

La gestion des boues de stations d'épuration

Pourquoi s'y intéresser ?

Le traitement des eaux usées a pour objectif d'obtenir, à partir d'une eau d'entrée « brute », une eau en sortie dont la qualité est suffisamment satisfaisante pour ne pas dégrader son milieu récepteur (rejet en eau de surface, infiltration dans le sol). Les processus de traitement visent à piéger et transformer la pollution par des procédés physiques, chimiques et biologiques et génèrent donc des déchets appelés « **sous-produits de l'assainissement** », dont les boues d'épuration représentent la part la plus importante.

La généralisation de l'assainissement liquide, l'amélioration des procédés et des performances de traitement, sont bénéfiques pour la préservation des milieux recevant les eaux usées traitées, mais ont également pour effet de générer une quantité de boues d'épuration croissante.

La gestion des boues d'épuration apparaît donc comme un enjeu essentiel de l'assainissement liquide.

Pour dépasser la perception limitée de la **gestion d'un déchet, contraignante techniquement et financièrement**, il existe des solutions de valorisation, permettant d'en faire une **opportunité environnementale et financière**.

On se place dans cette synthèse du **point de vue du gestionnaire de la station d'épuration** produisant les boues d'épuration, pour présenter les différentes destinations possibles pour les boues d'épuration et les traitements préalables des boues qu'ils impliquent.

De quoi s'agit-il ?

Les boues d'épuration, « sous-produit » des processus de traitement des eaux usées (Voir FOCUS. L'origine des boues d'épuration).

Les boues se caractérisent par leur teneur en eau et par leur composition chimique et biologique.

Le rapport teneur en eau/matière sèche est qualifié par la **siccité, qui est le pourcentage massique de matière sèche** :

- boues liquides : 3 à 10 % MS,
- boues pâteuses : 10 à 25 % MS,
- boues solides : 20 à 35 % MS,
- boues sèches : plus de 95 % MS.

Les boues sont **constituées des éléments résultant des processus d'épuration** :

- Matière organique,
- Micro-organismes pathogènes, virus bactéries
- Azote (N) et Phosphore (P)
- Potassium (K), oligo-éléments (Cu, Mg, Zn)

Les eaux usées brutes arrivant en station peuvent contenir des micropolluants en très faible concentration, notamment issus d'effluents industriels et des eaux pluviales, qui se retrouvent dans les boues d'épuration.

- Les Eléments Trace Métallique (ETM) tels que le cadmium, le plomb, le zinc...
- Les Composés Traces Organiques (CTO)
- Les micropolluants organiques tels que les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), pesticides, substances médicamenteuses.

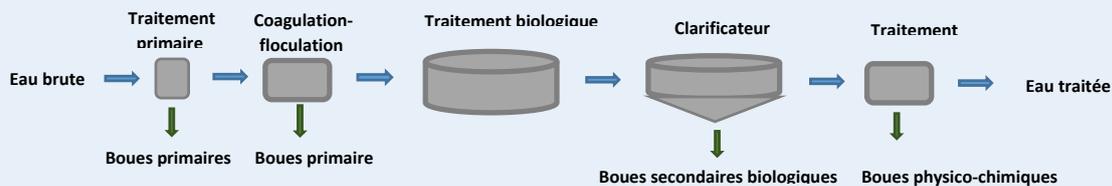
FOCUS : L'origine des boues dans le processus d'épuration des eaux usées

➤ Les stations d'épuration de type « boue activée »

Un **prétraitement**, par **décantation primaire**, dégrillage, dessablage, dégraissage génère des **boues primaires liquides** et d'autres sous-produits (graisses, sables, qui peuvent être valorisés dans les secteurs du bâtiment ou routier). La décantation primaire peut être optimisée par un procédé de « **coagulation-floculation** », consistant à favoriser, par l'ajout de réactifs chimiques, l'agglomération puis la décantation des matières en suspension (MES)

Le **traitement secondaire biologique** dans un bassin de « boues activées » consiste à créer, par un dimensionnement optimal, une aération syncopée et dans une moindre mesure, l'ajout de réactifs chimiques, des conditions successivement aérobie (présence d'oxygène) et anaérobie (absence d'oxygène), afin de favoriser l'activité successive de dégradation de différents polluants par différents microorganismes. Les **boues secondaires biologiques** liquides produites sont composées de microorganismes et de sous-produits de leur activité. Elles sont séparées des eaux traitées par décantation dans un second bassin, appelé le « clarificateur ».

