



Série Technique
Réf AMORCE EAT05 a
Septembre 2019 – actualisée en Décembre 2019

Quelles solutions pour valoriser les boues d'épuration ?

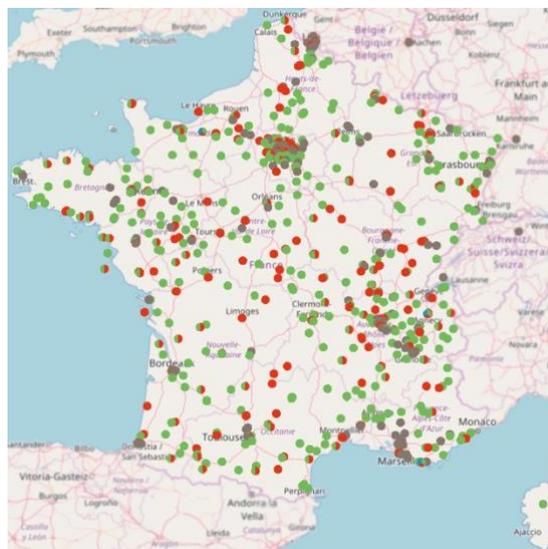


PRÉSENTATION D'AMORCE

Rassemblant plus de 930 adhérents pour 60 millions d'habitants représentés, AMORCE constitue le premier réseau français d'information, de partage d'expériences et d'accompagnement des collectivités (communes, intercommunalités, conseils départementaux, conseils régionaux) et autres acteurs locaux (entreprises, associations, fédérations professionnelles) en matière de transition énergétique (maîtrise de l'énergie, lutte contre la précarité énergétique, production d'énergie décentralisée, distribution d'énergie, planification) et de gestion territoriale des déchets (planification, prévention, collecte, valorisation, traitement des déchets).

Force de proposition indépendante et interlocutrice privilégiée des pouvoirs publics (ministères, agences d'État et du Parlement) AMORCE est aujourd'hui la principale représentante des territoires engagés dans la transition énergétique et l'économie circulaire. Partenaire privilégiée des autres associations représentatives des collectivités, des fédérations professionnelles et des organisations non gouvernementales, elle a joué un rôle majeur dans la défense des intérêts des acteurs locaux lors de l'élaboration de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte ou précédemment des lois relatives au Grenelle de l'environnement.

Créée en 1987, elle est largement reconnue au niveau national pour sa représentativité, son indépendance et son expertise, qui lui valent d'obtenir régulièrement des avancées majeures (TVA réduite sur les déchets et sur les réseaux de chaleur, création du Fonds Chaleur, éligibilité des collectivités aux certificats d'économie d'énergie, création de nouvelles filières de responsabilité élargie des producteurs, signalétique de tri sur les produits de grande consommation, généralisation des plans climat-énergie, obligation de rénovation des logements énergivores, réduction de la précarité énergétique, renforcement de la coordination des réseaux de distribution d'énergie, etc...).





REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble des collectivités et professionnels ayant participé à notre travail, dont celles qui nous ont fait part de leurs retours d'expérience et qui nous ont fourni des documents pour illustrer cette publication.

RÉDACTEURS

Chloé THOMANN, cthomann@amorce.asso.fr

Muriel FLORIAT mfloriat@amorce.asso.fr

Florent COSNIER fcosnier@amore.asso.fr

Comité de relecture :

- Philippe FONDIN, Suez Consuting
- Hubert BRUNET, SYPREA
- Florent BOULIER, UIE
- Vincent CHEVALIER, VEOLIA
- Laetitia AUBEUT CHOJNACK, GRDF
- Baptiste VEZOLE et Océane RASE PORCHON, AMORCE

MENTIONS LÉGALES

©AMORCE – Décembre 2019

Les propos tenus dans cette publication ne représentent que l'opinion de leurs auteurs et AMORCE n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite d'AMORCE.

Possibilité de faire état de cette publication en citant explicitement les références.



SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
1. ORIGINE ET CARACTERISTIQUES DES BOUES D'EPURATION	6
1.1. 1. STATIONS D'EPURATION (STEU)	6
1.2. COMPOSITION DES BOUES	8
1.3. TRAITEMENT DES BOUES EN STEU	10
1.4. UN DOUBLE STATUT JURIDIQUE DES BOUES D'EPURATION : DES DECHETS ET DES MATIERES FERTILISANTES	12
2. VALORISATION ORGANIQUE DES BOUES D'EPURATION	13
2.1. INTERET AGRONOMIQUE ET INNOCUITE DES BOUES D'EPURATION	13
2.2. LE RETOUR AU SOL DIRECT DES BOUES D'EPURATION	14
2.2.1 <i>Cadre juridique général</i>	15
2.3. RETOUR AU SOL DES BOUES APRES COMPOSTAGE	17
2.3.1 <i>Descriptif du procédé</i>	17
.....	17
2.3.2 <i>Cadre juridique</i>	18
2.3.3 <i>Coûts d'installation</i>	21
2.3.4 <i>Avenir de la filière</i>	21
3. VALORISATION ENERGETIQUE DES BOUES D'EPURATION	22
3.1. DIGESTION ANAEROBIE : LA METHANISATION	22
3.1.1 <i>Procédé</i>	22
3.1.2 <i>Valorisation du biométhane</i>	26
3.1.3 <i>Valorisation du digestat</i>	27
3.1.4 <i>Coûts et tarifs d'achat</i>	28
3.1.5 <i>Cadre juridique de la méthanisation</i>	30
3.2. INCINERATION DES BOUES	30
3.2.1 <i>Traitement thermique dédié : mono-incinération</i>	30
3.2.2 <i>Co-incinération avec des ordures ménagères</i>	30
3.2.3 <i>Co-incinération dans les fours de cimenterie</i>	31
3.2.4 <i>Cadre juridique</i>	31
3.3. OXYDATION PAR VOIE HUMIDE	32
3.4. ISDND	33
3.5. LES GARANTIES D'ORIGINES	34
4. SOLUTIONS ALTERNATIVES	35
4.1. LA PYROLYSE OU THERMOLYSE	35
4.2. LA TECHNIQUE MYCELIENNE	35
4.3. LA GAZEIFICATION	35
4.4. FABRICATION DE PLASTIQUE BIODEGRADABLE	35
4.5. EXTRACTION DE MINERAUX VALORISABLES	36
4.6. RETOUR AU SOL SPECIFIQUE	36
4.6.1 <i>Revégétalisation</i>	36
4.6.2 <i>Cultures énergétiques</i>	36
5. VALORISATION DES BOUES D'EPURATION : LES ETAPES CLES POUR REUSSIR SON PROJET	37
5.1.1 <i>Adapter la filière à son territoire</i>	37
5.1.2 <i>Réflexion sur le bilan carbone des STEU</i>	38
5.1.3 <i>Rentabilité des projets</i>	39
5.1.4 <i>Acteurs partenaires</i>	39
CONCLUSION	40
GLOSSAIRE	42
ANNEXES	43



INTRODUCTION

En France, une famille de 4 personnes consomme en moyenne 120 m³ d'eau par an. La très grande majorité des foyers français 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 pluie¹. 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'assainissement des eaux usées génère d'une part de l'eau traitée qui est rejetée dans les milieux naturels et d'autre part des déchets : les Matières d'Intérêts Agronomique (dont font partie les boues d'épuration), les graisses et huiles issues du déshuilage ou encore les déchets issus des étapes de dégrillage. Il existe différentes façons de traiter les eaux usées en STEU, qui produisent des boues en quantité plus ou moins grande et avec des caractéristiques variées. D'autre part ces caractéristiques dépendent également de celles des eaux usées rejetées dans le réseau de collecte et de leur contrôle. La gestion des boues relève de la responsabilité des communes compétentes en matière d'assainissement des eaux usées conformément à l'article L 2224-8 du CGCT. Quelques soient les quantités ou la qualité des boues produites, leur producteur est tenu de leur trouver une destination conforme à la réglementation en vigueur et respectant la hiérarchie des modes de traitements des déchets, qui privilégie la valorisation à l'élimination.

La filière française se distingue au niveau européen en matière de valorisation des boues d'épuration par l'importance de la filière épandage (70% des boues retournent au sol, en ayant parfois subi un traitement complémentaire : compostage, méthanisation...). Mais les débats que suscitent à l'heure actuelle le retour au sol des boues nécessitent d'élargir le panel des solutions disponibles. Ce document vise à présenter l'état de la filière à l'heure actuelle et les voies de valorisation émergentes : la méthanisation qui devient accessible même pour de plus petites stations, l'incinération qui permet de valoriser l'énergie dans les unités de valorisation énergétique, voire même la production de matériaux (plastiques, matériau de construction...).

¹ Base de Données des Eaux Résiduaires Urbaines, 2017

1. Origine et caractéristiques des boues d'épuration

La **loi NOTRe** et la **loi du 03 Août 2018** prévoient le transfert de la compétence assainissement des communes aux intercommunalités qui sera rendu obligatoire au 1^{er} Janvier 2026. Ainsi les compétences assainissement seront détenues par les intercommunalités qui ont l'obligation de contrôler les raccordements au réseau public de collecte, collecter et transporter les eaux usées, épurer les eaux usées et enfin éliminer ou valoriser les boues d'épuration.

1.1.1. Stations d'épuration (STEU)

En 2018, La base de Données Eaux Résiduaire Urbaines (BDERU) a recensé en France 21 245 stations de traitement des eaux usées qui possèdent une capacité nominale de traitement de 104 millions d'Équivalents Habitants (EH) provenant de 20 770 agglomérations d'assainissement. Depuis 2011, la capacité nominale des STEU françaises a augmenté de 37%.

