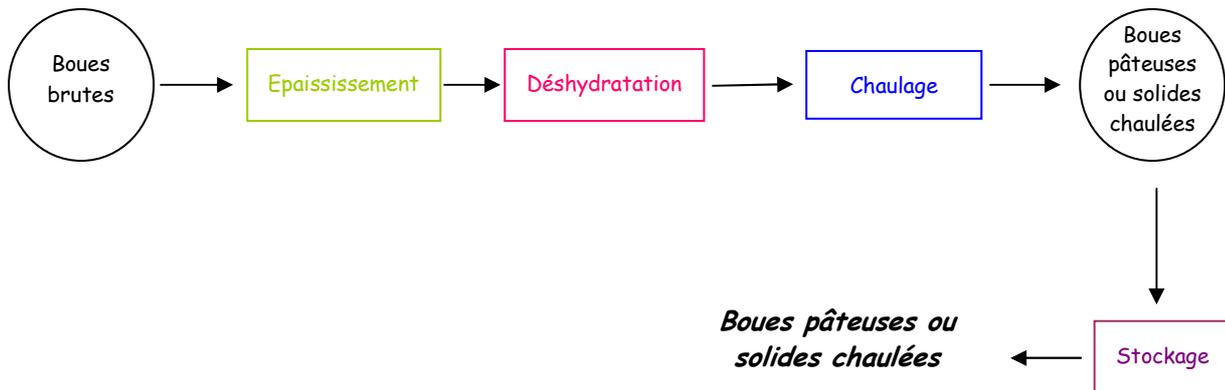
🚧 *Epaississement + Déshydratation + Stockage*



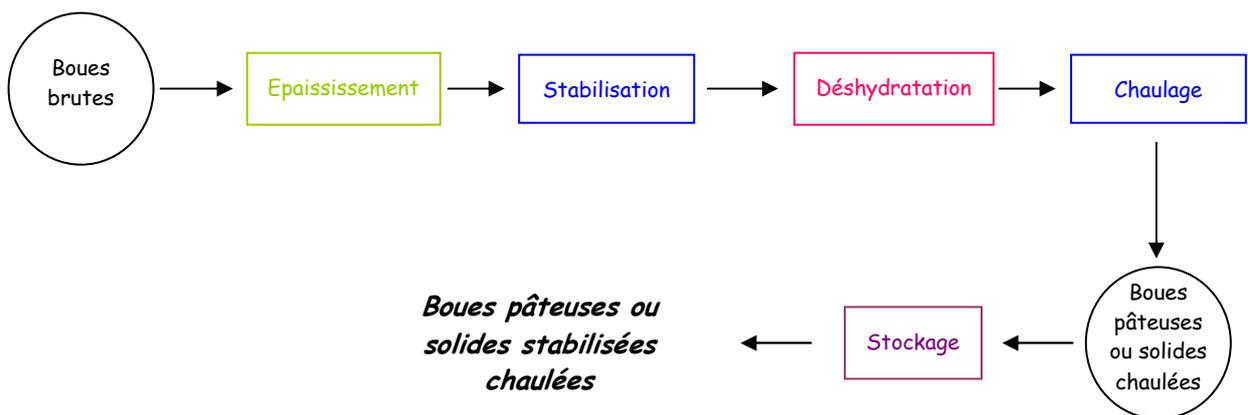
🚧 *Epaississement + Stabilisation + Déshydratation mécanique + Stockage*



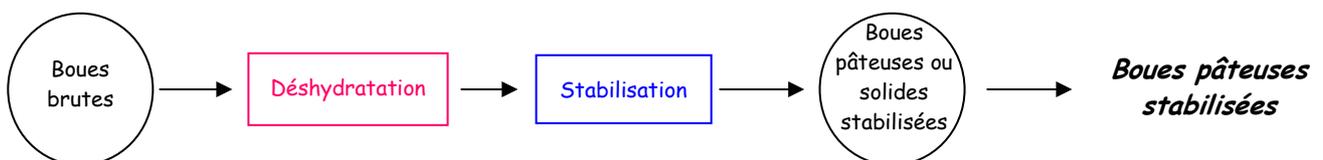
 *Epaississement + Déshydratation mécanique + Stabilisation + Stockage*



