

Julien BERTHOLON

DESS Déchets Solides et Éco-conception

3^{EME} PROMOTION

Mémoire Académique

LA GESTION DURABLE DES BOUES DE STATION D'ÉPURATION



BioSol

La maîtrise des filières de valorisation des boues

UNIVERSITE DE CERGY-PONTOISE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

REMERCIEMENTS

Spécialement l'équipe restreinte de BioSol :

Diane D'ARRAS (Président Directeur Général),
Laurent FLEURY (Directeur Général Adjoint),
Olivier LECLERCQ (Chef de projet),
Caroline RENAULT (Responsable Environnement Qualité Sécurité),
Christelle ROGER et Andrea BOSNIA (Assistants)
Et les anciens stagiaires de BioSol : Daniel DREIZZEN, Evelyne LAXAGUE et Arthur LEPORT.

Au sein du Groupe SUEZ Environnement :

Elizabeth JASKULKE (Lyonnaise des Eaux France)
Michel AUPETIGENDRE (Lyonnaise des Eaux France)
Thierry DOMAIN (Lyonnaise des Eaux France)
Jean Pierre MAUGENDRE (Lyonnaise des Eaux France)
Lucie DEGAS (Lyonnaise des Eaux France) pour son avis critique des ACV.
Jean-Hugues DE FONT REAUX (Lyonnaise des Eaux France)
Alain HUYARD (CIRSEE)
Hugues VANDEN BOSSCHE (CIRSEE)
Chanthaka Uk (Novergie Ile-de-France)
Pascal LEONARDI (SITA Sud)
Aude LAUTIER (Lyonnaise des Eaux Sud-Ouest)

Mais aussi :

Grégory HOUILLON (BG Ingénieurs Conseils)
Juliene SAUVE (Climate Change Agrologist – Alberta Agriculture)
Alain HENAUT (Science & Décision, CNRS – Université d'Evry)

Note : *Ce mémoire n'est pas un mémoire de recherche, il a été réalisé à l'issu d'un stage de 7 mois chez BioSol lors de sa mise en place. Il a pour but de montrer que la gestion des boues peut s'intégrer dans le Développement Durable, devenu de nos jours incontournable. Les solutions que propose BioSol ont été supprimées de cette version publiée sur Internet.*

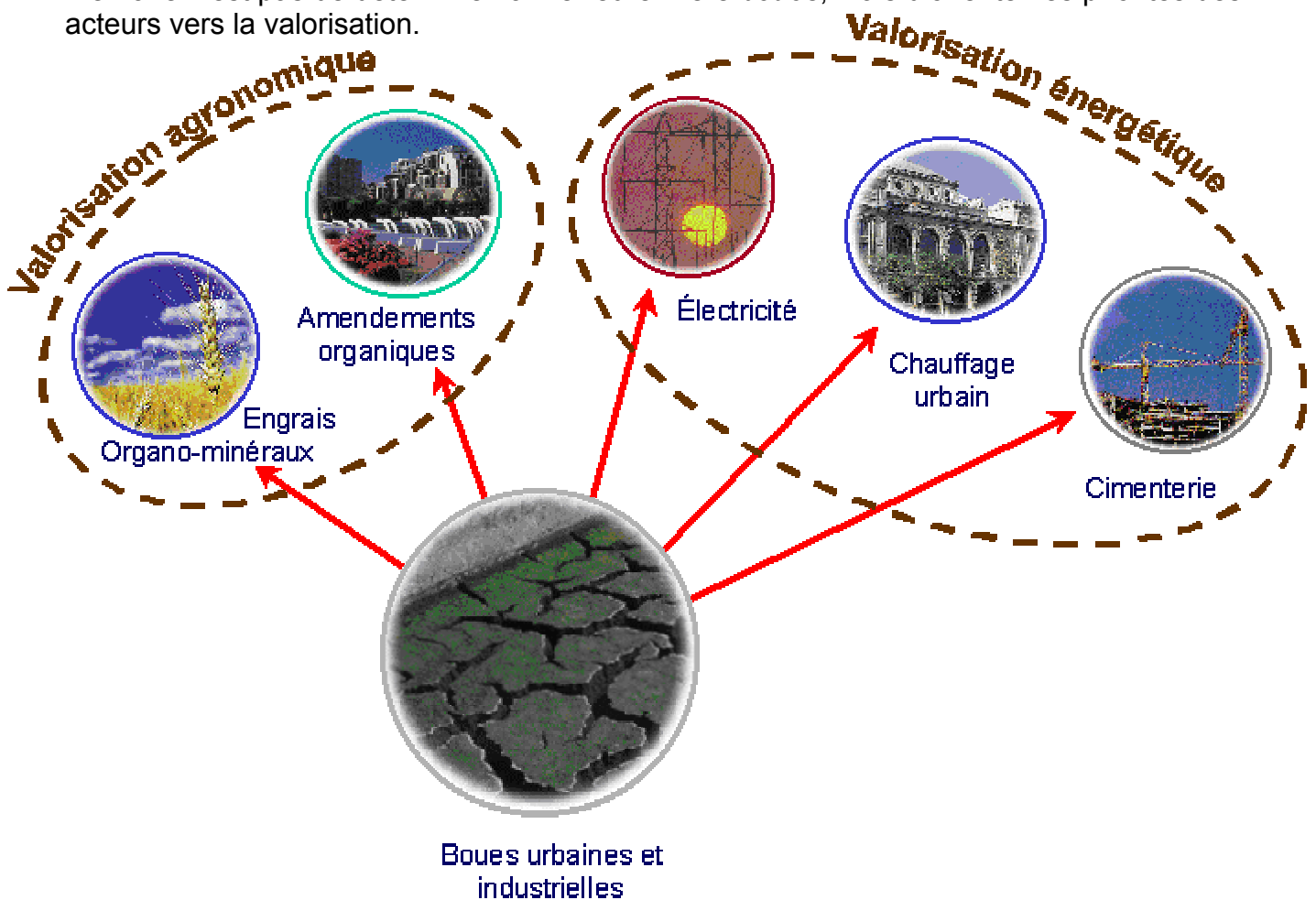
Introduction	4
I. Les boues, du déchet à la filière	5
1. Les boues, déchet ou matière première ?	5
A. <i>Origine</i>	5
B. <i>Caractérisation</i>	5
2. Les filières de traitement, de l'élimination à la valorisation	6
A. <i>L'épandage de boues brutes, une valorisation agronomique dominante</i>	6
B. <i>Le stockage, l'élimination devient valorisation</i>	6
C. <i>La combustion, principale valorisation énergétique</i>	6
D. <i>Le compostage, stabilisation de la matière organique avant valorisation</i>	7
E. <i>Le séchage, entre valorisation agronomique et valorisation énergétique</i>	7
F. <i>La stabilisation chimique des boues</i>	7
3. Les plus qui transforment le déchet en produit ou en énergie	8
A. <i>L'homologation</i>	8
B. <i>La normalisation</i>	8
II. Le point sur les impacts économiques, sociologiques et environnementaux	9
1. Impacts économiques.....	9
A. <i>La gestion du gisement de boues</i>	9
B. <i>Les investissements</i>	9
C. <i>La maintenance – Les consommables</i>	10
D. <i>Le transport</i>	10
E. <i>La gestion des sous-produits</i>	10
2. Impacts sociaux et sociétaux.....	11
A. <i>Les installations de traitement de boues</i>	11
B. <i>La création d'emplois et l'insertion professionnelle</i>	11
C. <i>La santé des populations et la sécurité des travailleurs</i>	11
3. Impacts environnementaux.....	12
A. <i>Ressources naturelles énergétiques</i>	12
B. <i>Ressources naturelles matières</i>	13
C. <i>Emissions de polluants</i>	14
<i>Polluants dans les sols</i>	14
<i>Polluants dans l'air</i>	14
<i>Polluants dans l'eau</i>	14
D. <i>Déchets</i>	15
4. Bilan des défis à relever	16
Conclusion	17
Bibliographie	18
Annexes	25

INTRODUCTION

Les boues de station d'épuration sont des résidus, principalement organiques, issus du traitement des eaux usées. Chaque année, près d'un million de tonnes [4]¹ de matières sèches sont produites par les stations d'épuration urbaines françaises. Plusieurs filières en assurent la valorisation ou l'élimination. En effet, ces boues possédant une grande quantité de matière organique, d'azote, de phosphore... elles peuvent jouer le rôle de matière fertilisante (engrais et/ou amendement) ou de combustible.

Le mode de traitement le plus usité actuellement est la valorisation agricole par épandage (60 % des boues brutes, chaulées, séchées ou compostées). Lorsque ces boues ne sont pas valorisées en agriculture, elles doivent être éliminées par incinération (15%) ou stockage (25%) en Centre de Stockage de Déchets (CSD).

Après un rappel des caractéristiques des boues et un balayage de leurs filières de valorisation et d'élimination, nous allons montrer les impacts, positifs et négatifs, de ces différentes filières sur le Développement Durable. Il est important de noter que le but de ce mémoire n'est pas de déterminer la meilleure filière *boues*, mais d'orienter les priorités des acteurs vers la valorisation.



¹ Les chiffres entre crochets correspondent aux références bibliographiques sur lesquelles s'appuie ce mémoire et dont la liste est présentée en page 18. C'est pour un souci de clarté que ce système a été choisi, et il est conseillé de s'y référer pour obtenir des renseignements plus détaillés.

I. LES BOUES, DU DECHET A LA FILIERE

Les boues ont longtemps été des déchets volumineux et gênants pour les collectivités et les industriels. Mais nous assistons actuellement au changement de mentalité qui visait à « se débarrasser » des boues en agriculture, vers une volonté de valorisation dans des conditions maximales de sécurité, de salubrité et de protection de l'environnement. Les boues deviennent donc des déchets à valoriser et de véritables filières pérennes s'organisent sur ce marché porteur.

1. LES BOUES, DECHET OU MATIERE PREMIERE ?

A. ORIGINE

Avant rejet dans le milieu naturel, les eaux usées des habitations et industries faisant partie d'un système d'assainissement collectif (97 % de la population) sont traitées dans des stations d'épuration (1 % des stations d'épuration cumulent 44 % de la capacité de traitement [16]). Il en résulte plusieurs types de déchets : les résidus de dégrillage, les sables, les graisses et les boues. Les boues, au sein du système d'assainissement, sont présentées en Annexe 1.

Les boues urbaines représentent chaque année une production annuelle de 11 millions de tonnes de matières humides (entre 15 et 20 kg/hab./an). Cette quantité progresse de 7 % par an. Pour les boues industrielles, la production est de 5 millions de tonnes avec une progression de 5 % par an. L'augmentation de la production s'explique par un taux de dépollution² croissant. Actuellement de 50 %, il devrait atteindre 65 % en 2005 (Objectif de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992).

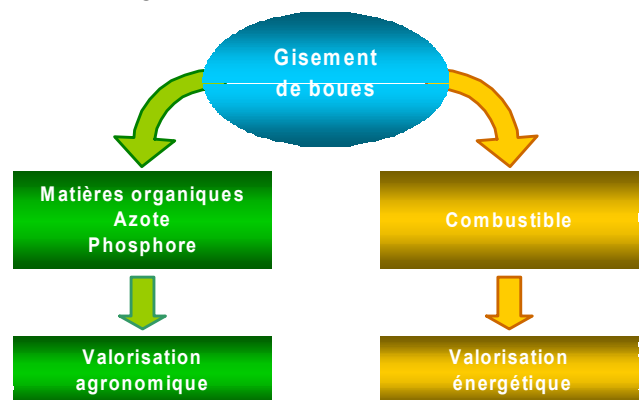
B. CARACTERISATION

Les boues sont composées de résidus non captés par le pré-traitement, de matières organiques non dégradées, de matières minérales et de microorganismes issus, pour la plupart, de l'activité bactériologique qui a lieu dans les stations. Selon le mode de traitement de la station, les boues peuvent être de compositions différentes et plus ou moins chargées en matière organique : boues primaires, biologiques ou mixtes (Cf. Annexe 1).

Les paramètres qui définissent la qualité d'une boue sont les suivants : l'efficacité agronomique, la régularité de la composition, l'absence d'odeurs désagréables, la présentation physique satisfaisante et bien entendu la concentration en éléments indésirables (agents pathogènes, éléments traces métalliques et composés traces organiques). A l'exception des éléments traces (dépendant du réseau), ces paramètres sont directement liés à la conception et à la gestion de la station d'épuration [9].

Les caractéristiques mises en avant sont différentes selon le mode de valorisation recherché. Pour la valorisation agronomique, c'est la valeur agronomique (critère agronomique) et les teneurs en éléments traces (critère environnemental souvent limitant) qui vont être importants, alors que pour valoriser énergétiquement une boue, c'est le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) qui sera prépondérant (critère énergétique lié à la quantité de matière organique dans la boue). La siccité, ou teneur en matière sèche, est aussi un paramètre important dans les deux cas.