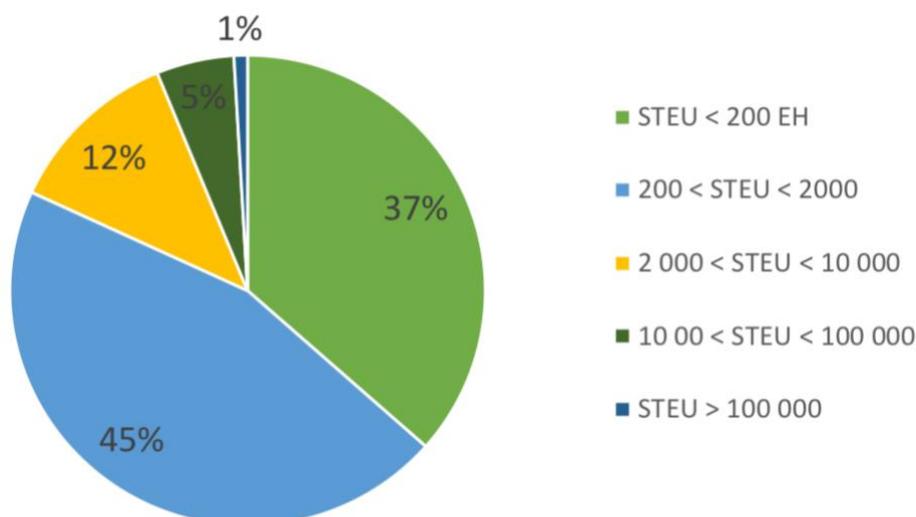


Figure 1 : Répartition des STEU selon leur taille
(source : Portail d'information sur l'assainissement communal, 2017)

Les quelques 6% avec une capacité égale ou supérieure à 10 000 EH traitent plus de 80% de la charge polluante (un tiers des stations a une capacité inférieure à 200 EH).

D'autres matières plus ou moins chargées que les eaux usées sont également traitées en station : eaux de pluie (en cas de réseau de collecte des eaux usées unitaire), matières de vidange de fosses septiques (lorsque la station y est autorisée), etc.

Les eaux usées au sein d'une station d'épuration peuvent être traitées par procédés physico-chimiques (par filtration membranaire et ajout de réactifs) ou bien biologiques (par boues activées, lagunage ou filtres plantés). La figure 2 détaille les critères orientant le choix du traitement des eaux usées en STEU.

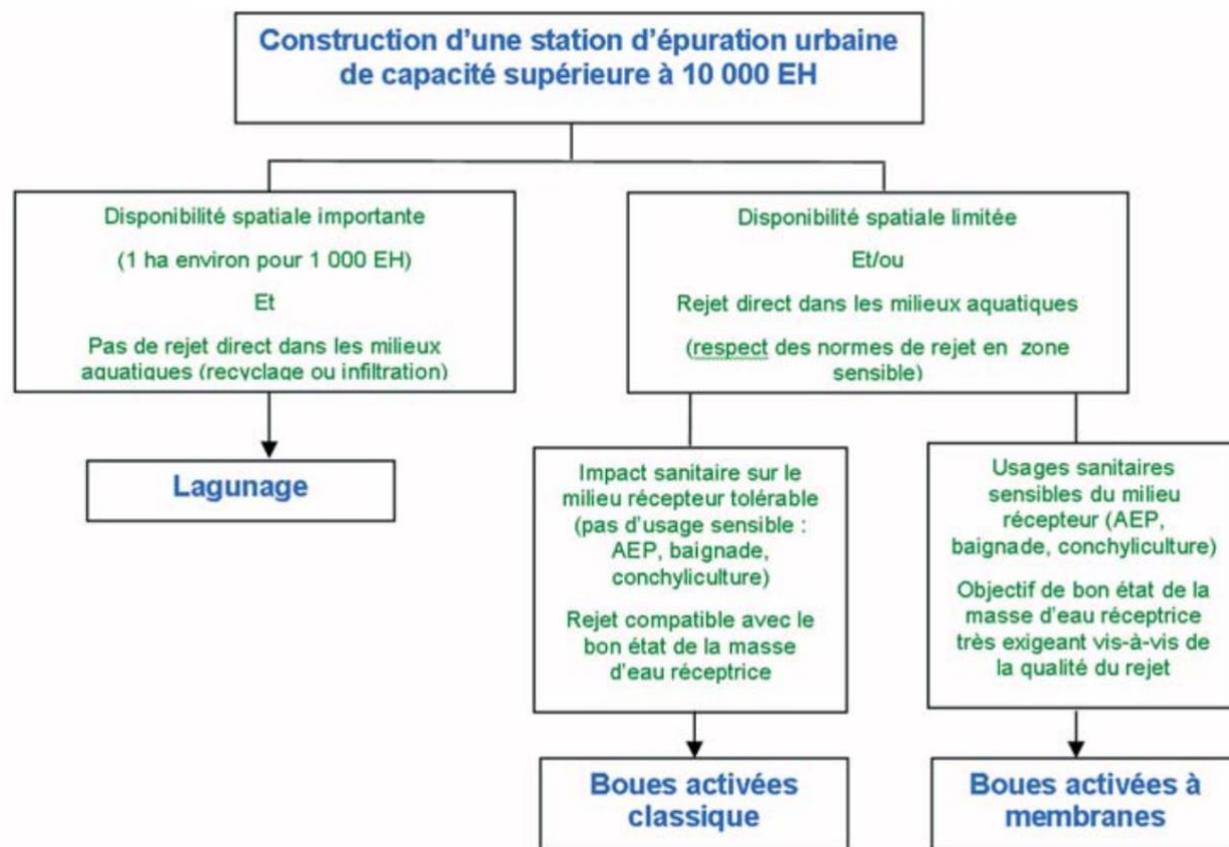


Figure 2 Choix de la filière de traitement des eaux usées en STEU
(source : DREAL Bretagne)

La méthode biologique est la plus largement répandue et comporte généralement quatre étapes successives (Figure 2).

- Les **prétraitements** : ils consistent à éliminer les éléments grossiers (dégrillage), à enlever le sable (dessablage) ainsi que les graisses (dégrillage) ;
- La **décantation primaire** : elle permet la capture des éléments en suspension. Cette étape est facultative et connaît un regain d'attractivité dans les STEU
- La **digestion aérobie ou traitement biologique** : réduction de la charge en matière organique de l'eau usée par des micro-organismes regroupés en « floccs » et production de boues dites « activées ». Cette phase nécessite une aération conséquente ;
- La **clarification** : elle permet la séparation du « flocc » bactérien de la phase aqueuse.

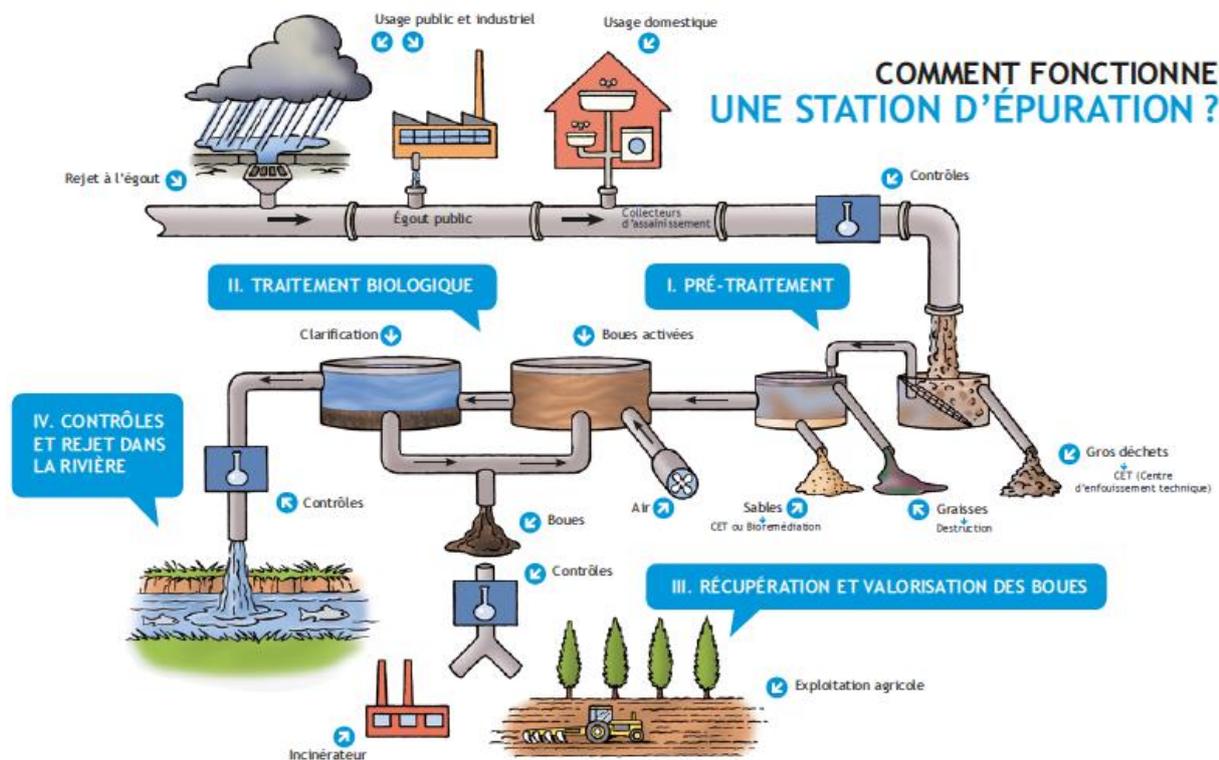


Figure 3 : Schéma du fonctionnement d'une station d'épuration
(source : Intercommunale de Développement Économique et d'Aménagement du cœur du Hainaut)

L'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination. Les boues produites par les stations d'épuration sont essentiellement des particules solides non retenues par les prétraitements et les procédés de traitement de l'eau (dégradation et séparation des polluants de l'eau). Ces boues se composent de matières organiques non dégradées, de matières minérales, de micro-organismes et d'eau (environ 99%).

1.2. Composition des boues

Les collectivités peuvent être amenées à traiter différents types de boues suivant le traitement des eaux mis en place sur la STEU (Tableau 1) :

- Les **boues primaires** qui proviennent du traitement primaire des eaux usées par décantation,
- Les **boues biologiques**, biomasse en excès provenant du traitement biologique secondaires. Elles sont aussi appelées boues secondaires ou boues activées.
- Les **boues mixtes**, mélange de boues primaires et de boues biologiques. Elles proviennent de la totalité de la station.
- Les **boues physico-chimiques**, provenant de la décantation après traitement avec un réactif.

