



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

thème :

LA VALORISATION ORGANIQUE DES BOUES DE LA STEP

soutenu publiquement par :

- Slaimi adel
- Berradja mouhamed chikh
- Berralem nasradin es said

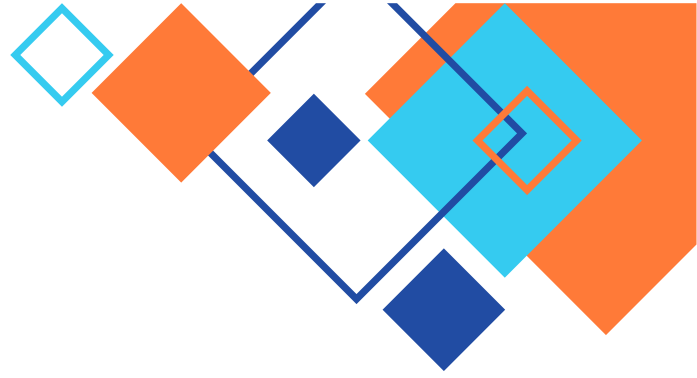
pour l'obtention du diplôme de :

MASTER 2 PROFESSIONNELLE EN GENIE HYDRAULIQUE

MEMBRES DU JURY :

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| • DR . BENCHEKOR . H | président |
| • MR . BENAICHA . M | examineur |
| • MR . BENMIA . K | SERTEUR SOCIO
ECONOMIQUE |
| • MR . NEHARI
ABDERRAHMANE | ENCADRANT |
| • MD . BENAAZA . B | INCUBATEUR |





REMERCIEMENT

Je souhaiterais tout d'abord remercier l'équipe de L'incubateur d'ain temouchent pour l'accueil qu'ils m'ont réservé, le temps que chacun de ses membres m'ont accordé, et plus globalement, pour toutes les informations, les travaux public , réflexions, les laboratoires... que chacun m'ont apporté et qui ont nourrit ce travail.

Je remercie également l'équipe de la station de l'épuration d'Ain temouchent de m'avoir fait découvrir et approché le monde hydraulique en m'ouvrant les portes des réseaux auxquels qu'ils collaborent . Je remercie également mes professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigué au cours de ces trois années passées à l'université d'Ain temouchent .

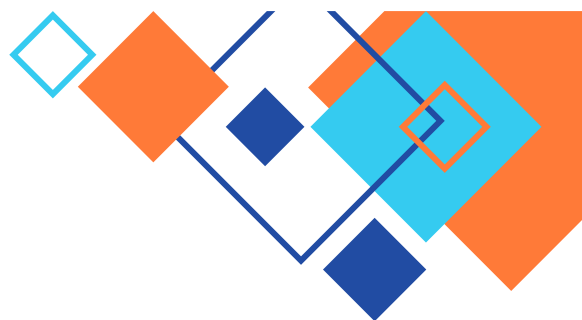
Je remercie tout particulièrement Mr Nheri abdoulah et Mr Benaicha mouhamed (respectivement directeur et codirecteur de ce mémoire) qui m'ont laissé une large part d'autonomie dans ce travail tout en m'aiguillant sur des pistes de réflexions riches et porteuses.

Je remercie enfin l'ensemble des mes proches qui m'ont supporté moralement . Je remercie plus particulièrement Slaimi fodil, Hakki chahinez, Taha zahra, Slaimi mohamed marouane , Hadouche miloud , Berralem nassradin es said , Beradja mouhammed cheikh , Aguilis ismail , , pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans la réalisation de ce travail.



sommaire

introduction	4
chapitre 1: origine et caractéristique des boues d'epuration	5
1. station d'épuration (steu)	5
2. Que sont les eaux usées	5
3. comment fonction une station d'épuration	6
3.1. le dégrillage	6
3.2. le dessablage et le degaissage	6
3.3. le traitement biologique	7
3.4. la clarification	8
3.5. le traitement des boues	8
4. traitement des boues au station d'epuration	9
4.1. l'épaississement	9
4.2. la deshydratation	10
4.2.1 la deshydratation mécanique	10
4.3. le séchage	11
4.3.1 le séchage thermique	11
4.3.2 le lit de séchage	11
5. stabilisation de la matière organique	12
6. composition des boues	13
6.1. la boue primaire	13
6.2. boues biologique	13
6.3. boues mixtes	13
6.4. boues de decontation	13
6.5. boues d'épaississement	13
6.6. boues de digestion	13
6.7. matières organiques	13
chapitre 2 : valorisation organique des boues	14
1 intérêt agronomique des boues	14
2. le retour au sol des boues d'epuration	15
3. cadre juridique généralé	16
3.1. encadrement réglementaire	17
4. retour au sol des boues après compostage	19
4.1. descriptif du procédé	19
5. capacités de traitement et quantité de des biodéshts traités	20
6. nécessité d'un apport de structurant	21
7. processus de fermentation aérobie	22
7.1. maturation	22
7.2. criblage	22
7.3. qualité du compost	22
8. cadre juridique	23
8.1. sur les instalations de compostage	23
8.2. sur le compost	24
9. couts d'installation	27
10. avenir de la filière	27
chapitre 3 : valorisation énergétique d'epuration	28
1. digestion anaérobique "la methanisation ".....	28
1.1 procédé	28
1.2. co methanisation	29



2. valorisation du biométhane	29
2.1. <i>autoconsommation du biométhane à Achères</i>	30
2.3. <i>unités d'injection du biométhane à Marseille</i>	30
3. incinération des boues	31
3.1. <i>traitement thermique dédié : mono incinération</i>	31
3.2. <i>incinération avec des ordures ménagères</i>	32
3.3. <i>incinération dans des fours de cimenterie</i>	32
4. oxydation par voie humide	33
4.1. <i>production des résidus minéraux par la station d'épuration d'Épernay-Mardeuil</i>	33
5. la ISDNI	34
6. les garanties d'origine	35
7. solutions alternatives	36
7.1. <i>la pyrolyse</i>	36
7.2. <i>la technique mycélienne</i>	36
7.3. <i>la gazéification</i>	36
7.4. <i>fabrication du plastique biodégradable</i>	36
8. retour au sol spécifique	37
8.1. <i>re végétalisation</i>	37
8.2. <i>culture énergétiques</i>	37
chapitre 4 : valorisation des boues d'épuration	38
1. adapter la filière à son territoire	38
1.1. <i>qualité des boues à la sortie de la steu</i>	38
1.2. <i>valorisation du volume</i>	38
1.3. <i>opportunité de la filière</i>	39
2. réflexion sur le bilan carbone de la steu	40
3. rentabilité du projet	40
4. acteurs partenaires	40
conclusion	41
.....	42
.....	43
glossaire	44





introduction

En Algérie, une famille de 4 personnes consomme en moyenne 120 m³ d'eau par an. La très grande majorité des foyers Algériens est reliée au réseau d'assainissement des eaux usées. Celui-ci peut aussi recueillir les eaux de pluie, on parle dans ce cas de réseau unitaire. 21% des stations d'épuration traitent en entrée un mélange d'eaux usées et d'eaux de pluie. Par temps de pluie, la charge polluante des eaux usées en entrée de station d'épuration se retrouve donc diluée. L'arrêté du 21 Juillet 2015 a réaffirmé l'obligation pour les collectivités de gérer le temps de pluie, c'est-à-dire de limiter les déversements du réseau d'eaux usées dans les fleuves et rivières en cas de forte pluie. Cette obligation contraint certaines collectivités à revoir la capacité nominale de leur système de traitement des eaux usées, pour pouvoir traiter des volumes d'eau plus élevés. En pratique la capacité nominale de traitement (qui correspond à la capacité maximale de traitement) est supérieure à la charge réelle de la STEU.

Les eaux usées domestiques sont traitées en station d'épuration des eaux urbaines, qui peut aussi recevoir des eaux usées non domestiques provenant de l'industrie, néanmoins la majeure partie des eaux usées rejetées par l'industrie sont traitées dans des stations d'épuration des eaux industrielles. Nous traiterons uniquement des stations d'épuration des eaux urbaines dans ce document.

l'épuration des eaux usées (STEP) se présente sous diverses formes et sert à traiter les eaux usées avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement ou qu'elles ne soient réutilisées à des fins diverses. quelques-uns des types de STEP les plus populaires : exemples des types STEP les plus populaires :

STEP à boues activées : Il s'agit d'un type de STEP qui utilise des micro-organismes aérobies pour décomposer la matière organique présente dans les eaux usées. Les boues activées sont mélangées aux eaux usées dans un bassin d'aération pour permettre aux micro-organismes de consommer la matière organique. Ensuite, les boues sont séparées de l'eau traitée et recyclées pour continuer le processus de traitement.

STEP à lit bactérien : Également appelé lit fixe ou lit percolateur, ce type de STEP utilise des médias, tels que des graviers ou des plastiques, pour fournir un support aux biofilms bactériens qui décomposent la matière organique dans les eaux usées. Les eaux usées sont traitées en passant à travers les médias où les bactéries éliminent la matière organique.

STEP à lagunage : Ce type de STEP utilise des bassins peu profonds, également appelés lagunes, pour traiter les eaux usées. Les lagunes sont conçues pour favoriser la croissance de micro-organismes aérobies et anaérobies qui décomposent la matière organique dans les eaux usées. Les lagunes sont généralement aménagées en série pour permettre un traitement progressif des eaux usées.

STEP à filtres plantés : Également connus sous le nom de filtres à roseaux, ces systèmes utilisent des plantes aquatiques, comme les roseaux, pour traiter les eaux usées. Les eaux usées sont filtrées à travers les racines des plantes qui agissent comme un biofiltre, éliminant la matière organique et les nutriments.

STEP à membrane : Ce type de STEP utilise des membranes semi-perméables pour filtrer les particules et les micro-organismes des eaux usées. Les membranes retiennent les matières solides et les micro-organismes, produisant ainsi une eau traitée de haute qualité.

STEP à désinfection UV : Dans ce type de STEP, les eaux usées sont traitées avec des rayons ultraviolets (UV) pour détruire les micro-organismes pathogènes présents dans les eaux usées. Les UV sont utilisés pour désinfecter l'eau après qu'elle a été débarrassée de la matière organique.

chapitre 1 : Origine et caractéristiques des boues d'épuration



1. Stations d'épuration (STEU)

Une station d'épuration est une installation qui a pour objectif d'assainir les eaux usées domestiques, les eaux industrielles et les eaux pluviales avant de les rejeter dans le milieu naturel, généralement un cours d'eau.

Pour ne pas polluer le milieu naturel, les eaux usées sont nettoyées de leurs nombreuses impuretés : matières solides, excréments, huiles et toutes substances dissoutes. Leur forte concentration rendrait impossible un rejet direct dans le milieu naturel sans générer une forte pollution.

Une station d'épuration est généralement située à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle va utiliser divers processus et dispositifs physiques et biochimiques pour dégrader les matières organiques et les séparer de l'eau.

Le résultat est une "eau propre" qui n'est pas potable mais qui est d'assez bonne qualité pour être absorbée par l'environnement sans nuisance.

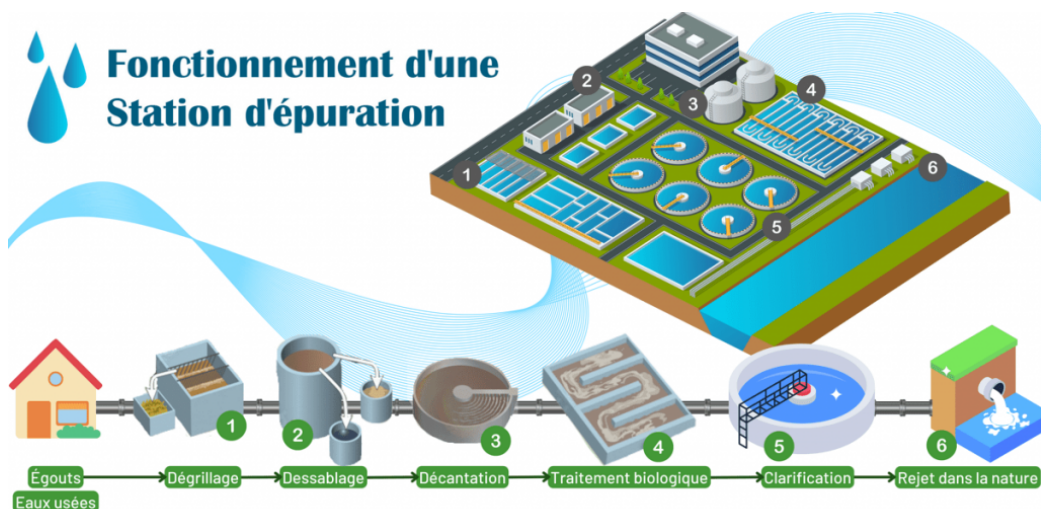
2. *Que sont les eaux usées ?*

Les eaux usées désignent les eaux qui ont été utilisées pour un usage quelconque. Elles proviennent :

- des habitations, ce sont les eaux usées domestiques, issues des toilettes (eaux vannes) ou des lavabo et cuisine (eaux grises).
- des usines ou de l'agriculture, on parle alors d'effluents industriels ou agricoles.