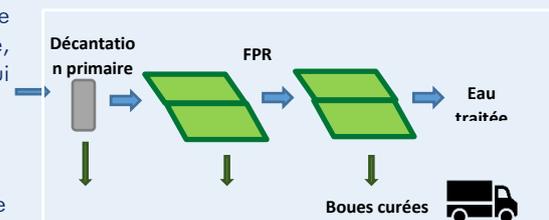
Un **traitement tertiaire chimique**, permettant d'abattre le phosphore produit des **boues physico-chimique**



➤ **Les lagunes** constituent également un lieu propice à l'activité épuratoire des organismes, mais le processus est moins performant de par sa conception plus simple. Les boues produites s'accumulent par décantation au fond de la lagune et sont extraites lors des vidanges des lagunes (env. tous les dix ans)

➤ **Les filtres à sables**, constitués de strates de granulométrie variables qui maintiennent une aération par porosité, permettent le développement de microorganismes qui dégradent la pollution.

Dans **les filtres plantés de roseaux**, le système racinaire amplifie l'infiltration de l'eau dans le sol et limite les risques de colmatage. Les **boues** produites s'accumulent à la surface du filtre et sont **séchées et minéralisées** lors de leur extraction par curage (env. tous les dix ans).



Quelle sont les destinations finales possibles ?

La mise en décharge : évacuation en tant que déchet

Les boues d'épuration étant des **sous-produits indésirables** générés par les procédés de traitement des eaux usées, le producteur de boues (gestionnaire de la station d'épuration) peut les considérer comme des **déchets**. Les boues peuvent donc être mises en décharge, si des infrastructures adéquates existent. Le cas échéant, les boues doivent tout de même avoir subi un **traitement de déshydratation** pour limiter l'**impact environnemental** de leur stockage (ruissellements, infiltrations).

Quelle que soit la solution d'évacuation/valorisation choisie, l'évacuation en décharge doit toujours être possible en tant que **solution de secours**, en cas de difficulté rencontrée avec la voie d'évacuation privilégiée. La mise en décharge des boues ne permet pas d'exploiter leur potentiel agronomique et énergétique.

L'épandage : réutilisation sur terres agricoles ou pour la réhabilitation de sols dégradés

L'**épandage sur des surfaces agricoles** avoisinantes, des boues produites par les stations d'épuration, est une voie de valorisation vertueuse, sous réserve d'assurer :

- ✓ L'adéquation avec les besoins du secteur agricole : l'**intérêt agronomique** pour les cultures, le respect les **capacités d'absorption des sols**, la prise en compte des **périodes propices à l'épandage**
- ✓ L'absence de risques sanitaires : **leur innocuité** vis-à-vis de l'Homme, de la faune, de la flore et de l'environnement ; **leur traçabilité** depuis leur production jusqu'au lieu d'épandage.

Les boues d'épuration peuvent également être employées pour la **restauration de sols dégradés** (terres désertiques, friches industrielles...).

Le compostage : hygiénisation avant valorisation agricole

Le compostage constitue un **procédé de traitement par fermentation aérobie (en présence d'oxygène)**, produisant une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost, qui pourra être valorisé en tant qu'**amendement organique** améliorant la structure et la fertilité des sols.

La composition des boues (trop riches en eau et ratio carbone/azote trop faible) ne permet pas de les composter seules. Au niveau des plateformes de compostages, elles sont **mélangées avec des déchets verts** ou avec des biodéchets ménagers ou industriels.