Tableau 1 : Différents types de boues de STEU

Type de boue	Boues primaires	Boues Biologiques (boue secondaires ou boues activées)	Boues mixtes	Boues physico-chimiques
Origine	Traitement primaire par décantation	Traitement biologique secondaire	Traitement primaire et secondaire	Décantation après traitement avec un réactif
Composition et siccité	Matière inorganique	Composés organiques avec un petit pourcentage de composés inorganiques	Mélange de boues primaires et de boues biologiques	Issues d'un traitement physico-chimique
	Couleur grise Siccité 5%	Boue granulaire, de couleur brun-jaunâtre, pulvérulente et de décantation difficile Siccité 1-2%	Siccité 5%	Siccité 4-5%

Les boues d'épuration sont riches en **éléments nutritifs** et en **matière organique** ce qui leur confère une utilité pour l'amendement des sols agricoles. Plus particulièrement, les boues possèdent des teneurs importantes en azote, phosphore et potassium ainsi qu'en oligo-éléments (Cuivre, Magnésium, Zinc) qui ont intérêt et un rôle dans le développement des cultures. C'est à ce titre que les boues peuvent d'ailleurs être épandues.

Des éléments indésirables se trouvent également dans les boues de STEU :

- Des **ETM** (éléments traces métalliques). Les 8 métaux les plus souvent retrouvés sont : Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se) et Zinc (Zn). Certains de ces éléments occupent une place essentielle à faible concentration dans l'organisme (oligo-éléments), mais deviennent généralement toxiques au-delà d'une certaine concentration.

Tableau 2 : Évolution des teneurs moyennes en ETM des boues d'épuration urbaines en mg/kg de matière sèche (source : SYPREA)

Élément	Seuils du 08 Janvier 1998	Mesures 1975	Mesures 1990	Mesures 1996	Mesures 1999	Mesures 2017	
						Moyenne	Pct 90
Zn	3000	2100	921	745	626	711	1330
Cu	1000	380	334	309	303	271	535
Hg	10	3,7	2,7	3	2,4	0,7	1,3
Cd	10	8	5,3	2,9	2,1	1	1,8
Cr	1000	75	80	59	50	40	65
Ni	200	46	39	32	24	30	41
Pb	800	310	133	107	77	38	78

Depuis 1975, les concentrations moyennes en ETM ont diminué pour tous les paramètres soumis à réglementation et sont donc désormais en moyenne comme en percentile 90 bien inférieures aux seuils fixés par l'**arrêté du 08 Janvier 1998** (voir Tableau 2). En cas de seuils trop élevés, le maire peut s'assurer grâce à son pouvoir de police en assainissement contre le rejet sur son territoire d'eaux usées trop chargées en éléments indésirables.

- Des **micropolluants organiques** : les substances les plus fréquemment considérées sont les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et les CTO (Composés Traces Organiques). Parmi les CTO présents dans les boues, PCB (Polychlorobiphényles) (somme des 7 PCB), Fluoranthène, Benzo(b)fluoranthène et Benzo(a)pyrène figurent dans l'arrêté du 8 janvier 1998 qui impose leur



analyse avant l'épandage. Les boues peuvent également contenir des pesticides, des phtalates, des nitrates, ...

- Des **micro-organismes pathogènes** : virus, bactéries, protozoaires, vers parasites et champignons. Ils sont présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et se trouvent dans les boues brutes.
- Des **substances à visée thérapeutique**, y compris les hormones et en particulier les substances contraceptives, les résidus de traitement cancéreux...

Les substances pharmaceutiques, malgré leur faible concentration dans les boues, restent bioaccumulables et entrent dans la chaîne alimentaire. Elles peuvent donc présenter un risque pour les hommes si les concentrations sont trop importantes. Dans un avis datant de 2016 ², l'ANSES recommande de mettre en place des seuils concernant ces substances. Un étude scientifique récente publiée par Goldstein *et al.* en 2018 montre la possibilité d'absorption par les plantes irriguées par leurs racines de produits pharmaceutiques ³.

1.3. Traitement des boues en STEU

À la sortie des filières de traitement des eaux, les boues contiennent environ 95-99% d'eau. Cette dernière se présente normalement sous deux formes :

- **Eau libre** : faiblement absorbée, peut être éliminée par déshydratation mécanique,
- **Eau liée** : attachée avec des bactéries ou d'autres particules, peut être éliminée par séchage thermique (>105°C).

Le traitement des boues consiste donc tout d'abord à diminuer leur teneur en eau et à réduire de manière efficace leur pouvoir fermentescible. Il s'agit de les préparer à une étape ultime de valorisation ou d'élimination. Il existe quatre principales techniques qui peuvent être complémentaires : l'épaississement pour réduire le volume des boues brutes, la stabilisation (souvent associée à une hygiénisation), la déshydratation et le séchage. Plusieurs de ces procédés peuvent être alimentés grâce aux produits de la valorisation des boues d'épuration, notamment grâce à du biométhane issu de la méthanisation, c'est le cas des filtres à presses.

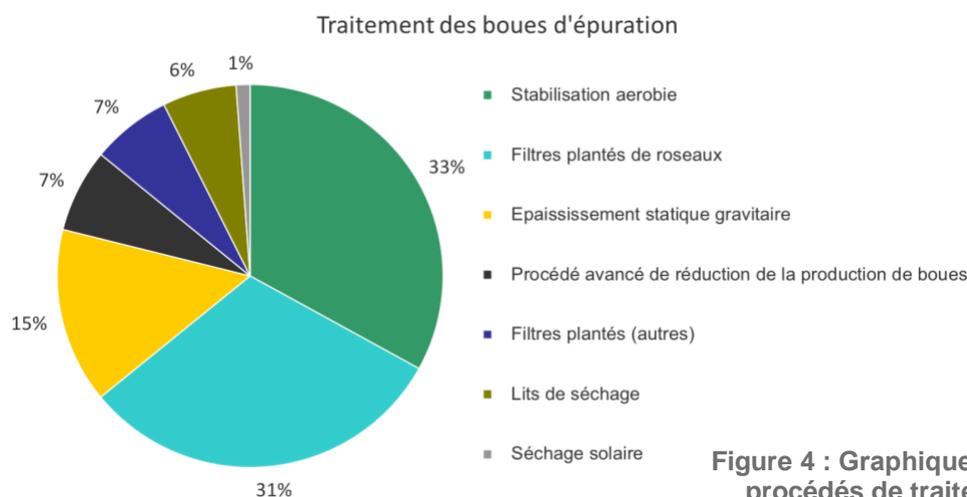


Figure 4 : Graphique de l'utilisation des procédés de traitement des boues d'épuration en France (source : Portail d'Information sur l'Assainissement Communal, 2017).

² ANSES, *Note d'appui scientifique et technique de l'agence nationale de sécurité alimentaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*, Octobre 2018

³ ADEME, *Évaluation du potentiel de production de biométhane à partir des boues issues des stations d'épuration des eaux usées urbaines*, Septembre 2014



Procédé	Consommation énergétique	Siccité atteinte	Performances	Taille de station
Épaississement				
Gravitaire	5-10 kWh/tMS	3 à 3,5 %	Boues primaires : 75-120kg de MES/m ² /jour ³ Boues biologiques : 25-35kg de MES/m ² /jour ³	Moyennes à grandes stations
Flottation	100-130 kWh/tMS	3,5 à 5 %	100 kg MES.m ⁻² .j ⁻¹	Moyennes à grandes stations
Égouttage	25-60 kWh/tMS	5 à 8 %	-	Petites et moyennes stations
Centrifugation	150-200 kWh/tMS	4,5 à 6%	55 à 65 m ³ par heure	Tout type de STEU
Déshydratation				
Filtre à bande	10- 40 kWh/tMS	25 %	-	Petites et moyennes stations
Filtre à plateaux	• kWh/tMS	Supérieur à 30 %	-	Grandes stations
Centrifugation	60-80 kWh/tMS	20 à 25 %	-	Tout type de STEU
Chaulage				
	5 kWh/tMS	30 %	2 à 24 m ³ par heure	Grandes stations
Séchage				
				Moyennes à grandes stations
Séchage solaire serre ouverte	Serre ouverte : 30-70 kWh/tMS Serre fermée ventilée : 70-100 kWh/tMS	60 à 80 %	En été : 5,5 kg.m ⁻² .j ⁻¹ En hiver : 2 kg.m ⁻² .j ⁻¹	-
Séchage thermique	850-1100 kWh/tMS	60 à 90 %	-	-
Lit de séchage		Maximum 60 %, varie selon les conditions climatiques	-	-

Tableau 3 : Récapitulatif des traitements des boues sur STEU ^{4,5,6,7}

Petites stations : Inférieures à 2000 EH, Moyennes : entre 2000 EH et 10 000 EH, Grandes : Supérieures à 10 000 EH

⁴ Anne Emmanuelle STRICKER, Alain HUSSON, Jean Pierre CANLER, *Consommations énergétique des eaux usées en France : état des lieux et facteurs de variations*, 2017

⁵ Educagri, *Traitement des boues de station d'épuration de petites collectivités*, 2014

⁶ Mohammed BOUAISSA, *Traitement des boues de la station d'épuration d'Alhoceima*, 2015

⁷ Rayan SLIM, *Étude et conception d'un procédé de séchage combiné de boues de stations d'épuration par énergie solaire et pompe à chaleur*, 2007



Figure 5 : Bassins de traitement
(source : Rackam)

L'**épaissement** est la première étape de traitement des boues qui consiste à réduire leur volume. Il peut être gravitaire, en fonctionnant par simple décantation des boues, l'étape dure alors entre 24 et 48h, ou bien dynamique, en fonctionnant par égouttage, flottation ou centrifugation. Vient ensuite l'étape de **stabilisation**, qui permet de réduire l'activité biologique fermentescible des boues (et induit une réduction des mauvaises odeurs des boues). La stabilisation est soit biologique (par compostage ou méthanisation qui sont aussi deux filières de valorisation) soit chimique, par chaulage ou utilisation de sels de nitrite. L'**hygiénisation** est définie par l'**arrêté du 8 Janvier 1998** comme le « traitement par des procédés physiques ou chimiques, qui réduit à un niveau non détectable la présence de tous les micro-organismes pathogènes dans un milieu », et va au-delà de la simple stabilisation.

Les étapes de **déshydratation** et de **séchage** ont la même finalité de réduire les volumes des boues mais n'atteignent pas la même siccité : entre 20 et 30% pour la déshydratation et au-delà de 50% pour le séchage. Ces deux procédés sont souvent couplés avec un **conditionnement** dont le but est d'améliorer les rendements des étapes de déshydratation et de séchage. Ce conditionnement peut être organique (avec des polymères), minéral (utilisation d'un coagulant de type chlore ou sulfate ferrique) ou encore thermique. La déshydratation est uniquement réalisée à l'aide de procédés mécaniques (centrifugation, filtres...) alors que le séchage est possible en utilisant simplement l'énergie solaire (les boues sont alors épandues à l'air libre ou dans une serre), néanmoins le séchage solaire est fortement dépendant des conditions climatiques. Ce principe d'épandage pour augmenter la siccité des boues est appelé lit de séchage. Il est aussi possible de sécher les boues par séchage thermique, technique plus efficace mais bien plus énergivore.