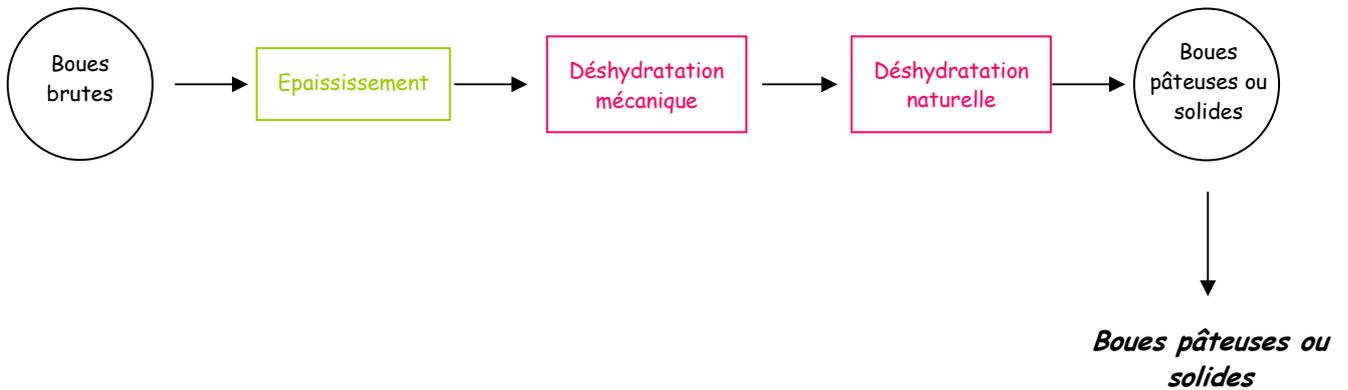
 *Epaississement + Stabilisation + Déshydratation mécanique + Chaulage + Stockage*



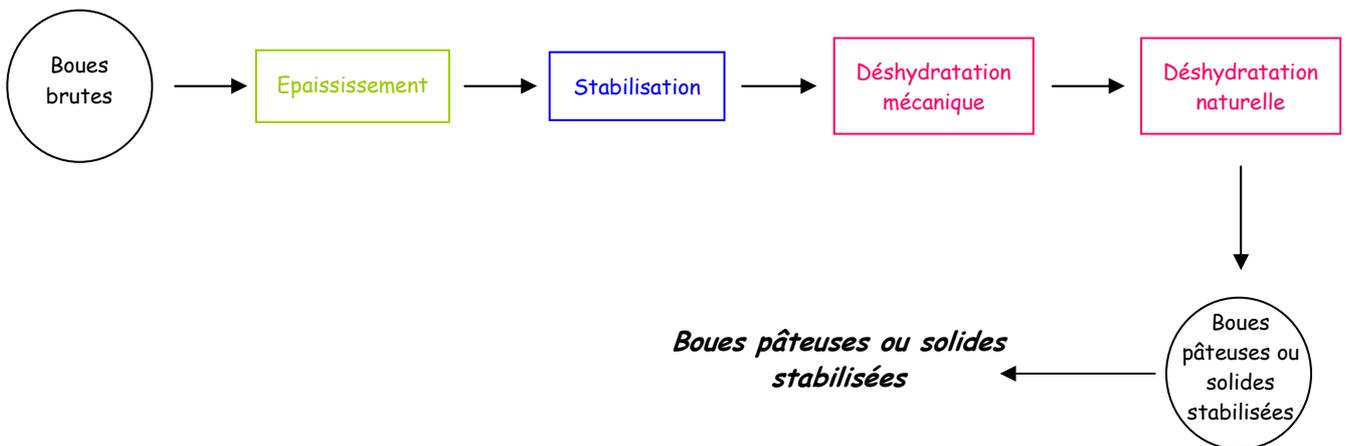
 *Déshydratation naturelle + stabilisation*



 *Epaississement + Déshydratation mécanique + Déshydratation naturelle + Stockage*

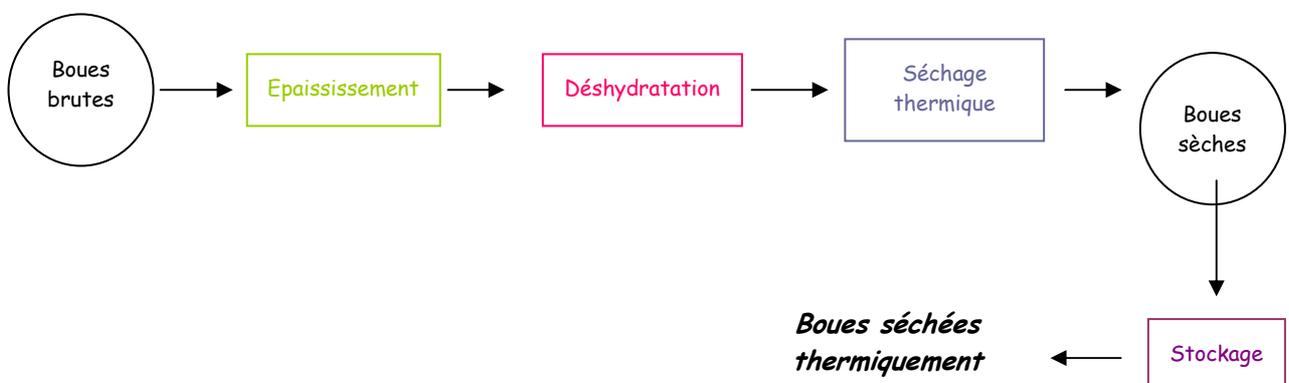


 *Epaississement + Stabilisation + Déshydratation mécanique + Déshydratation naturelle*