Les eaux de pluie qui coulent sur les toitures, les routes et les parkings, etc. ne sont pas considérées comme des eaux usées. Toutefois, pour des raisons structurelles et d'organisation, les eaux de pluie étaient aussi collectées avec les réseaux de tout-à-l'égout et donc acheminées jusqu'à une station de traitement.

3. Comment fonctionne une station d'épuration ?



Les eaux usées sont acheminées jusqu'à la station d'épuration par le réseau d'assainissement. Ensuite, elles vont subir divers traitements en suivant 5 étapes essentielles :

1. un dégrillage
2. un dessablage et un dégraissage
3. un traitement biologique
4. la clarification
5. le traitement des boues résiduelles

3.1 . Le dégrillage :

Les eaux usées traversent un dégrilleur, c'est-à-dire un tamis rotatif qui les débarrasse des matières solides : mégots, cheveux... Une vis sans fin remonte ces déchets vers une benne en vue de leur évacuation ou de leur incinération.



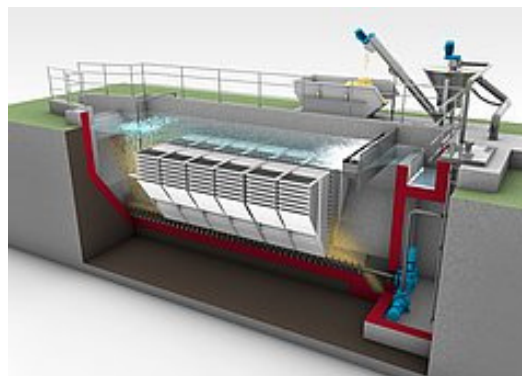
Dégrilleur à godets TrashLift HUBER comme système de dégrillage grossier

3.2. Le dessablage et le dégraissage :

Les eaux usées poursuivent leur cheminement. Elles s'écoulent dans un premier bassin appelé dessaleur où les matières plus lourdes que l'eau comme le sable et le gravier se déposent au fond de la cuve. Ce sable est dirigé vers un classificateur qui permet de l'égoutter. Il est ensuite enfoui.

Les graisses remontent à la surface de la cuve sous l'effet d'une aération. Des pompes aératrices diffusent de fines bulles d'air qui aident les graisses à faire surface.

Les graisses sont ensuite dirigées vers un concentrateur puis raclées par un pont automoteur vers des bâches de pompage. Les huiles sont évacuées vers une station de traitement spécifique. L'eau résiduelle est renvoyée dans le système principal de la station d'épuration.



Piège à sable GritWolf® de HUBER : une séparation parfaite du sable et des graisses sans encombrement

3.3. Le traitement biologique :



Les eaux usées doivent ensuite être débarrassées de leurs composés organiques, de l'azote et du phosphore.

Pour se faire, on utilise divers bassins où se sont développées des bactéries alimentées en oxygène et qui vont digérer très rapidement les impuretés et les transformer en boues.

L'élimination des composés organiques se fait avec des bactéries aérobies qui les dégradent par un phénomène d'oxydation. Ces bactéries sont capables de transformer les molécules organiques ou minérales grâce à leurs enzymes.

L'élimination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) se fait avec des traitements bactériologiques de « nitrification-dénitrification ». La nitrification est une transformation par des bactéries de l'azote ammoniacal en nitrates. Puis ces nitrates sont transformés en azote gazeux qui s'échappe naturellement dans l'atmosphère.

L'élimination du phosphore s'obtient par son accumulation dans les cultures bactériennes des boues.

3.4. La clarification :

Il s'agit de séparer l'eau des boues issues de la dégradation des matières organiques. C'est une décantation effectuée dans des bassins appelés "clarificateurs". Les boues se déposent au fond du bassin, sont pompées puis évacuées.

L'eau est à ce stade débarrassée de plus de 90 % de ses impuretés. Elle est analysée puis rejetée dans le milieu naturel.



3.5. Le traitement des boues :

Les boues récupérées doivent être traitées. Il en existe différents types :

- les boues primaires issues de la décantation des matières en suspension
- les boues secondaires issues d'un résidu dissout par des cultures bactériennes

La stabilisation des boues a pour objectif de réduire leur fermentescibilité pour atténuer les mauvaises odeurs.

La stabilisation biologique s'effectue dans les bassins d'aération ou dans des digesteurs avec production de biogaz. La stabilisation biologique est le procédé le plus employé en algérie par environ 58000 stations d'épuration.

Les boues peuvent aussi passer dans des centrifugeuses qui vont accélérer la séparation de l'eau du reste des composés en tournant à 6000 t/min. La boue résiduelle est raclée par une vis sans fin vers une benne.

Ces boues sont généralement utilisées en agriculture comme engrais. Une fois sèches, elles peuvent aussi être incinérées ou mises en décharge.

Une station d'épuration produit environ 2 litres de boues par habitant et par jour.



A noter : les boues de lagunage sont un type de boue accumulée au fond des bassins. Elles sont curées de façon périodique, soit annuellement soit tous les 10 ans selon le type de bassin concerné.

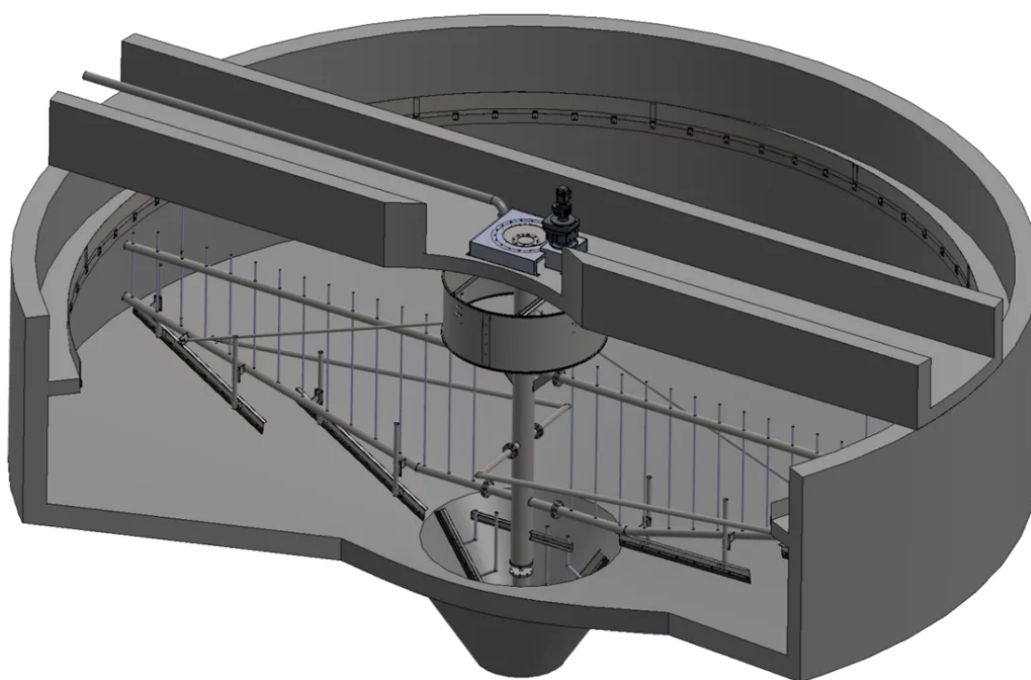
4. Traitement des boues en station d'épuration :

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu. En effet, leur forte teneur en eau (99 %) et les fortes populations bactériennes qui s'y retrouvent en font un bouillon de culture favorable à la dégradation de la matière organique fraîche et très fermentescible qu'elles contiennent, avec production de mauvaises odeurs. Outre la teneur en éléments-traces (liée à la présence de matières minérales dissoutes ou insolubles), la siccité est un paramètre fondamental de la caractéristique des boues : elle s'exprime en tonnages de Matière Sèche (MS).

4.1. L'Épaississement :

Il s'agit de la première étape de traitement des boues, qui s'opère en général avant le mélange des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées (boues primaires, secondaires, et éventuellement tertiaires). Cette étape peut être précédée de l'ajout de flocculants organiques de synthèse (polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium), afin de faciliter la séparation des phases solide et liquide des boues.

L'épaississement consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage ou d'une toile semi-perméable. Autre technique de concentration : la flottation, basée sur l'injection de gaz dans les boues, ce qui sépare les phases liquides et solides par différence de densité. En sortie, les boues sont encore liquides avec une siccité de 4 à 6 %.



4.2. La déshydratation :

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée. Elle s'opère sur un mélange de boues primaire, secondaire voire tertiaire.

4.2.1. La déshydratation mécanique :

Elle s'opère par centrifugation ou par filtration.

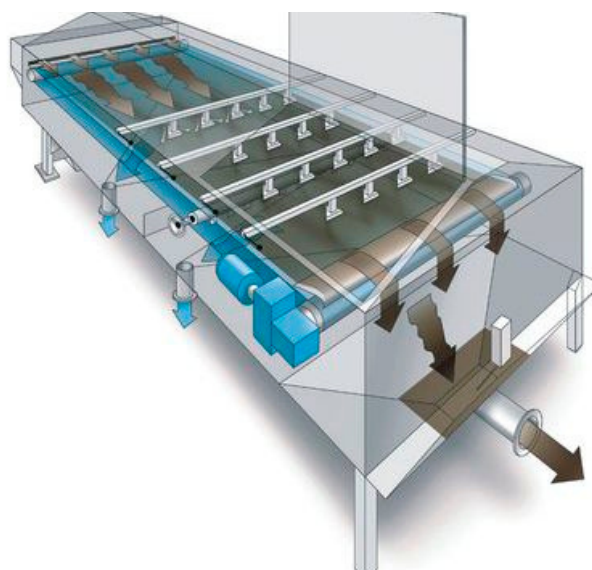
La centrifugation consiste à séparer l'eau des boues épaissies par la force centrifuge développée dans un cylindre tournant à grande vitesse. En sortie, les boues sont pâteuses avec une siccité de 18 à 20 % pour la première génération d'équipements, et de 20 à 25 % de siccité pour la seconde. Pendant longtemps, cette technique a surtout concerné les stations de plus de 10.000 EH ; aujourd'hui des solutions existent pour les plus petites.

La filtration par filtres à bandes consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles. Les premiers modèles (à basse et moyenne pression) ne permettaient d'atteindre que 15 à 17% de siccité. Les modèles plus récents (à haute pression) permettent d'atteindre jusqu'à 18 à 20%. En sortie, les boues se présentent sous forme de petites plaques.

La filtration par filtres-presses à plateaux (appelés couramment filtres-presses) consiste en une compression des boues entre deux plateaux équipés de toiles filtrantes. En sortie, les boues se présentent sous forme de « gâteaux » solides avec une siccité de l'ordre de 30 à 35 %.

Si la centrifugation permet une déshydratation continue en circuit fermé (automatisé), avec les filtres-presses elle est discontinue. Avec les filtres à bande, elle se déroule en circuits ouverts (avec production d'aérosols, composés d'air et d'eau), ce qui oblige souvent à capoter les équipements pour éviter la dispersion de mauvaises odeurs.

La déshydratation mécanique concerne surtout les grosses stations (plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'EH). Depuis récemment, elle se développe dans les moyennes installations (de 3.000 à 10.000 EH). Dans les très grosses, il s'agit le plus souvent de filtres-presses (car plus coûteux en investissement et en exploitation), et dans les petites (1000 à 2000 EH) de filtres à bandes. Les filtres à bandes seraient encore les matériels les plus utilisés pour la déshydratation, les centrifugeuses les plus vendues sur le marché actuel.



4.3. Le séchage :

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

4.3.1. Le séchage thermique :

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %. Ces deux procédés sont très énergivores : ils représentent un poste sur lequel il est possible de réduire l'empreinte environnementale de la filière boue, par exemple en mettant en place des boucles de récupération d'énergie.



4.3.2. Les lits de séchage :

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchage sont mis sous serre pour non seulement tirer partie du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. Une autre variante de ce procédé consiste à mettre les lits de séchage sous couvert végétal (roseaux), ce qui permet de s'affranchir des conditions climatiques. Ce procédé est appelé lits à macrophytes. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %. Ce procédé de séchage présente l'intérêt d'être en plus une solution de stockage des boues. Il est particulièrement bien adapté aux stations d'épuration des collectivités de moins de 5.000 EH.



5. Stabilisation de la matière organique :

Cela consiste à diminuer le caractère fermentescible des boues et ainsi, notamment, de supprimer les mauvaises odeurs. Les traitements de stabilisation des boues s'appliquent aux boues mixtes fraîches ou uniquement aux boues de traitement secondaire des eaux usées. Ils sont de nature biologique, chimique ou thermique

La stabilisation biologique

Elle s'opère selon deux voies biologiques possibles : aérobie (en présence d'oxygène) et anaérobie (en l'absence d'oxygène).

La stabilisation aérobie consiste à mettre les boues dans des bassins d'aération dits aussi bassins de stabilisation aérobie. En sortie, les boues sont dites « aérobies » ou « stabilisées aérobies ». Le compostage est un mode de stabilisation aérobie des boues, le plus souvent après déshydratation. Il s'agit souvent d'un traitement de stabilisation biologique complémentaire, destiné à la fabrication d'un produit : le compost. Cependant, il constitue le seul mode de stabilisation des boues primaires et secondaires issues d'un traitement physico-chimique des eaux usées.