1.4. Un double statut juridique des boues d'épuration : des déchets et des matières fertilisantes

Les boues des stations d'épuration sont définies par les articles **R211-26** du Code de l'environnement comme des « sédiments résiduels des installations de traitement ou de prétraitement biologique, physique ou physico-chimique des eaux usées ». Leur épandage est encadré par les articles **R211-25 à R211-47** du code de l'environnement. Leur rejet dans le milieu aquatique est strictement interdit, conformément à l'article **R 2224-16** du Code Général des collectivités Territoriales (CGCT). Les boues sont qualifiées de déchets, aussi bien en droit européen⁸ qu'en droit français⁹. Les collectivités, en tant que productrices de ces déchets, sont ainsi responsables de leur production, leur valorisation et leur transport jusqu'au retour au sol. Elles doivent également respecter la hiérarchie des modes de traitements. Lorsqu'elles sont destinées à « assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ou les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols », les boues sont également considérées comme des matières fertilisantes¹⁰.

Contrairement aux autres matières fertilisantes, et suite à la **loi Egalim**, les boues d'épuration ne peuvent pas passer du statut de déchet à celui de produit dans le cadre d'une norme rendue d'application obligatoire ou de la conformité à un règlement européen, ce qui est en revanche le cas des boues issues des méthaniseurs agricoles (donc des boues issues de la digestion du fumier, lisier ou de fientes d'animaux). Conformément à l'article **L. 255-12** du Code rural et de la pêche maritime, elles peuvent uniquement sortir du statut de « déchets » si elles obtiennent une autorisation de mise sur le marché (AMM) délivré par l'ANSES, voie jusqu'ici très peu utilisée. Cette mise à l'écart du statut de déchet interdit la sortie simplifiée du statut de déchet et est préjudiciable à la filière mais ne la remet néanmoins pas en cause, et implique de revoir les conditions de traçabilité des boues d'épuration et de renforcer la responsabilité de leur producteur.

⁸ Directive européenne n°86-278 du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols de lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture

⁹ Article R.211-27 du Code de l'environnement

¹⁰ Articles L255-1 à L255-11 du Code rural et de la pêche maritime



2. Valorisation organique des boues d'épuration

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.

2.1. Intérêt agronomique et innocuité des boues d'épuration

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 physique**¹² 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 **rétenion 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

¹¹ L. Grimaud, *La valorisation des boues d'épuration en agriculture*, 1996

¹² Sabine HOUOT, *Environnement et grandes cultures*, 2012

(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 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 0,5€ / t de boues produites. Cette contribution a pris fin en 2017 mais des discussions sont en cours pour le réactiver.

2.2. 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.



Figure 6 - Schéma de l'épandage (source : ADEME)

¹³ Institut de l'élevage, *Préconisations pratiques pour l'épandage des boues d'épuration sur prairies en élevage laitier*, 2010

¹⁴ INERIS, CNRS, *Substances « émergentes » dans les boues et composts de stations d'épurations d'eaux usées collectives – caractérisation et évaluation des risques sanitaires*, 2014

2.2.1 Cadre juridique général

Boues de station d'épuration : quelle procédure pour leur retour au sol ?

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 ou d'autorisation provisoire : article L. 255-2 du Code rural et pêche maritime</p> <p>Démarche individuelle par producteur</p> <p>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>

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

2.2.1.1 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'aérodéposition 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 ¹⁸.

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

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



- 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.

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 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.

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

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.	<p>Obligatoire seulement pour les stations d'épuration de plus de 2000 EH (flux de polluant journalier >120kg DBO₅).</p> <p>Réalisé avant chaque campagne et remis au plus tard un mois avant le début de la campagne d'épandage.</p>
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. <p>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.</p>	Obligatoire seulement pour les stations d'épuration de plus de 2000 EH (flux de polluant journalier >120kg DBO ₅), transmis au préfet au plus tard e, même temps que le programme prévisionnel d'épandage de la campagne suivante.

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.

2.3.Retour au sol des boues après compostage

2.3.1 Descriptif du procédé

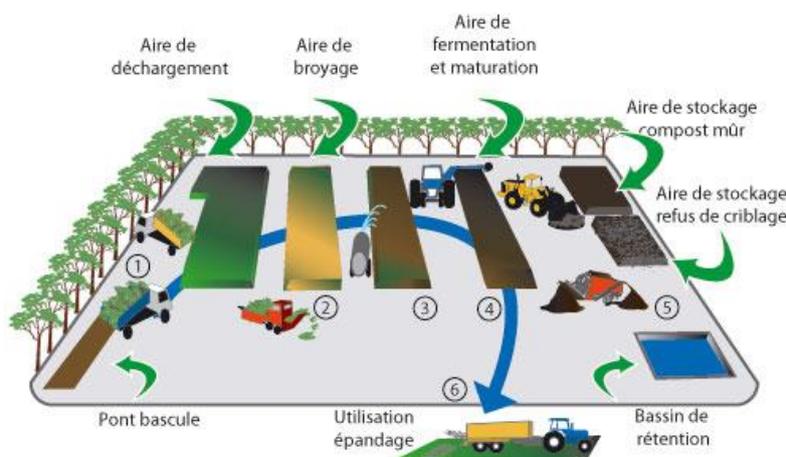


Figure 7: Schéma d'une usine de compostage (source : agricompost.eu)

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.

2.3.1.1 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.

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

¹⁹ Arrêté du 8 Janvier 1998

²⁰ ADEME, Fiche Technique : Le compostage, Septembre 2015

que la proportion du mélange boue/support varient 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.

2.3.1.2 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°C²¹, 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.

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.

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).

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 N²².

2.3.2 Cadre juridique

2.3.2.1 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 1^{er} 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).

²¹ Enseeiht, Bureau d'Étude Industrielle Énergies Renouvelables et Environnement, *Du compostage au compost : Processus et procédés*, 2010

²² Olivier Laroche, *Revégétalisation de sites miniers et valorisation de boues de stations d'épuration : cas de la Nouvelle-Calédonie*, 2011



Ainsi 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 à autorisation²³

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 Ier 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.

2.3.2.2 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 ne peuvent pas être utilisés en agriculture biologique car ils ne figurent pas 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.

²³ INERIS, *La réglementation de la prévention des risques de la protection de l'environnement*, article 2780
https://aida.ineris.fr/consultation_document/10755

Tableau 5 : Comparaison des différentes normes et arrêtés concernant les boues d'épuration et les composts (teneurs limites)

Élément	Paramètre	Arrêté 08/01/98 (épandage)	NFU44-095 (compostage)		NFU44-051 (compostage)		Règlement Européen du 27 mars 2019 sur les amendements organiques
			Toutes sauf cultures maraîchères	Cultures maraîchères	Toutes sauf cultures maraîchères	Cultures maraîchères	
MS et MO	Teneur en MS en %	-	>50%		>30%		>20%
	Teneur en MO en % de produit brut	-	>20%		>20%		-
ETM (valeur limite en mg/kg MS)	As	-	18		18		Arsenic inorganique : 40
	Hg	10	2		2		1
	Cd	10	3		3		1,5
	Se	-	12		12		-
	Cr	1000	120		120		Cr VI : 2
	Ni	200	60		60		50
	Pb	800	180		180		120
	Cu	1000	300		300 (sauf pour dénominations 1 à 3 et 10 : 500)*		300
	Zn	3000	600		600 (sauf pour dénominations 1 à 3 et 10 : 1000)*		800
Cr + Cu + Ni + Zn		4000	-		-		-
Inertes et impuretés	Films +PSE > 5mm	-	< 0.3% de MS		< 0.3% de MS		Impuretés macroscopiques de taille >2mm: -
	Autres plastiques > 5mm	-	<0.8 % de MS		<0.8 % de MS		3 g/kg pour chaque matière (verre, métal, matières plastiques) -
	Verres + métaux > 2 mm	-	< 2.0 % de MS		< 2.0 % de MS		somme des 3 matières : 5 g/kg
CTO (valeur limite en mg/kg MS)	Total des 7 PCB	0,8	0,8		-		HAP ₁₆ : 6
	H.A.P Fluoranthène	5	4		4		
	Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5		2,5		
	Benzo(a)pyrène	2	1,5		1,5		
Paramètres micro biologiques	Coliformes	absence	-	-	-	-	-
	Escherichia coli	-	10 ⁴ /g MB	10 ³ /g MB	-	-	1000 dans 1g ou 1mL de MB
	Clostridium perfringens	-	10 ³ /g MB	10 ² /g MB	-	-	-
	Entérocoques	-	10 ⁵ /g MB	10 ⁵ /g MB	-	-	-
	Œufs d'Helminthes	< 3 NPPUC/10g MS	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	Absence dans 1,5 g de MB	Absence dans 1,5 g de MB	-
	Listeria monocytogènes	-	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	-	-	-
	Salmonelles	< 8 NPPUC/10g MS	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	Absence dans 1 g de MB	Absence dans 25 g de MB	Absence dans 25g ou 25 mL de MB
Entérovirus	< 3 NPPUC/10g MS	-	-	-	-	-	

*Dénominations concernées : composts de fumiers, déjections animales sans litière, fumiers et/ou lisiers et/ou fientes compostés, compost de matières végétales et animales

2.3.3 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 ²⁴.

Tableau 6 : Coûts d'investissement d'une usine de compostage en 2005 ²⁵

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

2.3.4 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.

²⁴ Sidomsa, *Prix de vente de compost en vrac*, disponible sur <https://www.sidomsa.net/compostage/vente-de-compost/vente-de-compost.php>

²⁵ ADEME, *Fiche Technique : Le compostage*, Septembre 2015

3. Valorisation énergétique des boues d'épuration

3.1. 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.

3.1.1 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.

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).

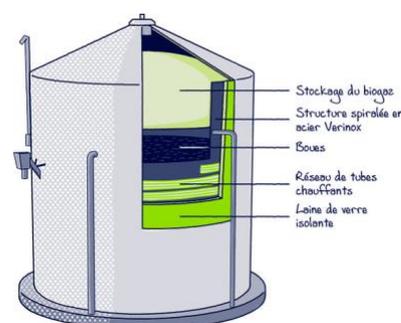


Figure 8 : Schéma d'un méthaniseur (source : Suez)



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.



