



## Fiche technique

Procédé	<b>Traitement des boues d'épuration</b>	
Types de déchets entrants (Input)		Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides. Ces sédiments résiduels sont surtout constitués de bactéries mortes et de matière organique minéralisée.
Définition 	<p>Les boues d'épurations sont des résidus du traitement des effluents liquides par des stations d'épuration. Ces boues sont constituées de matières organiques et de matières minérales. Elles sont caractérisées par leur taux de matière sèche et leur taux de matière organique. Ces deux paramètres dépendent du mode de traitement des effluents.</p> <p>On distingue donc différents types de boues<sup>1</sup>, en fonction de la nature du traitement épuratif :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les boues primaires sont le résultat de la décantation des effluents. Elles contiennent généralement un taux de matière minérale élevé ;</li> <li>• les boues physico-chimiques sont proches des boues primaires, mais contiennent en plus certains produits flocculant ;</li> <li>• les boues biologiques sont le produit d'un traitement bactérien des effluents. Elles sont riches en matière organique.</li> </ul> <p>En fonction de leurs destinées, les boues subissent différents traitements pour réduire leur teneur en eau, pour les stabiliser et empêcher leur fermentation et pour réduire les risques de contamination biologique. Elles peuvent ensuite être valorisées par épandage agricole, sous forme d'amendement de sol après passage dans un lit de séchage ou une phase de compostage, par méthanisation avec production de biogaz ou par incinération avec cogénération.</p> <p>Si les infrastructures ou les caractéristiques des boues ne permettent pas cette valorisation, elles sont placées en centre de stockage (monodécharge).</p>	
Références juridiques	La <b>Directive 91/271/CEE</b> du Conseil du 21 Mai 91 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines.	
Principales composantes	<p>Une boue<sup>2</sup> est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>la siccité</b> : les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.</li> <li>• <b>le taux de matières volatiles sèches (MVS)</b> : la matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue sur une échelle.</li> <li>• <b>la consistance</b> : c'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité.             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Boues liquides : siccité de 0 à 10 %</li> <li>○ Boues pâteuses : siccité de 10 à 25 %</li> <li>○ Boues solides : siccité de 25 à 85 %</li> <li>○ Boues sèche : siccité supérieure à 85 %</li> </ul> </li> </ul>	

<sup>1</sup> [www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-boue-epuration-7637/](http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-boue-epuration-7637/)

<sup>2</sup> [fr.wikipedia.org/wiki/Boues\\_d%27%C3%A9puration#cite\\_note-23](http://fr.wikipedia.org/wiki/Boues_d%27%C3%A9puration#cite_note-23)

Les différents procédés de traitement



Le traitement des boues d'épuration peut suivre différentes voies :

1. Valorisation matérielle
  - a. Lits de séchage
  - b. Compostage
2. Valorisation énergétique
  - a. Lits de séchage
  - b. Compostage
  - c. Digestion anaérobie
  - d. Incinération
3. Elimination
  - Enfouissement

Schéma des différentes filières de traitement des boues d'épuration :

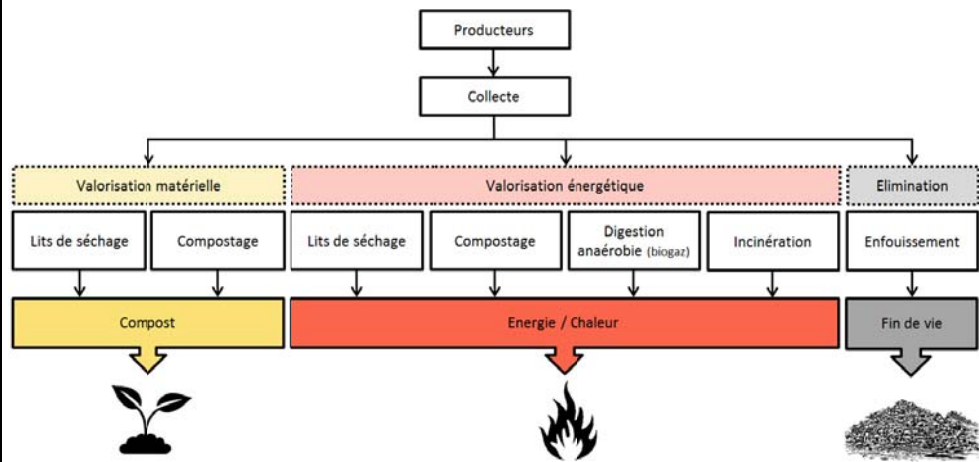


Figure 1 – Les différentes filières de traitement des boues d'épuration

Coûts



Coûts	Coûts variables selon le traitement choisi, la technologie utilisée et la capacité de l'installation <sup>3</sup>
Investissement	A partir de 12 €/tonne ≈ <b>130 MAD/tonne</b>
Exploitation	A partir de 3 €/tonne ≈ <b>30 MAD/tonne</b>