La stabilisation anaérobie concerne surtout les installations de plus de 100.000 EH. Elle consiste à mettre dans des digesteurs les boues directement issues de la décantation primaire de la filière de traitement des eaux usées, et à les porter à haute température (de 50 à plus de 100°C) afin d'en éliminer bactéries et virus. Stabilisées avec 30 à 60 % de quantités de matière organique en moins, en sortie les boues sont dites « anaérobies », « stabilisées anaérobies » ou « digérées ». Elles présentent une siccité pouvant aller au-delà de 20 à 30 %. Ces procédés de digestion anaérobie, appelés aussi méthanisation, s'accompagnent de la production de biogaz riche en méthane (65%) et en dioxyde de carbone (35%), avec des concentrations faibles d'hydrogène sulfuré saturé en eau. La récupération et la valorisation de ce biogaz (sous forme de chaleur, d'électricité, de combustible ou de carburant) représente un des postes permettant de réduire l'empreinte environnementale de la filière boue.

6. composition des boues :

Le terme "boues" fait référence à des matériaux solides ou semi-solides qui résultent de procédés industriels qui émettent des eaux usées, des eaux souterraines, ou d'autres liquides. Ils peuvent contenir des matières organiques, des nutriments, des métaux lourds, des produits chimiques, ou des micro-organismes qui pourraient être nocifs pour l'environnement et en général, la santé publique.

La composition des boues des stations d'épuration des eaux usées (STEP) peut varier en fonction de la procédure de traitement utilisée, de la qualité de l'eau brute traitée et d'autres facteurs. Cependant, voici quelques composants typiques des boues de la step

6.1. la boue primaire :

la boue créée lors du traitement initial des eaux usées . fluide est souvent épais et contient une quantité importante de matières organiques

6.2. Boues biologiques :

Il s'agit de la boue qui se forme dans les bassins biologiques où les bactéries dégradent les matières organiques présentes dans les eaux usées. Cette boue est généralement plus légère que les boues primaires.

6.3. Boues mixtes :

Il s'agit de la combinaison des boues primaires et des boues biologiques

6.4. Boues de décantation :

Il s'agit des boues qui se forment lors de la décantation des eaux usées. Cette boue est généralement plus dense que les autres types de boues et contient une quantité élevée de matières minérales.

6.5. Boues d'épaississement :

Il s'agit de la boue qui a été épaissie pour réduire sa teneur en eau. Cette boue est plus dense que les autres types de boues et peut être utilisée pour la production de biogaz.

6.6. Boues de digestion :

Il s'agit de la boue qui a subi un processus de digestion anaérobie pour produire du biogaz et réduire la teneur en matière organique. Cette boue est généralement plus légère que les autres types de boues et est souvent utilisée comme engrais.

6.7. Matières organiques :

Les boues STEP contiennent une quantité importante de matières organiques , telles que des grains, des protéines et des sucres dérivés de l'eau traitée . Ces matières organiques pourraient être utilisées pour générer du biogaz.

/2matier Minéraux : Les boues de décantation et d'épaississement comprennent des minéraux, tels que du sable et des métaux lourds , qui s'accumulent dans les eaux traitées . La quantité de matière minérale peut varier considérablement en fonction de la qualité de l'eau brute traitée .

chapitre 2 : valorisation organique des boues

La filière traditionnelle de recyclage des boues d'épuration est celle de l'épandage agricole. En 2004, cette filière représentait 62% des boues d'épuration en tonne de masse sèche, dont 16% d'épandage de compost. L'épandage de tout déchet doit présenter un intérêt pour les sols pour être autorisé mais des procédures strictes doivent cependant être respectées pour garantir :

- Leur innocuité vis-à-vis de l'Homme, de la faune, de la flore et de l'environnement
- Leur intérêt agronomique
- Leur traçabilité

Avant cette valorisation organique, les boues peuvent passer par un processus de méthanisation ou de compostage. Cette partie n'aborde que l'épandage et le compostage, la méthanisation est volontairement traitée dans la partie valorisation énergétique par la production de biométhane qu'elle engendre. Il ne faut en revanche pas oublier que cette filière produit aussi un digestat, assimilable aux boues d'épuration, qui peut être épandu dans le un cadre juridique particulier

1. intérêt agronomique des boues :

Les boues d'épuration présentent un intérêt agronomique important comme amendement (matière organique avec des minéraux intéressants : azote, potassium ou phosphore) et peuvent se substituer aux engrais chimiques qui ont un fort impact environnemental et sociétal (l'extraction des minéraux dans des zones en conflits est très émettrice de GES). Le retour au sol des boues permet d'agir sur plusieurs points :

- La valeur fertilisante chimique des sols, par un apport en éléments fertilisants, comme l'azote et le phosphore. En moyenne, les boues d'épuration contiennent 5% de MS d'azote et 4,7% de MS de phosphore¹¹. Les boues permettent de plus de stabiliser le pH des sols
- La valeur fertilisante physique¹² des sols, en amendant les sols (améliore la porosité et la stabilité des agrégats) ;
- L'activité biologique des sols en la stimulant ;
- La capacité de rétention en eau et en éléments fertilisants des sols (variable selon la siccité des boues épandues). Les boues d'épuration fournissent un apport hydrique aux sols et limitent donc le besoin d'irrigation des agriculteurs.

Au-delà de l'intérêt agronomique, l'épandage des boues d'épuration présente aussi un réel intérêt environnemental en stockant du carbone dans les sols. On estime que l'amélioration du taux de matière organique dans les sols permet de stocker durablement dans les sols l'équivalent de 250 kg de CO₂ par tonne de MS dans les boues d'épuration. Les principales craintes dans le retour au sol des boues d'épuration résident dans la présence de traces d'éléments indésirables (ETM, CTO, micro-organismes pathogènes). Les concentrations moyennes en ETM ont beaucoup diminué depuis 1975 pour tous les éléments soumis à réglementation (voir Tableau 2) et sont désormais en moyenne bien inférieures aux seuils fixés par l'arrêté du 08 Janvier 1998 (voir Annexe 2). Les éléments indésirables des boues proviennent des rejets dans le réseau d'assainissement par les branchements domestiques et non domestiques. Le maire ou le président de l'EPCI peut réglementer les rejets d'eaux usées non domestiques au titre de son pouvoir de police spéciale de l'assainissement. QualiAgro, une étude menée par l'INRA sur l'épandage de différents types de composts dont les composts de boues montre que les ETM restent accumulés à la surface du sol où on les retrouve en très faible concentration

quelques centièmes de la teneur des boues en ETM) mais ne s'accumulent pas dans les graines des plantes. La concentration en ETM reste du même ordre grandeur que pour les sols identiques de la région. Cette étude montre également que les germes pathogènes n'ont pas d'effet sur les sols ni sur les cultures. Concernant les CTO, malgré leur détection dans les composts, aucune accumulation dans les sols n'a été mise en évidence. Une veille sanitaire a pour objectif de prévenir les menaces d'épidémies en surveillant l'état de santé d'une population. Une cellule de veille sanitaire vétérinaire des épandages a été créée au sein du Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaire (CNITV) à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon (le rapport annuel publié par le comité de pilotage de cette cellule est disponible sur le site de l'ADEME). La grande majorité des cas de suspicions d'accidents sanitaires liés à l'épandage des boues dans le cadre de l'élevage se sont révélées être liées à d'autres causes (nutritionnelles ou liées à une mauvaise hygiène des élevages)¹³. Une étude menée par l'INERIS et le CNRS pour le compte de l'ADEME a mesuré et évalué le risque sanitaire lié aux substances émergentes dans les composts et les boues d'épuration¹⁴. L'étude n'a pas observé d'effets sur les organismes lors des essais d'écotoxicité, pour des doses correspondant à celles épandues et a mesuré des concentrations médianes des substances pharmaceutiques de quelques ng/g MS à 500 ng/g MS dans les boues d'épuration. Néanmoins pour des doses supérieures, des effets peuvent être observés



Un fond de garantie créé en 2006 en Algérie a pour but d'assurer les agriculteurs contre le risque sanitaire potentiel de l'épandage des boues. Chaque producteur de boue cotisait alors à hauteur de 5DA/t de boues produites. Cette contribution a pris fin en 2017 mais des discussions sont en cours pour le réactiver.

2. Le retour au sol direct des boues d'épuration :

60 et 70% des boues d'épuration qui retournent sur les sols agricoles font l'objet d'un épandage. Il s'agit de la solution la moins onéreuse même si elle nécessite parfois la mise en œuvre de traitements complémentaires visant à réduire le pouvoir fermentescible des boues comme la digestion ou le chaulage. C'est également une solution relativement fragile en raison des difficultés liées à l'acceptation de ces déchets par le monde agricole et les riverains des zones d'épandage. Enfin se pose la question de la destination des boues pendant les périodes où l'épandage est impossible ou interdit. En effet de par leur nature et leur comportement physique les boues posent inévitablement des problèmes de stockage. Dans ce cas le coût d'épandage (hors traitement préalable) varie entre 15 et 25 €/t. Pour les agriculteurs, le bénéfice est d'autant plus important que l'épandage des boues d'épuration est pris en charge par le producteur de boues, selon le principe du 'rendu racine', et se substitue à l'apport d'engrais. Ils peuvent même parfois bénéficier d'un revenu complémentaire pour service rendu



- Schéma de l'épandage (source : ADEME)

3. Cadre juridique général :

L'épandage des boues d'épuration doit respecter des procédures et des normes strictement définies par les textes, destinées à garantir son innocuité.

Un décret exécutif fixant les conditions et les modalités de l'utilisation des boues d'épuration dans l'agriculture

annoncé à l'APS un responsable au ministère des Ressources en eau et de l'Environnement.

Le directeur de l'assainissement au ministère des Ressources en eau et de l'Environnement, M. Ahcène Ait Amara a précisé qu'une étude a été réalisée pour la mise en place de nouvelles normes concernant l'utilisation de ces boues.

Plan d'épandage	Autorisation de mise sur le marché	Normalisation
<p>Prescriptions, organisation, recommandations : art. R. 211-25 à R 211-47 du CE, arrêté du 8 janvier 1998</p> <p>Autorisations administratives : régimes de déclaration/autorisation au titre de la loi sur l'eau : nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration (articles L. 211 et suivants CE et R. 241-1 du CE) ; procédures (R. 214-6 à -31 du CE)</p>	<p>Procédure d'homologation d'autorisation provisoire : article L. 255-2 du Code rural et pêche maritime</p> <p>Démarche individuelle par producteur Examen de la demande par l'ANSES dans les conditions prévues par le décret n°80-477 du 16 juin 1980 et l'arrêté du 21 décembre 1998 modifié relatif à l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture</p>	<p>Norme NFU 44-095 : amendements organiques obtenus par compostage et contenant des matières issues du traitement des eaux, d'intérêt agronomique et d'application obligatoire depuis mars 2004</p>

Ces normes feront l'objet d'un décret exécutif concernant les conditions et les modalités d'utilisation de ces boues après finalisation du volet réglementaire et juridique de cette démarche, a ajouté M. Ait Amara

« A ce jour, il n'existe aucun cadre réglementaire pour l'utilisation de ces boues en Algérie et ce décret exécutif sera le premier texte du genre », a-t-il précisé.

Cette ressource sera valorisée et utilisée comme fertilisant naturel en vue d'améliorer le rendement des terres agricoles, sachant que le Parc national de stations d'épuration (Step) compte actuellement 177 stations générant 120.000 tonnes de boues par an.

D'après les explications fournies par M. Ait Amara, ces normes concerneront le type de boue et les matières qu'elle renferme, les procédés de son utilisation ainsi que la partie qui en bénéficiera, affirmant que son utilisation bénéficiera « à titre gratuit » aux agriculteurs tout comme les eaux d'irrigation issues des stations d'épuration.

15 Articles R. 211-41 et R. 211-44 (carrières) du Code de l'environnement

16 Article 11 de l'arrêté du 8 Janvier 1998

17 Article R. 211-26 Code de l'environnement

18 Voir l'annexe II de l'arrêté du 8 janvier 1998

Vu le coût très élevé des investissements en matière de réseaux d'assainissement et de Step et le grand impact de ces derniers sur l'environnement, le ministère, sur instruction du Président de la République, Abdelaziz Bouteflika, s'attèle à la réutilisation des effluents traités (eaux et boues), a affirmé M. Ait Amara.

« Nous n'avons pas le droit à l'erreur. Nous devons respecter ces normes », poursuit M. Ait Amara, relevant l'existence d'une coordination entre son ministère et celui de l'Agriculture pour la réutilisation des eaux et boues d'épuration.

Ait Amara a appelé, dans ce sens, les fellahs à recourir en toute confiance à l'utilisation des eaux traitées et des boues d'épuration, car elles sont, a-t-il assuré, conformes aux standards et riches en matières organiques « très bénéfiques » pour la production agricole.

A titre d'exemple, 900 hectares de terres agricoles dans la wilaya de Tlemcen et 6.000 autres hectares dans la région d'El Karma (wilaya d'Oran) ont bénéficié de l'irrigation en eaux traitées et ont donné de « bons » résultats en termes de rendement, a soutenu M. Ait Amara.