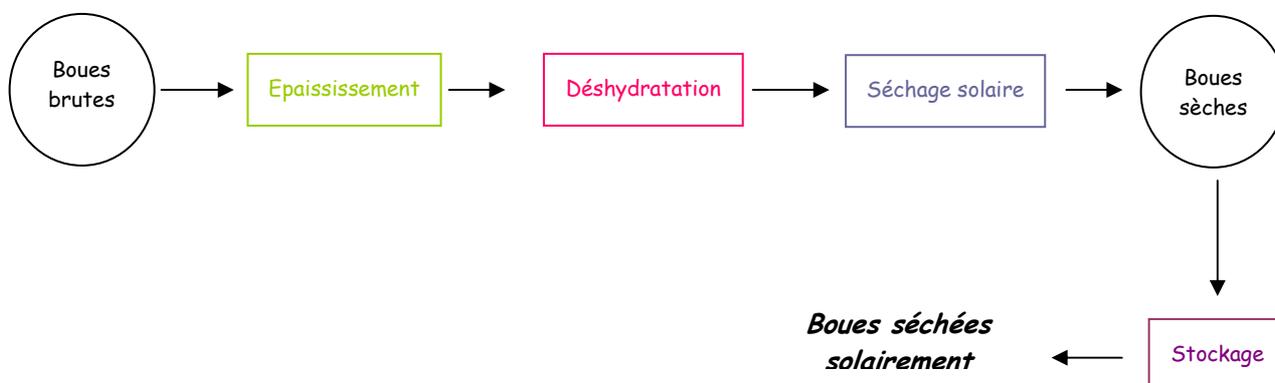
**2.4. Les boues solides ou sèches**

 *Epaississement + Déshydratation mécanique + Séchage thermique*



 *Epaississement + Déshydratation mécanique + Séchage solaire*

NB : il existe des stations à séchage solaire, mais non recensées dans les filières de traitement des boues



Les stations d'épuration sont construites au cas par cas, il est donc difficile de réaliser une typologie globale représentative de la France entière. Chaque station présente son propre dimensionnement, son type de traitement et son type de valorisation, dépendant fortement des contraintes socio-économiques locales.

### 3. REPARTITION DES FILIERES DE TRAITEMENT ET DES VOIES D'ELIMINATION DES BOUES EN FRANCE

Les résultats présentés excluent ceux de l'agence de l'eau Adour-Garonne. En effet, ceux-ci ne présentent pas la description de la filière de traitement et de valorisation des boues pour chaque station d'épuration.

La répartition des voies de traitement et d'élimination des boues d'épuration se fait selon la quantité de boues évacuées.

La réflexion est basée sur le tonnage de boues et non pas sur le nombre de stations d'épuration pour plusieurs raisons :

- Une même station d'épuration peut présenter plusieurs voies d'élimination des boues,
- Une station peut également avoir plus d'une seule voie de traitement pour ses boues.

Ainsi, en résonnant sur les quantités, 822 940 tonnes de matières sèches ont été comptabilisés.

Cette valeur est inférieure à la quantité totale de boues évacuées par les stations françaises en 2007 (947 939 tonnes) pour les raisons suivantes :

- Dans les données brutes, certaines stations ne présentaient pas de filière de traitement des boues,
- D'autres stations présentaient le process de traitement, mais pas la voie d'élimination.

De ce fait, ces données n'ont pu être utilisées pour la typologie des voies d'élimination.

Le tableau 13 et la figure 8 présentent la répartition des voies d'évacuation des boues en fonction des filières de traitement de celles-ci pour des données de 2007.

**Tableau 13 : Répartition de la quantité de boues évacuées par filière de traitement des boues en France en 2007 (excepté Agence de l'Eau Adour-Garonne)**

Nature des boues	Traitement	Epandage	Compostage	Incinération	Décharge	Autres	TOTAL
<i>Liquides</i>	Aucun	2,15%	0,35%	0,10%	0,03%	0,05%	<b>2,7%</b>
	Stabilisation	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	<b>0,0%</b>
	Epaississement	2,78%	1,02%	0,21%	0,14%	0,19%	<b>4,3%</b>
	Epaississement + Stabilisation	0,54%	0,62%	0,14%	0,00%	0,22%	<b>1,5%</b>
<i>Liquides à pâteuses</i>	Déshydratation naturelle	1,18%	0,33%	0,08%	0,05%	0,06%	<b>1,7%</b>
<i>Pâteuses ou solides</i>	Epaississement + Déshydratation	24,16%	19,64%	9,04%	17,92%	0,34%	<b>71,1%</b>
	Epaississement + Stabilisation + Déshydratation	2,52%	1,72%	0,35%	0,93%	0,02%	<b>5,5%</b>
	Epaississement + Déshydratation + Stabilisation	6,31%	0,48%	0,71%	1,01%	0,00%	<b>8,5%</b>
	Epaississement + Stabilisation + Déshydratation + Stabilisation	0,28%	0,03%	0,24%	0,18%	0,00%	<b>0,7%</b>
	Déshydratation + Stabilisation	0,09%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	<b>0,1%</b>
	Epaississement + Déshydratation mécanique + Déshydratation naturelle	0,72%	0,18%	0,02%	0,28%	0,00%	<b>1,2%</b>
	Epaississement + Stabilisation + Déshydratation mécanique + Déshydratation naturelle	0,03%	0,09%	0,09%	0,00%	0,04%	<b>0,3%</b>
	Epaississement + Déshydratation + Séchage	1,47%	0,22%	0,09%	0,55%	0,00%	<b>2,3%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>42,26%</b>	<b>24,68%</b>	<b>11,08%</b>	<b>21,09%</b>	<b>0,92%</b>	<b>100%</b>