<sup>3</sup> Etude APS pour le traitement et l'entreposage temporaire de boues d'épuration de l'ONAS au site de Mornaguia, Tunisie, réalisée par ICP mbH, 2012

Spécifications du procédé 1a	Lits de séchage
<p data-bbox="188 277 351 336">Description du procédé</p> 	<p data-bbox="440 277 1406 367">A la sortie d'une station d'épuration, les boues ont généralement une siccité comprise entre 18 à 30%. Il existe deux méthodes pour la déshydratation des boues d'épuration en lits de séchage :</p> <p data-bbox="440 385 689 416"><b>Lits de séchage ouvert<sup>4</sup></b></p> <p data-bbox="440 439 1406 887">Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante, à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Les lits de séchage sont constitués de bacs en béton dont le plancher est rendu étanche par une bâche ou un radier béton. Dans la partie inférieure, le massif filtrant, non colmatant, est composé de couches superposées de galets, graviers et sable de granulométries variables. Les boues issues du système épuratoire de la station d'épuration sont directement extraites du clarificateur et transférées après floculation sur le lit. La floculation permet de mieux séparer les boues de l'eau interstitielle et donc d'accélérer la phase de drainage qui devrait être inférieure à 24 h. Ensuite, les boues égouttées séchent en fonction des conditions climatiques, la durée moyenne de séchage étant estimée à 3 semaines. Les boues sont ensuite ratissées manuellement, reprises et stockées dans un endroit approprié (bennes étanches, aire de stockage couverte). Hors incinération, le produit peut être envoyé sur toutes les filières d'élimination. Les eaux de drainage retournent en tête de station d'épuration. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité de minimum 35 - 40 %.</p> <p data-bbox="440 909 1406 967">La photo ci-dessous illustre les lits de séchage des boues ouverts à la station d'épuration de Dakar au Sénégal :</p>  <p data-bbox="638 1536 1212 1568">Figure 2 – Photo de lits de séchage à Dakar, Sénégal<sup>5</sup></p> <p data-bbox="440 1621 740 1653"><b>Lits de séchage sous serres<sup>6</sup></b></p> <p data-bbox="440 1675 1406 1899">Les lits de séchages sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais également pour l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. Ainsi le séchage sous serre permet d'augmenter la siccité des boues à minimum 70%. Le volume des boues est alors diminué. Ces boues séchées peuvent alors être utilisées comme combustible secondaire en cimenterie ou pour une valorisation en agriculture. D'autre part, la résistance des boues est augmentée ainsi que leur stabilité pour l'enfouissement en décharge.</p> <p data-bbox="440 1917 1406 1939">Il existe essentiellement deux systèmes de séchage sous serre. Ces systèmes diffèrent par</p>

<sup>4</sup> Fiche Technique n°2 sur les filières de traitement des boues- Lits de séchage, Conseil Général Seine & Marne

<sup>5</sup> [www.ndei.fr/collectivites/items/dakar---shs.html](http://www.ndei.fr/collectivites/items/dakar---shs.html)

<sup>6</sup> Etude d'APS « Entreposage des boues d'épuration au site de Kabouti, Tunisie », Phase 2, réalisée par ICP mbH, 2010

le mode de brassage des boues sous les serres : le premier système, utilise le « sanglier électrique » qui est une machine à quatre roues entièrement en acier inoxydable. Le deuxième système, nommé « WendeWolf » utilise un cylindre ayant la largeur de la serre pour retourner les boues.

- Sanglier électrique

Avec le système du « sanglier électrique », les boues sont introduites dans la serre grâce à une chargeuse. Elles sont alors retournées et brassées par le sanglier électrique illustré dans la figure ci-après :

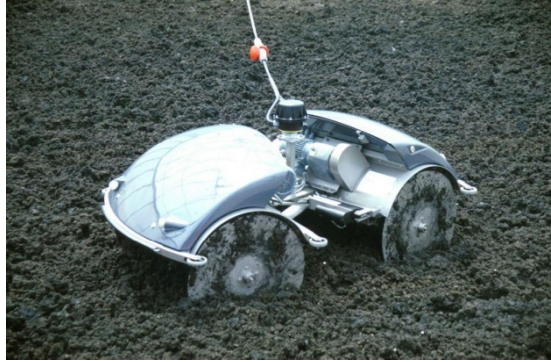


Figure 3 – Photo d'un sanglier électrique (Thermo System)

Le fait de brasser les boues permet le mélange de l'air dans les boues et ainsi évite les conditions anaérobies et donc la formation d'odeurs. Le brassage et l'extraction de l'air sont réalisés dans les serres grâce aux capteurs d'humidité et de température installés dans les serres. Ils sont reliés à un système automatisé.