L'épandage des boues d'épuration doit respecter des procédures et des normes strictement définies par les textes, destinées à garantir son innocuité

3.1. Encadrement réglementaire :

L'épandage des boues ne peut être pratiqué que s'il présente un intérêt pour le sol ou pour la culture et s'il est adapté à l'ensemble des caractéristiques du sol et de sa flore. En tout état de cause, il ne doit en aucune façon porter atteinte à la santé de l'homme et des animaux, à l'état phytosanitaire des cultures, à la qualité des sols et des milieux aquatiques.

Il est interdit d'épandre des boues brutes. Il est obligatoire de leur faire subir un traitement préalable visant à réduire, de façon significative, leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation. L'épandage est également interdit 15 :

- Sur les sols gelés ou enneigés ;
- Pendant les périodes de forte pluviosité ;
- En dehors des terres régulièrement travaillées et des prairies normalement exploitées ;
- Sur les terrains en forte pente, dans des conditions qui entraîneraient leur ruissellement hors du champ d'épandage ;
- À l'aide de dispositifs d'aérodispersion qui produisent des brouillards fins ;
- Sur le site d'anciennes carrières ;
- Sur des sols dont le pH, avant épandage, est inférieur à 6 (il existe néanmoins une exception pour les boues chaulées avec des conditions supplémentaires)¹⁶

Il peut être réalisé sur les sols agricoles, les sols en voie de reconstitution ou de revégétalisation, qu'ils soient publics ou privés 17. L'épandage en zone boisée n'est autorisé qu'à titre expérimental.

Des distances minimales (entre 5 et 500 mètres) par rapport au milieu aquatique environnant et aux zones habitées en fonction des traitements préalables qu'ont subi les boues doivent être observées

Conformément à l'article R211-40 du CE : « les périodes d'épandage et les quantités épandues doivent être adaptées de manière à :

- • Respecter la capacité maximale d'absorption des sols ;
- • Éviter la stagnation prolongée sur les sols, le ruissellement en-dehors de parcelles d'épandage et une percolation rapide.

Élément	Contenu	Commentaire
Étude préalable	<p>Définit l'aptitude du sol à recevoir les boues, le périmètre, les modalités de réalisation y compris les matériels et dispositifs d'entreposage nécessaires</p> <p>Cette étude justifie du respect des conditions édictées par la loi qui impose également que les capacités d'entreposage doivent tenir compte des périodes où l'épandage est interdit (par exemple en hiver) ou impossible (période de sécheresse)</p> <p>L'étude doit également prévoir une autre filière d'élimination en cas d'incident.</p>	Financée par le producteur de boues
Registre d'épandage	Synthèse des activités d'épandage contenant les parcelles épandues, caractéristiques des boues, des sols, etc	<p>Une copie de ce registre doit être transmise au préfet tous les ans</p> <p>Le producteur de boues doit garder ce document pendant dix ans</p>
Programme prévisionnel annuel	Précise les parcelles réceptrices pour la campagne suivante, leurs caractéristiques ainsi que les cultures pratiquées, les préconisations d'emploi des boues, notamment les quantités à épandre, le calendrier de l'épandage et les parcelles réceptrices	Obligatoire seulement pour les stations d'épuration de plus de 2000 EH (flux de polluant journalier >120kg DBO5). Réalisé avant chaque campagne et remis au plus tard un mois avant le début de la campagne d'épandage
Bilan annuel de programme d'épandage	<p>Il permet le suivi continu de la qualité des épandages et des boues en précisant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • - Leurs caractéristiques : surtout leur teneur en métaux lourds, en micropolluants et en micro-organismes pathogènes ainsi que leur intérêt agronomique) ; • - Leur provenance ; • Leur origine.Ce registre doit aussi contenir l'accord signé avec l'utilisateur, les quantités de boues concernées et leurs préconisations d'emploi. Il doit également définir les dates d'utilisation, les parcelles réceptrices, etc. 	Obligatoire seulement pour les stations d'épuration de plus de 2000 EH (flux de polluant journalier >120kg DBO5), transmis au préfet au plus tard e, même temps que le programme prévisionnel d'épandage de la campagne suivante

La quantité d'application des boues sur ou dans le sol ne peut dépasser 3 kg de matière sèche de boues par mètre carré de sol sur 10 ans ».

Les principales démarches administratives associées à l'établissement et à la gestion du plan d'épandage sont repris dans le tableau ci-après.

Les conditions générales fixées par le code de l'environnement sont précisées par l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles. Il définit précisément les modalités techniques d'épandage que doivent respecter les producteurs de boues pour prévenir tout risque sanitaire et écologique de contamination du sol et des cultures.

De même que le compost de boues d'épuration (norme NFU 44-095, voir ci-après), l'arrêté du 8 Janvier 1998 rend obligatoire la surveillance des boues. Les fréquences d'analyse sont fonction des quantités de matière

sèche produites et sont réduites de moitié après une année dite de caractérisation 19. Par ailleurs, si un mélange de boues est autorisé (ce qui est assez rare car la réglementation l'interdit mais une autorisation par dérogation préfectorale est possible), ces analyses sont à effectuer sur les différentes composantes et doivent faire mention de la proportion du mélange. L'épandage des boues conformes à l'arrêté du 08 Janvier 1998 est soumis à autorisation ou déclaration au titre de la nomenclature IOTA.

4. Retour au sol des boues après compostage :

4.1. Descriptif du procédé :

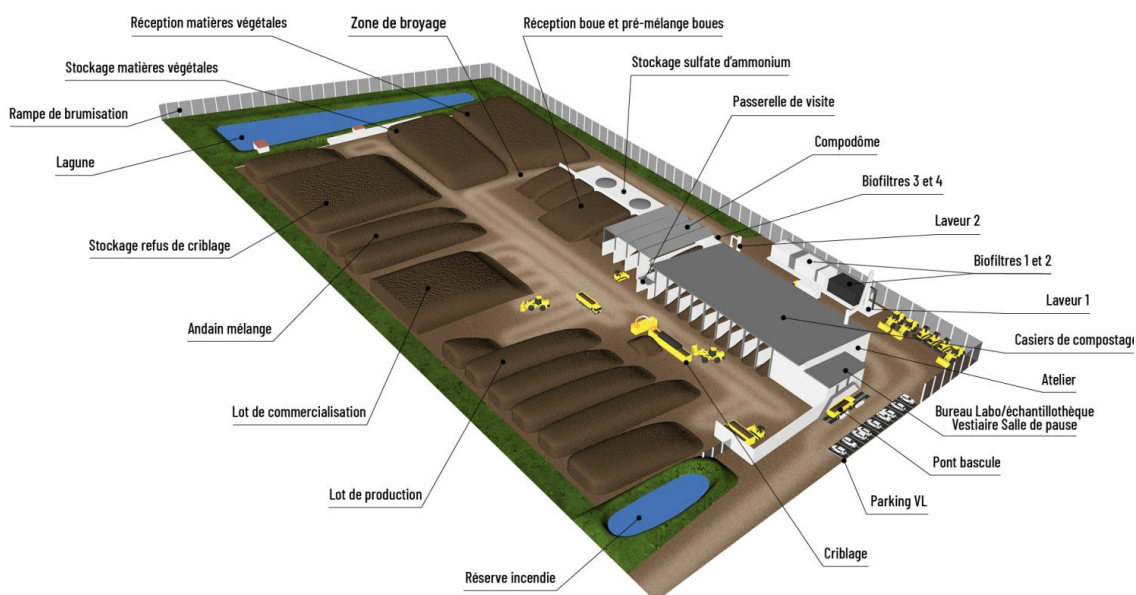


Schéma d'une usine de compostage (source : agricompost.eu)

5. Capacités de traitement et quantités de biodéchets traitées :

La surface nécessaire pour une installation comprenant un composteur électromécanique, des équipements supplémentaires, une zone de maturation et une zone de stockage du structurant varie de 50 à 100 m² pour les installations traitant moins de 30 t/an. Dans le cas du site n°6, qui traite 600 tonnes de biodéchets par an, cette surface est de l'ordre de 600m².

En termes de quantités de biodéchets traités, la moyenne est de 74,7 t/an sur l'ensemble des 9 sites enquêtés. Toutefois, 90% des installations étudiées traitent une quantité de biodéchets inférieure à 30 t/an

A noter que les quantités de biodéchets traitées représentent, en moyenne, 60% des capacités annoncées par les fournisseurs, mais que les sites n°1, 2, 4, 5 et 8 exploitent moins de 50% de la capacité des machines installées

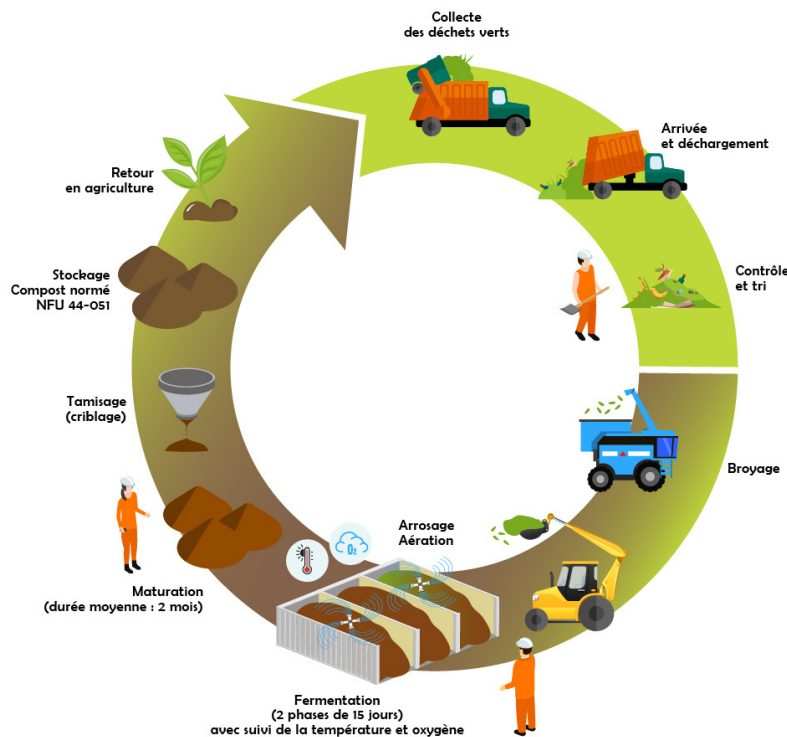


Le compostage est une dégradation par voie aérobie (donc en présence de dioxygène) des éléments organiques fermentescibles des boues. Ce procédé conduit à la formation d'un matériau, appelé compost, riche en matières humiques, mais également à des dégagements de gaz carbonique, d'ammoniaque, d'eau, d'azote et de chaleur. Il nécessite un apport en Oxygène, en eau et en matières organiques, sources de carbone et d'azote, pour assurer une croissance suffisante des bactéries aérobies. Les matières organiques sont dégradées en phases successives, ce qui permet de déterminer le degré de maturation du produit.

6. Nécessité d'un apport de structurant :

Les boues ne sont pas « auto-compostables » à cause de leur humidité trop élevée (malgré l'épaississement et la déshydratation préalables), de leur comportement physique incompatible avec la libre circulation de l'air et d'un rapport carbone / azote (C/N) trop faible, le rapport adapté étant de l'ordre de 30/20, mais cela dépend du type de structurant apporté. Il faut donc mélanger les boues avec un support structurant carboné. L'apport structurant le plus utilisé est composé de déchets verts, mais il est aussi possible d'utiliser des écorces de pins, des rafles de maïs, des copeaux et sciures ou encore des palettes de bois déchiquetées. L'utilisation de ces différents substrats peut cependant faire concurrence à d'autres filières de valorisation et apporte relativement peu de carbone (voir en Annexe 3 le tableau des apports de chaque structurant). Des tests en laboratoire ont été menés en utilisant un structurant synthétique de bois mais cette technique n'a pas été expérimentée à grande échelle à ce jour.

FONCTIONNEMENT DE LA PLATEFORME DE COMPOSTAGE DE DÉCHETS VERTS DE CHÉZY



source energie-
environnement

A la fin du cycle de compostage, le support structurant est généralement criblé afin de le recycler, ce qui permet une diminution des approvisionnements. Par exemple, lors de l'utilisation d'écorces, le criblage peut être effectué après la phase de fermentation du compost et avant la phase de maturation. Cela permet le recyclage du substrat grossier et un meilleur contrôle de la granulométrie du compost. La nature du support carboné ainsi

que la proportion du mélange boue/support varie de manière significative selon les plates-formes pour tenir compte de différents critères comme la teneur en eau des boues, les conditions climatiques ou la technique de compostage utilisée (retournement d'andains, aération forcée, réacteur fermé). Le compostage fait donc appel à un savoir-faire propre à chaque exploitant.

7. Processus de fermentation aérobie :

L'efficacité de la réaction de fermentation dépend de l'aération du substrat. Celui-ci doit être travaillé en andains, bien aéré et humidifié de manière optimale (60% d'humidité conseillé en phase initiale). Les techniques d'aérations forcées (aspiration ou insufflation) se sont développées pour accélérer encore le processus de dégradation et augmenter la productivité. Par ailleurs, une aération efficace permet de limiter les émissions de CH₄ et les odeurs. La température des boues compostées en phase thermophile peut atteindre 70°C, c'est à cette température que se produit la phase d'hygiénisation des boues, à laquelle la concentration des micro-organismes pathogènes d'un milieu est réduite à un niveau non détectable (définition de l'arrêté du 08 Janvier 1998 sur les boues d'épuration).