3.1.1.1 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.

GATINAIS Biométhane est une SAS créée en 2009 qui regroupe 16 exploitants agricoles et entrepreneurs de travaux agricoles. L'installation pratique la co-méthanisation grâce à une autorisation ICPE antérieure à l'interdiction du mélange des intrants. Elle traite chaque année 21 000 t de déchets dont 3 000 t de boues de STEU. La société a conclu un partenariat avec Air Liquide qui épure le biométhane et reverse 75% de la vente à GATINAIS biométhane et une partie des garanties d'origines.

Co-Méthanisation de Boues d'épuration et de cultures à bas niveau d'impact pour favoriser la protection de la ressource en eau

Le SDEA, Syndicat des eaux et de l'assainissement Alsace-Moselle, conduit actuellement un projet de méthanisation avec mélange de boues d'épuration issues de la STEU de Benfeld et de silphie. Cette culture dite à bas niveau d'impact serait cultivée sur l'aire d'alimentation du captage eau potable voisin à des fins de préservation de la qualité de la ressource en eau.

Les cultures à bas niveau d'impact n'ont pas de statut juridique à ce jour (il s'agit ici de la 1^{ère} implantation de silphie en France) et le SDEA a choisi de limiter son apport de silphie dans le méthanisateur à 15% conformément à la réglementation sur les CIVE (décret n° 2016-929 du 7 juillet 2016).

Le digestat de la méthanisation est épandu sur des terrains agricoles hors aire d'alimentation de captage.

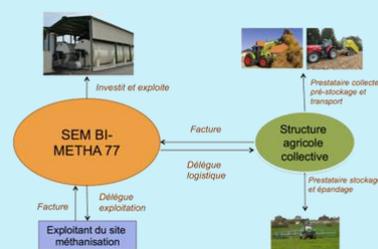
3.1.1.2 Bi-méthanisation

La bi-méthanisation consiste à méthaniser sur le même site plusieurs types d'intrants en ayant recours à deux files complètement distinctes. Mais cette solution reste tout de même un choix par dépit face à l'impossibilité de pratiquer le mélange d'intrants car les coûts d'investissements sont plus élevés.

SEM Bi-Métha développe son projet de bi-métha à l'aide de nombreux partenaires

Le SDESM, Service public de distribution électrique mène depuis 3 ans un projet de bi-méthanisation sur le territoire de la Communauté d'Agglomération de Melun Val de Seine. Les études préliminaires au projet ont mis en évidence l'intérêt de développer deux filières en parallèle :

- Une file en voie sèche pour les gisements d'origine agricole, les digestats produits par cette ligne retournent à la terre par épandage
- Une file en voie liquide pour les boues d'épuration, les digestats produits par cette file sont valorisés par traitement thermique (mono-incinération sur le site de la station d'épuration voisine)



Le projet s'est monté grâce à un partenariat avec six partenaires très différents : la commune, la communauté d'agglomération (CAMVS), un syndicat d'énergie, Engie et un partenaire agricole.

L'installation injecte 250 Nm³/h sur le réseau à partir des intrants suivants :

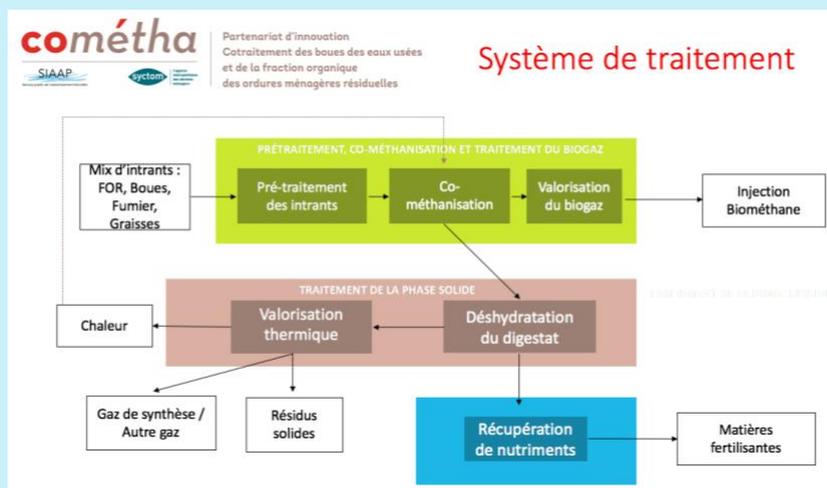
Boues	Agricole	Fumier équin	Graisse	Biodéchets	Tontes
110 000 m ³ /an 3700 t MS/an	10 200 t/an	5 600 t/an	500 t/an	2 000 t/an	2 000 t/an

Partenariat d'innovation entre le SIAAP et le SYCTOM³⁵

Le SYCTOM (2,3 millions de tonnes de déchets ménagers en 2017) et le SIAAP (2,3 millions de m³ d'eaux usées quotidiennement dépolluées) ont monté ensemble un partenariat d'innovation d'un coût total prévisionnel de 90 millions d'euros pour créer une usine de co-méthanisation de boues d'épuration, de la fraction organique résiduelle des ordures ménagères (For), des graisses d'épuration et de fumier équin. Le but est d'aboutir à un bilan énergétique positif, de développer de nouvelles solutions et prouver l'intérêt de la technique. A la fin de la phase d'appel à projet, 4 ont été retenus. Ces 4 groupements ont déjà commencé les recherches et la phase d'avant-projet, mais seuls un ou deux pourront développer une unité pilote. A terme, l'objectif est de construire dès 2023 une unité industrielle si les résultats des expérimentations sont probants.



Les 4 projets sélectionnés développent toutes les solutions innovantes afin de valoriser au maximum les déchets :



Le choix du ou des lauréats pour la phase 2 devrait intervenir entre fin 2019 et début 2020.
Plus d'informations dans le dossier de la [journée technique du 14 novembre 2019](#).

3.1.2 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.^{26,27,28}

Autoconsommation du biométhane à Achères

28

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).



Source : EGIS

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.



Source : SUEZ



A lire : Injection de biométhane - Retour d'expérience des stations d'épuration (STEP) urbaines 2018, GRDF, novembre 2019

²⁶ GRDF, unités d'injection de gaz vert dans le réseau GRDF, Janvier 2019 disponible sur <https://www.grdf.fr/dossiers/biomethane-biomethane/unites-injection-gaz-vert-biomethane-reseau>

²⁷ Dossier de presse : SUEZ réalise à Marseille une unité de production et d'injection de biométhane à partir du traitement des eaux usées, 8 mars 2018

²⁸ ATEE Club Biométhane, Station d'épuration du SIAAP, Site de Seine Aval,



Production de GNV à Grenoble

La station d'épuration Aquapole dispose d'une capacité nominale de 430 000 EH. Elle est équipée de deux méthaniseurs pour les boues primaires et les boues biologiques. Le biométhane produit par la digestion anaérobie est réutilisé dans la station mais l'excédent (environ 85 % de la production de biométhane) est injecté dans le réseau de gaz et transformé en GNV.

Semitag, la société en charge de l'exploitation des transports en commun de l'agglomération s'approvisionne en GNV produit sur Aquapole par l'achat de garanties d'origine.

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...)

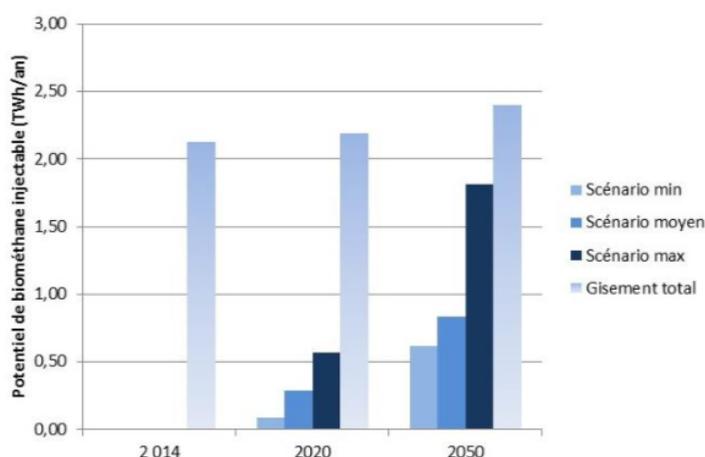


Figure 9 : Potentiel de biométhane issue de boues de STEU injectable sur le réseau de gaz (source : ADEME)

En Suisse, 100% des STEU d'une capacité supérieure à 30 000 EH sont équipées d'un système de méthanisation contre 15 % en France. Le potentiel de production d'énergie renouvelable issue du biométhane produit par la méthanisation des boues est donc très important en France. La méthanisation est un procédé qui tend à se développer dans les collectivités.

Une étude de l'ADEME sur l'évaluation du potentiel de production de biométhane à partir des boues issues des stations d'épurations datant de 2015 estime à 2,13 TWh/an le potentiel méthanogène théorique maximal de la méthanisation des boues d'épuration. Par comparaison, le parc nucléaire français a produit en 2017 379,1 TWh d'électricité. 13% des méthaniseurs sont aujourd'hui installés dans des STEU.

3.1.3 Valorisation du digestat

Le digestat produit par la méthanisation peut ensuite passer par les autres voies de valorisation : retour à la terre par épandage ou par compost, valorisation énergétique (souvent en cogénération sur site) etc.

Le digestat contient de la matière organique non dégradable (lignine), des matières minérales (N, P et K) et de l'eau. Une fois le processus de méthanisation terminé, le digestat produit subit un traitement complémentaire afin d'améliorer ses caractéristiques en vue d'un retour à la terre : évapo-concentration, séparation de phase, stripping avec lavage acide, séchage ou encore compostage.

La méthanisation permet déjà en soit d'améliorer es caractéristiques organiques des boues :

- Diminution voire atténuation l'odeur des boues liée à leur stabilisation.
- Amélioration de la valeur fertilisante des boues, avec obtention d'un digestat souvent riche en phosphore avec une meilleure valeur fertilisante azotée (minéralisation de NH₄) et avec un meilleur rapport C/N de l'ordre de 2 en général, mais avec des pertes plus élevées en NH₃ par évaporation et

un pourcentage de MO plus faible.²⁹

- **Réduction du volume** des boues de 5 à 15%.