*Il est donc difficile pour le gestionnaire de la station d'épuration d'assurer un compostage directement sur site. Le compostage constitue une **filière d'évacuation** du point de vue du gestionnaire de la station, c'est ensuite le gestionnaire de la **plateforme de compostage** qui en assurera la valorisation agricole.*

La méthanisation : valorisation énergétique et agricole

La méthanisation consiste à créer dans un réacteur appelé digesteur, les conditions favorables à **dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène) par des micro-organismes**, produisant un **digestat** (produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée) et du **biogaz** (mélange gazeux saturé en eau).

- ✓ Le **digestat** peut être **valorisé en tant qu'amendement agricole**, après un traitement complémentaire d'hygiénisation et stabilisation.
- ✓ Le **biogaz** peut être utilisée pour la **production d'électricité et/ou de chaleur**, pour la production de biocarburant, ou l'injection dans un réseau de biogaz. La cogénération consistant en une production conjointe d'électricité et de chaleur, présente des rendements optimums. Selon la filière de valorisation, le biogaz doit subir un **traitement de purification** plus ou moins poussé (notamment une désulfurisation)

Le producteur de boue peut disposer d'un méthaniseur au niveau de la station et utiliser ainsi l'énergie pour les besoins internes et/ou en revendre une partie à des gestionnaires d'énergie ; ou bien évacuer ses boues vers une installation tierce pour une co-méthanisation avec d'autres déchets.

L'incinération : destruction pour valorisation énergétique

L'incinération consiste en une **oxydation par combustion**, produisant un **résidu minéral** exempt de constituants organiques et toxiques, valorisables en agriculture mais souvent mis en décharge (volume réduit de 90%), de l'énergie sous forme de **chaleur** et des **fumées** comportant des polluants (gaz ou particules fines).

*Le producteur de boue peut disposer d'un incinérateur au niveau de la station. Le **mono-incinérateur** est coûteux en investissement et en fonctionnement et complexe à exploiter ; inconvénients que peut compenser une **possible rentabilité énergétique par l'utilisation du pouvoir calorifique des boues** (rendement ≈ 30%).*

*Le producteur de boues peut également évacuer ses boues vers une installation tierce pour une **co-incinération avec d'autres déchets**, produisant des cendres, pouvant être mises en décharge. Dans les **fours de cimenteries**, les boues sont incorporées au produit final.*

Quelle filière d'élimination/valorisation choisir ?

Plusieurs facteurs sont à prendre en compte par le décideur local en charge de la gestion des boues d'épuration dans le choix de la ou des filière(s) de valorisation :

Débouchés à l'échelle locale.

- ✓ Valorisation in situ : présence, à proximité de la station, de **zones agricoles** propices à un plan d'épandage, d'un **réseau public** électrique ou de chaleur.
- ✓ Évacuation vers une installation tierce : présence, à proximité de la station, d'une **plateforme de compostage**, d'une **usine d'incinération ou de méthanisation**, de **cimenteries**.

Cadre réglementaire

La réglementation encadrant les différentes voies de traitement et de valorisation des boues d'épuration **plus ou moins restrictive et développée selon les pays**, est à prendre en compte. Elle peut notamment définir des seuils maximums en métaux lourds et en microorganismes pathogènes dans les boues et dans les sols, conditionnant les possibilités d'épandage agricole.

Acceptabilité

Les différentes formes d'élimination/valorisation et les infrastructures qui les accompagnent (méthaniseur, incinérateur, stockage de boues, plateforme de compostage) peuvent rencontrer des réticences plus ou moins marquées selon les contextes locaux, de la part des usagers du service d'assainissement, des riverains habitant à proximité des infrastructures, des agriculteurs... Il est important d'identifier et de prendre en compte ces freins d'ordre sociaux, culturels et religieux.

Moyens techniques et financiers

Au niveau de la station d'épuration, les boues doivent être soumises à un **traitement** de déshydratation et hygiénisation/stabilisation, adaptés à la filière de valorisation choisie. Ces procédés représentent une **part importante du coût d'investissement et de fonctionnement des stations d'épuration** et leur exploitation requiert une certaine expertise.