Les systèmes d'aération forcée sont préférables par rapport à l'aération par retournements. En effet, la demande des boues en oxygène est très importante du fait de leur nature hautement fermentescible. De plus, le système d'aération par retournements semble souvent confronté à des problèmes d'odeurs et il nécessite un programme précis d'aération. Cependant, cette technique permet d'assurer une meilleure homogénéisation des boues et d'une hygiénisation totale du produit par effets thermiques.

7.1. MATURATION : La maturation consiste à stocker le compost dans un hangar aéré ou à l'extérieur. La durée de cette étape varie entre 50 et 180 jours. La fin de la maturation se décide en fonction de l'aspect et de l'odeur du compost, de la baisse de la température ou à l'aide d'un respiromètre.



7.2. CRIBLAGE :

En fonction des exigences du client et de la granulométrie du support carboné, un criblage final peut être opéré. Cela consiste en un tamisage du matériau pour affiner le compost final, et récupérer le refus qui sera réintégré en début de procédé de compostage (mais qui est toutefois moins bon qu'un co-produit frais).

7.3. QUALITE DU COMPOST :

Quelle que soit la technique utilisée, la plupart des composts obtenus sont relativement de bonne qualité : taux de matière sèche compris entre 50 et 70%, charge polluante organique très réduite, pH neutre, produit stable et qualité agronomique intéressante. Il est également plus facile à transporter et à stocker que des boues brutes ou stabilisées chimiquement. Le compostage permet de stabiliser et d'hygiéniser efficacement les boues en vue de leur valorisation agronomique. Les composts de boues de STEU ont un ratio C/N plus élevé que les amendements d'origine animale et présentent un meilleur taux d'azote N 22

8. Cadre juridique :

8.1. Sur les Installations de compostage :

Les plateformes de compostages sont soumises au-delà d'une certaine taille à la réglementation sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement ICPE (Livre V titre 1er du code de l'environnement). Le compostage des boues de station d'épuration est réglementé par la rubrique 2780-2. Le décret 2012-384 du 20/03/12 a instauré un régime d'enregistrement qui n'existait pas auparavant pour les établissements de taille intermédiaire (entre le régime de déclaration et le régime d'autorisation).

Ainsi les installations de compostage des boues d'épuration :

- insi les installations de compostage des boues d'épuration : • Sont soumises à autorisation si la quantité de déchets traitée dépasse 75 t/jour ;
- Sont soumises à enregistrement si la quantité de déchets traités est comprise entre 20 t/jour et 75 t/jour ;
- Sont uniquement soumises à déclaration si la quantité de déchets traitée dépasse 2t/j mais reste inférieure à 20 t/jour ;

La réglementation ICPE fixe des critères techniques pour les installations soumises à autorisation :

Tableau 4 : Critères techniques concernant les installations soumises

Procédé de compostage	Procédé imposé
Par retournement	3 semaines de fermentation 3 retournements minimum 3 jours entre chaque retournement 55 °C au moins pendant 72h
Par aération forcée	2 semaines de fermentation 1 retournement au minimum 3 jours entre chaque retournement 55°C minimum pendant 72h.

Les arrêtés s'appliquant aux installations de compostage sont :

- L'arrêté du 22 avril 2008 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de compostage ou de stabilisation biologique aérobie soumises à autorisation en application du titre 1er du livre V du code de l'environnement ;
- L'arrêté du 12 juillet 2011 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées de compostage soumises à déclaration sous la rubrique 2780.

La TGAP a été supprimée dans le cadre des activités de compostage par l'article 18 de la loi n°207-1837 du 30 décembre 2017. Cette Taxe Générale sur les Activités Polluantes et due par les entreprises dont l'activité ou les produits sont considérés comme polluants.

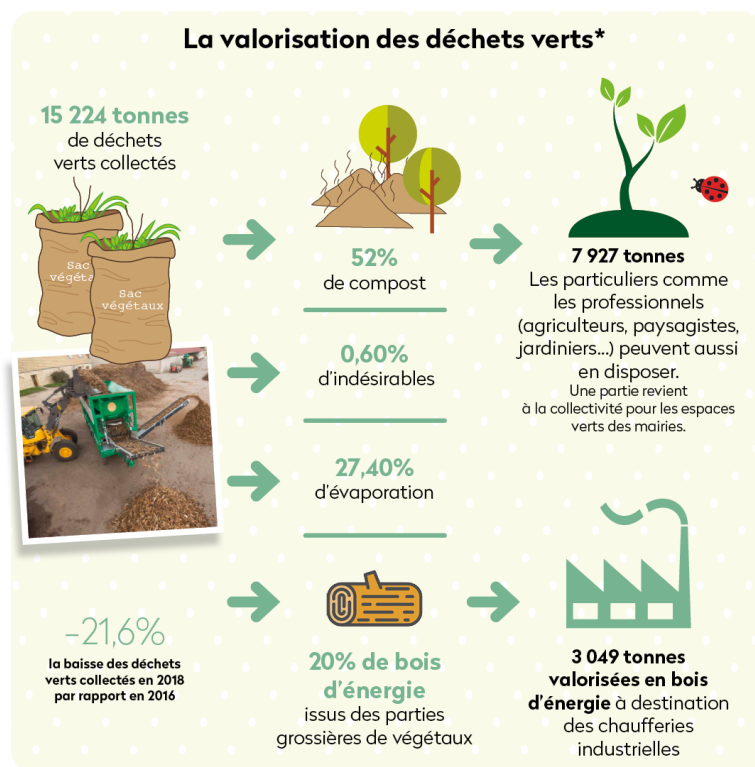
8.2. Sur le compost :

Les composts issus de boues d'épuration urbaines peuvent être mis sur le marché en dehors d'un plan d'épandage lorsqu'ils sont conformes à la norme rendue d'application obligatoire NF U44-095 ou NF U44-295 relatives aux composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux résiduaires (MIATE). Ils peuvent également être commercialisés. Un arrêté du 18 mars 2004 précise les modalités d'application de cette norme. Par ailleurs les Produits Résiduaires Organiques (PRO) sont aussi concernés par la NFU44-051 datant de 2006 qui concerne les produits fabriqués à partir de déchets végétaux et animaux et les composts urbains fabriqués à partir des ordures ménagères

Les composts de boues d'épuration peuvent prétendre à une sortie du statut de déchet mais celle-ci n'est en aucun cas simplifiée par la norme rendue d'application obligatoire NFU44-095, les conditions sont précisées dans l'article L 541-4-3 du Code de l'Environnement.



Les composts issus de boues de STEU peuvent être utilisés en agriculture biologique car ils figurent dans la liste de l'annexe II A du règlement n° 2092/91, cahier des charges de l'agriculture biologique. En outre, certaines industries agroalimentaires et organismes collecteurs excluent les amendements organiques fait à partir de boues.



* Répartition théorique selon données Zymovert

ÉLÉMENT	PARAMÈTRE	ARRÊTÉ	NFU44-095	NFU44-051	RÈGLEMENT EUROPÉEN
		08/01/98 (ÉPANDAGE)	(COMPOSTAGE)	(COMPOSTAGE)	DU 27 MARS 2019 SUR LES AMENDEMENTS ORGANIQUES
MS et MO	Teneur en MS en % Teneur en MO en % de produit brut		>50% >20%	>30% >20%	>20% /
ETM (valeur limite en mg/kg MS)	As Hg Cd Se Cr Ni Pb Cu Zn Cr+Cu+Ni+Zn	/ 10 10 / 1000 200 800 1000 3000 4000	18 2 3 12 120 60 180 300 600 /	18 2 3 12 120 60 180 300 600 /	Arsenic inorganique : 40 1 1.5 / Cr Vi :2 500 120 300 /
Inertes et impuretés	Films +PSE > 5mm Autres plastiques > 5mm Verres + métaux > 2 mm	/ / /	< 0.3% de MS < 0.3% de MS < 2.0 % de MS	< 0.3% de MS <0.8 % de MS < 2.0 % de MS	Impuretés macroscopiques de taille >2mm: 3 g/kg pour chaque matière (verre, métal, matières plastiques) somme des 3 matières : 5 g/kg
CTO (valeur limite en mg/kg MS)	Total des 7 PCB H.A.P Fluoranthène Benzo(b)fluoranthène pyrène	0.8 5 2.5 2	8.5 4 2.5 1.5	/ 4 2.5 1.5	HAP16 : 6 /

Paramètres micro biologiques	Coliformes	absence	/	/	/
	Escherichia coli	/	104/g MB	103/g MB	/
	Clostridium	/	103/g MB	103/g MB	/
	perfringens	/	105/g MB	103/g MB	/
	Entérocoques	/	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	Absence dans 1,5 g de MB
	Œufs d'Helminthes	< 3 NPPUC/10g MS	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	/
	Listeria monocytogènes	/	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	Absence dans 1 g de MB
	Salmonelles	< 8 NPPUC/10g MS	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	MB
	Entérovirus	< 3 NPPUC/10g MS	Absence dans 1 g de MB	/	/
			/	/	/

Tableau : Comparaison des différentes normes et arrêtés concernant les boues d'épuration et les composts (teneurs limites)

9. Coûts d'installation :

Les boues d'épuration sont les déchets les plus chers à traiter en compostage, cela est dû aux conditions particulièrement difficiles qui demandent des installations performantes et coûteuses (problème d'odeurs nécessitant une aération automatisée et un traitement sous bâtiment, lixiviats). Lorsqu'il est vendu, le prix de vente des composts peut varier entre 12 et 25 euros/t de produit selon la quantité achetée

Procédé	Coût d'investissement	Coût d'investissement (ramené à la tonne de déchet entrant).
Compostage lent	850 000 euros	124 euros/t/an
Compostage accéléré à l'air libre	1,7 million d'euros	189 euros/t/an
Compostage sous bâtiment	3,4 millions d'euros	465 euros/t/an

Coûts d'investissement d'une usine de compostage en 2005

10. Avenir de la filière :

Néanmoins, la filière du compostage des boues d'épuration est remise en question par les derniers projets de loi. Les modifications de l'article R.211-29 du code de l'environnement à venir (textes en attente de validation) autorisent le mélange des boues de différentes installations, ce qui était jusqu'à présent interdit de crainte de perdre la traçabilité des sous-produits, mais interdit le mélange des boues avec d'autres biodéchets, or le compost de boues d'épuration ne peut se faire sans un apport de 30 à 50% de biodéchets comme des déchets verts. L'avenir du compost de boues d'épuration est donc pour l'instant en suspens

La directive déchet de 2008 a été modifiée récemment en 2018 et fixe des nouveaux objectifs aux états européens en termes de collecte des déchets. Ils doivent veiller à mettre en place au plus tard le 31 décembre 2023 soit une collecte séparée et non mélangée des biodéchets, soit un tri et un recyclage à la source. Une dérogation est possible si la collecte et donc le traitement conjoint de différents types de déchets n'a pas d'incidence sur la capacité de recycler ou valoriser ces déchets.

chapitre 3 : Valorisation énergétique des boues d'épuration

1. Digestion anaérobie : la méthanisation :

La méthanisation représente une étape intermédiaire entre la production des boues en station et les autres filières de valorisation des boues et digestats. C'est d'une part une étape de stabilisation c'est-à-dire de dégradation des matières volatiles susceptibles de relancer la fermentation, mais aussi d'hygiénisation seulement partielle car les principaux micro-organismes pathogènes des boues sont des germes fécaux et les températures atteintes n'ont qu'un effet limité sur eux

1.1. Procédé :

Contrairement au compostage, la méthanisation est une fermentation de la matière organique des boues en l'absence d'oxygène (anaérobie). Les déchets organiques sont stockés dans une cuve hermétique, le digesteur, et sont soumis à l'action de bactéries en conditions anaérobiques pendant une durée de 30 à 50 jours

Il existe trois types de fermentations liées à la température ambiante :

- La fermentation psychrophile (entre 15 et 20°C) : digestion froide et lente (plusieurs semaines) mais ne nécessitant pas de chauffage
- La fermentation mésophile (entre 30 et 35°C) : procédé reposant sur l'activité des entérobactéries (bactéries de l'intestin).
- La fermentation thermophile (entre 50 et 60°C) : seules les bactéries thermophiles et les actinomycètes subsistent. Le temps de séjour est court, mais l'exploitation s'avère délicate.

C'est la digestion mésophile qui est la plus répandue. Cette technique permet une réduction supplémentaire (jusqu'à la moitié) du volume des boues, ce qui rend le stockage et le transport plus aisés et moins onéreux

La digestion anaérobie produit d'une part un digestat pouvant être valorisé en agriculture car il est riche en matière organique et, d'autre part, du biométhane principalement constitué de méthane CH₄ (environ 50 à 70%) et de dioxyde de carbone CO₂ (entre 20 et 50%), la valorisation du déchet est donc double. La méthanisation permet de produire une énergie renouvelable au plus près des consommateurs et réduit la consommation d'engrais des agriculteurs.



Votre texte de paragraphe

La méthanisation peut être réalisée à partir de nombreux intrants différents : effluents agricoles (lisiers, CIVE, déchets d'entretien), effluents de l'industrie agroalimentaire, déchets de restauration et de collectivités. Ces différents intrants possèdent des pouvoirs méthanogènes variés (voir Annexe 4).



