



Séchage thermique des boues urbaines et industrielles

État de l'art

- Quelle est la place du séchage thermique dans le processus de traitement des eaux urbaines et industrielles ?
- Les technologies aujourd'hui disponibles sont-elles équivalentes en termes d'efficacité et de rentabilité ?
- Quel est l'impact environnemental du séchage thermique ?

Telles sont les questions auxquelles Gaz de France, l'ADEME et l'Agence de l'Eau Seine Normandie se sont efforcés de répondre au travers d'un état de l'art sur le séchage thermique associé à une importante série de campagnes de mesures.

ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie



AGENCE DE L'EAU
SEINE-NORMANDIE



Gaz de France

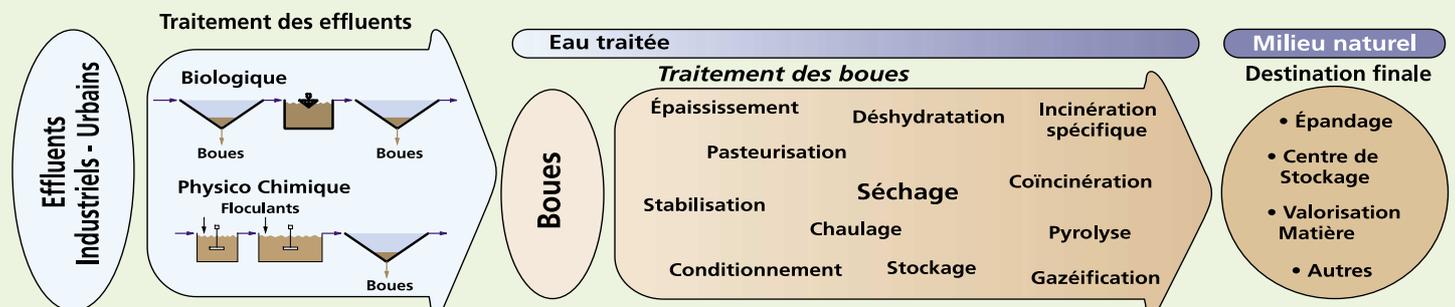
Introduction

Du point de vue de l'assainissement, les boues résiduaire correspondent aux résidus issus de la séparation liquide-solide à la sortie des unités de traitement de l'eau. Leurs caractéristiques varient beaucoup en fonction des effluents concernés.

- Les **effluents urbains**, riches en matières organiques, résultent des activités des particuliers.
- Les **effluents industriels** sont liés à la nature de l'activité concernée et sont essentiellement organiques, assimilables aux effluents urbains, ou minéraux.

La nature des boues dépend du type de traitement mis en œuvre :

- Les **boues biologiques**, constituées majoritairement de matières organiques, proviennent de la décantation des effluents liquides après épuration biologique. En France, la quantité de boue générée par ce procédé avoisine 30 à 60 grammes de matière sèche par habitant et par jour.
- Les **boues physico-chimiques** résultent de l'ajout de réactifs minéraux ou organiques destinés à favoriser la coagulation et la floculation des particules non décantables. Ce traitement conduit à une augmentation significative de la production de boues, qui peut atteindre 180 grammes de matière sèche par habitant et par jour.