La valorisation des boues peut se faire selon deux approches : l'approche *déchet* qui vise à se plier à la réglementation des déchets, et l'approche *produit* qui vise à élaborer un produit de qualité dont les bénéfices seront établis. La valorisation énergétique s'inscrit plutôt dans une approche *déchet*, bien que les boues séchées possèdent des caractéristiques *produit* recherchées par les industriels de l'incinération (PCI, conditionnement...).



² Le taux de dépollution est la charge polluante totale, ou flux de pollution, extraite des eaux usées.

2. LES FILIERES DE TRAITEMENT, DE L'ELIMINATION A LA VALORISATION

Avant de balayer rapidement les filières *boues*, il est important de noter la différence entre l'élimination des boues, qui n'apporte pas de bénéfice environnemental, et la valorisation dont le principe est de créer une valeur agronomique ou énergétique positive. L'élimination et la valorisation sont des objectifs, passant parfois par des transformations intermédiaires. En effet, le compostage n'est pas un mode de valorisation mais assure la transformation de la boue en compost valorisable. Le séchage, crée un produit qui peut être soit valorisé en agriculture, soit utilisé en substitution de combustibles.

A. L'EPANDAGE DE BOUES BRUTES, UNE VALORISATION AGRONOMIQUE DOMINANTE

Les deux tiers des boues produites en France sont valorisées par épandage sur des surfaces agricoles (96 % à l'état brut). Elles apportent aux plantes une partie des éléments fertilisants nécessaires à leur croissance. Les boues, avant leur sortie des stations d'épuration, sont épaissies et déshydratées mécaniquement avant d'être stockées jusqu'aux campagnes d'épandage.

Les opérations d'épandage et les seuils de valeur agronomique, d'Eléments Traces Métalliques (ETM) et de Composés Traces Organiques (CTO) sont encadrés par le décret du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998 [11]. Les étapes sont décrites en Annexe 2a.

Le processus d'épandage est maîtrisé, tant par le contrôle de la qualité des déchets épandus, déterminée par les analyses de boues et de sols, que par le contrôle de la qualité d'organisation de cette opération. De plus en plus de filières d'épandage agricole (Arras, Dreux, Lure...) sont d'ailleurs certifiées dans le cadre d'un référentiel qualité mis en place par le SYndicat des Professionnels du REcyclage en Agriculture (SYPREA).

B. LE STOCKAGE, L'ELIMINATION DEVIENT VALORISATION

Le stockage³ des boues est le plus souvent une solution de facilité qui résout un problème de non-conformité de la boue vis à vis de la réglementation, de sols qui ne peuvent pas accepter de boues, d'agriculteurs réticents à l'épandage ou de transport trop onéreux pour le producteur. Cependant, le concept de déchet ultime suivant son cours, les boues sont de moins en moins souvent éliminées dans ces installations.

Le stockage des boues se fait en Centre de Stockage de Déchets (CSD), ou Centre d'Enfouissement Technique (CET), de classe 2 (déchets non dangereux). Dans ce type d'installation, le sol est protégé des infiltrations par une série de matériaux naturels et synthétiques étanches. Les lixiviats, issus de la percolation de l'eau à travers les déchets, sont drainés et traités. Le biogaz, gaz provenant de la fermentation anaérobie des déchets, est collecté et éliminé. Il est cependant de plus en plus souvent valorisé. Les sites, dont l'exploitation est achevée, sont suivis par le dernier exploitant pendant 30 ans.

Un apport de 5 % de boues en mélange avec des ordures ménagères permet de produire 10 % de biogaz en plus (SITA-GASTEC). Il devient donc intéressant d'accepter des boues, pour les installations valorisant le biogaz. La valorisation du biogaz transforme la filière *stockage* en une filière de valorisation énergétique.

Une nouvelle génération de CSD est en train de voir le jour. Cette technique à l'essai consiste à faire recirculer les lixiviats dans le massif de déchets. Le traitement de ces jus est alors nettement moins onéreux et la production de biogaz est considérablement augmentée. Un autre avantage serait de pouvoir réutiliser les matériaux dégradés 5 à 7 ans après la fermeture du site (contrairement au suivi trentenaire des installations classiques). Mais cette hypothèse reste encore théorique quand à l'innocuité des produits sortants.

C. LA COMBUSTION, PRINCIPALE VALORISATION ENERGETIQUE

La combustion des boues consiste à dégrader thermiquement leur matière organique. Selon les modes de combustion et les caractéristiques des boues, cette dégradation peut produire de

³ Le stockage évoqué dans ce mémoire est permanent. Il est dissocié de l'entreposage qui est temporaire.

l'énergie (chaleur et/ou électricité) ou en consommer [14]. Les différentes formes de combustion sont plus précisément décrites en Annexe 2b.

Il est possible de faire deux groupes d'installations de combustion : celles qui valorisent les boues et celles qui les éliminent (destruction sans valorisation). L'incinération dédiée et l'oxydation par voie humide sont des modes d'élimination, alors que la co-incinération avec les ordures ménagères, la pyrolyse et l'incinération en cimenterie les valorisent. Les deux premières valorisent l'énergie sous forme de chaleur et/ou d'électricité alors que l'incinération en cimenterie peut valoriser l'énergie par la combustion de boues séchées ou la matière minérale des boues par leur intégration dans le clinker⁴.

Les principaux problèmes posés par la combustion des boues sont l'émission atmosphérique de polluants non captés par le système d'épuration des fumées, et la production de résidus toxiques solides issus de cette épuration.

D. LE COMPOSTAGE, STABILISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE AVANT VALORISATION

Le compostage est une oxydation biologique aérobie de la matière organique fermentescible contenue dans les boues. Cette dégradation est source d'énergie pour les microorganismes qui la stabilisent. Le compostage consiste donc à transformer de la matière organique en humus. Pour composter les boues, il faut les mélanger avec un agent structurant carboné (palettes broyées, déchets verts...). Certaines précisions sur le compostage des boues sont données en Annexe 2d.

Le principe de la dégradation de la matière organique est naturel, mais il existe des moyens pour l'accélérer (par aération forcée). En effet, les techniques modernes permettent de piloter automatiquement la fermentation et d'optimiser sa durée et la qualité du compost sortant. Il est hygiénisé des agents pathogènes de la boue, et la matière organique qu'il contient est stable.



Compost prêt à l'emploi

Le compost est un amendement organique valorisable en agriculture (actuellement 80 % de ses débouchés), mais également en revégétalisation de sols dégradés (seulement 0,5 % du gisement à l'heure actuelle), en arboriculture... Lorsqu'il est épandu en agriculture, la procédure d'épandage est la même que celle des boues brutes (Annexe 2a). Mais le produit hygiénisé sécurise la filière aval.

E. LE SECHAGE, ENTRE VALORISATION AGRONOMIQUE ET VALORISATION ENERGETIQUE

Le séchage est un traitement intermédiaire, dont le but est d'éliminer l'eau des boues. Il peut être solaire ou thermique. Dans ce dernier cas, les boues ont une siccité de 90 % et ne se réensemencent donc pas. Elles sont stables (pas d'odeur, pas de risque d'évolution en cas d'entreposage prolongé au sec...) et hygiénisées (températures supérieures à 100°C au cours du séchage) [26]. Des précisions sur les modes de séchage thermique sont en Annexe 2e.



Boues séchées en granulés

Les boues séchées thermiquement ont deux débouchés distincts : la valorisation agricole (brutes ou complémentées) et la valorisation énergétique. La complémentémentation consiste à ajouter des éléments fertilisants (le plus souvent du potassium) dans des proportions précises pour obtenir un produit finalisé de qualité répondant à des critères agronomiques particuliers. La boue séchée est donc un produit multi-usage qui peut s'adapter rapidement à un débouché.

F. LA STABILISATION CHIMIQUE DES BOUES

Le chaulage des boues d'épuration est un traitement intermédiaire avant valorisation ou élimination. Il est utilisé pour augmenter la siccité des boues et les hygiéniser. En effet, la chaux réagit avec l'eau des boues et l'augmentation du pH induite élimine les agents pathogènes (25 % de chaux sont nécessaire pour bloquer la croissance des microorganismes et donc la production

⁴ Mélange de calcaire et d'argile, cuit à 1.400°C et finement broyé, qui constitue la base de la plupart des ciments

d'odeurs [7]). Les boues chaulées sont alors stables avec un pH élevé. Elles peuvent être valorisées en agriculture (apport d'éléments calciques en plus de la matière organique), ou être éliminées en CSD.

D'autres procédés, basés sur le même principe, visent à stabiliser les boues avec des liants hydrauliques, du silicate de sodium, des argiles ou du gypse avant de les valoriser. Des réactions chimiques interviennent et le mélange peut être utilisé en matériau de construction [19][34].

3. LES PLUS QUI TRANSFORMENT LE DÉCHET EN PRODUIT OU EN ÉNERGIE

Une boue est réglementairement un déchet. Tous les produits contenant des boues en sont aussi. Cependant, il existe deux méthodes qui peuvent faire passer un déchet en produit ou matière secondaire : l'homologation et la normalisation. Le produit créé est alors commercialisable et n'est plus soumis à la réglementation des déchets.

A. L'HOMOLOGATION

L'homologation est une démarche *produit* volontaire. Elle concerne un produit bien défini issu d'un site précis. Elle est délivrée par le Ministère de l'Agriculture selon la procédure décrite en Annexe 3.

L'homologation garantit la constance (homogénéité, stabilité et invariabilité), l'innocuité (pour la faune, la flore et les populations) et l'efficacité agronomique du produit (vitesse de minéralisation, effets nutritif et structural de la matière organique). Elle est un gage de bonne qualité du *produit* qui n'est plus soumis aux contraintes réglementaires liées à l'élimination des déchets (plan d'épandage, plan départemental d'élimination des déchets).

B. LA NORMALISATION

La normalisation se rapporte à tous les produits ou sous-produits d'une même nature, quelle que soit leur provenance. Elle concerne des produits issus de n'importe quel site, mais répondant à des caractéristiques nationales identiques. Ces caractéristiques sont fixées par le Ministère de l'Agriculture, en concertation avec tous les acteurs concernés par la famille de produits.

La norme NFU 44-095 [7], homologuée par l'AFNOR, définit les *Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement de l'eau* dans la catégorie des *Amendements organiques*. Le compost de boues de station d'épuration fait partie de cette catégorie. Or, pour pouvoir commercialiser un compost sous cette norme, il faut que celle-ci soit publiée au Journal Officiel. Un arrêté devrait mettre en place cet aspect réglementaire.

Cette norme impose des résultats d'innocuité, de valeur agronomique, de stabilité et bien entendu de traçabilité des composts. Elle fixe la dose d'emploi par des seuils de concentration ou de flux pour les principaux paramètres caractérisant les boues.

L'homologation et la normalisation s'inscrivent dans une démarche *produit* des composts et des boues séchées de station d'épuration. Par ces intermédiaires, les produits s'insèrent sur le marché des matières fertilisantes et amendements organiques. Ils répondent ainsi à une demande avec une certaine souplesse de débouchés et avec une valeur ajoutée importante.

La réglementation actuelle fait la promotion de ces initiatives volontaires. Elle sécurise le recyclage des boues en agriculture par des procédés de stabilisation comme le compostage et le séchage thermique. À l'avenir, elle pourrait s'inspirer de la réglementation relative aux mâchefers d'incinération qui, selon leur charge polluante, peuvent être valorisés directement, doivent subir une période de maturation (associée à une hygiénisation ou stabilisation des boues), ou doivent être éliminés.

II. LE POINT SUR LES IMPACTS ECONOMIQUES, SOCIOLOGIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Avant de faire un bilan des défis à relever pour une gestion durable des boues de station d'épuration, nous allons étudier les différents impacts, positifs ou négatifs que ces voies de valorisation ou d'élimination engendrent.