Il faut tenir compte du fait que l'intrant de la méthanisation a un impact sur la productivité du processus. Ainsi, les boues primaires riches en matière organique produisent deux fois plus de biométhane que les boues aérées. La méthanisation possède de plus l'avantage de réduire le besoin de traitement biologique ultérieur

1.2. Co-méthanisation :

La co-méthanisation consiste à mélanger les intrants du méthaniseur afin d'optimiser la production de biométhane. D'après le graphique en Annexe 4, les intrants du procédé ont des potentiels méthanogènes très variés : les boues représentent un potentiel de 51 Nm³/tMB face à 317 Nm³/tMB pour les matériaux issus de séparateurs de graisses en station d'épuration. Mélanger les différents MIATE permettrait alors d'améliorer la production de biométhane des boues en leur ajoutant des huiles, très grasses et donc très avantageuses pour la digestion.

Jusqu'à présent le code de l'environnement interdit par principe le mélange des boues provenant de stations d'épuration différentes. Le mélange des boues entre elles ou avec des biodéchets (déchets de l'industrie agro alimentaire, fumiers...) est néanmoins possible par dérogation préfectorale, comme d'autres mélanges d'intrants. Les projets de mélange en entrée de digesteur sont néanmoins bloqués depuis 2018 en raison de l'arrêté dit « 5 flux » datant de mars 2016 (décret n°2016-288) qui dit qu'il est « interdit de mélanger les biodéchets triés par leur producteur ou détenteur avec d'autres déchets n'ayant pas fait l'objet d'un même tri ». Les conclusions d'un groupe de travail datant du 11 Juin 2018 laissaient entrevoir la possibilité de mélange de certains intrants : boues avec d'autres déchets organiques (hors biodéchets) et boues avec la fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) seulement en l'absence de retour au sol. Néanmoins les conclusions de ce groupe de travail n'ont pour l'instant pas été retranscrites dans des projets de loi. Le principal frein au mélange des intrants de la méthanisation est l'acceptabilité des agriculteurs qui restent attachés à la logique du plan d'épandage qui est un gage de la traçabilité des boues.

2. Valorisation du biométhane :

L'avantage principal de la méthanisation est la valorisation du biométhane produit, qui a un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³ (le PCI correspond à la quantité théorique d'énergie contenue dans un combustible). Cette valorisation peut être effectuée de quatre manières :

- Valorisation thermique : valable si un débouché pérenne et régulier est disponible sur l'année, pour la chaleur, à proximité du lieu de production (industrie, réseau de chaleur) ou en interne (digesteur de boues)
- Valorisation électrique, cogénération ou production alternée : Elle est très répandue à l'étranger et s'est développé en France depuis une quinzaine d'années
- Utilisation sous forme de biocarburant (GNV)
- Raccordement au réseau de gaz naturel : l'injection de biométhane (biométhane épuré) issu de la méthanisation des boues d'épuration a reçu l'approbation de l'ANSES en 2014. En 2019 10 installations injectent déjà sur le réseau et 7 sont en cours de construction

2.1. Autoconsommation du biométhane à Achères :

La station de traitement des eaux usées de Seine Aval à Achères, la plus grande STEU de France (capacité de 7,5 millions d'EH) utilise le biométhane produit par son unité de méthanisation des boues d'épuration pour alimenter aussi bien le chauffage des locaux et digesteurs que le conditionnement thermique des boues. Avant la refonte de la station, 60% des besoins énergétiques thermiques de l'usine étaient couverts. Seine Aval est le premier producteur de biométhane au niveau Français



Les digestats de la méthanisation sont hygiénisés par conditionnement thermique puis valorisé en agriculture (épandage direct et compost)

2.3. Unité d'injection de biométhane à Marseille :



La station d'épuration Géolide à Marseille d'une capacité de 1,8 millions d'EH s'est dotée récemment d'une unité de production et d'injection de biométhane, nécessitant un investissement de 9,2 millions d'euros. Financée par la Métropole Aix-Marseille-Provence, Suez, l'Agence de l'eau RMC, l'ADEME et la Région PACA, cette unité devrait produire à terme l'équivalent de la consommation de 2 500 foyers en biométhane (soit 3,5 millions de Nm³/an).

La vente de biométhane aux opérateurs gaziers contribue au financement du projet avec un retour sur investissement de 11 ans. Le chiffre d'affaire annuel liée à la vente de biométhane est estimé à 1,7 millions d'euros.

Avant d'être injecté sur le réseau, le biométhane produit par la digestion doit être épuré pour ne conserver que le biométhane. Cette étape de traitement rejette un évent contenant les autres sous-produits du biométhane (dioxyde de carbone, vapeur d'eau, sulfure d'hydrogène, ammoniac...)



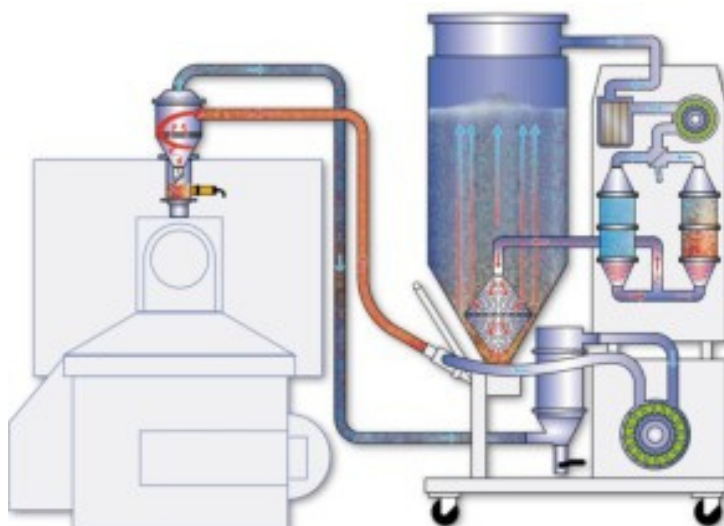
Concernant l'injection de biométhane dans le réseau, une étude GRDF pour l'ADEME en 2014 donne des TRI (taux de rentabilité interne) atteignant 10% à partir de STEU > 60 000 EH pour une installation récente et 45 000 EH pour une STEU disposant déjà d'un digesteur. On considère que ce TRI > 10% est atteint pour une production de l'ordre de 60 Nm³/h, mais l'injection est possible dès 10 Nm³/h.

3. Incinération des boues :

3.1. Traitement thermique dédié : mono-incinération :

Les boues déshydratées restent des déchets difficiles à brûler en raison de leur texture compacte et de leur humidité importante (55-70%), donc de faible pouvoir calorifique. Il est avantageux de déshydrater préalablement les boues (pour atteindre une siccité de 25 à 45%) afin d'augmenter leur pouvoir calorifique et de réduire les volumes à traiter.

Un des procédés les plus utilisés est le four à lit de sable fluidisé (Figure). Les températures de combustion sont généralement comprises entre 850 et 900°C. En sortie de réacteur, du sable chaud est mélangé aux boues, afin de créer une turbulence facilitant la combustion, puis il est réintroduit en bas du réacteur de fluidisation. Le principal intérêt de cette technique réside dans le fait que la combustion est auto entretenue si les boues ont une siccité supérieure ou égale à 25-30%. La chaleur produite dans l'Unité de Valorisation Énergétique est alors valorisée sous forme de chaleur.



Alors que le traitement thermique dédié n'était autrefois envisageable que pour des stations d'épuration de taille importante (capacité supérieure à 100.000 EH), cette solution peut maintenant être envisagée pour des gisements plus modestes. Malgré tout, cette filière reste coûteuse avec un coût généralement compris entre 90 et 150 €/t de MB.

3.2. incinération avec des ordures ménagères :

La co-combustion consiste à valoriser thermiquement des boues en utilisant les équipements d'une installation de traitement thermique. Ce procédé est assez performant, mais il est surtout simple et économique, ce qui explique l'intérêt grandissant que lui portent de plus en plus de collectivités. Le coût du co-traitement thermique de boues est en moyenne de 75 €/tMB

Le four le plus couramment utilisé est le four à grille. Les boues peuvent être introduites dans le four sous deux formes : soit elles sont juste déshydratées, soit elles sont pré-séchées. Pour éviter un traitement encore plus coûteux des fumées, il est préférable de "filer" doucement, au travers d'injecteurs, pulvériser et projeter les boues brutes au lieu de les émietter. Ce procédé permet de concentrer les résidus dans les mâchefers et non

dans les cendres volantes. Néanmoins cette technique nécessite d'avoir des boues de siccité comprises entre 15 et 35%, avec un taux de MO supérieur à 40%. Un procédé alternatif consiste à sécher intensément une partie des boues (préalablement déshydratées à 35%) jusqu'à 95% de MS pour ensuite la mélanger à l'autre partie non séchée et obtenir ainsi une siccité moyenne d'environ 65% aisément transformable en granulés. Une partie de ces granulés est envoyée dans les fours alors que l'autre partie est orientée vers le sécheur pour fabriquer des boues à 95% de siccité.

L'intérêt principal du traitement thermique des boues de STEU est tout d'abord de transformer les boues en cendres ou en mâchefers, avec une réduction de volume d'environ 90%. Ces produits sont des déchets ultimes qui seront stockés. De plus, la combustion des boues offre une possibilité de valorisation énergétique, surtout dans les fours de capacité importante. En revanche, le co-traitement n'est envisageable que si le four se trouve à proximité des stations d'épuration, afin d'éviter des coûts de transport prohibitifs. Par ailleurs, il est nécessaire d'aménager une zone de stockage bien dimensionnée sur le site de l'UVE afin de faire face aux variations de flux.

On peut distinguer deux procédés selon le type de boues :

- Les boues séchées doivent être comprises dans le volume des déchets brûlés, et peuvent représenter de 65 à 90% de ce volume
- Les boues déshydratées peuvent être rajoutées en plus des déchets brûlés mais ne doivent pas dépasser 10% de la capacité du four

3.3. incinération dans les fours de cimenterie :

Cette technique offre une possibilité d'élimination des boues d'épuration séchées. En effet, les boues de siccité supérieure à 90% ont un pouvoir calorifique important (de 10 à 12 MJ/kg). Elles peuvent donc être utilisées comme combustible et remplacer une partie de la consommation en énergie fossile. De plus, la chaleur produite par le processus peut être utilisée pour le séchage des boues. Cependant, pour pouvoir profiter de cette chaleur, la station d'épuration doit être à proximité de la cimenterie.

4. Oxydation par voie humide :

L'oxydation par voie humide consiste à traiter thermiquement des boues en s'affranchissant des étapes de déshydratation et de séchage. Il s'agit de chauffer les boues à 200-250°C, sous pression (jusqu'à 50 bars) et en présence d'oxygène pur, pour éviter une évaporation de l'eau. Le temps de séjour varie entre 30 et 60 minutes. La réaction détruit jusqu'à 95% de la matière organique en la transformant principalement en dioxyde de carbone et en ammoniac. On obtient ainsi :

- Une solution aqueuse, renvoyée en tête de station pour être recyclée
- Des gaz de combustion traités ultérieurement dans un réacteur catalytique,
- Un résidu solide minéral à 50% de siccité contenant moins de 5% de MO appelé technosable³¹.

Cette technique permet de traiter des boues sortant directement de l'épaississeur (siccité inférieure à 10%). Elle présente également les avantages de simplifier le traitement de l'air par rapport à l'incinération (diminution de moitié des émissions de CO₂ et de fumées dépourvues de poussières, de métaux lourds et de dioxines), et d'être bien adaptée aux stations de capacité moyenne (50 000 à 150 000 EH).

4.1. Production de résidu minéral par la station d'épuration d'Épernay-Mardeuil :

La STEU d'Épernay-Mardeuil utilise la technique d'Oxydation par voie humide pour le traitement de ses boues et produit environ 700 tonnes de résidu solide minéral par an. Après plusieurs années de recherche sur leur valorisation possible, deux voies ont émergé : les travaux publics et la céramique. Après une phase d'essais au début des années 2010, la réutilisation de ce matériau a obtenu l'aval de l'état. Il est désormais utilisé comme remblai dans les chantiers d'assainissement de la collectivité et incorporé aux matières premières de la production de faïences, dans les deux cas, l'autorisation préfectorale fixe un taux limite dans ces deux usages de respectivement 35% et 7%.