Les résultats présentés traduisent l'importance de la filière "Épaississement + Déshydratation" (mécanique ou naturelle), avec plus de 70 % des tonnages de boues évacués traitées par ce process. De plus, près des 2/3 de ces boues partent en filière d'épandage et de compostage.

D'autres traitements, comme la "stabilisation", "la déshydratation + stabilisation", "l'épaississement + Stabilisation + déshydratation mécanique + déshydratation naturelle" sont très faiblement représentés, d'où l'absence de barre dans l'histogramme.

Enfin, dans toutes les filières de traitement, il est facile de noter une prédominance des filières de valorisation agricole par épandage ou compostage.

**Ces résultats sont tout de même à prendre avec précautions.**

En effet, il est possible que les filières de traitement des boues pour chaque station ne soient pas exhaustives.

Par exemple, dans une station, il est possible que les boues soient traitées par le système suivant :

"Épaississement + Déshydratation + Chaulage",

Alors que seulement l'épaississement et la déshydratation seront notés dans sa filière de traitement.

Ainsi, les boues de cette station seront intégrées à la filière : "Épaississement + Déshydratation", alors que ce ne sera pas le cas.

A la vue des résultats présentés dans cette étude, les boues sont majoritairement traitées par épaissement et déshydratation en France. Ce procédé présente une alternative intéressante, il permet de réduire le volume des boues de façon suffisante tout en présentant des coûts limités de fonctionnement.

Une fois traitées, ces boues sont dans près de la moitié des cas envoyées vers une filière d'élimination biologique par épandage ou compostage, et ce grâce aux coûts plus intéressants de ces techniques.

Aujourd'hui, le compostage est en voie de développement, notamment grâce à la mise en place de la norme NFU 44-095 ; les boues acquièrent le statut de produit valorisable et peuvent être commercialisées.

La mise en décharge, interdite, comme le prévoit la loi, est en recul permanent depuis quelques années, malgré 10% du tonnage de boues qui restait enfoui en 2007.

Les enquêtes menées, ainsi que les résultats de l'étude, ont permis de mettre en avant 4 points principaux :

- Chaque agence de l'eau possède son propre fonctionnement tant dans les données qui sont collectées auprès des SATESE que dans la façon de gérer et stocker ces données.  
Ainsi, il est difficile de réaliser une synthèse de ces résultats qui sont différents dans leur degré de précision et leur accessibilité. Il pourrait paraître important d'homogénéiser le fonctionnement des six agences de l'eau entre elles.
- Les agences de l'eau possèdent beaucoup d'informations concernant la filière eau d'une station d'épuration ; en revanche, la filière boues reste parfois incomplète voire inexistante dans certains cas.  
Il pourrait donc être important de renseigner avec une plus grande attention les données du traitement des boues en France.
- Les agences de l'eau sont dans 4 cas sur 6 incapables de fournir la nature des boues qui sont éliminées des stations d'épuration.  
Ainsi, l'étude a été menée sur une extrapolation de la filière des boues afin d'avoir une idée de la nature des boues.  
Il pourrait donc sembler intéressant de développer les données des agences de l'eau concernant la nature des boues et leurs filières de valorisation respectives.
- La typologie ainsi que la prédominance de telle ou telle filière est uniquement basée sur les données issues des enquêtes. Comme le montrent les points précédents, ces données restent incomplètes. **Ainsi, les conclusions présentées ici donnent des grandes tendances, mais ne sont en aucun cas à prendre comme valeurs absolues.**

La prochaine étude portera sur l'évaluation de l'impact environnemental de ces filières de traitement et de valorisation des boues. Elle sera prioritairement ciblée sur les voies préférentielles d'élimination identifiées ici (épaissement+déshydratation / épandage / compostage).