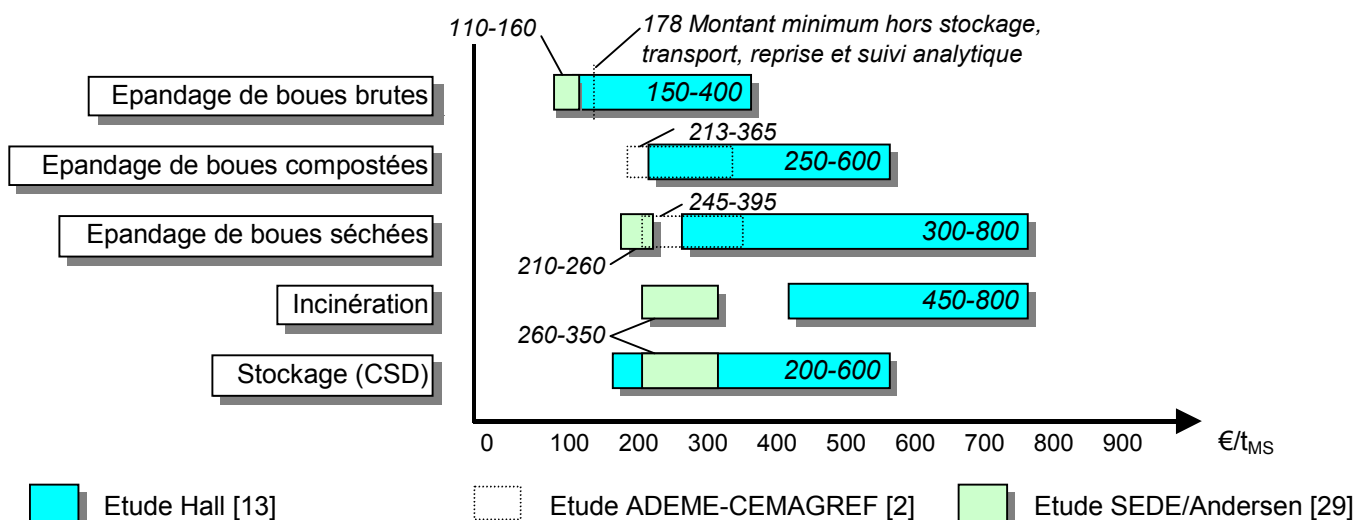
1. IMPACTS ECONOMIQUES

En dehors de l'estimation des coûts de gestion globale des boues, il est difficile de trouver des données quantitatives et détaillées. Le lecteur excusera donc la subjectivité des résultats présentés.

A. LA GESTION DU GISEMENT DE BOUES

La gestion des boues est onéreuse pour les collectivités et les industriels. Elles représentent de 3 à 5 % des coûts du traitement de l'eau [29] et la quantité croissante n'est pas sans poser de problèmes supplémentaires : plus la production est importante, plus le traitement est sophistiqué et les charges lourdes. Selon l'enquête ECOLOC 2002 réalisée pour l'ADEME [6], le traitement des boues est une des préoccupations majeurs des collectivités en matière de dépenses liées à l'environnement. Cette préoccupation est issue de l'augmentation du coût du traitement de l'eau, du nombre de raccordés (industries comprises) et de l'efficacité de l'épuration. De plus, les collectivités veulent des filières avales sécurisées en alternative à l'épandage de boues brutes dont l'avenir est parfois incertain.

Différentes études [2][13][29] donne des comparaisons de coûts supportés par les principales filières de traitement de boues. Le schéma suivant en présente quelques résultats. Les chiffres sont exprimés en euros par tonne de matière sèche.



Il est important de noter les grandes variations des estimations de coûts. Ces variations sont issues des hypothèses de calcul comme la taille de la station, la siccité des boues entrantes... De plus, l'expression des prix en tonne de matière sèche ne traduit pas les sommes à immobiliser. Ces résultats sont donc à utiliser avec précaution.

Les collectivités locales et les industriels impliqués dans la gestion des boues choisiront donc des filières sûres pour limiter les risques financiers, politiques et commerciaux. Ainsi, des filières sophistiquées sont de plus en plus souvent privilégiées devant des filières plus rustiques.

B. LES INVESTISSEMENTS

Selon la filière de valorisation ou d'élimination, l'impact financier des investissements (infrastructures et matériel) sera différent.

L'incinération demande des investissements lourds, principalement pour le traitement des fumées (électrofiltres, tours de lavage...). Cependant, la co-incinération a l'avantage de répartir ces coûts entre le traitement des ordures ménagères et le traitement des boues. Bien moins importants, le séchage thermique est aussi sujet à des investissements lourds (environ 250 €/t_{MH} de capacité nominale [1]).

Selon la technologie utilisée, le compostage peut générer des infrastructures très légères (compostage extérieur en andains retournés) ou très lourdes (compostage en couloir). Les investissements s'échelonnent entre 150 et 300 €/t_{MH} de capacité nominale. Le matériel associé à ces procédés est aussi fonction de la technologie utilisée.

Les infrastructures liées à l'épandage de boues brutes sont limitées à l'entreposage des boues et au matériel d'épandage. Le chaulage peut cependant engendrer des investissements supplémentaires (silo, outils de mélange...).

C. LA MAINTENANCE – LES CONSOMMABLES

La combustion, au sens large, engendre une maintenance régulière, complexe et spécialisée. Ces coûts sont augmentés lorsqu'il y a valorisation énergétique, mais le bilan final devient positif par la vente d'énergie. La co-incinération répartit les coûts de maintenance sur les deux filières : *ordures ménagères* et *boues*. Les autres filières de combustion ont peu de maintenance dite « préventive », mais celle-ci est directement liée au montant des investissements. De plus, la consommation de produits chimiques destinés au traitement des fumées, a un impact économique important sur la filière.

Les boues doivent être gérées avec des modes de traitement ou de valorisation qui n'engendrent pas de trop grande quantité de consommables. En effet, si le produit n'est valorisé que par des ajouts de matière ou d'énergie à forte valeur ajoutée, l'aspect valorisation de la boue n'a plus de sens.

Ainsi, le chaulage des boues nécessite de grandes quantités de chaux. L'épandage de la boue chaulée est alors plus régit par l'apport de chaux au sol, que par l'apport de matière organique ou d'éléments fertilisants. Le chaulage engendrerait des coûts d'exploitation (toutes dépenses confondues) deux fois plus élevés que le compostage [13].

Le suivi analytique des boues brutes, séchées ou compostées et des sols lors de l'épandage est un poste important dans le budget de valorisation des boues en agriculture (entre 0,15 et 0,75 € par équivalent habitant [2]). Il peut cependant être réduit par l'homologation des produits qui garantit leur qualité.

D. LE TRANSPORT

L'eau contenue dans les boues coûte cher au transport des boues. En effet, plus les boues sont chargées en eau, plus leur volume et leur poids est important. Un des enjeux majeurs des collectivités est de réduire le coût du transport des boues, soit en choisissant un procédé de traitement adéquat (séchage), soit en privilégiant des solutions de proximité. Le séchage des boues apporterait des économies de transport de l'ordre de 15 €/t de matière sèche, en plus de réduire les coûts du traitement des odeurs [26].

Le compost, dont la valeur ajoutée est largement supérieure à celle des boues brutes a une faible densité (environ 0,5), et son transport ne doit généralement pas excéder quelques dizaines de kilomètres. Cependant, l'homologation ou la normalisation d'un compost peut accroître sa valeur marchande et ainsi augmenter la distance d'évacuation à coût acceptable. Mais, si le produit est de qualité supérieure, il ne sera pas nécessaire de chercher des débouchés lointains pour le valoriser.

E. LA GESTION DES SOUS-PRODUITS

Les deux types de sous-produits créés dans les différentes filières de combustion des boues sont les résidus d'épuration des fumées (déchets dangereux) et les mâchefers (déchet minéral le plus souvent valorisable).

Les résidus d'épuration des fumées doivent être stockés en CSD de classe 1 après stabilisation. Cette contrainte pèse lourd dans les dépenses engendrées par les exploitations (droits d'accès proches de 250 €/t, transport...). Les mâchefers, s'ils sont valorisés, peuvent réduire les charges d'exploitation.

2. IMPACTS SOCIAUX ET SOCIÉTAUX

Notons tout d'abord que le volet social concerne les droits et préoccupations du personnel de l'entreprise, alors que le volet sociétal implique les relations de l'entreprise avec les acteurs du territoire dans lequel l'entreprise est implantée. Il s'agit de l'adoption d'un comportement responsable vis-à-vis de l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise.

Les précurseurs des problèmes sociologiques liés aux boues, ou aux déchets en général, sont les grandes peurs provoquées par la maladie de la vache folle, les scandales de la dioxine et l'utilisation d'OGM sans en connaître les risques [31][36].

A. LES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DE BOUES

Avant même d'en connaître les incidences potentielles, la proximité d'une installation de traitement de déchets est considérée comme une atteinte à la qualité de vie [9].

Le refus de plus en plus systématique par les populations locales des installations de traitement de déchets se traduit par le syndrome NIMBY (*Not In My Back Yard* : pas dans mon jardin). Dans le cas du traitement des boues, toutes les installations sont concernées. L'épandage de boues brutes en agriculture présente cependant une variante de ce syndrome, puisqu'il concerne le lieu d'épandage et non une installation.

Un autre syndrome mis en évidence autour des projets d'installations de traitement de déchets est celui généré par les élus : NIMEY (*Not In My Election Year* : pas dans mon année d'élection). Pour éviter les vagues politiques, les décisions de créations d'installations sont donc dépendantes du calendrier électoral.

B. LA CREATION D'EMPLOIS ET L'INSERTION PROFESSIONNELLE

Comme la plupart des métiers du déchet, le traitement des boues permet de créer un certain nombre d'emplois qui nécessitent peu de qualifications. Il est donc plus facile de réinsérer dans ce secteur des personnes en difficulté. Ainsi, le compostage des déchets organiques peut créer entre 3 et 4 emplois stables pour une installation de 20.000 tonnes par an. Parmi eux, une personne doit être qualifiée. La faible demande de qualifications est liée aux valeurs des produits et à la rusticité des procédés. Dans des installations de combustion, où la technologie est plus sophistiquée, les qualifications requises sont nettement plus importantes.

L'étude Inter-Agences de l'Eau [8], donne des ordres de grandeur par filière. Ainsi, l'épandage de boues créerait 0,30 emplois pour 1000 tonnes de matière brute traitées, l'incinération 0,35 et le stockage 0,14. La station d'épuration elle-même arriverait à un ratio de 0,33. Cependant, ces chiffres sont fonction des filières étudiées. Cette étude conclut que les impacts relatifs à l'emploi dans les filières *incinération* et *épandage* ne sont pas déterminants pour le choix de la filière.

C. LA SANTE DES POPULATIONS ET LA SECURITE DES TRAVAILLEURS

Les risques et l'exposition aux risques des populations sont limités. En effet, il n'y a aucun contact direct entre les boues et les populations et les opérations d'épandage en agriculture sont suffisamment encadrées pour éviter la transmission d'éléments pathogènes. Le risque sanitaire est infime si les précautions réglementaires d'emploi sont respectées (renforcées lors d'épandage sur prairies) [22]. Le problème récurrent est le manque d'information du public sur ces pratiques.

Les travailleurs des installations de traitement sont protégés par des équipements de protection individuelle (masques anti-poussières et gaz et casques anti-bruit, détecteurs de gaz, vêtements de protection) et des modes opératoires adéquats.

Concernant les éléments traces polluants les boues (ETM et CTO), ils sont apportés aux sols dans des proportions faibles par rapport aux terres réceptrices. Certains de ces éléments sont d'ailleurs

présents naturellement dans les sols (fonds géochimiques) et n'engendrent pas d'augmentation importante de concentration dans les sols [20].

Des modes de traitement peuvent réduire les risques de contamination pathogène en hygiénisant et en stabilisant les boues. C'est le cas du compostage, du séchage thermique et du chaulage qui garantissent l'innocuité des produits épandus et sécurisent ainsi leur valorisation. Malgré cela, le rejet de la boue par les populations semble s'accroître, passant par le cheval de bataille des écologistes alarmistes : la « mal-bouffe » ou le rejet de la consommation non sécurisée.

3. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Le recyclage consiste à utiliser des matériaux issus des déchets en substitution à des matières premières vierges. Les ressources naturelles sont alors préservées. L'utilisation de la valeur agronomique ou énergétique des boues est une forme de recyclage : la première réalise des économies d'engrais organo-minéraux ou fertilisants de synthèses, alors que la seconde réalise des économies de combustibles fossiles [9].

Certains éléments de ce paragraphe sont issus d'Analyses de Cycle de Vie (ACV) de filières *boues*. Ils sont cependant à utiliser avec prudence, compte tenu des résultats qui s'adaptent facilement aux hypothèses choisies et avec parfois des différences fondamentales. A titre d'exemple, le stockage des déchets est considéré comme une filière d'élimination polluante sans valorisation, en oubliant la valorisation du biogaz qui se généralise et l'arrivée de nouvelles générations de CSD. De plus, il est difficile de comparer des filières dont les acteurs sont très différents (agriculteurs, industriels, exploitants de sites de traitement de boues...). La fragmentation des responsabilités fragilise ces ACV.

A. RESSOURCES NATURELLES ENERGETIQUES

Les ressources énergétiques sont principalement consommées par le séchage et l'OVH des boues. Le transport des boues ou des produits issus des boues vient ensuite.