- ✓ **Boues issues de filtres plantés de végétaux** : fortement minéralisées et séchées, elles sont **directement aptes à être épandues, c'est donc la voie de valorisation la plus adaptée**. Il n'est pas justifié de les faire transiter par un compostage et la méthanisation et l'incinération ne sont pas des voies de valorisation adaptées.
- ✓ **Boues issues de station de type « boues activées »** :

Filière	Contraintes et opportunités de la filière de destination, pour le producteur de boues	Traitement de préparation des boues, nécessaire au niveau de la station	
		Finalité du traitement	Objectif du traitement
Valorisation verte directe	<u>Épandage sur terres agricoles ou terres à réhabiliter</u> Frais de transport et d'analyse pour suivi de la qualité	Faciliter la manutention et rationaliser le transport Assurer l'innocuité, limiter le caractère fermentescible (mauvaises odeurs) et sécuriser la manutention S'adapter aux périodes où l'épandage présente un intérêt agricole	Déshydrater Hygiéniser/stabiliser Disposer d'une installation de stockage des boues
Compostage	<u>Évacuation vers installation tierce de co-compostage</u> Facturation de la plateforme de compostage Frais de transport	Faciliter la manutention et rationaliser le transport	Déshydrater <i>Le compostage assure un traitement d'hygiénisation/stabilisation</i>
Méthanisation	<u>In situ = étape intermédiaire de la file boues</u> : Investissement et fonctionnement coûteux mais valorisation énergétique en interne ou vendue <u>Évacuation vers installation tierce</u> : transport, facturation <i>Accepte des déchets organiques gras ou très humides</i>	Rationaliser le fonctionnement du digesteur	Déshydrater (<i>moins exigeante qu'avant épandage/compostage</i>) <i>La méthanisation assure un traitement partiel d'hygiénisation/stabilisation</i>
Incinération	In situ : investissement et fonctionnement coûteux mais valorisation énergétique en interne ou vendue Évacuation vers installation tierce : transport, facturation	Rationaliser la consommation énergétique nécessaire la combustion	Déshydrater <i>L'incinération assure un traitement d'hygiénisation/stabilisation</i>
Décharge	<u>Évacuation vers installation tierce</u> : Transport, facturation Gestion ruissellement : couvrir, traiter les lixiviats Gestion émission de gaz CO2 CH4 Distance des zones naturelles sensibles, des habitations	Eviter les ruissèlements et l'infiltration de lixiviats	Déshydrater

Comment traiter les boues pour pouvoir les valoriser ?

Quelle que soit la destination choisie, les boues doivent subir au niveau de la station d'épuration un traitement préalable permettant de **réduire leur teneur en eau**. Un traitement **d'hygiénisation/stabilisation** est également à prévoir en cas de valorisation « verte ».

1. Traitement dont l'objectif principal est de réduire la teneur en eau

✓ L'épaississement

L'épaississement consiste à réduire la teneur en eau des boues, pour obtenir des boues toujours **liquides mais de siccité augmentée, jusqu'à 10 %**, non hyginisées, non stabilisées.

Plusieurs étapes de traitement des eaux usées mettent en œuvre une décantation qui épaissi les boues : **décanteur primaire, clarificateur** (les boues sont en partie renvoyées en tête de station), **épaisseur** en sortie du clarificateur. Les procédés supplémentaires **d'épaississement dynamiques (flottation, égouttage, centrifugation)** préparent les boues à l'étape suivante de déshydratation (**FOCUS : les technologies d'épaississement et de déshydratation des boues**).

✓ La déshydratation

Réalisée après traitement préalable d'épaississement, la déshydratation consiste à libérer une grande partie de l'eau contenue dans les boues, par des moyens mécaniques, afin d'obtenir des **boues pâteuses à solides de siccité de 20 à 30%, voire 40 % non hyginisées, non stabilisées**.

Les procédés sont basés sur des **systèmes de pressage lent** (filtres à bandes, presses à vis, filtres presse) ou bien de **centrifugation** (**FOCUS : les technologies d'épaississement et de déshydratation des boues**).