**BIBLIOGRAPHIE**

- ADEME (2000). Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Paris, ADEME Editions. Dossier documentaire, 59 pages + 21 fiches.
- ADEME et CEMAGREF (1999). Les coûts de traitement et de recyclage agricole des boues d'épuration urbaines. Paris, ADEME Editions. Rapport final, 208 pages.
- Adler, E. Le Maire et les boues d'épuration - Guide pratique pour les collectivités locales. Association des Maires de France. Rapport final, 97 pages.
- Adler, E. (2009). Filières et traitements des boues d'épuration en France. Cahiers de l'ASEES 14 (2009) 55-73, 19 pages.
- Arthur ANDERSEN Environnement (1999). Audit Environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines. Synthèse, Les études des Agences de l'Eau n°70, Paris, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 28 pages.
- Arthur ANDERSEN Environnement (1999). Audit Environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbain. Pré-étude de définition, analyse environnementale (Annexe), Les études des Agences de l'Eau n°70, Paris, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 153 pages.
- Banegas, V., J. L. Moreno, et al. (2007). "Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust." Waste Management 27(10): 1317-1327.
- Fytli, D. and A. Zabaniotou (2008). "Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 12(1): 116-140.
- Genç, N., A. Yonselems, et al. (2002). "Wet oxidation: A pre-treatment procedure for sludge." Waste Management 22(6): 611-616.
- Le Strat, P. "Les procédés "écologiques" pour le traitement des boues urbaines." L'eau, l'industrie, les nuisances, n°286, 83-87.
- Liénard, A., S. Troesch, et al. (2006). Traitement et valorisation des boues par lits plantés de roseaux : bilans des réalisations françaises et danoises et perspectives d'avenir. Communication à un congrès.
- Liénard, A., S. Troesch, et al. (2008). "Valorisation des boues traitées en lits plantés de roseaux : premiers retours d'expérience des curages-épandages sur quelques stations françaises." Ingénieries-EAT Numéro spécial.
- Odegaard, H., B. Paulsrud, et al. (2002). "Wastewater sludge as a resource : sludge disposal strategies and corresponding treatment technologies aimed at sustainable handling of wastewater sludge." Water science and technology 46(10): 295-303.
- OTV (1997). Traiter et valoriser les boues. Ouvrage collectif, Collection OTV, Editions Lavoisier, 454 pages.
- Pérez-Elvira, S. I., P. Nieto Diez, et al. (2006). "Sludge minimisation technologies." Re-views in Environmental Science and Biotechnology 5(4): 375-398.
- RECORD (2007). Revue des filières de traitement/valorisation des boues - Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associé n°05-0132/1A: 194.
- Rulkens, W. (2008). "Sewage sludge as a biomass resource for the production of energy: Overview and assessment of the various options." Energy and Fuels 22(1): 9-15.

**TEXTES DE LOI :**

Conseil communautaire, Directive n° 75/442/CEE du 15/07/75 relative aux déchets.

Conseil d'Etat, Loi n° 75-633 du 15/07/75 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux.

Conseil communautaire, Directive n° 86-278 du 12/06/86 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture.

Conseil communautaire, Directive 91/271/CEE, du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.

Conseil d'Etat, Loi n°92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Conseil d'Etat, Décret n°94-469 du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1-1 et L. 372-3 du code des communes.

Conseil d'Etat, Décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Conseil d'Etat, Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Conseil communautaire, Directive n° 1999/31/CE du 26/04/99 concernant la mise en décharge des déchets.

Parlement européen et Conseil communautaire, Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Conseil d'Etat, Arrêté du 20/09/02 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux.

Conseil d'Etat, Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques.

**SITES WEB UTILES :**

INRA, Epandage agricole des boues de stations d'épurations d'eaux usées urbaines.  
[www.inra.fr/dpenv/lesboues.htm](http://www.inra.fr/dpenv/lesboues.htm)

Système d'Information et d'Observation de l'Environnement – Déchets ménagers – Traitements-Usines d'incinération des ordures ménagères.  
[www.sinoe.org/index.php](http://www.sinoe.org/index.php)

## BASSIN ARTOIS-PICARDIE

Nom unité de production	Capacité	Traitement eau stat	Type de boues produites	Etat physique de la boue	Epandage (TMS) par file	Compostage (TMS avant compostage)	Décharge	Incineration	Végétalisation	Autre step	Tonnage compostage (TMS ap compostage)
BEAUREVOIR SE	1 500	Lagunage			0,00						
BOHAIN EN VERMANDOIS SE	12 500	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	15,91						
BOHAIN EN VERMANDOIS SE	12 500	Boues activées faible charge	Boue déshydratée par filtre presse chaulée	Solide	101,82						
BOUE SE	1 800	Boues activées moyenne/forte charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	13,20						
CLASTRES SE	530	Lagunage			0,00						
DURY SE	2 200	Boues activées faible charge	Boues centrifugées non chaulées	pâteux	0,00	10,30					20,60
ETREUX SE	3 500	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	0,00			11,75			
FRESNOY LE GRAND SE	7 800	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	41,92						
GOUY SE	1 100	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	16,29						
JUSSY SE	9 000	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	30,60						
JUSSY SE	9 000	Boues activées faible charge	Boue déshydratée par filtre presse chaulée	Solide	55,40						
LE NOUVION EN THIERACHE SE	5 000	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	12,48						
LEHAUCOURT SE	1 900	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	28,13						
MARCY SE	200	Lagunage			0,00						
SERAUCOURT- GRAND (ARTEMPS) SE	1 500	Boues activées moyenne/forte charge	Boues centrifugées non chaulées	pâteux	0,00	23,60					47,20
ST QUENTIN (GAUCHY) SE	151 000	Boues activées faible charge	Boue déshydratée par filtre presse chaulée	Solide	2663,64						
ST SIMON SE	800	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	0,00					3,10	
VAUX ANDIGNY SE	1 500	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	10,00						
VERMAND SE	6 000	Boues activées faible charge	Boue épaissie gravitairement	Liquide	78,80						
WASSIGNY SE	1 200	Boues activées faible charge	Boue épaissie mécaniquement	Liquide	0,00						
AIBES SE	350	Lagunage			0,00						