Le séchage, à lui seul, consomme 3.500 à 4.500 MJ par tonne d'eau évacuée, contre 6 à 9 MJ pour la déshydratation mécanique [26]. Mais il faut aussi noter que le sécheur peut produire un combustible valorisable à fort PCI (autour de 8.000 MJ/t de boues sèches [12]). Il a été montré ([14][15]) que l'oxydation par voie humide peut consommer 14.000 MJ/t_{MS}, soit plus du double des filières *pyrolyse*, *incinération en cimenterie* ou *stockage* et près de 7 fois plus que l'incinération ou l'épandage de boues chaulées.

Le transport et l'épandage des boues brutes, séchées ou compostées sont aussi consommateurs d'énergie. Compte tenu de la proximité recherchée des filières de valorisation et de leur localisation (loin des infrastructures de transport), cette énergie est quasiment toujours fossile (transport par camion). Les boues séchées, dont le poids est réduit pour une même quantité de matière sèche, impactent cependant moins sur le transport que les autres types de boues. Une étude [12] estime la consommation de fioul par les engins d'épandage à 1,3 L/t de boues épandues. Pour avoir le même bilan énergétique, une boue séchée épandue en agriculture peut alors parcourir une distance vingt fois plus importante.

Si la siccité le permet, la combustion des boues peut produire de l'énergie. Elle assure alors des économies de combustibles fossiles et limite la production de déchets nucléaires. Lorsque la valorisation énergétique ne se fait pas, il y a une perte de Pouvoir Calorifique Inférieur valorisable. Cette absence de valorisation se traduit alors par un « gaspillage énergétique ».

Dans le cas du stockage des boues en CSD, la production de biogaz issu de la fermentation des boues n'est pas négligeable. Ainsi, une tonne de boues peut produire entre 320 et 350 kg de méthane [12][18]. Selon l'efficacité de la valorisation du biogaz, les économies d'énergie peuvent donc être importantes.

La valorisation énergétique des boues n'a pas d'influence significative sur l'indépendance énergétique de la France, mais permet cependant de gérer au mieux les émissions de gaz à effet de serre et de faire face aux grandes quantités de déchets produits. Les économies d'énergie peuvent être optimisées par la co-génération ou la tri-génération qui consistent à valoriser l'énergie

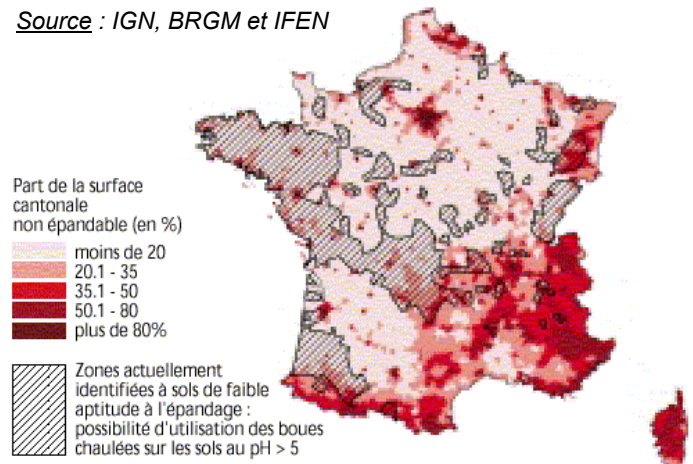
sous plusieurs formes (chaleur, électricité et froid). Cette optimisation dépend d'une réflexion sur l'urbanisme et l'aménagement du territoire qui devra inclure la totalité de la gestion des déchets [27].

B. RESSOURCES NATURELLES MATIERES

Le second facteur de dégradation des sols après l'érosion est celui de la dégradation de la matière organique (perte de 1 à 2 % chaque année). Les sols européens se dégradent dangereusement et de façon hétérogène⁵. L'utilisation de boues en agriculture ne peut résoudre qu'une partie du problème. Leur quantité n'est pas suffisante au rééquilibrage [32] et la répartition de la production de boues n'est pas homogène (51 % du tonnage est produit dans 19 départements) [16]. La réglementation française exclut de toute façon de l'épandage de certains produits de charge en azote est trop élevée (boues, lisiers) sur des sols trop acides (22 %) [17].

L'apport de compost sur un sol améliore ses propriétés physiques (rétention de l'eau augmentée, disponibilité de l'eau améliorée, croissance des racines facilitée par l'augmentation de la porosité, érosion limitée...) et ses propriétés chimiques (capacité d'échange des cations, capacité du sol à retenir les minéraux...) [3].

Source : IGN, BRGM et IFEN



La valorisation agronomique des boues engendre une réduction de la production de fertilisants de synthèse : de 10 à 30 % par an pour les terrains recevant des boues [29]. Si les boues ne sont pas valorisées en agriculture, la matière organique et les éléments fertilisants de la boue sont détruits (incinération) ou perdus (stockage). Cependant, pour conserver une productivité raisonnable, l'apport d'engrais chimique reste indispensable. En effet, les boues, quelle que soit leur forme, n'apportent pas tous éléments essentiels aux sols et à leur cultures [4]. Un équilibre entre les deux types de produits est bénéfique pour le sol et la production agricole.

L'utilisation de consommables peut avoir un impact environnemental important, selon le type de produits utilisés. Le traitement des fumées des installations de combustion nécessite l'emploi de produits chimiques dont la production est polluante. D'un point de vue environnemental, il y a transfert de pollution du traitement initial de la boue, vers la production de ces consommables, même si la balance environnementale coûts / bénéfices reste positive. Cependant, l'incinération peut substituer sa production de mâchefer à des matériaux de travaux publics (utilisation des mâchefers en sous-couche routière).

L'élimination des boues par stockage engendre une perte de surface exploitable considérable. En effet, les CSD ont une emprise au sol importante et ces superficies ne sont que très rarement ré-exploitées en agriculture après la fermeture d'une installation de stockage.

Pour une bonne valorisation, il faut donc faire le choix de filière en fonction des ressources et débouchés locaux, sans faire de transfert de pollution (impacts du transport ou de l'incinération sur l'atmosphère). Il est donc intéressant de raisonner en terme de priorités, dans un contexte donné : vaut-il mieux faire de la valorisation agronomique ou énergétique dans cette localité ? Selon les lobbies de la profession, la valorisation agricole doit demeurer une priorité pour la France, tout en prêtant attention aux agents pathogènes, aux ETM et aux CTO qui jouent le rôle de facteurs limitants [29][30].

⁵ Communication sur les sols du 19 avril 2002 de la Commission Européenne disponible sur <http://europa.eu.int>

C. EMISSIONS DE POLLUANTS

Polluants dans les sols

Les principaux polluants émis dans les sols sont les ETM et les CTO.

La quantité de CTO présente une très grande variabilité dans le temps et d'une station d'épuration à l'autre. Certaines études montrent cependant qu'ils sont peu transférables du sol à la plante [20][3].

Les seules filières qui sont capables d'éliminer les CTO sont les filières de combustion, grâce à la température importante (supérieure à 800°C).

D'autres études, réalisées depuis 30 ans, montrent que la concentration de métaux dans le sol est souvent proche du niveau géochimique naturel. Les limites réglementaires ne sont pas réalisées en fonction de la structure locale du sol, mais pour un sol français moyen. De plus, les sources de pollution peuvent être autres que l'épandage de boues. A titre d'exemples, les engrais chimiques sont les sources du cadmium des sols à 89 % et le lisier de porc est source du zinc des sols à 69 %, contre respectivement 4 et 14 % pour les boues [8]. Les eaux de pluies sont aussi des sources non négligeables de polluants [8], d'où l'utilité des systèmes séparatifs qui visent à séparer les eaux usées des eaux pluviales [22].

Polluants dans l'air

La filière *stockage* a un impact négatif sur l'effet de serre additionnel, à cause des émissions non captées (méthane principalement), et ce, même s'il y a valorisation énergétique du biogaz. En effet, le taux de captage du biogaz est rarement de 100 % [12]. Un taux de 65 % peut être utilisé dans des ACV [14][15], mais d'autres estiment souvent que le biogaz n'est pas capté sur les installations [12], ce qui est une utopie à l'heure actuelle.

L'incinération dédiée, sans récupération énergétique est la filière qui contribue le plus à l'acidification de l'air à travers les émissions d'oxydes d'azote. Les autres filières de valorisation ont un meilleur impact compte tenu de la valorisation énergétique [12]. Ces filières émettent cependant un certain nombre de polluants dans l'air (métaux) que les filtres ne captent pas.

Les filières d'épandage de boues brutes, séchées ou compostées permettent de diminuer l'impact sur l'acidification de l'air en se substituant à des engrais chimiques [12]. De plus, le dioxyde de carbone (CO₂) issu de la dégradation des bactéries contenues dans les boues s'inscrit dans le cycle naturel du carbone et n'est pas considéré comme aggravant l'effet de serre additionnel, même si les bactéries ont été cultivées par l'homme [18].

Il a été mis en évidence que les boues digérées (ayant subi une méthanisation sur le site de la station d'épuration) ont un impact nettement moins important que les boues non digérées.

Mais une source importante de pollution atmosphérique est le transport des boues [8]. L'utilisation de filières de proximité, lorsque cela est possible, est donc une solution pour la réduction de l'impact du transport. D'autres solutions visent à transporter des boues séchées de siccité plus forte, ou d'utiliser des moyens de transports moins polluants comme le transport fluvial ou ferroviaire. Mais ces derniers sont souvent peu adaptés et nécessitent tout de même un transport par route pour accéder aux parcelles agricoles.

Polluants dans l'eau

Le potentiel d'eutrophisation est souvent la référence prise en matière de pollution organique des eaux. Dans le cas de la valorisation agricole des boues, l'ammoniaque lessivé se transforme en nitrates qui se retrouvent dans les rivières où commence l'asphyxie. Le compostage des boues a l'avantage de diminuer la proportion d'azote ammoniacal (azote susceptible de se transformer en nitrate) par rapport à l'azote total.

Quel que soit le milieu récepteur, les besoins de normalisation des méthodes de prélèvement et de mesures se font sentir auprès des professionnels. De plus, la future réglementation européenne, pour certains polluants, se base sur des limites ni justifiées, ni révélatrices. Ainsi, la concentration

de métaux des projets de réglementation européenne sont en dessous des seuils de détection actuels pour certains ETM [37][35].

D. DECHETS

Dans le cas du stockage de boues en CSD, leur siccité doit être supérieure à 30 % : elles représentent dans ce cas une densité de l'ordre d'une tonne de boue par m³. Mais les boues ne sont pas compactables [23] et leur densité reste donc inférieure à celle des ordures ménagères compactées (1,2 t/ m³) avec lesquelles elles sont stockées. Le volume des boues ne peut être réduit que par déshydratation ou séchage.

Tous les modes de combustion produisent des déchets issus de l'épuration des fumées. Cet impact n'est pas négligeable, compte tenu de leur toxicité. De plus, la rareté des sites de stabilisation / stockage de ces déchets dangereux (11 en France) implique un impact important sur le transport.

Il faut aussi prendre en compte les déchets d'exploitation, assimilables à des ordures ménagères, engendrés par les installations. Une ACV [12] montre que la filière qui génère le plus de déchets d'exploitation est le stockage en CSD, alors que les installations de combustion ont un bilan équilibré. Le séchage et l'épandage de boues brutes limitent la quantité de déchets par l'économie d'emploi d'engrais chimiques conditionnés en sacs. Sur ce point, cette étude reste discutable puisque les déchets de produits phytosanitaires ne sont pas toujours assimilables à des ordures ménagères.

La réglementation qui concerne les déchets se durcit, principalement pour les CSD et les rejets atmosphériques des usines d'incinération. Basées sur ces évolutions, de nombreuses études [8][29] montrent que le recyclage agronomique des boues (avec ou sans traitement) est la meilleure solution sur le plan économique et écologique.

Une autre étude [25] confirme les précédentes énoncées et décrit l'épandage des boues comme la filière ayant le moins de contraintes financières pour la sécurité et la durabilité qui lui sont associées. Du point de vue de la pollution de l'air et de l'eau, le stockage et l'épandage seraient équivalents, mais l'épandage apporte un bénéfice agronomique aux sols.

L'étude Inter-Agences de l'Eau [8] met en évidence un profil type d'impacts défavorables générés sur l'environnement, selon les trois voies principales d'élimination ou de valorisation des boues. Le tableau suivant les reprend.