L'épandage des digestats de boues est soit soumis à l'**arrêté du 8 janvier 1998** si le méthaniseur n'est pas soumis à la législation des installations classées. Sinon, l'AMPG sectoriel de la rubrique méthanisation définit les prescriptions générales à respecter pour l'épandage de digestats de boues.

3.1.4 Coûts et tarifs d'achat

Le REX STEP urbaines 2018 de GRDF précise que « Les montants d'investissement recensés sont très variables car fortement dépendants de la nature des projets (selon refonte de la STEP ou pas). On retiendra sur les 12 stations d'épuration concernées ici que la valorisation coûte à elle seule entre 1,5 et 6,5 millions d'euros (subvention entre 10 et 50% selon les projets), selon la capacité de traitement installée et les modifications éventuelles qu'elles peuvent impliquer dans le process amont de méthanisation. ».

A titre indicatif, le site « [Projet méthanisation](#) » de GRDF propose des business plan type pour des projets de méthanisation agricoles et territoriaux qui donnent quelques ordres de grandeurs des coûts d'investissements, comme l'illustre le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Ordre de grandeur des coûts d'un projet de méthanisation agricole – source GRDF

TYPE DE PROJET	Agricole autonome	Territorial agricole (base effluents d'élevage)	Territorial agricole (base CIVE)
INTRANTS (PAR AN)	16 000 tonnes d'effluents d'élevage 2 500 tonnes de déchets de cultures et d'industries agro-alimentaires	26 000 tonnes d'effluents d'élevage 7 000 tonnes de déchets de cultures et d'industries agro-alimentaires 5 500 tonnes de déchets de collectivités	14 000 tonnes de CIVE 4 000 tonnes d'effluents d'élevage
PRODUCTION	80 Nm ³ CH ₄ /h injectés 16 800 tonnes de digestat	200 Nm ³ CH ₄ /h injectés 35 000 tonnes de digestat	113 Nm ³ CH ₄ /h injectés 16 400 tonnes de digestat
DÉBIT	6,6 GWh/an soit 1 100 logements ou 26 bus	16,5 GWh/an soit 2 750 logements ou 64 bus	9,3 GWh/an soit 1 550 logements ou 36 bus
STATUT ICPE	Déclaration	Enregistrement	Déclaration
INVESTISSEMENT (CAPEX)	2 – 5 M €	5 -10 M €	2 – 5 M €
CHIFFRE D'AFFAIRES	Environ 25-40% du CAPEX /an	Environ 25-40% du CAPEX /an	Environ 25 – 40% du CAPEX /an
CHARGES (OPEX)	Environ 45-55% du chiffre d'affaires	Environ 45-55% du chiffre d'affaires	Environ 45 – 55% du chiffre d'affaires

A titre de comparaison, les 12 projets recensés par le REX STEP 2018 de GRDF se répartissent sur une fourchette comprise entre 35 et 290 Nm³/h injectés, avec une moyenne à 135 Nm³/h.

²⁹ La méthanisation en Provence Alpes Côtes d'Azur, *Valorisation agricole des digestats : Quels impacts sur les cultures, le sol et l'environnement ?*, 2018

²⁸ Economiecirculaire.org, *Valorisation des boues d'épuration de la station d'épuration aquapole en biométhane*

En raison de ces coûts d'investissement et d'exploitation élevés, l'énergie produite par la méthanisation reste chère, le prix du biométhane étant environ 4 fois plus élevé que le prix du gaz naturel (GN). Depuis 2006 un tarif d'achat spécifique a été créé pour le biométhane avec un prix différent selon le type d'intrant de l'installation et qui dépend de la capacité maximale de production du méthaniseur (en m³/h).

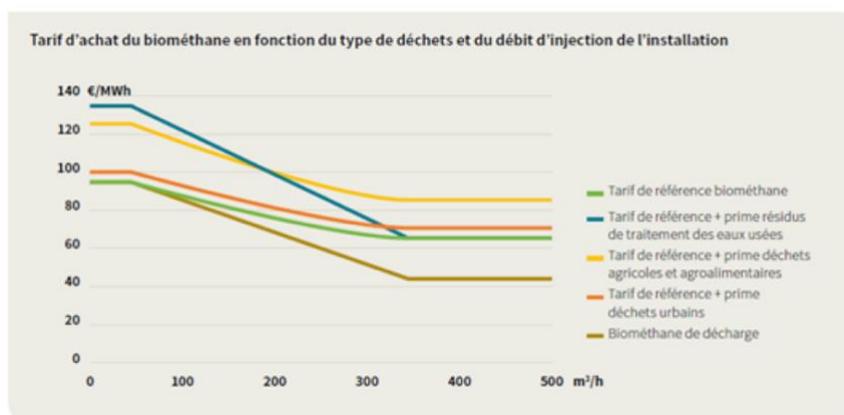


Figure 10 : Tarif d'achat du biométhane en 2018

Nota : actuellement, pour bénéficier de ce tarif, il faut que l'outil produisant le biométhane ne soit pas alimenté par des énergies fossiles.

Dans le cadre de la prochaine PPE prévue début 2020, le système d'aide apportée aux filières de production de biométhane doit être revue à la baisse ; A l'été 2019, il était évoqué de faire passer le tarif de référence de 95 €/MWh en 2018 à 67 €/KWh en 2023 puis 60 €/MWh en 2027 et une potentielle remise ne cause des primes pour les STEU et les ISDND

Concernant la production d'électricité à partir du biométhane, de la même manière un tarif d'achat spécifique a été créé en 2006 avec une indexation annuelle et une obligation d'achat qui est passé de 15 à 20 ans suite à l'arrêté du 30 octobre 2015 (qui concerne uniquement les installations de méthanisation et STEU mais pas les ISDND). L'article du 9 mai 2017 fixe les conditions d'achat et du complément de rémunération pour l'électricité produite par méthanisation de boues d'épurations. Les installations utilisant en intrant plus de 50% de matière issues du traitement des eaux usées relèvent de cet arrêté STEU.

Tableau 8 : Prix d'achat du biométhane issu de la méthanisation de boues d'épuration pour des installations de puissance inférieure à 500 kWh³⁰

Tarif dégressif à partir du 1^{er} juillet 2017 à raison de 0,5% par trimestre.

P _{max} de l'installation	<0,2 MW	= 0,5 MW	>1 MW
Tarif d'achat	175,4 euros par MWh	141,8 euros par MWh	70,9 euros par MWh



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.

³⁰ ATEE, Conférence du Club Biométhane, le 7 Juin 2018
disponible sur http://atee.fr/sites/default/files/1-session_1_-_actualite_de_la_filiere_denoyer_verney.pdf

3.1.5 Cadre juridique de la méthanisation

En France, la délivrance des autorisations d'exploiter repose sur la législation des ICPE. En octobre 2009, une nouvelle rubrique dédiée aux installations de méthanisation a été créée : la **rubrique 2781** relative aux installations de méthanisation de déchets non dangereux ou de matière végétale brute à l'exclusion des installations de stations d'épuration urbaines. En effet les installations de méthanisation de boues d'épurations sont systématiquement soumises à autorisation. **L'arrêté du 10 novembre 2009** fixe les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de méthanisation soumises à autorisation en application du titre 1^{er} du livre V du code de l'environnement. Les méthaniseurs installés en STEU ne sont plus soumis à la réglementation ICPE mais à la nomenclature de la loi sur l'eau (**IOTA**) qui centralise les réglementations sur les stations d'épuration.

L'injection du biométhane issue de la méthanisation des boues d'épuration est autorisé par l'ANSES depuis **l'arrêté du 24 juin 2014**.

3.2. Incinération des boues

3.2.1 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 11). 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.

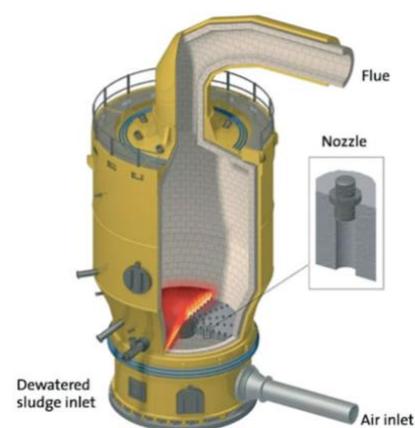


Figure 11 : Exemple de mono-incinérateur Pyrofluid™
(Source : Photothèque Véolia Eau)



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.

3.2.2 Co-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 €HT/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.

3.2.3 Co-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.

3.2.4 Cadre juridique

Les deux directives européennes relatives à l'incinération (**N° 89 - 369 CEE du 8 juin 1989** et **N° 89 - 429 CEE du 20 juin 1989**) ont été révisées par la **directive 2000/76/EC** du 4 décembre 2000 (modifiée en 2008) sur l'incinération des déchets. L'objectif de cette directive est de limiter les effets négatifs de l'incinération et de la co-incinération. Par rapport aux précédentes directives, elle rassemble déchets dangereux et non dangereux, abaisse les valeurs limites des différents polluants et intègre des valeurs limites sur les oxydes d'azote et sur les dioxines et furannes. Ces nouvelles contraintes étaient applicables à toutes les installations neuves et aux installations existantes à échéance 2007 (voir Annexe 1).

Il n'existe pas de réglementation spécifique à l'incinération des boues d'épuration en France. Le seul arrêté applicable est celui du **20 septembre 2002** (modifié en 2010) relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux qui transpose la directive incinération de 2000. Il crée en particulier une contrainte sur le taux d'imbrûlés ainsi que sur la valeur seuil journalière pour l'ammoniac (NH_3).

Au sens de la **circulaire du 28 avril 1998** relative aux plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés PDEDMA, remplacé par le plan départemental de gestion des déchets non dangereux (PDGDND) dans **l'article R541-14** du code de l'environnement), les boues peuvent être assimilées à des déchets ménagers. A ce titre, elles sont incinérées dans les mêmes conditions que les autres résidus urbains. L'ensemble des dispositions applicables aux installations d'incinération de résidus urbains, au titre de la protection de l'environnement, sont alors à prendre en compte (domaine d'application, conditions d'incinération, normes d'émissions, mesures de sécurité etc...). En réalité, ce sont plus les contraintes techniques (taux d'humidité et pouvoir calorifique) que réglementaires qui conditionnent l'incinération des boues.

3.3. 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).