La figure suivante montre un lit de séchage sous serre :



Figure 4 – Photo d'un lit de séchage sous serre avec sanglier électrique (Thermo System)

- Wendewolf

Le système « WendeWolf » (loup de retournement) consiste à sécher les boues en les retournant mécaniquement par une machine de retournement. Cette dernière est un cylindre ayant la largeur standard de la serre.


La figure suivante illustre le cylindre du système WendeWolf :




Figure 5 – Photo d'un lit de séchage sous serre avec WendeWolf (WendeWolf)

A remarquer que le séchage sans stabilisation des boues ne neutralise pas les germes pathogènes présents dans les boues, et par conséquent, des consignes d'hygiène et de sécurité strictes doivent être respectées sur le site de stockage des boues.

<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédé simple</li> <li>- Permet d'augmenter drastiquement la siccité des boues</li> <li>- Coût d'investissement modéré (peu de Génie Civil)</li> <li>- Conception relativement simple pouvant être réalisée par des petites entreprises</li> <li>- Filière rustique demandant peu de technicité sur le plan de l'exploitation, particulièrement adaptée à une gestion en régie</li> <li>- Plusieurs destinations envisageables : décharge, amendement des sols.</li> <li>- Filière peu consommatrice d'énergie</li> </ul>
<p>Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demande en surface importante pour l'implantation des lits</li> <li>- Problèmes d'odeurs, si l'exploitation de l'installation est inefficace</li> <li>- Nécessité d'une grande rigueur dans la conception et le choix des matériaux filtrants</li> </ul> <p>Dans le cas des lits de séchage ouvert :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contraintes d'exploitation importantes : filière non fonctionnelle en période de gel, séchage inopérant en période très pluvieuse et besoin de main-d'œuvre élevé (ratissage manuel à la fourche et manutention des boues significative)</li> <li>- Coût d'exploitation élevé lié essentiellement au besoin en personnel pour l'enlèvement des boues</li> </ul>

Spécifications du procédé 1b	Compostage
<p>Description du procédé</p> 	<p>Le compostage vise à la stabilisation des déchets ménagers par un processus microbiologique de décomposition aérobique (en présence d'oxygène) de leur fraction biodégradable.</p> <p>Cette décomposition réduit le volume drastiquement et la masse des déchets à enfouir jusqu'à 50 %.</p> <p>Dans le cas d'un matériau entrant de bonne qualité (Input) sans impuretés, il est possible d'obtenir un amendement de sol avec une meilleure capacité de rétention d'eau pour l'aménagement paysager.</p> <p>Pour cela, il existe différentes méthodes :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compostage en pile ouverte</li> <li>2. Compostage en pile fermée <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Avec membrane</li> <li>b. Sous hall</li> </ol> </li> </ol> <p>Pour plus de détails se référer à la fiche technique « Centre de compostage ».</p>
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorisation matérielle comme amendement de sol</li> <li>- Réduction des émissions (lixiviats, gaz)</li> <li>- Réduction de la teneur en eau</li> <li>- Réduction de la quantité de déchets à enfouir en décharge</li> </ul>
<p>Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demande en surface importante</li> <li>- Formation des employés requise</li> <li>- Problèmes d'odeurs, si l'exploitation de l'installation est inefficace</li> </ul>