2. Digestion anaérobie = méthanisation : Réduction de la teneur en eau ; stabilisation/hygiénisation partielle

Le digesteur anaérobie, qui accepte les boues épaissies, crée les conditions favorables à la dégradation anaérobie (absence d'oxygène) par les micro-organismes, dans des conditions mésophiles ($\approx 38^\circ\text{C}$).

La digestion produit du biogaz ($\approx 60\%$), le **méthane** (pouvant être valorisé, voir p3), du CO_2 ($\approx 30\%$), d'autres gaz en particulier du H_2S (devant être traités par désulfurisation), ainsi qu'un digestât constitué de **boues pâteuses (30 % MS), partiellement stabilisées et hyginisées** (pouvant être valorisées, voir p3).

3. Traitements dont l'objectif principal est de stabiliser et hyginiser les boues

L'hyginisation et la stabilisation consistent à réduire le potentiel fermentescibles et nocif des boues.

✓ Le séchage

Le séchage thermique réalisé **sur site par mono-incinération sur lit de sable fluidisé** est une technologie efficace dans l'objectif de réduire le volume de boues à évacuer, mais **coûteuse en investissement et en fonctionnement**., **Le séchage solaire**, sans apport d'énergie en bâtiment fermé ventilé.

Le séchage sur un lit de sable éventuellement planté de végétaux. La minéralisation est favorisée par l'activité microbienne. Ainsi les filtres plantés de végétaux peuvent être mis en œuvre en tant que système de traitement des eaux usées ou bien en tant que système de traitement, par séchage de boues activées (en sortie directe du bassin d'aération, **pas de transit nécessaire par un clarificateur**).

Les infrastructures de séchage solaire et sur lit de sable sont **peu couteuses en investissement et en fonctionnement** mais occupent une **emprise foncière importante**.

A l'issue du séchage, on obtient des boues séchées de siccité allant de 30-60% MS, voir plus de 70% MS pour le séchage solaire ; et 60-90% pour le séchage thermique.

✓ Le chaulage

Le mélange des boues avec de la chaux porte le pH à 12, bloquant ainsi l'activité organique, détruisant les pathogènes et améliorant la scissité ($\approx 30\%$) et les propriétés physiques des boues. Le chaulage peut s'effectuer **à l'issue de traitement d'épaississement et déshydratation, afin de rendre les boues aptes à une valorisation agricole** (un pré-chaulage peut également être effectué avant la déshydratation pour améliorer son fonctionnement).