	I M P A C T S T Y P E S G L O B A U X D E F A V O R A B L E S
Elimination : STOCKAGE	Effet de serre additionnel, Dispersion de substances toxiques dans l'air, Acidification des sols et eaux (pluies acides).
Valorisation énergétique : COMBUSTION	Dispersion de substances polluantes dans l'air, Emission de toxiques dans les écosystèmes aquatiques, Utilisation de ressources naturelles.
Valorisation agronomique : EPANDAGE⁶	Emission de toxiques dans les écosystèmes terrestres, Dispersion de substances polluantes dans l'air par le biais du transport routier.

⁶ Epandage de boues brutes, chaulées, compostées ou séchées.

4. BILAN DES DEFIS A RELEVER

Le tableau suivant reprend les principaux problèmes énoncés dans cette partie, selon le type de filière : élimination, valorisation énergétique et agronomique.

La filière *épandage de boues brutes* n'est pas exprimée dans ce tableau pour des raisons de politique de valorisation.

	Elimination : STOCKAGE	Valorisation énergétique : COMBUSTION	Valorisation agronomique : EPANDAGE APRES COMPOSTAGE OU SECHAGE (HORS EPANDAGE DE BOUES BRUTES)
DEFIS ECONOMIQUES	Assurer la pérennité financière du mode de traitement.		
	-	Réduire le poids des investissements et des consommables. Vendre l'énergie.	Optimiser le suivi analytique par une démarche <i>produit</i> . Augmenter la valeur ajoutée des produits pour les commercialiser.
DEFIS SOCIAUX ET SOCIETAUX	S'adapter au contexte politico-sociologique local. Créer des emplois de réinsertion.		
	Réduire les nuisances olfactives. Faire accepter les installations de stockage.	Faire accepter les installations d'incinération.	Réduire les nuisances olfactives. Faire accepter les installations de séchage et de compostage ainsi que les produits. Assurer la sécurité alimentaire.
DEFIS ENVIRON- NEMENTAUX	Limiter le transport. Limiter l'émission de polluants dans les sols, l'eau et l'air.		
	Augmenter le taux de captage du biogaz. Valoriser le biogaz. Limiter l'emprise au sol des CSD.	Valoriser l'énergie sous plusieurs formes. Substituer des matériaux de BTP. Réduire la quantité de déchets toxiques produits.	Substituer des engrais chimiques. Restructurer les sols et éviter leur érosion.

Les acteurs concernés par le traitement des boues devront donc proposer des solutions pérennes pour faire face à ces défis, de façon globale mais aussi locale.

Une troisième partie de ce mémoire était dédié aux solutions proposées par BioSol. Cette partie est supprimée pour des raisons de confidentialité. Merci de m'en excuser

CONCLUSION

Le Développement Durable correspond au meilleur compromis entre l'économie, la société et l'environnement. Il s'agit de valoriser un déchet en créant une valeur économique à fort bénéfice environnemental, sur un marché en perpétuelle croissance et dans des conditions socialement et socialement équitables. La valeur environnementale va non seulement éviter de polluer, mais aussi parfois aider l'environnement à se régénérer.

Les défis posés sont tous à relever. Il reste aussi à faire évoluer les mentalités des politiques qui décident du type de valorisation à mettre en place et de la population qui doit prendre conscience qu'il s'agit de valoriser les déchets qu'ils produisent.

Depuis la mise en place des premières stations d'épuration, les maîtres d'œuvre concevaient leur station selon la qualité et la quantité d'eau à traiter. Les déchets toxiques en quantités dispersées issus des ménages et les rejets industriels ont quelque peu fragilisé le système d'assainissement français. Depuis peu, on assiste à une nouvelle conception de stations d'épuration, qui se base sur la qualité des boues qui seront produites, afin de s'adapter au contexte local (réglementaire, technique, économique et politico-sociologique). Il s'agit d'une véritable révolution dans le secteur de l'assainissement : le passage d'une politique *en-of-pipe* à une politique d'*éco-conception* des stations d'épuration.

Mais les collectivités locales ont aussi d'autres évolutions à engager : celles de l'*éco-consommation* de l'eau qui passe par la réduction des usages et par l'évacuation des produits dangereux dans des filières adaptées, autres que les réseaux d'assainissement collectifs.

BIBLIOGRAPHIE

Rapports – Articles

- [1] ADEME (1998). *Etat de l'art sur le séchage thermique des boues urbaines et industrielles.*
- [2] ADEME ET CEMAGREF (1999). *Les coûts de traitement et de recyclage des boues d'épuration urbaines.*
- [3] ADEME (2000). *Composts de boues de station d'épuration municipales, Qualité, performances agronomiques et utilisations.*
- [4] ADEME (2001). *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture.*
- [5] ADEME (2001). *La gestion biologique des déchets municipaux.*
- [6] ADEME (2002) *Les marchés des activités liées aux déchets, situation et perspectives.*
- [7] AFNOR NFU 44-095 (2002). *Amendements Organiques – Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement de l'eau.*
- [8] AGENCES DE L'EAU, ARTHUR ANDERSEN (1999). *Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines.* Les études des Agences de l'Eau.
- [9] CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET UNIVERSITE D'EVRY-VAL D'ESSONNE (2002). *Gestion des déchets organiques et des boues : un choix local.* Science et Décisions Octobre 2002.
- [10] CERCLE NATIONALE DU RECYCLAGE (2000). *Le traitement biologique des déchets organiques.*
- [11] DECRET 97-1133 DU 8 DECEMBRE 1997 RELATIF A L'EPANDAGE DES BOUES ISSUES DU TRAITEMENT DES EAUX USEES ET L'ARRETE DU 8 JANVIER 1998 LE COMPLETANT.
- [12] ECOBILAN (2000). *Evaluation environnementale de 5 filières de traitement des boues de station d'épuration.* Etude réalisée pour Lyonnaise des Eaux France pour comparer les filières proposées au SIAAP lors de la réponse à l'appel d'offre de traitement des boues de la station d'épuration d'Achère (Seine Aval).
- [13] HALL, J. (1999). *Ecological and economical balance for sludge management option.* Technology and innovative options related to sludge management.
- [14] HOUILLON, G. (2000). *Ecobilan de différents procédés de traitement des boues résiduelles urbaines.* Acte du forum risques boues, Paris 5 et 6 décembre 2000.
- [15] HOUILLON, G., JOLLIET, O. (2002). *Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge : energy and global warming analysis.* Journal of cleaner production.
- [16] IFEN (2001). *Plus de 60 % des boues d'épuration municipales ont été épandues en 1999 sur 2 % des sols agricoles.* Les données de l'environnement n°76.
- [17] IFEN (2002). *Les évolutions récentes de l'environnement.* Les données de l'environnement n°76.
- [18] IPCC (2000). *Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.*
- [19] KRAEUTLER, L. (2001) *Boues d'épuration, quelles alternatives ? Retours d'expériences et perspectives.* L'eau, l'industrie les nuisances. N°235 : 130-135.
- [20] MCGRATH, S. (2000). *Persistent organic pollutant and metals from sewage sludges : their effects on soil plants and the food chain.* Langenkamp, H&L Marno.
- [21] MEEROFF, D.E., BLOETSCHER, F. (1999). *Sludge management, processing, treatment and disposal.* Florida water resources journal. Nov.1999 : 23-25.
- [22] MIQUEL, G. (2003) *La qualité de l'eau et de l'assainissement en France.* Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
- [23] MUSTIN, M. (1987). *Le compost – Gestion de la matière organique.*
- [24] OTV, (1997). *Traiter et valoriser les boues.*
- [25] POWLESLAND, C., FROST, R. (1990). *A methodology for undertaking BPEO studies of sewage sludge treatment and disposal.* WRc report n°2305M/1, WRc Medmenham.
- [26] PRADO, P.E., 1998. *Séchage thermique des boues de station d'épuration, utilités et perspectives.*
- [27] PREVOT, H. (2000). *La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets.* Editions parlementaires.
- [28] REIMANN, D.O. (1999). *Problem about sewage sludge incineration.* Technology and innovative options related to sludge management.
- [29] SEDE, ARTHUR ANDERSEN (2001). *Disposal and recycling routes for disposal.* Rapport pour la Communauté Européenne.
- [30] WALSTROM. (2003). *Lettre du commissaire du 9 avril 2003 à EUREAU / FEAD.*

Conférences et comptes rendus de conférences :

- [31] AGHTM (2000) *Boues, des recherches et des hommes*. Congrès Paris 2000.
- [32] ASSISES NATIONALES DES DECHETS (2002). *Communication INRA/Vivendi/Onyx/Orval* Agen.
- [33] RUDLING, J., ARLA, R., ARLA, D (1997). *Organic pollutants in sewage sludge and transfer to plants and milk*. Specialty conference on management and fate of toxic organics in sludge applied to land. Copenhagen.
- [34] SALON DES MAIRES ET DES COLLECTIVITES LOCALES (2002). *Comment mieux valoriser ses boues d'épuration ?* AMF et Groupe Moniteur.
- [35] SEWAGE SLUDGE CONFÉRENCE (2001). *Revision of Directive 86/278/EEC Cost benefit analysis*. Bruxelles.
- [36] SEWAGE SLUDGE CONFÉRENCE (2001). *Sociological aspects of sludge use in agriculture*. Bruxelles.
- [37] SEWAGE SLUDGE CONFÉRENCE (2001). *Researching the sludge directive*. Bruxelles.

Sites Internet

- [38] <http://europa.eu.int/>
- [39] <http://www.compost.be.tf>.
- [40] <http://www.ordif.com>
- [41] <http://www.unifa.fr>

Note : Les documents ci-dessus, auxquels il n'est pas implicitement fait référence dans ce mémoire, sont présentés pour leur intérêt certain.

Résumé

Les boues de station d'épuration sont des déchets dont la production augmente régulièrement. Les collectivités locales et les industriels cherchent à gérer au mieux ce déchet dont elles ont la responsabilité. Des entreprises spécialisées dans le traitement des déchets peuvent les aider, non seulement en leur fournissant un service de traitement, mais surtout en créant une valeur économique, sociale et environnementale à partir du déchet.

De nombreux procédés, de plus en plus sûrs et efficaces permettent de valoriser les boues. Ce mémoire en présente quelques grandes lignes. Les impacts, positifs ou négatifs, sur l'économie, la société et l'environnement local ou global y sont étudiés. Ce mémoire présente les défis à relever pour mettre en œuvre une gestion durable des boues de station d'épuration.

Abstract

Sewage and industrial sludges are wastes whose production increases regularly. Local communities and industries seek as well as possible to manage this waste for which they have the responsibility. Companies can help them, not only in their providing a service, but especially by creating an economic, social and environmental value.

Many processes, increasingly sure and effective make it possible to develop sludge valorisation. This memory present some of them. But each one of these methods have impacts, positive or negative, on the economy, the society and the local or global environment. This memory shows the challenges to take up for declines its sustainable management of sewage sludge.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1. Les boues au sein du système d'assainissement

Annexe 2. Précisions sur quelques modes de traitement des boues de station d'épuration

Annexe 2a. L'épandage de boues d'épuration : la procédure

Annexe 2b.