Spécifications du procédé 2c	Digestion anaérobie / méthanisation
<p>Description du procédé</p> 	<p>La méthanisation, aussi appelée fermentation ou digestion anaérobie, est le processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène qui est réalisée par une communauté microbienne complexe. La matière organique dégradée se retrouve principalement sous la forme de biogaz (à plus de 90%), composé principalement de méthane (CH<sub>4</sub>) et de gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Le reste est utilisé pour la croissance et la maintenance des micro-organismes.</p> <p>La méthanisation des boues d'épuration permet d'obtenir différents produits :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• du biogaz, composé à 50-70% de méthane et qui offre diverses possibilités de valorisation énergétique (production de chaleur, d'électricité, transport du biogaz vers un utilisateur proche).</li> <li>• un digestat désodorisé et hygiénisé. Si la qualité du digestat le permet, celui-ci peut servir au comblement d'anciennes décharges, à la réhabilitation de sites pollués, sur des sols à usage alimentaires ou non alimentaires, sur les espaces verts et jardin. Cependant, une phase de compostage supplémentaire est généralement nécessaire pour traiter ces déchets ligneux plus difficilement dégradables et pour finaliser la maturation de la matière organique.</li> <li>• des eaux résiduaires (ou eaux de process) qui peuvent être utilisées pour l'humidification des sols arides (comme une sorte de fertilisant), pour l'humidification des piles d'une installation de PMB ou pour la fabrication de briques dans une briqueterie par exemple.</li> </ul> <p>Pour plus de détails se référer à la fiche technique « Installation de biogaz / méthanisation ».</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorisation matérielle du digestat comme amendement de sol</li> <li>- Valorisation énergétique du biogaz et possibilité de revenus associés à la vente d'énergie</li> <li>- Réduction des émissions (lixiviats, gaz)</li> <li>- Réduction de la teneur en eau</li> <li>- Réduction de la quantité de déchets à enfouir en décharge</li> <li>- Faible superficie requise</li> <li>- Durée du procédé plus courte que pour le compostage, mais varie selon le type de technologie de digestion</li> <li>- Contrôle optimal des odeurs à priori du fait de digesteurs hermétiques et de bâtiments clos équipés de traitement d'air performant</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie complexe</li> <li>- La méthanisation ne traite que la matière organique et doit donc être combinée avec un autre procédé pour les fractions de déchets non organiques (centre de tri)</li> <li>- Technologie requière des qualités précises et stables de déchets entrants (matière organique, degré d'humidité élevé, valeur du pH, etc.) et donc un tri sévère avant traitement</li> <li>- Technologie nécessite des flux quantitatifs constants</li> <li>- Requier du personnel hautement qualifié et expérimenté</li> <li>- Nécessité éventuelle de prévoir une phase de compostage pour traiter les déchets ligneux plus difficilement dégradables et pour finaliser la maturation de la matière organique</li> <li>- Production excessive d'eau de process (jus). S'il n'existe pas de débouché comme engrais liquide ou d'irrigation, les jus doivent être traités dans une STEP ou dans l'installation de traitement de lixiviats de la décharge à des coûts non négligeables</li> <li>- Coûts d'investissement et d'exploitation plus élevés que pour le compostage</li> </ul>

Spécifications du  
procédé 2d

**Incineration**

Description du  
procédé



L'incinération est une technique qui permet de réduire rapidement le volume des déchets entrants jusqu'à 95%. Mais les cendres restantes doivent encore être éliminées. Les incinérateurs sont généralement utilisés pour détruire les déchets organiques qui présentent des risques élevés pour la santé et l'environnement.

En revanche, l'incinération ne peut se faire que dans un four équipé de dispositifs de traitement de fumées toxiques. Les émissions produites par ces incinérateurs doivent suivre les normes réglementaires et de permettre une production d'énergie efficace. Le pouvoir calorifique élevé des boues séchées intéresse particulièrement les entreprises fortes consommatrices de chaleur, comme les cimentiers, les incinérateurs, etc.

Pour chaque type d'incinérateur et de types de déchets à traiter, le processus varie légèrement. L'illustration ci-après montre le processus d'incinération des déchets de manière générale.

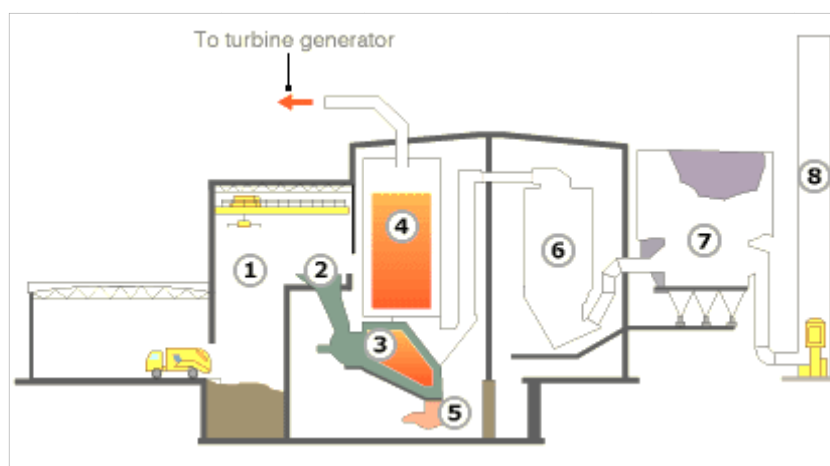


Figure 6 – Schéma du procédé de craquage thermique à l'exemple du pétrole brut<sup>7</sup>