FOCUS : les technologies d'épaississement et de déshydratation des boues

Systèmes d'épaississements dynamiques	Avantages	Inconvénients
<p>Flottation L'injection de fines bulles d'air sous pression entraîne une remontée des boues en surface du bassin, évacuées vers une cuve de dégazage par un système de raclage. Une part des boues est toutefois décantée et récupérée en fond de bassin</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sans polymère (toutefois possible pour optimiser les performances et limiter le volume des boues décantées) - Facilité d'exploitation et fiabilité 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu compacte - Consommation d'énergie élevée (60 à 100 kWh /tMS) - Peu performante (3,5 à 5 %)
<p>Égouttage Après une coagulation-floculation, la boue est déposée sur un support filtrant permettant un drainage de l'eau interstitielle et une rétention de la boue, récupérée par des lames racleuse. Il existe aussi des tambours d'égouttage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consommations d'énergie moindres (30 à 60 kWh/tMS) - Compacte - Bonnes performance (4,5 à 6%) - Facilité d'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> - Coagulation-floculation préalable → Consommation de polymère (élevée - 5kg/tMS)
<p>Centrifugation Sous effet de la force centrifuge, les phases liquides et solides sont séparées</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Très compacte - Bonnes performance (4 à 6%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie très élevée (100 à 300 kWh/tMS) - Consommation de polymère modérée (1,5kg/tMS) - Exploitation complexe - Sensibilité à la qualité des boues
Systèmes de déshydratation	Avantages	Inconvénients
<p>Filtres à plateaux La boue épaissie est soumise à une forte pression par des vérins hydrauliques, entre deux plateaux filtrants, formant des gâteaux secs. Une fois les chambres remplies de cette boue déshydratée, elles sont ouvertes pour en retirer les boues. Le procédé est répété par cycles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie modérée (env. 30 kWh/tMES) - Excellente performance (>30%) - Facilité d'exploitation – système rustique si non automatisé 	<ul style="list-style-type: none"> - Encombrement – adapté aux petites stations - Intervention d'un opérateur pour aider au décrochage du gâteau - Consommation d'eau de lavage
<p>Filtres à bandes La boue est compressée entre deux bandes filtrantes, qui nécessitent un lavage fréquent pour maintenir leur porosité.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne performance 25% - Facilité d'exploitation – système rustique si non automatisé 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation élevée d'eau de lavage - Sensible à la qualité des boues, malgré l'ajout de polymère - Consommation de polymère
<p>Filtre presses à vis La vis tourne lentement dans un cylindre perforé en comprimant progressivement la boue, formant un bouchon de boue déshydratée en sortie de vis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité d'exploitation – système rustique - Consommation électrique faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Forte consommation en polymères - Sensible à la qualité des boues - Siccité obtenue variable
<p>Centrifugation La centrifugation entraîne le liquide dans un mouvement rotatif rapide, poussant les boues à l'extérieur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne performance 25% - Très compacte – adapté aux grosses stations - Accepte tout type de boues 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'énergie très élevée - Consommation de polymère (modérée)

Pour en savoir plus - sources

- « Boues de Stations d'Épuration : techniques de traitement, valorisation et élimination ». AMORCE, 2012
- « Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences », EEA, 1997
- « Les boues », in Memento Degremont (<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-boues>)
- « Dossier sur les boues de stations sur Actu Environnement » : <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-epuration.php4>
- « Le Compostage » – novembre 2015- Fiche technique ADEME
- « Epanchage » – août 2016 – Fiche technique ADEME
- « Méthanisation » – février 2015 – Fiche technique ADEME
- « Gestion des boues de stations d'épuration, co-traitement avec les déchets ménagers » - novembre 2012 - Amorce
- « Benchmark des stratégies européennes des filières de production et de valorisation de biogaz et perspectives pour la filière française de méthanisation » – juin 2015 – ADEME
- « Composition organique de boues résiduelles de stations d'épuration lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation » – 3 janvier 2005- HAL archives ouvertes - Emilie Jardé
- « Déshydratation mécanique des boues d'épuration, Etat des lieux des filières en France métropolitaine » – février 2014 – ONEMA
- « Traitement des boues par lits plantés de roseaux - rappels des points clefs de cette technique » - Alain Liénard, Stéphane Troesch, Pascal Molle et Dirk Esser
- « Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités » - Mercredi 19 février 2014 – Université de Montpellier, Polytech Montpellier
- « Les lits de séchage plantés de roseaux pour traiter les boues issues de l'épuration en Provence-Alpes-Côte d'Azur » – juin 2015 - dossiers techniques de l'ARPE
- « La digestion des boues : retours d'expériences techniques et plus-values », réunion d'échange 13 octobre 2016, GRAIE
- « Les lits de séchage de boues plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange, guide de dimensionnement et de gestion », 2011, ONEMA
- « Ouvrages de traitement par boues activées, guide d'exploitation », ONEMA
- « Méthanisation, feuille de route stratégique », ADEME
- « Règlementation applicable à l'évacuation des boues de station d'épuration urbaine », Direction départementale des territoires, Préfecture du Loiret, 19/05/2011
- Thèse : « Devenir des micropolluants présents dans les boues d'épuration du traitement à l'épandage agricole : application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains et hospitaliers », 12 décembre 2014, Delphine Lachassagne

Rédaction : Mélodie Boissel melodie.boissel@pseau.org, Vincent Dussaux, dussaux@pseau.org

Réalisé avec le soutien de :