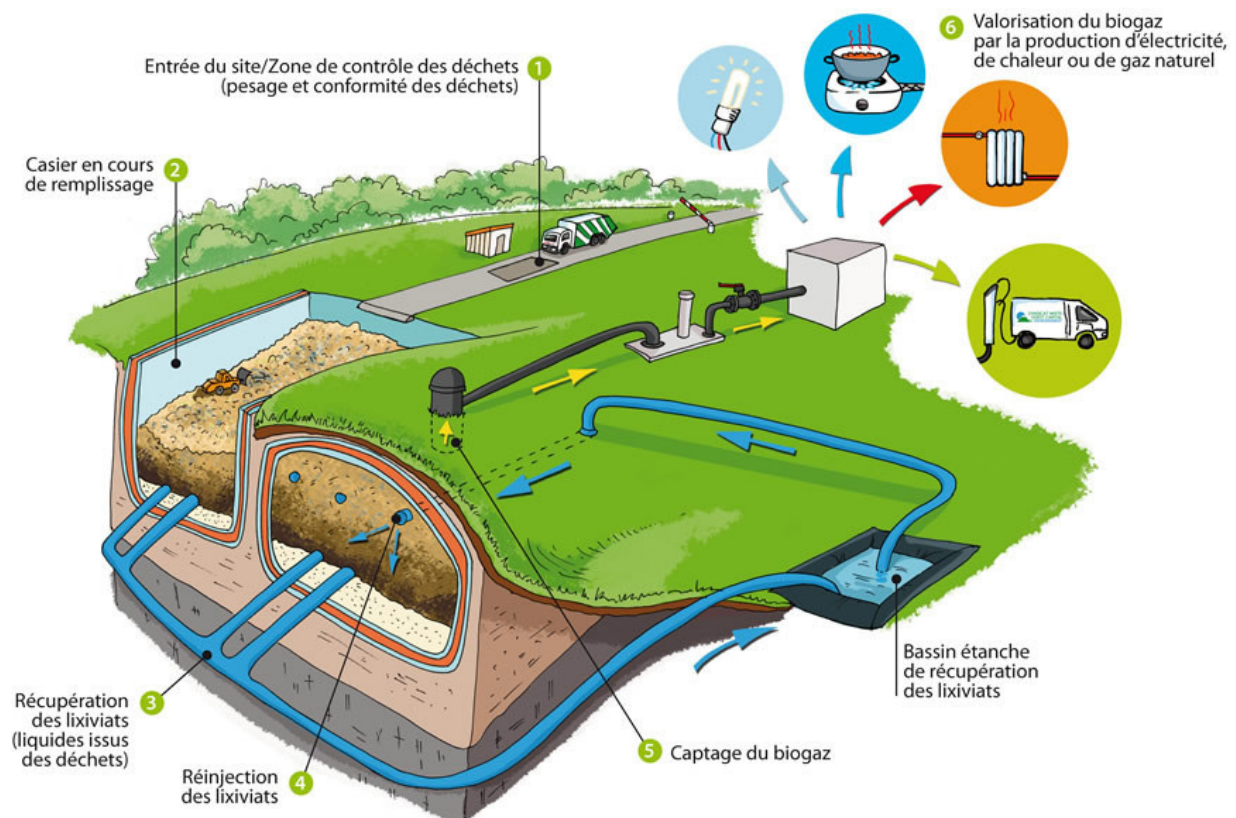


5. la ISDND :

L'intérêt de cette voie d'élimination réside dans la valorisation éventuelle du biométhane produit par la fermentation anaérobie des boues dans une ISDND.

La directive européenne 91/271 du 21 mai 1991 interdit la mise en décharge des déchets qui ne sont pas considérés comme des déchets ultimes (c'est-à-dire qui peuvent être valorisables), ou qui contiennent plus de 70% d'eau et plus de 10 à 20% de matière organique. Les boues de stations d'épuration dont la siccité est inférieure à 30% ne peuvent donc plus être stockés. Dans les faits, la première échéance prévue pour Juillet 2002 n'a pas été respectée et une deuxième directive européenne du 26 avril 1999 a repoussé la réduction progressive de la mise en décharge en ISDND des déchets municipaux biodégradables jusqu'en 2015. A l'heure actuelle le volume de boues enfouies reste très faible, cela ne concernant que 2% des boues d'épuration.

La voie du stockage en ISDND des boues d'épuration est et doit rester une filière de secours ; elle est par ailleurs soumise à des pénalités sur les primes pour épuration des collectivités par l'Agence de l'eau



: Fonctionnement d'une ISDND (source : ADEME)

6. Les garanties d'origines :

La garantie d'origine (GO) est un document électronique qui permet à un fournisseur d'énergie de garantir à son client l'origine de l'énergie qu'il lui vend (biométhane ou électricité), une garantie d'origine correspondant à 1 MWh injecté sur le réseau de gaz ou d'électricité³³. La garantie d'origine est émise pour le producteur d'énergie renouvelable par un organisme tiers désigné en conseil d'état (GRDF ou Powernext), et le fournisseur d'énergie doit racheter les garanties d'origine sur un marché organisé par ce tiers. Un producteur d'énergie renouvelable ne peut néanmoins pas prétendre aux garanties d'origine s'il a déjà reçu des subventions pour son installation

Électricité : Depuis le décret du 5 avril 2018, les GO issues de production d'électricité ayant bénéficiées de subventions peuvent être mises aux enchères.

Biométhane : l'article 50 de la Loi Energie Climat adoptée définitivement le 26 septembre 2019 prévoit un décret en Conseil d'Etat pour la mise aux enchères des garanties d'origine du biogaz injecté dans le réseau de gaz naturel. Le nouveau dispositif s'appliquera aux contrats d'achat de biogaz injecté (biométhane) conclus à partir du 9 novembre 2020. Un Décret en Conseil d'Etat doit décrire les modalités de mise aux enchères des garanties d'origine françaises. Le cahier des charges pour l'appel d'offres pour le choix de l'organisme gestionnaire de l'appel d'offres sera rédigé ensuite.



7. Solutions alternatives :

7.1. La pyrolyse ou thermolyse :

Ce procédé correspond à une dégradation des boues séchées en l'absence d'air ($O_2 < 2\%$) et à une température comprise entre 400 et 700°C. A la fin de ce procédé, un gaz combustible et un composé solide (cendres), aussi appelé biochar, sont obtenus. Le gaz récupéré peut être réutilisé comme une source d'énergie, mais il nécessite une structure supplémentaire pour exploiter le potentiel énergétique de ces gaz formés. Le biochar est utilisable pour l'amendement des sols dans le cadre de l'arrêté du 8 Janvier 1998 car il améliore les propriétés pédologiques des sols (propriétés chimiques, physiques et biologiques) et permet de retenir l'eau dans les sols.

7.2. La technique mycélienne :

Cette technique consiste à utiliser un cocktail de certaines souches mycéliennes (moisissures), pour une réduction naturelle du volume de boues jusqu'à -30%. La matière réduite est transformée sous forme d'eau et d'élément gazeux, sans générer de pollution. Le mélange mycélien est adapté à l'installation et élaboré in situ dans un bioréacteur. Ce dernier alimente automatiquement les cuves de traitement aérobie et il permet l'auto entretien des espèces ainsi que leur bio-augmentation. Le temps de séjour dans la cuve est d'environ 5 à 10 jours minimum avec 1-3 mg d'oxygène dissous par litre.

7.3. La gazéification :

La gazéification consiste à convertir à forte température (900-1100°C) une énergie contenue dans un matériau solide en un résidu inerte et un gaz calorifique valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, avec des rendements énergétiques et un bilan environnemental favorables. Cependant, cette technique nécessite des boues préalablement séchées à 90%, ce qui grève pour le moment le coût de cette solution alternative. Le procédé de valorisation du gaz obtenu est la méthanation, qui consiste à faire réagir du dioxyde de carbone ou du monoxyde de carbone avec de l'hydrogène afin de produire du méthane.

7.4. Fabrication de plastique biodégradable :

Des chercheurs d'une filiale de Veolia Eau, ont lancé en 2010 un programme de recherche sur la fabrication de plastique biodégradable à partir des boues de STEU. La première expérience a été effectuée à l'usine d'AQUIRIS à Bruxelles. Certaines bactéries présentes dans les boues ont la capacité de produire des PHA (polyhydroxyalcanoate, molécule de plastique biodégradable) en cas d'absence de nutriments. En 2015 les chercheurs estimaient qu'une usine produisant 5 000 t/an de PHA serait économiquement viable³⁴. Un kilogramme de DCO (Demande Chimique en Oxygène) peut ainsi produire 0,15kg de PHA, le rendement pouvant sûrement être augmenté avec l'évolution de la technique.

8. Retour au sol spécifique :

8.1. Revégétalisation :

La revégétalisation est encore peu exploitée et reste à développer. Aucun arrêté ne fixe de prescriptions techniques applicables à l'épandage des boues en revégétalisation. Au lieu d'utiliser des boues traitées comme amendement pour des cultures, les boues sont utilisées comme substrat nourricier sur des sols inertes, érodés ou faiblement végétalisés. Cette technique est préconisée pour permettre la réhabilitation paysagère de sites défrichés stériles tels que les carrières, les décharges, les constructions d'autoroutes ou les travaux de terrassement³⁵. L'aménagement des espaces verts urbains est aussi envisageable



Cette technique est sujette, au sens du décret du code de l'environnement, aux mêmes dispositions que celles de l'épandage agricole, mais elle est inscrite dans un cadre différent. Le but de ce procédé n'est pas d'optimiser la production végétale mais plutôt d'assurer un développement durable des plantes.

8.2. Cultures énergétiques :

La méthode des cultures énergétiques filtrantes utilise des sylvicultures de saules pour filtrer les eaux usées ou les boues brutes, en particulier pour les métaux lourds. Les cultures de Taillis en très Courte Rotation sont développées par Bionis Environnement et le projet Willwater a mesuré un rendement de production de saule de 8 à 10 tMS/ha/an pour l'épandage des boues d'épuration, avec un prix de revient final du bois de 23 à 35€/t selon le rendement.

Des essais ont été menés avec succès sur l'épandage de boues d'épuration dans les zones boisées depuis les années 2010. Cependant, la réglementation actuelle en France, le décret 97-1133 du 8 décembre 1997, ne permet pas cette pratique. Des discussions sont en cours pour revoir les réglementations et permettre l'épandage des boues en zone forestière tout en assurant la protection de l'environnement et de la santé publique.

chapitre 4 : Valorisation des boues d'épuration

"les étapes clés pour réussir son projet"

Un projet de valorisation des boues d'épuration est avant tout tributaire du territoire dans lequel il s'insère. Il est dépendant avant tout des boues à valoriser (quantité, qualité) mais aussi des filières possibles de valorisation à proximité de la STEU

1. Adapter la filière à son territoire :

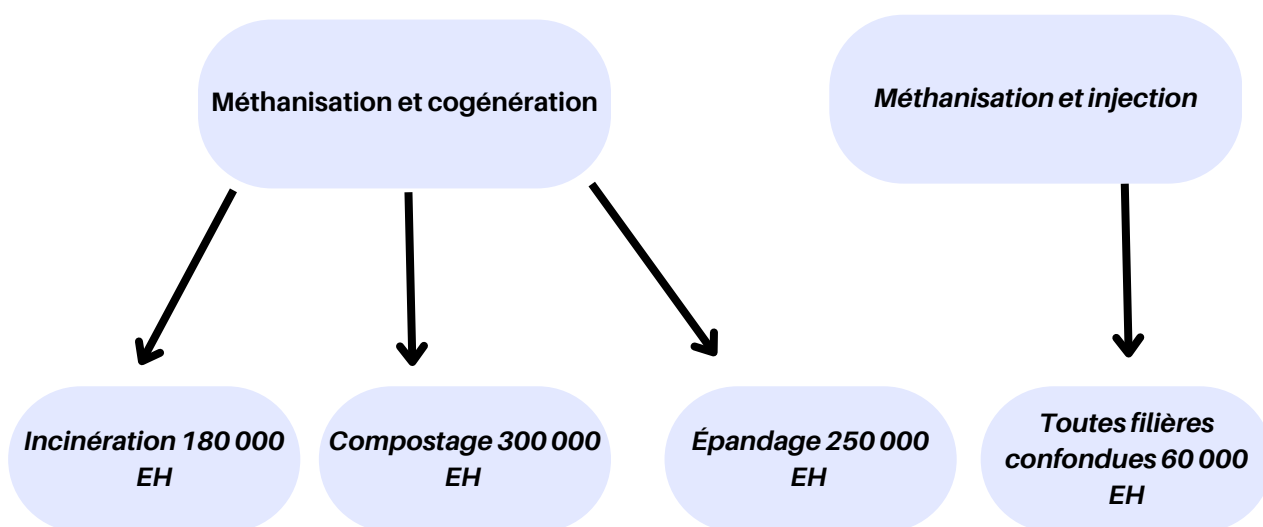
1.1. Qualité des boues en sortie de STEU :

Au préalable d'un projet de valorisation des boues d'épuration, il faut connaître la qualité des boues que l'on veut valoriser. Cette qualité agronomique, que l'on peut évaluer selon les teneurs en matière organique et en éléments fertilisants et selon la conformité des boues aux seuils fixés par l'arrêté du 08 Janvier 1998 conditionne la valorisation des boues par épandage. Elle dépend tout d'abord des rejets domestiques et non domestiques dans le réseau d'eaux usées mais aussi du type de traitement des eaux usées dans la STEU : présence d'un traitement primaire, filière biologique ou physico-chimique.

Par ailleurs la valorisation des boues n'a pas toujours la même rentabilité selon le type de boues injectées, c'est notamment le cas pour la méthanisation. Les boues issues de la décantation primaire sont beaucoup plus chargées en matière organique que les boues biologiques et donc produisent plus de biométhane

1.2. Valorisation du Volume :

La prise en compte des volumes de boues à valoriser est essentielle lors de la décision sur la voie de valorisation à adopter. Il est important de noter que chaque filière dispose de seuils de rentabilité différents qui guideront le choix de la collectivité. Il convient de souligner que l'installation d'un système de méthanisation dans une STEU n'est économiquement viable que pour les grandes stations. Selon une étude de l'ADEME36, la filière méthanisation et cogénération ainsi que la filière méthanisation et injection de biométhane dans les réseaux de gaz ont été évaluées pour déterminer les capacités nécessaires pour atteindre un taux de rentabilité interne de 10%.