Les déchets entrant sont amenés à l'usine d'incinération des déchets et déversés dans la zone de stockage (1). Les déchets passent ensuite dans une trémie (2). De la trémie, les déchets sont progressivement introduits dans l'incinérateur (3). Celui-ci fonctionne à différentes gammes de températures en fonction du type de déchets à incinérer. La chaleur provenant de l'incinération des déchets est ensuite utilisée pour réchauffer le fluide de travail (généralement de l'eau) dans la chaudière (4). La vapeur de ce processus est ensuite transmise à un générateur de turbine pour produire de l'électricité. Les cendres des déchets brûlés tombent dans une zone de collecte (5). A ce stade, un électro-aimant peut être utilisé pour ramasser les métaux restants dans les cendres qui pourraient ensuite être recyclés. Les gaz de combustion contenant des cendres fines et d'autres vapeurs toxiques passent ensuite à travers un réacteur d'épuration (6). Cet épurateur filtre les gaz de combustion et extrait les polluants acides tels que le SO<sub>2</sub> et les toxines. De l'épurateur, les gaz peuvent ensuite passer à travers un système d'élimination des particules fines qui réduit encore la toxicité des gaz de combustion (7). Les fumées sont finalement évacuées par la cheminée (8).


Il existe de nombreuses formes d'incinérateurs de déchets:

- **Incinérateur à grille mobile** : une grille mobile est utilisée pour déplacer les déchets vers le brûleur. Ainsi les déchets sont brûlés de manière uniforme et leur combustion maximum est assurée.
- **Incinérateur à four rotatif** : les déchets sont chargés dans un four cylindrique et tournés pendant que les déchets brûlent. Ce type d'incinérateur est le plus largement utilisé dans les applications industrielles.

<sup>7</sup> me1065.wikidot.com/waste-incineration



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Incinérateur à lit fluidisé</b> : les déchets alimentent un four où ils entrent en contact avec du sable porté à 850°C. De l'air est injecté, qui brasse les déchets et le sable afin d'assurer une combustion homogène.</li> </ul> <p>Le type d'incinérateur utilisé est basé sur le type de déchets à incinérer, la quantité de déchets à brûler (capacité) et les besoins spécifiques de l'installation. Comme indiqué ci-dessus le four rotatif est le plus largement utilisé car il permet de brûler très efficacement de nombreux types différents de déchets et la rotation du four permet de brûler tous les combustibles en entièrement et de façon uniforme.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction du volume entrant jusqu'à 95%</li> <li>- Permet de traiter les déchets dangereux et toxiques</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie complexe et coûteuse</li> <li>- Nécessite une installation à grande échelle pour être économiquement rentable</li> <li>- Doit être équipé d'un dispositif de traitement des gaz toxiques</li> </ul>

Spécifications du procédé 3	Enfouissement
Description du procédé 	<p>L'enfouissement des boues d'épuration n'est pas une option appropriée. Ces sites d'enfouissement, appelés monodécharge, sont spécialement conçus pour l'entreposage sécurisé des boues d'épuration.</p> <p>Il est possible d'enfouir les boues avec les déchets ménagers mais uniquement sous des conditions particulières et les sites ne peuvent généralement qu'accepter des quantités limitées. Pour l'acceptation des boues, une étude de faisabilité préalable pour chaque site de décharge doit être élaborée.</p>
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enfouissement sécurisé</li> <li>- Prévention des émissions nocives par le biais de mesures de protection spécifiques telles qu'une étanchéité de base, une étanchéité de surface et les systèmes de collecte des lixiviats et des gaz</li> <li>- Sécurisation de longue durée par des mesures de sécurité spécifiques et une phase post-opératoire</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune diminution de la masse ou du volume des déchets</li> <li>- Le pouvoir énergétique ou la valorisation matérielle ne sont pas utilisés</li> <li>- Demande en surface importante (plus la siccité est faible, plus la demande en surface est importante car la hauteur de la décharge diminue)</li> <li>- Option économiquement désavantageuse par rapport à d'autres options moins coûteuses comme les lits de séchage</li> <li>- Suivi et contrôle de la décharge de longue durée (phase post-opératoire)</li> </ul>