Annexe 2c. La combustion des boues d'épuration

Annexe 2d. Le compostage des boues d'épuration

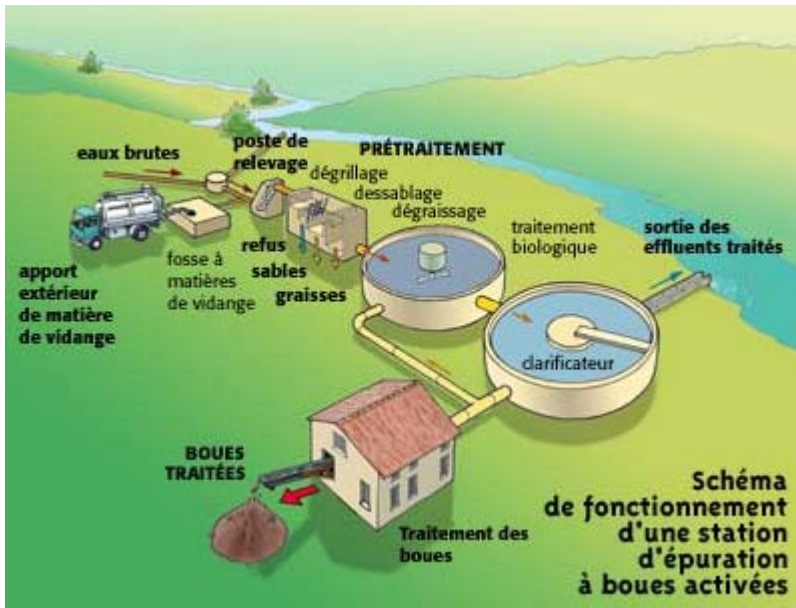
Annexe 2e. Le séchage thermique des boues d'épuration

Annexe 3. Précisions sur l'homologation des produits contenant des boues de station d'épuration

Annexe 4. Glossaire

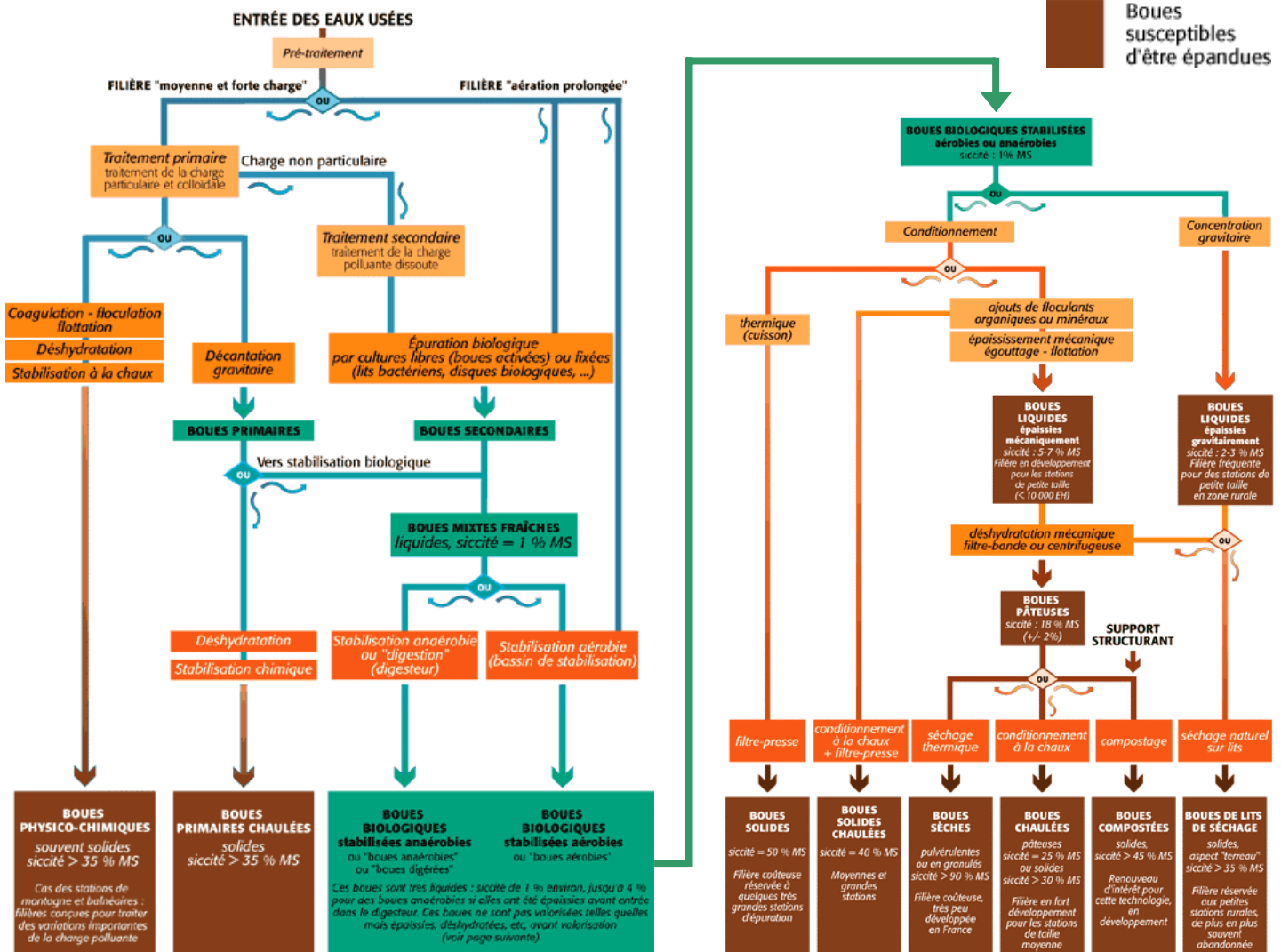
ANNEXE 1

Les boues au sein du système d'assainissement [4]



Le fonctionnement d'une station d'épuration (en haut).

Les trois grands types de boues selon le système d'épuration utilisé (en bas).



ANNEXE 2

Précisions sur quelques modes de traitement des boues de station d'épuration

Annexe 2a. L'épandage des boues d'épuration : la procédure

Les étapes sont les suivantes :

- Etude préalable : le producteur de boues soumet une étude complète à l'administration préfectorale (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) ou Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS)), présentant des études approfondies des sols et des boues à épandre. Cette étude se fait en partenariat avec les agriculteurs qui accepteront les boues. Elle fait l'objet d'une autorisation préfectorale (après enquête publique) si la quantité est supérieure à 800 t_{MS}/an. Dans le cas contraire, une déclaration en préfecture est réalisée. Lorsque cette étude préalable est acceptée, la filière peut se mettre en place ;
- Programme prévisionnel d'épandage : le producteur doit présenter une ou plusieurs planifications des épandages à cette même administration préfectorale, au plus tard un mois avant le début des travaux (dates d'épandage, parcelles réceptrices, quantités par parcelle, modalités de surveillance des boues et des sols, personnes responsables de l'entreposage, du transport et de l'épandage) ;
- Registre des épandages : le producteur doit consigner dans ce registre les apports de boue sur chaque parcelle, la composition des sols et des boues, les dates d'épandage et toute information supplémentaire jugée importante ;
- Bilan agronomique : à la fin de chaque période d'épandage, le producteur doit effectuer un bilan agronomique des parcelles. Il dresse un récapitulatif des opérations d'épandage. Ce bilan est remis à l'administration et aux agriculteurs.

Le contrôle de l'application de la réglementation est effectuée par les DDAF ou DDASS qui ont la responsabilité de la police de l'eau. De plus, un organisme indépendant du producteur de boue peut être consulté par le Préfet pour contrôler le suivi agronomique des sols.

Des critères de performance de l'épandage sont la quantité épandue (pas de surdosage, dose défini selon la composition des sols et des boues), les parcelles sur lesquelles sont épandues les boues (distances à respecter, pas en zone inondable...), mais aussi les périodes d'épandage (fonction du type de culture, de la météorologie...).



Opération d'épandage de boues.

Annexe 2b. La combustion des boues d'épuration

La plupart des renseignements de cette annexe sont issus de [19], [27] et de [28].

L'incinération spécifique ou dédiée

L'incinération dédiée consiste à brûler les boues dans un four spécifique. Cette installation est généralement située sur la station d'épuration qui produit les boues. Plusieurs types de fours existent, mais le plus utilisé est le four à lit fluidisé sur sable. Une injection séquentielle de boues assure la combustion optimale du déchet. Le séchage préalable n'est pas obligatoire, mais une déshydratation peut suffire. Un entreposage minimum est nécessaire les périodes de week-end. Les boues peuvent être admises avec une siccité de 25 à 35 % en flux tendu ; mais les boues n'étant pas auto-combustibles à cette siccité, il est très difficile de produire de l'énergie avec ce type de four.

Les fours doivent respecter la réglementation concernant les Usines d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM), et un système de traitement des fumées est alors associé pour limiter les émissions polluantes dans l'atmosphère.

Les résidus de ce type d'incinération sont uniquement des cendres, ou résidus d'épuration des fumées. Après stabilisation, ils doivent être stockés en Centre de Stockage de Déchets de classe 1 (déchets dangereux).

Il existe une vingtaine d'unités en France allant jusqu'à 65.000 tonnes de matières sèches incinérées par an, mais cette filière est économiquement réservée aux grandes stations d'épuration.

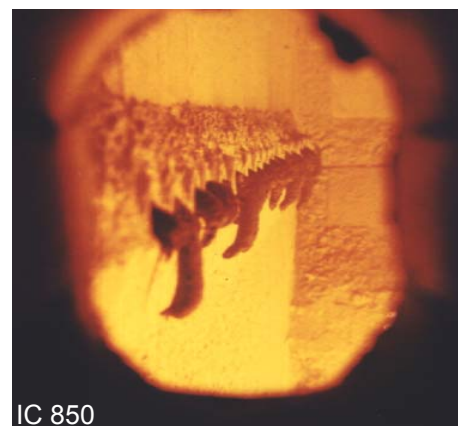
La co-incinération avec les ordures ménagères

Les boues peuvent être incinérées en mélange avec des ordures ménagères, dans des UIOM spécialement aménagées. Les boues, après déshydratation poussée ou séchage, sont injectées directement dans le four. Au risque de perturber le fonctionnement du four (déséquilibres thermiques ou calorifiques), la quantité de boues ne doit pas dépasser 15 m³ par tonne d'ordures ménagères, ce qui revient à la production d'une population légèrement supérieure à celle dont les ordures ménagères sont collectées .

Les résidus de la co-incinération sont de deux types : les mâchefers (25 % du tonnage entrant) et les Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères (REFIOM de 2 à 3 %). Les premiers peuvent être valoriser (le plus souvent en technique routière) alors que les second doivent être éliminés en CSD de classe 1 après stabilisation.

Le principal atout de ce mode de traitement est la valorisation énergétique. Les fumées chaudes sortant du four passent par une chaudière qui transforme de l'eau en vapeur haute pression et haute température. Cette vapeur peut être utilisée directement (chauffage) ou après transformation (électricité). Le rendement thermique d'une usine d'incinération, selon ses équipements, est de l'ordre de 80 % en cas de valorisation thermique seule (hors autoconsommation). La valorisation électrique seule réduit ce rendement à 17 %. Mais une usine d'incinération consomme près de 20 % de sa production pour son fonctionnement. (Source : Novergie Ile-de-France)

La co-incinération a l'avantage de ne perturber que très peu la capacité du four d'incinération et de simplifier relativement bien la gestion de la filière, malgré quelques inconvénients : les odeurs au cours du transport, le colmatage des injecteurs, le risque d'imbrûlés retrouvés dans les mâchefers et la dépendance de la filière.



IC 850
Injection de boues en Co-incinération

La pyrolyse – La gazéification

La pyrolyse et la gazéification sont deux traitements complémentaires.

Le premier est un traitement thermique, en absence d'oxygène, qui extrait sous forme gazeuse la fraction combustible de la partie organique, et génère un résidu carboné : le coke. La gazéification transforme ce solide en carbone gazeux par une réaction exothermique. Le couplage des deux processus s'appelle la pyrolyse intégrée, il est auto-suffisant thermiquement et l'énergie nécessaire à la pyrolyse (séchage des boues et transformation en coke) provient directement de la phase de gazéification. L'énergie supplémentaire est valorisée avec un rendement énergétique global de 80 %⁷, autoconsommation déduite.

Une unité de pyrolyse intégrée comprend un pyrolyseur (conversion des boues en coke puis en gaz), un système de valorisation énergétique des gaz, un système de traitement des fumées avant rejet dans l'atmosphère et des équipements annexes qui contrôlent l'installation. Plusieurs types de pyrolyseur existent : verticaux utilisant la gravité (schéma ci-contre), ou horizontaux rotatifs avec une légère inclinaison. Les boues sont injectées en continu en amont du pyrolyseur.

Schéma d'un four à étages pour la pyrolyse de boues.

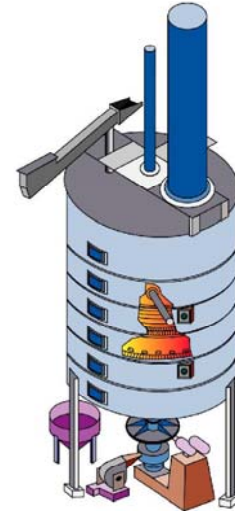
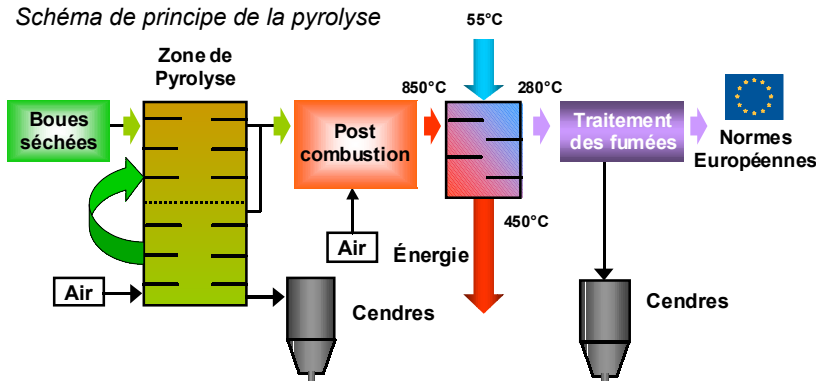


Schéma de principe de la pyrolyse



Les émissions atmosphériques sont composées de très peu de poussières et la combustion se faisant en absence d'air, il n'y a pas de production de dioxines ou furannes. De par leur composition, le traitement de ces fumées est simplifié. Ce mode de valorisation reste encore peu utilisé, mais de nouvelles unités sont en construction. Les capacités peuvent s'échelonner de 8.000 à 80.000 tonnes de boues par an.