Production de résidu minéral par la station d'épuration d'Épernay-Mardeuil ³⁰

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%.



Source : VEOLIA

³¹ La gazette des communes, *Les boues de la station d'épuration recyclées en céramique et en matériau routier*, 2016

3.4.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 ³².

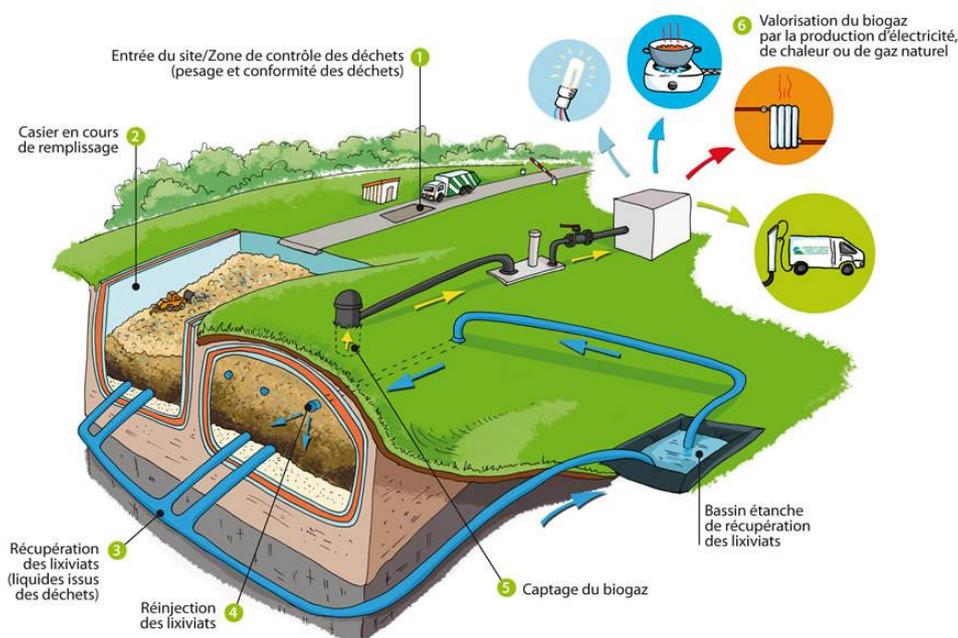


Figure 12 : Fonctionnement d'une ISDND (source : ADEME)

³² Site de l'Agence de l'eau RMC, *Gestion des boues urbaines*

3.5. 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.

³³ Observatoire de l'industrie électrique, *Traçabilité des ENR : Les garanties d'origine*, Avril 2018

4. Solutions alternatives

4.1. 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.

4.2. 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.

4.3. 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.

4.4. 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.

³⁴ circulatenews.or, *A new way to make plastic*, 2015

4.5. Extraction de minéraux valorisables

Des chercheurs de l'EPFL ont mis au point un procédé permettant de transformer les boues de stations d'épuration en minéraux valorisables comme des fertilisants ainsi qu'en biométhane. Le procédé développé permet d'extraire environ 90% du phosphore des boues d'épuration par un passage à l'état supercritique (entre le liquide et le gaz), en soumettant les boues à une pression et une température élevées³⁵. Certains exploitants ont déjà implanté un procédé permettant de produire de la struvite (un minéral de la famille des phosphates hydratés) en utilisant un réacteur à lit fluidisé. Ce procédé concerne les stations de plus de 40 000 EH. Ces techniques de récupération du phosphore sont importantes pour l'Europe qui est pour l'instant exportatrice de phosphore en raison d'un besoin très fort pour l'agriculture et de l'utilisation du phosphore comme engrais.

4.6. Retour au sol spécifique

4.6.1 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.

4.6.2 Cultures énergétiques

Encore peu développée, la méthode des **cultures énergétiques** filtrantes consiste à épandre des eaux usées ou des boues brutes sur des sylvicultures de saules qui tiendront lieu de biofiltres (en particulier pour les métaux lourds) et seront ensuite valorisés sous forme de bois-énergie. Les cultures de Taillis en très Courte Rotation (TtCR) sont notamment développées par la société Bionis Environnement. Expérimentée à travers le projet Willwater, le rendement de la production de saule mesurée pour l'épandage des boues d'épuration est de 8 à 10 tMS/ha/an, pour un prix de revient final du bois de 23 à 35€/t selon le rendement.



(source : hisour.com)

L'Ademe, l'Agence de l'eau et plusieurs collectivités territoriales ont permis depuis le début des années 2010 des expérimentations sur l'épandage de boues d'épuration en zones boisées. Cette expérimentation de 3 ans autorisée par le Préfet a permis de montrer l'innocuité des épandages et l'intérêt pour les peuplements jeunes. L'épandage des boues tels que prévu par le **décret 97-1133 du 8 décembre 1997** relatif à l'épandage des boues n'autorise pas l'épandage en zone boisée.

³⁵ AILE, *Willwater, le taillis de saule à très courte rotation, Guide des bonnes pratiques*, 2007
Disponible sur : <https://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2008/01/wilwater-guidetechnique.pdf>

5. 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.

5.1.1 Adapter la filière à son territoire

5.1.1.1 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.

5.1.1.2 Volume à valoriser

La connaissance des volumes de boues à valoriser est primordiale pour décider de la voie de valorisation. En effet chaque filière possède des seuils de rentabilité différents et qui vont orienter le choix de la collectivité. Mettre en place une installation de méthanisation dans une STEU n'est économiquement viable que pour de grosses stations. L'ADEME³⁶ a évalué dans une étude les capacités à partir desquelles la filière méthanisation devient économiquement viable (pour un taux de rentabilité interne de 10%), en distinguant la filière méthanisation et co-génération et la filière méthanisation et injection de biométhane dans les réseaux de gaz :

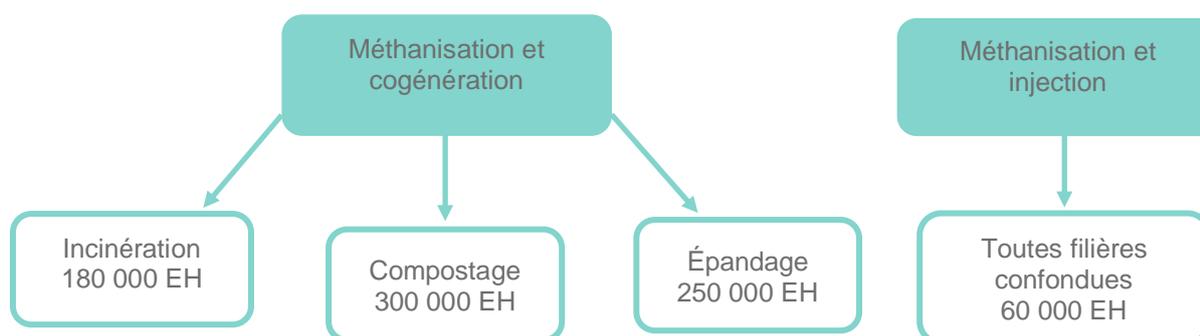


Figure 13 : Capacité minimale des STEU pour atteindre un taux de rentabilité interne de 10% en méthanisation selon le type de valorisation (source : ADEME)

³⁶ ADEME, prise en charge du traitement des boues des stations d'épuration, 2010



Ce graphique met l'accent sur les coûts d'installation et d'exploitation élevés dans le cas de la mise en place par la STEU de tous les moyens de valorisation sur site (dans le cas de la cogénération, cela correspond à l'investissement dans le méthaniseur mais aussi dans le four pour la cogénération).

Néanmoins toutes les STEU peuvent tout de même valoriser leurs boues en méthanisation territoriale, dans ce cas-là le méthaniseur n'est pas sur site. Si la STEU 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, ce qui est possible pour la méthanisation et la co-incinération, mais parfois soumis à dérogation. Le mélange des intrants en entrée de méthaniseur empêche toute possibilité d'épandage direct du digestat (car c'est contraire au principe de traçabilité du plan d'épandage).

5.1.1.3 Débouchés du territoire

Le choix d'une filière de valorisation dépend fortement des opportunités et de la demande du territoire.

L'épandage des boues permet d'apporter de la matière organique aux sols dans les zones où les sols sont appauvris. Les effluents d'élevage subviennent en général bien à cette demande et l'épandage des boues d'épuration peut être une alternative dans les zones où l'élevage est moins développé. Il faut donc envisager la gestion des PRO en fonction du contexte territorial et de la demande 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

Enfin, une réflexion sur les acteurs partenaires ou bien sur les filières concurrentes du territoire doit être menée afin de ne pas lancer un projet qui n'arrivera pas à s'insérer dans le territoire.

5.1.2 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.



5.1.3 Rentabilité des 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 permettaient jusqu'à présent de soutenir la filière mais qui seront amenés à baisser dans les prochaines années.

5.1.4 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, l'ADEME, la région et le département pour la recherche de financements.

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.

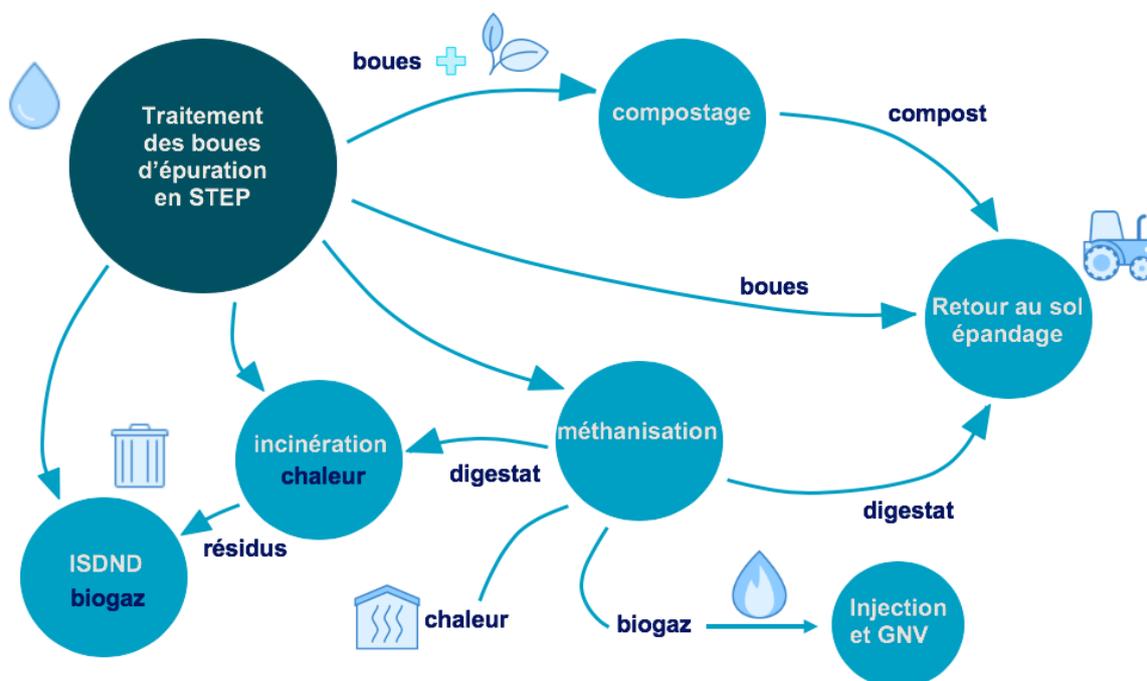


Figure 13 : Schéma des principales filières de valorisation

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).