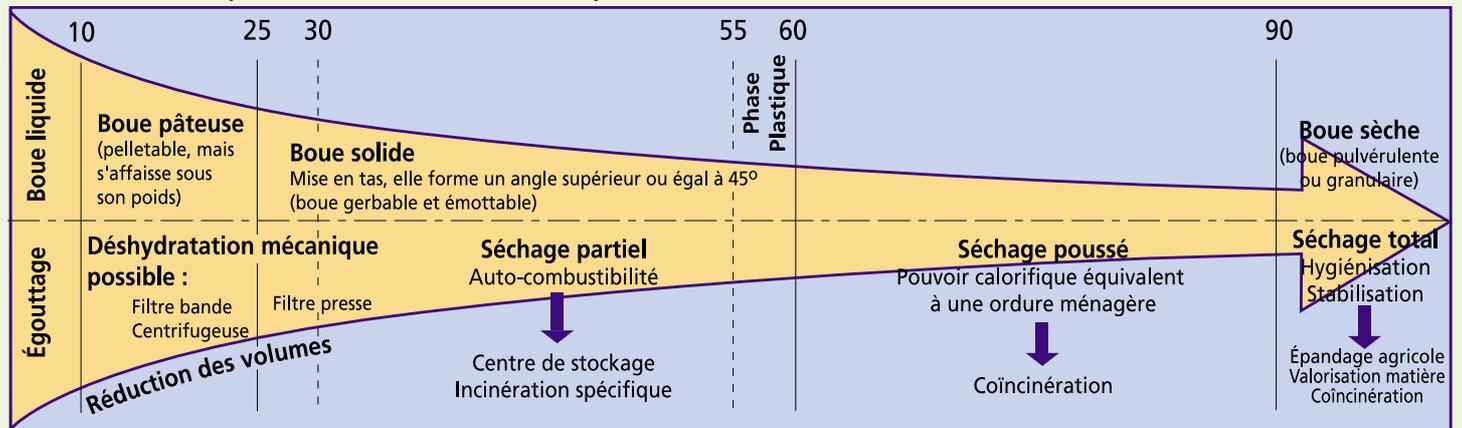


Le séchage thermique est un des procédés de traitement des boues : ce n'est pas une fin en soi mais une étape entre la production des boues et la destination finale (épandage, mise en centre de stockage, valorisation matière...). La valorisation matière consiste à réintégrer les boues dans un produit (briques, céramiques, ciments...) ou, pour certaines boues industrielles, à les réutiliser comme matière première.

Le séchage s'intègre à toutes les grandes voies de traitement des boues. Son intérêt principal est de préserver l'ensemble des possibilités d'élimination dans les différentes filières.

Évolution des caractéristiques des boues en fonction de leur siccité

Siccité de la boue (teneur en matière sèche en %)



La consistance des boues évolue au cours du séchage. À partir de 55-60 % de matière sèche, elles deviennent très visqueuses et collantes (phase plastique) entraînant parfois de gros préjudices à l'installation (colmatage, usure des pièces mécaniques, combustion des boues...).

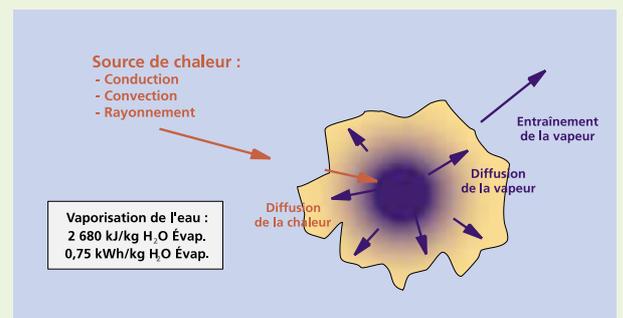
On distingue dans les boues l'eau libre de l'eau liée. L'eau libre, faiblement absorbée, s'élimine par déshydratation mécanique. L'eau liée est chimiquement attachée par des liaisons très fortes aux bactéries ou aux autres particules et ne peut être éliminée que par séchage thermique au-delà de 105 °C.

Le séchage thermique des boues

Le séchage est un transfert de masse et de chaleur visant à évaporer l'eau contenue dans les boues.

L'apport d'énergie peut se faire de trois façons :

- **Séchage par conduction** : l'énergie thermique nécessaire au chauffage est apportée par contact avec une paroi chauffée ; les vapeurs dégagées par le produit durant le séchage sont aspirées ou entraînées par un gaz de balayage.
- **Séchage par convection** : il consiste à mettre en contact un gaz chaud et le produit.
- **Séchage par rayonnement** : l'énergie est apportée au produit à sécher par des ondes électromagnétiques. Les rayonnements utilisés en séchage sont les infrarouges ou les micro-ondes.