L'oxydation par voie humide

L'oxydation par voie humide (OVH) est une oxydation des boues sous flamme à 230°C sous une pression de 30 à 40 bars (procédé OTV) ou sans flamme à 300°C et sous 100 bars (procédé Degrémont). Les boues doivent être préalablement épaissies mais ne nécessitent pas de déshydratation mécanique. Dans les conditions de pression et de température obtenues, la réaction d'oxydation est exothermique, ce qui permet de produire de l'énergie sous forme de chaleur (eau chaude ou vapeur). Cette énergie est le plus souvent consommée par la station d'épuration à laquelle l'OVH est associée. Les gaz produits sont épurés et dépourvus de dioxines et furannes, d'oxyde d'azote et de poussières puisque l'oxydation se fait en phase liquide. L'intérêt de ce procédé réside dans la faible production d'un résidu minéral inerte (stockage en CSD de classe 3 ou éventuellement valorisable en remblai routier). Il doit cependant être piloté par des spécialistes, compte tenu de la complexité du procédé.

L'incinération en cimenterie

En France, 22 cimenteries acceptent des déchets mais seulement quelques unes reçoivent des boues. Dans cette filière, deux types de valorisation peuvent être utilisés.

L'incinération de boues, à l'essai depuis 1999, consiste à les intégrer en tant que combustible. Les boues doivent être préalablement séchées pour avoir un PCI suffisant à une autocombustion. La

⁷ 80 % de l'énergie des déchets entrants est convertie en énergie vapeur commercialisable.

boue devient donc un combustible équivalent à un charbon de basse qualité. Cette valorisation est aussi possible en usine thermique.

La seconde voie de valorisation est celle de l'utilisation de la partie minérale des boues (30 % de leur matière sèche présente sous forme de sables et de limons). Les boues sont alors intégrées au clinker (mélange qui deviendra le ciment après chauffage à haute température). C'est dans ce cas une valorisation matière des boues.



Ci-dessus : centrale thermique
Ci-contre : détail d'une cimenterie

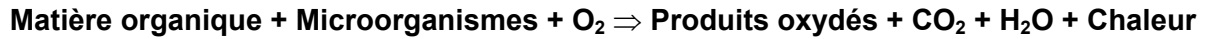


Selon Reimann [28], la balance énergétique de l'incinération des boues est négative s'il n'y a pas de pré-traitement pour éliminer l'eau des boues avant la combustion. Les autres problèmes posés par ce mode de traitement sont les suivants :

- l'explosibilité des boues si elles sont pulvérulentes,
- la variabilité de la composition des boues issues de stations utilisant des modes de traitements différents,
- l'azote ammoniacale des boues se retrouve dans les mâchefers d'incinération et risque de contribuer au relargage du cuivre,
- l'incinération dédiée est chère et limitée en capacité,
- la co-incinération doit avoir un mélange optimum,
- l'incinération est une solution chère mais elle reste la seule qui peut détruire les composés organiques et qui donne la possibilité de séparer les sels, les substances inorganiques et les métaux dans les réseaux de traitement des fumées et dans les mâchefers.

Annexe 2c. Le compostage des boues d'épuration

Le compostage est fondé sur la réaction chimique suivante :

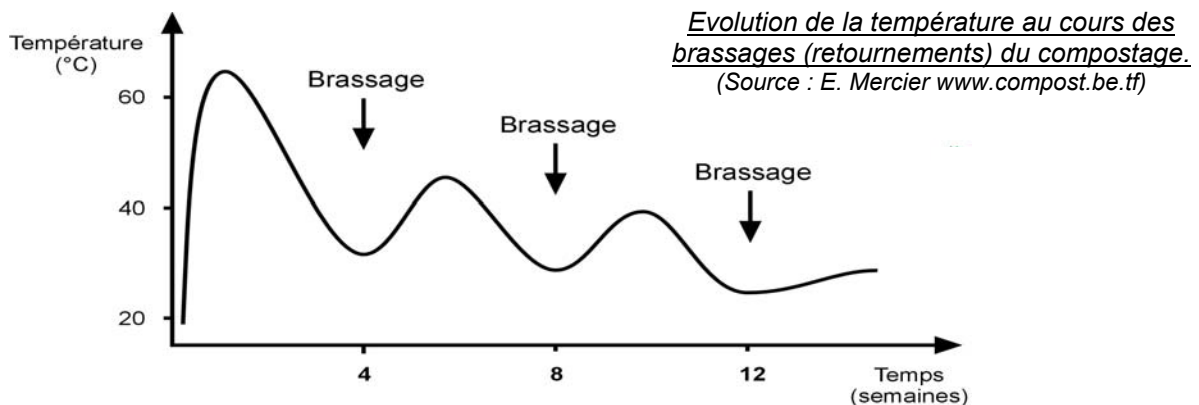
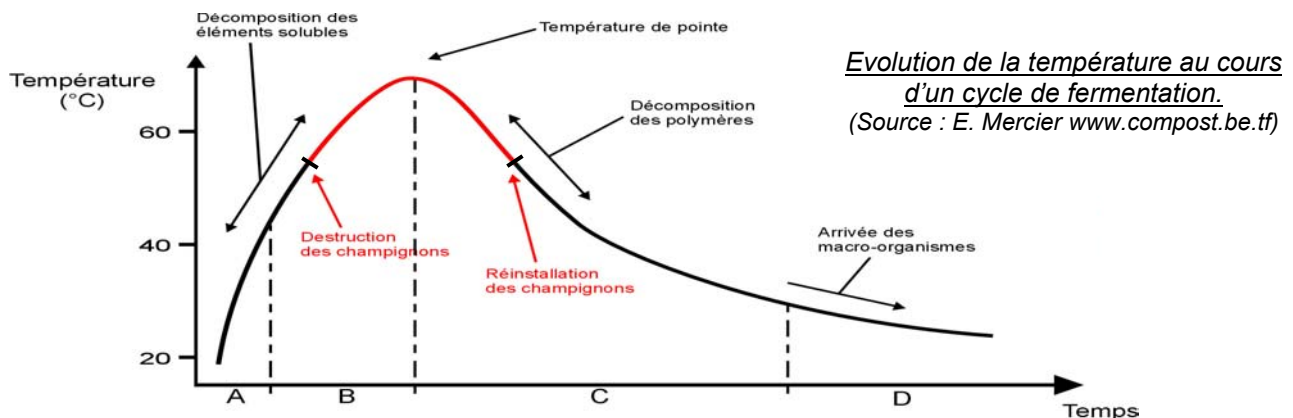


Il est basé sur la succession des microorganismes au cours de la dégradation de la matière organique. Cette succession est due à l'évolution des conditions du milieu, notamment de la température. C'est d'ailleurs la température qui délimite les phases théoriques du compostage. A chaque phase correspond un type dominant de microorganismes.

Les différentes phases sont les suivantes :

- Phase mésophile (A) : cette phase est dominée par les bactéries mésophiles qui se développent jusqu'à faire monter la température aux alentours de 40 °C. Elles dégradent les composés facilement biodégradables ;
- Phase thermophile (B) : les bactéries thermophiles prennent le relais (concurrence puis domination) et se développent avec des températures comprises entre 30 et 60 °C. Les actinomycètes et les bactéries sporulées suivent, à partir de 65 °C ;
- Phase de refroidissement (C) : cette phase intervient lorsque la majorité de la matière organique biodégradable a été consommée. Les champignons apparaissent et attaquent les polymères (cellulose, lignines...). La température diminue ;
- Phase de maturation ou d'humification (D) : cette phase ne fait pas partie de la fermentation, mais correspond à la suite logique du processus. Le but de la maturation est de terminer la fermentation (dégagement de gaz) et d'éliminer la phytotoxicité (présence d'ions ammonium, d'acide acétique...) susceptible de détériorer les sols et les organismes y vivant. La matière dégradée se stabilise (dégradations à un rythme faible) pour former de l'humus (ou matière organique stable). Les microorganismes ayant permis la transformation disparaissent et le compost devient alors mûre. L'Indice de Stabilité Biologique (ISB) est alors élevé.

La durée de chaque phase dépend de la composition du mélange à composter et de l'aération. Le schéma suivant montre l'évolution type de la température au cours du compostage. Mais le compostage industriel permet de réduire la durée de la fermentation à 3 ou 5 semaines.



Spécificités du compostage des boues de station d'épuration

Les boues de station d'épuration sont difficilement compostables pour les raisons suivantes :

- le taux d'humidité est de l'ordre de 80 %. La matière organique ne peut pas évoluer vers de l'humus dans ces conditions, les microorganismes n'étant pas dans des conditions optimales. De plus, cette humidité est incompatible avec la montée en température, nécessaire au compostage ;
- les boues ne sont pas structurées (pas de porosité). A l'état brut, elles ont des caractéristiques physiques qui limitent leurs possibilités de compostage (tassements, absence de circulation d'air, création de zones de réactions anaérobies...) ;
- le rapport C/N (*carbone sur azote*) des boues est très faible (entre 6 et 8). Pour que la fermentation soit efficace, il doit être compris entre 30 et 35.

Il est donc essentiel de composter les boues avec un agent structurant sec et carboné. Des écorces d'arbre, des palettes broyées ou des rafles de maïs sont le plus souvent utilisés pour optimiser le compostage des boues. Cette optimisation se fait aussi par la création d'espaces lacunaires, obligatoires pour une bonne aération. La constance de composition et la qualité de cet agent structurant sont indispensables à la maîtrise de la composition du compost produit.

Il existe plusieurs types de compostage, qui varient selon le mode de fermentation. Du plus rustique au plus sophistiqué, nous avons le compostage en andains retournés ou ventilés, le compostage en sacs ventilés, le compostage en casiers ou en couloirs.



Bury (Usine de compostage)
Compostage en couloirs



Biarritz Bardos (Usine de compostage)
Compostage en casiers



Compostage en andains retournés

Annexe 2d. Le séchage thermique des boues d'épuration

Ces éléments sont issus d'une synthèse de J.E.PRADO [26]. Il existe trois types de sècheurs : les sècheurs directs (de l'air chaud sèche les boues), indirects (des parois chauffées par un fluide sèchent les boues) et mixtes (direct et indirect).

Les équipements périphériques sont aussi importants au bon fonctionnement de ces sècheurs :

- le système de granulation des boues qui trie par granulométrie les boues séchées sortantes. Ce système facilite la valorisation agricole par épandage.
- le système de production de chaleur,
- le système de traitement des buées constitué :
 - d'un système de séparation les buées et granulés,
 - d'un système de condensation des vapeurs émises par le séchage.

L'air ainsi épuré des particules et de l'eau peut être remis en circulation ou brûlé. Dans ce dernier cas, un système de traitement des fumées est couplé au brûleur.

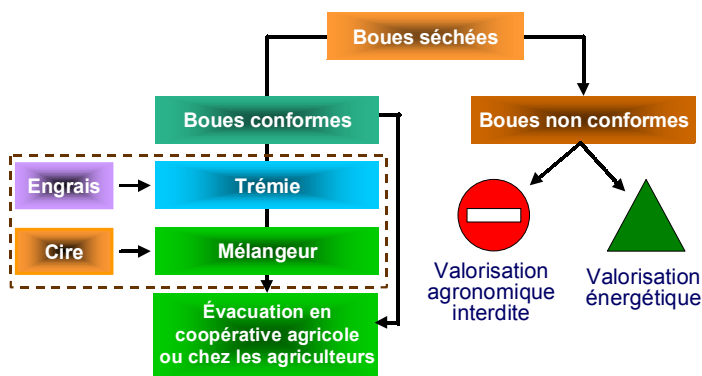
Les principaux problèmes à résoudre, lors du séchage de boues d'épuration, sont :

- l'abrasion par les minéraux contenus dans les boues (sables). La solution est d'utiliser des matériaux adaptés et de procéder au désensablage régulier du sécheur.
- la combustion sèche (explosion due aux particules fines). Une des solutions est de ne pas faire entrer trop d'oxygène, de maintenir une température d'entrée forte et de sortie faible et d'évacuer les particules fines.
- l'état plastique collant et le colmatage. Les boues recirculent en mélange avec des boues déshydratées.
- les équipements amonts. Le chaulage et la déphosphatation des eaux dans les stations d'épuration augmentent les risques d'abrasion. La digestion aérobie engendre une consommation supplémentaire, alors que la digestion anaérobie peut produire du biogaz dont la valorisation énergétique peut subvenir aux besoins du sécheur.