Tableau 9 : Coût d'élimination/valorisation des boues d'épuration selon la filière

Filière	Coût (ramené à la tonne MB)
Épandage (enquête AMORCE)	23 € (7 - 45 €)
Compostage (enquête AMORCE)	53 € (40-81 €)
Incinération (valeurs usuelles)	90-150 €
Co-incinération avec ordures ménagères (valeurs usuelles)	70 -120 €



Malgré les différents avantages et inconvénients de chaque filière qui ont pu être mis en avant dans ce travail (voir Tableau 10), 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).

Tableau 10 : Comparatif des différentes filières de valorisation

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
Méthanisation	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 autoentretenu pour des siccités suffisantes.	Coût relativement élevé. Nécessité de traitement des fumées.
Co-incinération en cimenterie	Des boues suffisamment séchées peuvent servir de combustible	Teneur en phosphore limitante. Possible uniquement en présence d'une cimenterie à proximité.
Co-incinération avec ordures ménagères	Concentration des résidus dans des mâchefers. Possibilité de valorisation énergétique.	Nécessité d'une zone de stockage importante et d'une UVE à proximité.
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.
Pyrolyse	Production de biochar pour l'amendement des sols et d'un gaz valorisable.	Les boues doivent être séchées au préalable.

La valorisation des boues qui n'est pas récente est actuellement en plein essor grâce à l'arrivée de nouvelles techniques de valorisation énergétiques. Cet attrait des stations pour la valorisation s'explique par la volonté des syndicats d'utiliser l'énergie produite pour leur autoconsommation et pour la vente des énergies afin de limiter les coûts du traitement de l'eau. De nouveaux procédés innovants visent à valoriser non seulement les boues mais aussi les déchets de la valorisation des boues : mâchefers, technosables et biochar notamment. Cette valorisation implique une réelle démarche de coopération entre les différents acteurs du territoire, avec les entreprises implantées près de la STEU.

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.

Pour aller plus loin, consultez notre rapport d'enquête EAT05 b : « Enquête sur la valorisation des boues d'épuration »



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

G

GES : Gaz à Effet de Serre
GNV : Gaz Naturel pour Véhicules

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 : Polyhydroxycarboates

PRO : Produits Résiduels Organiques

PSE : Polystyrène Expandé

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

T

TGAP : Taxe Générale sur les

TTCR : Taillis à Très Courte Rotation

Z

Zn : Zinc

Annexes

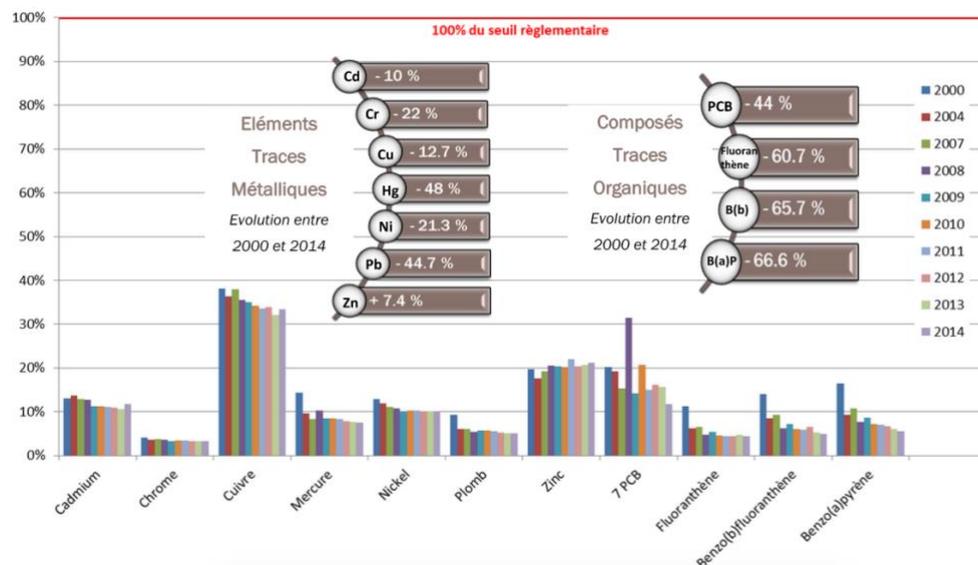
Annexe 1 : Valeurs seuils des émissions atmosphériques issues de l'incinération

Valeurs limites des émissions atmosphériques		
	Moyennes journalières (mg/m ³)	Moyennes sur une demi- heure (mg/m ³)
Poussières totales	10	30
Substances organiques à l'état de gaz ou de vapeur, exprimées en carbone organique total (COT)	10	20
HCl	10	60
HF	1	4
SO ₂	50	200
NOx pour les installations existantes de capacité >6t/h, ou les nouvelles installations	200	400
NOx pour les installations existantes de capacité <6t/h	400	-

Valeurs limites des émissions atmosphériques	
Cadmium et ses composés, exprimés en cadmium (Cd) + thallium et ses composés, exprimés en thallium (Tl)	0,05 mg/m ³
Mercures et ses composés, exprimés en mercure (Hg)	0,05 mg/m ³
Total des autres métaux lourds (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V)	0,5 mg/m ³
Dioxines et furannes	0,1 ng/m ³ (6h < période échantillonnage < 8h)

Annexe 2 : Évolution des teneurs en éléments indésirables (ETM et CTO) entre 200 et 2014 sur le bassin Rhône Méditerranée Corse

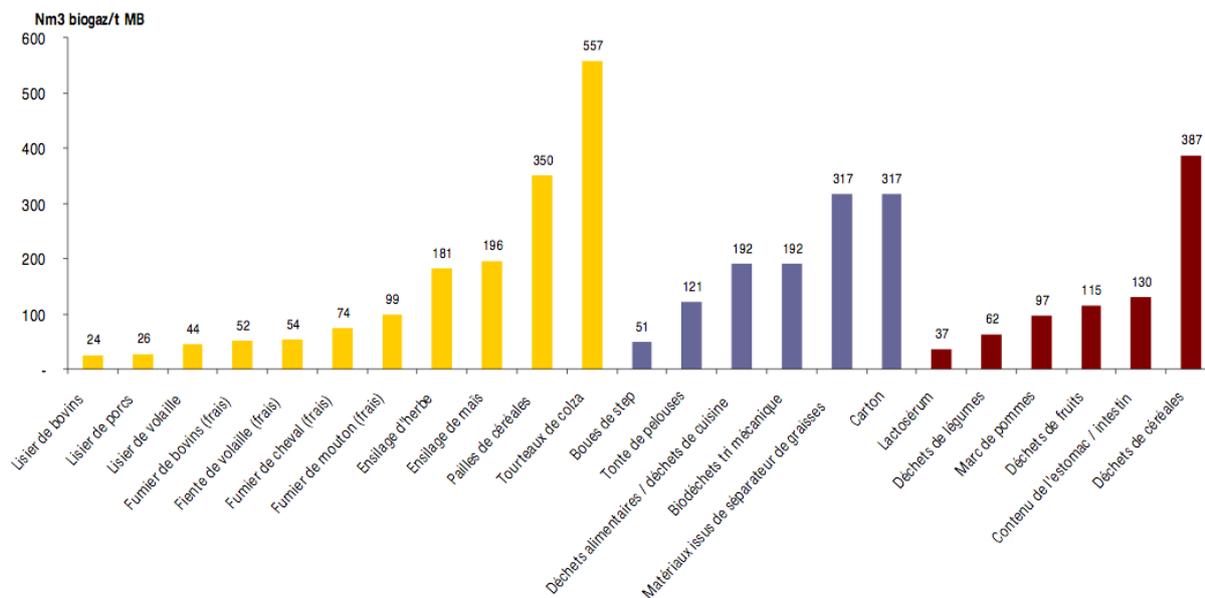
(source : eaurmc.fr)



Annexe 3 : Tableau comparatif des alternatives à l'apport de déchets verts pour structurer le compost (source : ASTEE)

Nature du co-substrat structurant	Description	Cas/Fréquence d'utilisation	Contribution aux conditions de compostage		
			Porosité	Apport nutritif	Absorption d'eau
Palettes de bois déchiquetées	Palettes de transport réformées et broyées	Dépend de la disponibilité locale. Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation.	++	Apport de C biodégradable faible à modéré	+
Ecorces de pin	Morceaux grossiers issus de l'écorçage des grumes en scierie	Utilisation liée à une disponibilité locale. Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation.	+	Apport significatif de C biodégradable.	++
Raffles de Maïs	Rachis de l'épi de Maïs (résidu de récolte des grains)	Utilisation liée à une disponibilité locale. Coût potentiel et concurrence possible avec d'autres voies de valorisation.	+	Apport significatif de C biodégradable.	+++
Copeaux, Sciures de bois	Résidus fins de transformation du bois en scierie	Utilisation plutôt observée pour des procédés de compostage semi-continu avec brassage régulier du massif composté (procédés couloir)	+/-	Apport très significatif de C biodégradable.	+++

Annexe 4 : Potentiel méthanogène de différents déchets (source : Biomasse Normandie)





AMORCE

18, rue Gabriel Péri – CS 20102 – 69623 Villeurbanne Cedex

Tel : 04.72.74.09.77 – Fax : 04.72.74.03.32 – Mail : amorce@amorce.asso.fr

www.amorce.asso.fr - @AMORCE