: Capacité minimale des STEU pour atteindre un taux de rentabilité interne de 10% en méthanisation selon le type de valorisation (source : ADEME)

Ce schéma illustre les coûts importants liés à l'installation et à l'exploitation de tous les moyens de valorisation sur site de la part des STEU. Cela inclut l'investissement dans le méthaniseur et le four pour la cogénération en cas de cogénération. Toutefois, toutes les STEU peuvent valoriser leurs boues en méthanisation territoriale, même si le méthaniseur n'est pas sur site. Dans le cas où une STEU produit une quantité de boues d'épuration inférieure au seuil de rentabilité de la filière de valorisation, il peut être avantageux de mélanger les intrants de la valorisation. Bien que cela soit possible pour la méthanisation et la co-incinération, il est parfois soumis à dérogation. Cependant, le mélange des intrants en entrée de méthaniseur empêche toute possibilité d'épandage direct du digestat, car cela va à l'encontre du principe de traçabilité du plan d'épandage.

1.3. Opportunités de la filière :

Le choix d'une filière de valorisation des déchets organiques dépend des opportunités et de la demande locales. L'épandage des boues est une solution pour enrichir les sols en matière organique dans les zones où les sols sont pauvres. Généralement, les effluents d'élevage répondent bien à cette demande, mais dans les zones où l'élevage est moins répandu, l'épandage des boues d'épuration peut être une alternative intéressante. La gestion des PRO doit donc être adaptée en fonction du contexte territorial et des besoins des agriculteurs.

La filière de valorisation doit être choisie selon les installations déjà présentes sur le territoire (UVE, usine de compostage, méthaniseur territorial), car le coût de transport des boues reste conséquent en raison des volumes concernés.

Pour l'injection dans le réseau de gaz, le raccordement au réseau est à la charge du maître d'ouvrage ; le coût est globalement proportionnel à la distance, modulo le taux de réfaction (en 2019, 40% pris en charge par le gestionnaire du réseau) et les règles du droit à l'injection (cf décret du 28 juin 2019 relatif aux renforcements des réseaux de transport et de distribution de gaz naturel nécessaires pour permettre l'injection du biogaz produit)



Chiffre Clé : d'après des études préalables au REX STEP urbaines 2018 réalisé par GRDF, la distance moyenne de raccordement pour les projets existants est de :

- Pour les STEU : 660 m, avec un coût moyen de 135€/ml hors singularités et contribution opérateurs
- Pour les ISDND : 6,7 km

2. Réflexion sur le bilan carbone des STEU :

La mise en place d'une filière de valorisation des boues d'épuration peut permettre de produire de l'électricité ou du biométhane et donc de réduire les dépenses énergétiques de la station dans une logique d'autosuffisance énergétique. La méthanisation ou le compostage entraîne une réduction du volume des boues et donc une diminution des coûts de transport des boues.

Néanmoins la production d'énergie pour la réduction des dépenses énergétiques de la STEU ne peut se faire sans une réflexion sur des économies d'énergie sur l'installation de traitement des eaux usées. Ainsi certaines étapes du processus sont très énergivores, comme la centrifugation ou le séchage thermique. Il peut être intéressant alors de connaître précisément la consommation énergétique de la STEU, poste par poste. L'agence de l'eau Rhin-Meuse demande ainsi aux STEU de son territoire un diagnostic énergétique, et subventionne les projets d'optimisation énergétique des STEU.

3. Rentabilité du projets :

Investir dans la valorisation des boues d'épuration peut être coûteux pour de petites collectivités, et avec un retour sur investissement relativement long (on parle souvent d'une dizaine d'années). Plusieurs organismes proposent des aides au financement de projets de valorisation. Les agences de l'eau possèdent des moyens conséquents pour aider ce type de projets, par un système de subvention ou d'avance selon la politique de l'agence de l'eau (avec des taux variables et des conditions propres à chacune). Les agences de l'eau favorisent néanmoins les projets qui vont non seulement dans le sens d'une valorisation mais aussi d'une économie d'énergie et d'une autoconsommation. En dehors du cadre des subventions très encadrées, il est aussi possible de passer par des appels à projets, qui permettent d'obtenir des financements dans le cas de projets plus novateurs. L'ADEME subventionne aussi des projets de ce type, l'organisme a par exemple subventionné à hauteur de 40% d'investissement le projet de méthanisation du Syndicat Départemental d'Élimination des Déchets ménagers et assimilés (SYDED). Dans une moindre mesure, les régions et départements peuvent aussi être une source de financement.

Au-delà de ces financements qui permettent le lancement des projets, il faut s'intéresser à la pérennité du projet qui est assurée par la vente de l'énergie ou des matières produites. Ces revenus peuvent amortir les coûts d'investissement. Il n'existe pas de prix fixé pour le compost normé. En revanche pour la méthanisation et la co-génération, il existe des tarifs d'achat du biométhane et de l'électricité qui permettraient jusqu'à présent de soutenir la filière mais qui seront amenés à baisser dans les prochaines années.

4. Acteurs partenaires :

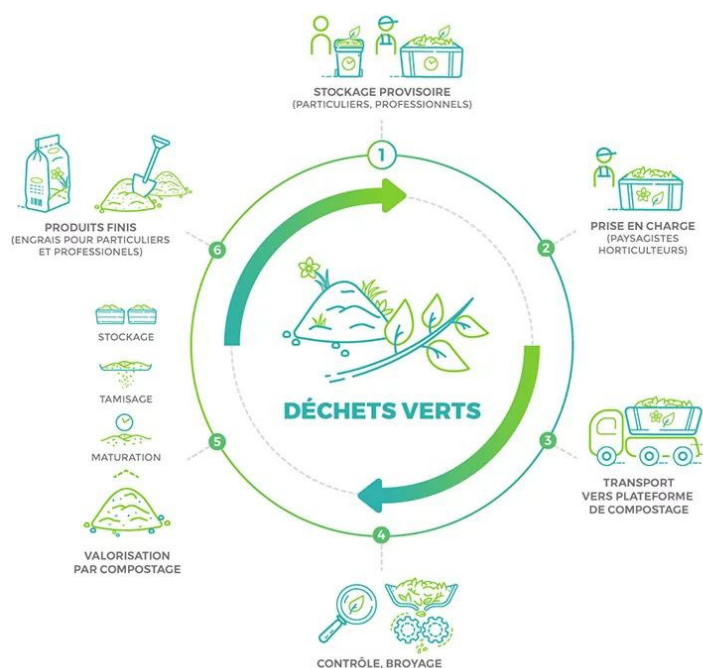
Les parties prenantes d'un projet de valorisation sont nombreuses et dépendent de la filière de valorisation choisie :

- L'exploitant du réseau et de la STEU
- La chambre d'agriculture et les agriculteurs locaux pour l'épandage des boues. L'origine des boues pose souvent un problème d'acceptation au public et aux agriculteurs. Il y a donc tout un travail de sensibilisation et d'information à fournir pour convaincre des qualités et de l'innocuité des boues pour l'épandage.
- L'exploitant du réseau de gaz du territoire pour un projet d'injection de biométhane
- Les agences de l'eau

CONCLUSION

Le traitement des eaux usées conduit à la production de boues, dont on ne peut à l'heure actuelle pas réduire les volumes. En effet plus le traitement de l'eau est efficace et plus les STEU produisent des boues. D'autant plus que l'arrêté du 21 Juillet 2015 concernant la gestion des temps de pluie a entraîné une augmentation des volumes d'eau traités et donc les volumes de boues produits. Les boues contiennent des composés inertes et organiques, des polluants et des pathogènes. Un traitement adapté et performant de ces boues est donc indispensable pour maîtriser l'ensemble du procédé de l'assainissement des eaux usées.

Le choix de filières de valorisation ou d'élimination des boues produites doit prendre en compte l'existence et la pérennité des débouchés potentiels, notamment pour l'épandage, et essayer de mutualiser les équipements de traitement des déchets existants sur le territoire (plateforme de compostage, unité de valorisation énergétique à proximité, ...). Dans le cadre de la hiérarchie des déchets, la valorisation doit avant tout primer sur l'élimination des boues d'épuration.



: Schéma des principales filières de valorisation

L'épandage, la méthanisation, le compostage et l'incinération restent les principales voies de valorisation des boues d'épuration, avec des coûts qui varient d'une technique à une autre (voir Tableau 9, synthèse de l'enquête AMORCE présenté dans le rapport EAT 05b et de valeurs usuellement admises par la profession).

Malgré les différents avantages et inconvénients de chaque filière qui ont pu être mis en avant dans ce travail, le choix d'une filière de valorisation des boues d'épuration doit avant tout être orienté par des considérations territoriales. L'implantation d'une filière doit tenir compte du gisement de boues d'épuration concernant les volumes et la qualité des boues produites, et des opportunités du territoire et notamment de la présence des acteurs partenaires qui doivent être impliqués dans le projet (agriculteurs, unité de compostage ou d'incinération, méthaniseur territorial).

Filière de valorisation	Avantages	Inconvénients
Épandage	Bonne qualité agronomique, substitut aux engrais chimiques polluants, gratuit pour l'agriculteur	Périodes d'épandage courtes, nécessité de pouvoir stocker de gros volumes, à la charge du producteur de boues
Compostage	Hygiénisation des boues (plus de nuisance olfactive), possibilité de commercialisation générant des recettes	Compostage en usine obligatoire avec des systèmes plus coûteux que pour du compost de DV, problèmes d'odeurs à proximité
Épandage	Réduction du volume des boues, production de biométhane (et donc vente) et possibilité de récupération de chaleur	Rentable pour de grosses stations d'épuration. Le digestat doit encore faire l'objet de valorisation. Impossibilité de mélanger les intrants si retour à la terre.
Incinération	Valorisation de la chaleur. Combustion autoentretenue pour des siccités suffisantes.	Coût relativement élevé. Nécessité de traitement des fumées
Oxydation par voie humide	Pas besoin de déshydrater ou sécher les boues avant. Adapté pour des stations de taille moyenne. Traitement de l'air plus simple que pour l'incinération. Procédé moins coûteux que l'incinération	La valorisation des mâchefers est très dépendante de la bonne volonté des industriels du secteur.

La valorisation des boues est une pratique qui existe depuis longtemps et qui connaît actuellement un regain d'intérêt grâce à l'arrivée de nouvelles techniques de valorisation énergétiques. Les stations d'épuration sont de plus en plus attirées par cette valorisation car elle permet de produire de l'énergie pour leur propre consommation et pour la vente, réduisant ainsi les coûts de traitement de l'eau.

En outre, de nouveaux procédés innovants visent à valoriser non seulement les boues, mais aussi les déchets de valorisation des boues tels que les mâchefers, les technosables et le biochar. Cette approche globale de valorisation implique une réelle démarche de coopération entre les différents acteurs du territoire, y compris les entreprises implantées près de la STEU.

En somme, la valorisation des boues offre une opportunité unique de transformer les déchets en ressources utiles, tout en préservant l'environnement et en réduisant les coûts pour les stations d'épuration et les consommateurs.

Des projets de valorisation se montent à toutes les échelles, preuve que même si certaines techniques sont réservées à de grandes stations d'épuration, il est possible de trouver des solutions pour des stations plus petites. La valorisation hors-STEUE en est une, en traitant les boues dans des UVE en co-incinération avec des ordures ménagères ou dans un méthaniseur territorial. Néanmoins une fois de plus ce type de projet est dépendant du territoire dans lequel il s'insère.

Glossaire

A

AMPG : arrêté ministériel de prescriptions générales

ANSES : Agence Nationale de Sécurité de l'alimentation, de l'Environnement et du travail

As : Arsenic

B

BDERU : Base de Données sur les Eaux Résiduelles Urbaines

C

Cd : Cadmium

CGCT : Code Général des Collectivités Territoriales

CIVE : Culture Intermédiaire à Vocation Énergétique

COT : Carbone Organique Total

Cr : Chrome

CTO : Composés Traces Organiques

Cu : Cuivre

D

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours

E

Efsa : Autorité européenne de sécurité des aliments

EH : Équivalent Habitant

ETM : Éléments Traces Métalliques

S

SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiel sur l'Eau

SCHEER : Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks

Se : Sélénium

SO2 : dioxyde de soufre

STEP : Station d'épuration

STEU : Station d'épuration des Eaux Urbaines

H

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HCl : Acide chlorhydrique

Hg : Mercure

HF : Acide fluorhydrique

I

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

ISDND : Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux

M

MB : Matière Brute

MES : Matière en Suspension

MIATE : Matière d'Intérêt Agronomique Issue du Traitement des Eaux

MO : Matière Organique

MS : Matière Sèche

N

Ni : Nickel

NOx : oxyde d'azote

P

Pb : Plomb

PCB : Polychlorobiphényle

PCI : Potentiel Calorifique

PHA : Polyhydroxyalcanoates

PRO : Produits Résiduels Organiques

PSE : Polystyrène Expandé

G

GES : Gaz à Effet de Serre

GNV : Gaz Naturel pour Véhicules