Les avantages du séchage direct sont les suivantes : technologie simple adaptée aux grosses installations, peu de colmatage, granulation facile, faible temps de séjour dans le sécheur. Alors que ses inconvénients sont les gros volumes de gaz à traiter et les équipements périphériques sophistiqués et volumineux du traitement des gaz. Ils consomment 3100 à 3600 MJ/t d'eau évaporée.

Le séchage indirect, par ailleurs, engendre de faibles volumes de gaz. Ces installations sont facilement sécurisables et utilisables pour de faibles débits d'eau à évaporer. Cependant, ils sont sophistiqués, nécessitent un brassage continue des boues pour les homogénéiser, font souvent l'objet de colmatage. Ils consomment 3100 MJ/t d'eau évaporée.

Les sècheurs mixtes assurent une meilleure efficacité thermique et un temps de séjour réduit dans le sécheur. Il nécessite cependant un traitement des odeurs et des précautions quant à la température de sortie des boues pour éviter une auto-inflammation.



<u>Boues séchées complétées :</u> <u>une gamme de produits sur mesure</u>	
<u>Grandes cultures :</u>	
- Céréales	ajout de KCl (Printemps et Automne)
- Colza	ajout de K ₂ SO ₄ (Printemps)
- Betterave	ajout de KCl+MgO (Printemps)
- Pomme de terre	ajout de KCl (Printemps)
<u>Espaces verts :</u>	
- Gazon	ajout d'oligo-éléments et d'urée
- Massifs	ajout d'oligo-éléments

ANNEXE 3

Précisions sur l'homologation des produits contenant des boues de station d'épuration

Le processus d'homologation est basé sur des règles strictes. Il concerne les boues séchées et les composts.

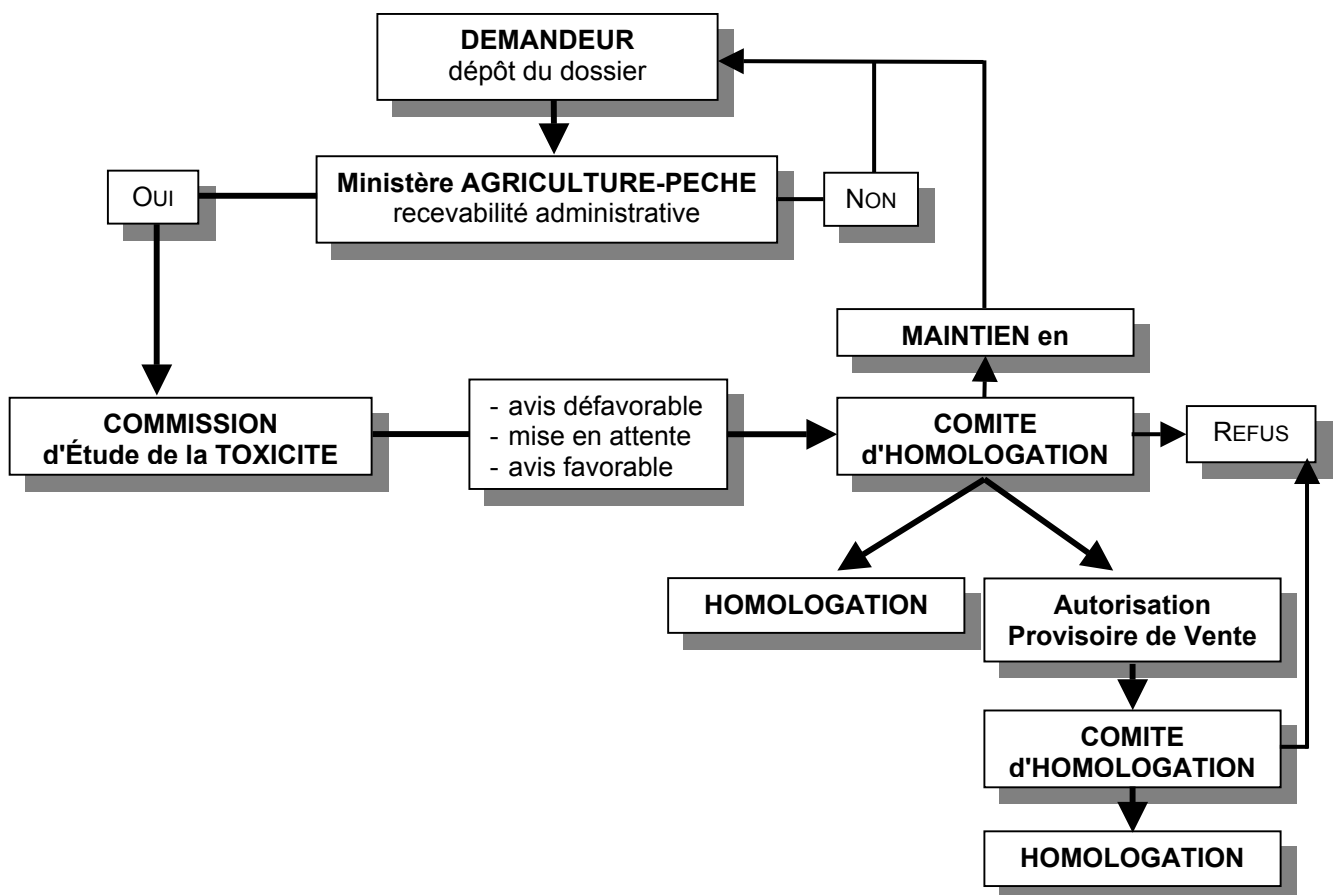
Le dossier d'homologation doit présenter les caractéristiques du produit (analyses détaillées de la nature et de la composition du compost à homologuer et des sols récepteurs) datées de moins de 6 mois. Le produit à homologuer doit répondre aux trois conditions d'homologation : constance (homogénéité, stabilité et invariabilité), innocuité (pour la faune et la flore ainsi que pour la santé publique) et efficacité agronomique du produit (vitesse de minéralisation du carbone et de l'azote, caractéristiques biochimiques de la matière organique : effets nutritif et structural). Il est bien entendu utile de montrer dans le dossier l'état de maîtrise des processus de fabrication des composts ou des boues séchées. Ce dossier est déposé au Ministère de l'Agriculture.

Après passage par la commission d'étude de la toxicité, qui donne son avis sur le produit, le dossier passe par la commission d'homologation. A cette issue, le compost ou la boue séchée peut être directement homologué, recevoir une Autorisation Provisoire de Vente (APV) délivrée pour une période maximale de 4 ans, être refusé ou maintenu en étude pour compléter le dossier.

Pendant la période d'APV, des essais complémentaires sont réalisés (en laboratoire et en plein champ) sur le produit à homologuer et sur les sols qui reçoivent ce compost. Un dossier complémentaire est ensuite déposé au Ministère avant expiration de l'APV.

A partir de l'ensemble des analyses et études, la commission d'homologation qui a délivré l'APV décide si le compost ou la boue séchée peut être homologué. Si la décision est positive, l'homologation sera donnée pour une période de 10 ans, incluant la période de l'APV.

Le compost Primor[®] de Castelnaudary (AUDE) est le premier compost à avoir reçu une APV en France. Les boues séchées de Saint Brieuc possèdent aussi une APV.



ANNEXE 4

Glossaire [4][10][14]

Aérobic : en présence d'air ou d'oxygène.

Anaérobic : en absence d'air ou d'oxygène.

Amendement : *“Matières fertilisantes apportées aux sols et dont la fonction principale est d'améliorer leurs propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques”* (définition norme AFNOR U 42-041, mars 1985).

- un amendement organique améliore l'aération et la cohésion du sol ainsi que sa capacité à retenir les éléments fertilisants,
- un amendement basique (chaux agricole par exemple) élève le pH du sol, c'est-à-dire diminue son acidité (valeur neutralisante).

Bactéries : micro-organismes constitués d'une seule cellule sans noyau individualisé (procaryotes), considérés comme appartenant à un règne autonome, ni animal, ni végétal. Elles constituent la forme la plus ancienne de cellule vivante. De nombreuses bactéries vivent en saprophytes (elles se nourrissent de cadavres animaux ou végétaux), d'autres en parasites des plantes, des animaux ou de l'homme (elles se nourrissent aux dépens d'organismes vivants). A la différence des virus, les bactéries possèdent à la fois de l'ADN et de l'ARN et sont capables de se reproduire de façon autonome par division cellulaire.

Biodégradable : décomposable par l'action d'organismes vivants.

Biodisponibilité : aptitude d'un élément à être absorbé par un être vivant (par exemple, seuls les nutriments biodisponibles peuvent servir à l'alimentation des plantes).

Boues urbaines : boues issues de l'épuration des eaux urbaines.

Clinker : Mélange de calcaire et d'argile en proportions variables, cuit à 1 400 °C, puis finement broyé, qui constitue la base de la plupart des ciments artificiels.

Composés traces organiques ou CTO : composés chimiques moléculaires issus de substances chimiques principales (exemples : pesticides, hydrocarbures, détergents) ou de la dégradation de ces substances, et présents en quantité infinitésimale dans un milieu.

Déchet : Au sens de la loi de 1975 : *“tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon”*.

Déchet ultime : Au sens de la loi de 1992 : *“déchet résultant ou non du traitement d'un déchet qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux”*.

Ecobilan : analyse du cycle de vie simplifiée. Etude quantitative de l'impact environnemental d'un système sur toute sa durée de vie.

Effluent : terme générique désignant une eau usée urbaine ou industrielle, et plus généralement tout rejet liquide véhiculant une certaine charge polluante (dissoute, colloïdale ou particulaire). Le terme désigne également les déjections animales (“effluents d'élevage”). On parle aussi d'effluents gazeux.

Éléments traces métalliques ou ETM : métal ou métalloïde présent en quantité infinitésimale dans un milieu.

Engrais : *“Matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments (ou nutriments) directement utiles à leur nutrition”* (définition AFNOR, norme U 42-041).

Eutrophisation : enrichissement excessif d'un milieu aquatique (notamment si les eaux sont stagnantes ou à circulation)

Fermentation : transformation de substances organiques par l'action d'enzymes produits par des micro-organismes (le plus souvent des levures, des bactéries ou des moisissures).

Fermentescible : dont la composition favorise le développement des fermentations.

Humus : matière organique du sol provenant de la décomposition partielle de la matière animale ou végétale.

Hygiénisation : 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 (arrêté du 8 janvier 1998 sur l'épandage des boues d'épuration, articles 12 et 16).

Lessivage : transport par l'eau des éléments solubles du sol.

Lixiviat : jus de percolation à travers des déchets.

Matière fertilisante : "toute matière dont l'emploi est destiné à entretenir ou améliorer, séparément ou simultanément, la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques et chimiques et l'activité biologique des sols" (Définition AFNOR, norme U 42-041, mars 1985).

Microorganisme pathogène : micro-organisme (virus, bactérie, champignon, protozoaire, ver) capable de provoquer une maladie chez l'homme ou les animaux au-delà d'une dose infectante ou infectieuse donnée.

Milieu : ensemble des objets matériels, des êtres vivants, des conditions physiques, chimiques et climatiques qui entourent et influencent un être vivant (milieu naturel, milieu aquatique, milieu terrestre, etc.).

Oligo-élément : élément chimique, métal ou métalloïde, indispensable en très faible quantité dans le métabolisme des êtres vivants (végétaux ou animaux).

Siccité : représente la quantité de matière sèche d'un élément (% MS)

Valorisation énergétique : mode de traitement des déchets par traitement thermique en vue de récupérer une partie de leur contenu énergétique. La pratique la plus fréquente consiste à utiliser la chaleur des gaz de combustion pour produire de la vapeur qui sera utilisée pour alimenter un procédé industriel ou un réseau de chauffage, c'est la valorisation thermique, ou pour faire fonctionner un turbo-alternateur qui produira de l'électricité, c'est la valorisation électrique. Le couplage des deux modes de valorisation énergétique s'appelle co-génération. Dans le même principe, la tri-génération ajoute la production de froid.

Valorisation matière : exploitation des déchets qui permet l'usage de la matière constitutive. Elle comprend le recyclage, le réemploi, la réutilisation et la valorisation de la matière organique.

Valorisation organique : mode d'exploitation des déchets fermentescibles par traitement biologique. On distingue la méthanisation et le compostage.

Végétalisation : opération permettant à des espèces introduites ou naturellement présentes dans le milieu de reconquérir rapidement des terrains dénudés par l'action de l'homme (chantier, aménagement,...) ou par l'effet de catastrophes naturelles.

Virus : micro-organisme constitué essentiellement de protéines et d'un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN), ne pouvant vivre et se multiplier qu'en parasitant les cellules d'un autre organisme vivant (parasite obligatoire).