## BASSIN LOIRE-BRETAGNE

Dpt	Commune	Nom ouvrage	Capacité	filières boues			Boues produites (t MS / an)	Boues évacuée	incinération	décharge	Compostage	épandage
28	JANVILLE	BOURG	3 000	Déshydratation mécanique		Stockage						
28	MONTLANDON	MONTLANDON BOURG	300	Déshydratation naturelle								
28	PRUNAY-LE-GILLON	BOURG	1 100		Epaissement	Stockage						
28	TOURY	BOURG	5 000		Epaissement	Stockage						
03	AINAY-LE-CHATEAU	BOURG DE AINAY LE CHATEAU	1 300	Déshydratation naturelle	Epaissement							
03	ARFEUILLES	LE BOURG CHASSIGNOL	550	Déshydratation naturelle								
03	AVERMES	STEP DE MOULINS	50 000	Déshydratation mécanique	Epaissement	Stockage						
03	BEAULON	les droyers	585		Epaissement	Stockage	965,00	965,00			38,60	926,40
03	BELLENAVES	Les Chaises	1 000		Epaissement	Stockage						
03	BESSAY-SUR-ALLIER	PRES DE LA GARE	3 500		Epaissement	Stockage	16,15	16,15				16,15
03	BESSON	R.D. 232	250			Stabilisation	1,20	1,20				1,20
03	BEZENET	PROXIMITE GARE	850		Epaissement	Stockage						
03	BOURBON-L'ARCHAMBAULT	BOURBON (C.D. 139)	4 250	Déshydratation mécanique		Stockage	4,35	4,35				4,35
03	BRANSAT	BRANSAT	250			Stabilisation	38,00	11,40				11,40
03	BRESNAY	BOURG DE BRESNAY	200			Stabilisation						
03	BRESSOLLES	en bordure de la RN 9	600			Stockage						
03	BRETHON	Rue des RIBONS	300	Déshydratation naturelle			4,60	4,60				4,60
03	BREUIL	CD 471	280	Déshydratation naturelle								
03	BUSSET	Bourg	500			Stockage						
03	BUXIERES-LES-MINES	proche du CD 68	1 020			Stockage						
03	CERILLY	CERILLY	1 850		Epaissement		7,44	7,44				7,44
03	CHAPELAUDE	CD 149	445			Stockage	8,74	8,74				8,74

## BASSIN RHIN-MEUSE

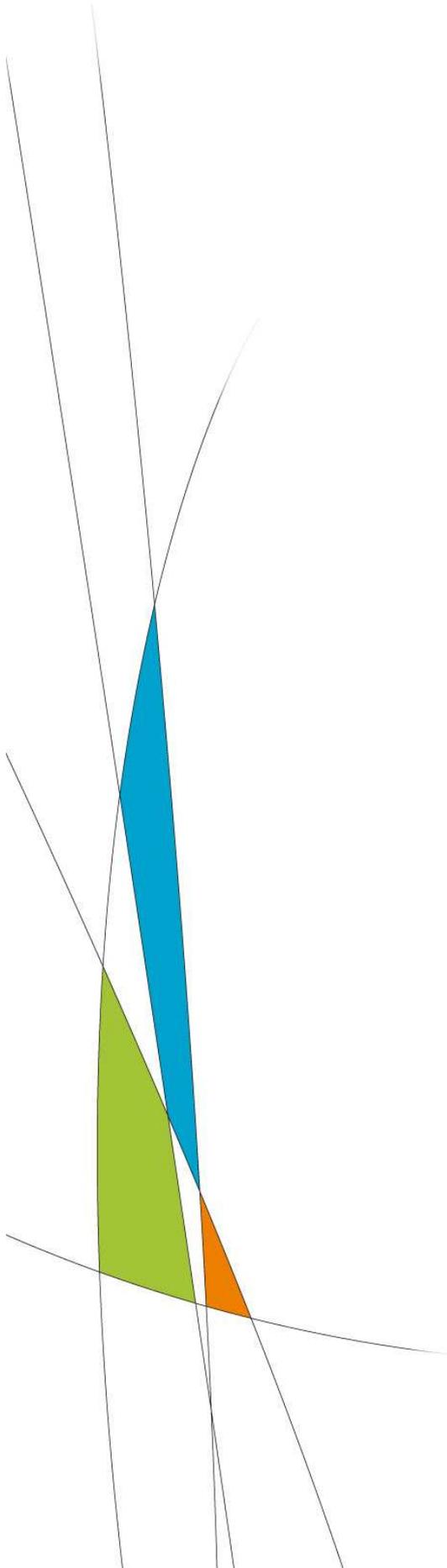
code SANDRE step	Classement	NOM SE	type	tonnage MS hors chaux	T BRUT (M3 OU T)	T MS	SICCITE	DESTINATION	chaux (en t)	Boues	Boues	Boues
025757200247	RA	REMILLY	BA	30,4	1128	30,4	3,3	recyclage agricole direct	0	épaississement		
025708900129	RA	BITCHE	BA	104	2210	104	4,7	recyclage agricole direct		épaississement		
025766300271	COMPOSTAGE	TALANGE	BA	546	3335	546	16,4	Compostage Natura Verde Juvigny sur Loison		épaississement		
026728100845	COMPOSTAGE	MARCKOLSHEIM	BA	167	5812	167	2,9	compostage Agrivalor Bergheim	0	épaississement		stockage
028821801632	COMPOSTAGE	GRANGES SUR VOLOGNE	BA	17,5	5560	17,5		compostage Lorcompost	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025729901597	COMPOSTAGE	HARTZVILLER	BA	33,65	147	33,65	23	compostage Sarrebourg		épaississement	Déshydratation mécanique	
028815801225	COMPOSTAGE	ELOYES	BA	87,9	293	87,9	30	compostage Ménarmont	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025717701596	COMPOSTAGE	DIEUZE	BA	90	165	90	55	compostage Saulnois Compost		épaississement	Déshydratation mécanique	
026749501123	COMPOSTAGE	TRUCHTERSHEIM	BA	147	486	147	30,3	compostage Nancy Compost Erbeviller	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
026744800762	COMPOSTAGE	SCHIRMECK	BA	160	1081	160	15	compostage ABCDE	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025512200097	RA	COMMERCY	BA	196	1227	196	16	recyclage agricole	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
026717301445	COMPOSTAGE	GRIESHEIM SUR SOUFFEL	BA	204	734	204	27,8	compostage nancy compost Port/Seille	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025736000195	COMPOSTAGE	KERBACH	BA	264,57	937	264,57	28	compostage Humus Innovation		épaississement	Déshydratation mécanique	
025743301717	COMPOSTAGE	MAIZIERES-LES-METZ	BA	294	1084	294	27,1	Compostage Natura Verde Juvigny sur Loison		épaississement	Déshydratation mécanique	
026829800458	RA	STE MARIE AUX MINES	BA	299	1150	299	26	recyclage agricole direct	60,7	épaississement	Déshydratation mécanique	
026730101266	RA	MOMMENHEIM	BA	315	984	315	32	recyclage agricole direct	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025443101250	COMPOSTAGE	PONT A MOUSSON	BA	352,49	1446	352,49	24,4	compostage Meuse Compost	x	épaississement	Déshydratation mécanique	
025439701614	COMPOSTAGE	NEUVES-MAISONS	BA	384,3	1142	384,3	33,65	compostage Valorbio Toul	x	épaississement	Déshydratation mécanique	
028819600842	COMPOSTAGE	GERARDMER	BA	426	1420	426	31	compostage Ménarmont	0	épaississement	Déshydratation mécanique	
025749101599	COMPOSTAGE	MOYEUVE GRANDE	BA	453	1810	453	25	Compostage CETV Beaumont	0	épaississement	Déshydratation mécanique	

## BASSIN RHONE-MEDITERRANEE-CORSE

code_step	Nom_step	Capacité	Dispositif_traitement	Nom_Filière_Boue	Nom_équipement_Boue	Destination	Tonnage MS
60901021002	ARS SUR FORMANS	2300	Biologique Simple	Déshydratation mécanique	STOCKAGE DES BOUES DÉSHYDRATÉES	Épandage	14435
60901021002	ARS SUR FORMANS	2300	Biologique Simple	Épaississement	TABLE D'ÉGOUTTAGE	Épandage	14435
60901021002	ARS SUR FORMANS	2300	Biologique Simple	Stockage	SILO POUR BOUES LIQUIDES	Épandage	14435
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Déshydratation mécanique	FILTRE PRESSE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Épaississement	APPAREIL DE PRÉLÈVEMENT NON PROPORTIONNEL AU DÉBIT	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Épaississement	CHAULAGE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Épaississement	ENREGISTREMENT DES DÉBITS DE BOUE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Épaississement	ÉPAISSISSEUR STATIQUE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Épaississement	PUITS À BOUE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Stabilisation	STABILISATION AÉROBIE	Compost pour épandage	234500
60901033001	BELLEGARDE SUR VALSERINE	18000	Biologique Simple	Stabilisation	TURBINE	Compost pour épandage	234500
60901034001	BELLEY CHEF LIEU	20000	Biol. / Nitrif.	Déshydratation mécanique	STOCKAGE DES BOUES DÉSHYDRATÉES	Épandage	245280
60901034001	BELLEY CHEF LIEU	20000	Biol. / Nitrif.	Épaississement	ENREGISTREMENT DES DÉBITS DE BOUE	Épandage	245280
60901034001	BELLEY CHEF LIEU	20000	Biol. / Nitrif.	Stabilisation	STABILISATION AÉROBIE	Épandage	245280
60901043001	BEYNOST ST MAURICE DE BEYNOST	10600	Biol. / Nitrif.	Déshydratation mécanique	FILTRE À BANDE	Compost pour épandage	149193
60901043001	BEYNOST ST MAURICE DE BEYNOST	10600	Biol. / Nitrif.	Épaississement	ÉPAISSISSEUR STATIQUE	Compost pour épandage	149193
60901089002	CHATEAU GAILLARD AMBERIEU	33000	Biol. / Nitrif. / Dénitrif.	Déshydratation mécanique	FILTRE PRESSE	Épandage	396280
60901089002	CHATEAU GAILLARD AMBERIEU	33000	Biol. / Nitrif. / Dénitrif.	Épaississement	APPAREIL DE PRÉLÈVEMENT NON PROPORTIONNEL AU DÉBIT	Épandage	396280
60901089002	CHATEAU GAILLARD AMBERIEU	33000	Biol. / Nitrif. / Dénitrif.	Épaississement	CHAULAGE	Épandage	396280
60901089002	CHATEAU GAILLARD AMBERIEU	33000	Biol. / Nitrif. / Dénitrif.	Épaississement	ENREGISTREMENT DES DÉBITS DE BOUE	Épandage	396280
60901089002	CHATEAU GAILLARD AMBERIEU	33000	Biol. / Nitrif. / Dénitrif.	Épaississement	ÉPAISSISSEUR RACLÉ	Épandage	396280

BASSIN SEINE-NORMANDIE

Code de la STEP	STEP active	Quantité épanchée (tMS/an)	Quantité incinérée (tMS/an)	Quantité valorisée compost (tMS/an)	Quantité mise en décharge (tMS/an)	Qté envoyée sur autre STEP (tMS/an)	Traitement Boues
038905001000	Oui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	LIT DE SECHAGE
035123701000	Oui	0,00	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
035130801000	Oui	0,00	0,00	0,00	0,00		AUTRE
037675001000	Oui	2,21	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
036139102000	Oui	4,20	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
032835702000	Oui	0,00	0,00	6,00	0,00		FILTRE PRESSE
037675201000	Oui	6,05	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
031042601000	Oui	7,00	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
032762901000	Oui	7,13	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
037668301000	Oui	0,00	7,34	0,00	0,00		STOCQUEUR
037726101000	Oui	9,60	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
035142302000	Oui	10,40	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
038933701000	Oui	0,00	0,00	14,60	0,00		LIT DE SECHAGE
031023301000	Oui	15,00	0,00	0,00	0,00		AUTRE
038920101000	Oui	16,00	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
031437001000	Oui	17,10	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
038910001000	Oui	17,50	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
036048101000	Oui	0,00	0,00	17,91	0,00		STOCQUEUR
032829801000	Oui	19,10	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
035116501000	Oui	20,00	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
032758001000	Oui	21,70	0,00	0,00	0,00		PAS D'OUVRAGE SPECIFIQUE
032805901000	Oui	21,96	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
035153101000	Oui	23,00	0,00	0,00	0,00		EPAISSISSEUR
032735501000	Oui	0,00	25,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
037645301000	Oui	25,08	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
032826901000	Oui	25,80	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
036053101000	Oui	26,20	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
031471901000	Oui	26,50	0,00	0,00	0,00		FILTRE A BANDE
036058201000	Oui	27,00	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
039164801000	Oui	0,00	26,00	0,00	1,00		LIT DE SECHAGE
037646401000	Oui	27,13	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR
035034101000	Oui	28,00	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
032700301000	Oui	28,10	0,00	0,00	0,00		EPAISSISSEUR
037731201000	Oui	28,10	0,00	0,00	0,00		LIT DE SECHAGE
031425701000	Oui	28,60	0,00	0,00	0,00		STOCQUEUR



Aujourd'hui les eaux usées françaises sont traitées par près de 17 000 stations d'épuration. Ces nombreuses installations permettent de rejeter dans le milieu naturel une eau compatible avec celui-ci, mais sont inévitablement à l'origine de la production de boues. Au cours des dernières années, la quantité de ces boues n'a cessé d'augmenter ce qui complique l'élimination de celles-ci.

La présente étude offre dans une première partie un aperçu des technologies existantes tant en ce qui concerne les procédés de traitement des boues que les voies de valorisation.

Puis dans une seconde partie, un état des lieux de la situation française en 2007 a été établi.

Ce panorama français permettra, par la suite de réaliser une analyse environnementale des impacts des voies de traitement et de valorisation des boues, en se basant prioritairement sur les techniques les plus développées en France.



Direction générale  
Parc de Tourvoie  
BP 44 - 92163 Antony cedex  
Tél. 01 40 96 61 21  
Fax 01 40 96 62 25  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)