Les différents types de sècheurs

Il existe trois types de sècheurs dont la technologie est liée au mode de transfert de l'énergie :

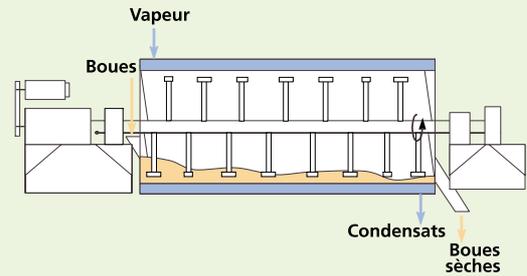
- **Les sècheurs à contact direct** : les gaz chauds sont en contact direct avec les boues, il s'agit essentiellement de séchage par convection.
- **Les sècheurs à contact indirect** : le séchage se fait principalement par conduction.
- **Les sècheurs mixtes** : ils utilisent à la fois les propriétés du sécheur direct et indirect ; la paroi est chauffée et l'air chaud permet l'évaporation de l'eau des boues.

Dans tous les cas, la vapeur d'eau générée par le séchage est condensée par refroidissement. Les condensats sont renvoyés en tête de station et les incondensables sont recyclés dans le sécheur ou renvoyés dans l'atmosphère après désodorisation éventuelle. Les matériels utilisant le mode de transfert thermique par rayonnement peuvent être des sècheurs de type direct ou indirect selon que les boues sont en contact ou non avec les produits de combustion.

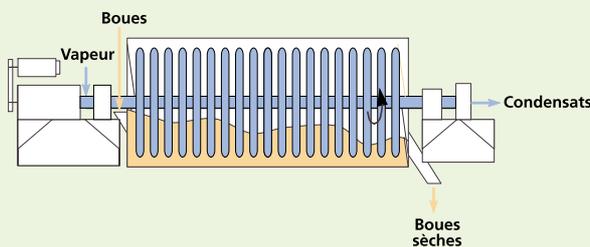
Les sècheurs indirects

Sècheurs à palettes (ou sècheurs malaxeurs) : Buss-Rovactor, GMF, List

Les sècheurs à palettes disposent d'une double enveloppe extérieure immobile et d'un ou plusieurs rotors sur lesquels sont fixées les palettes. Le fluide caloporteur circule dans la double enveloppe, les rotors et les palettes.



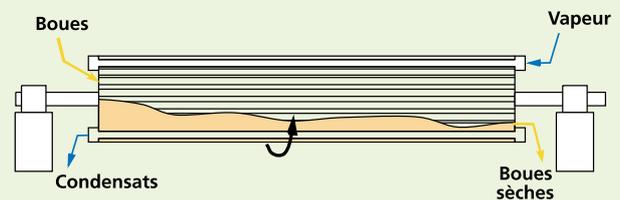
Sècheurs à disques : Atlas, KHD, Kvaerner, MSE, Procalex, SIL, Stord



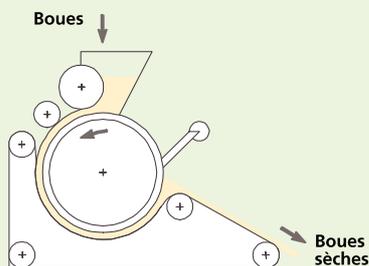
Ces sècheurs sont conçus de la même façon que les sècheurs à palettes, mais des disques remplacent les palettes. Le malaxage des boues est donc moins important et le temps de séjour allongé.

Tambours rotatifs : Andritz, Comessa, Elin, Mannesman, Maguin, Vadeb, Mitchell Lödige

Ils sont constitués d'un cylindre tournant dont l'axe est légèrement incliné par rapport à l'horizontale pour favoriser l'avancée des boues. La rotation lente du tambour partiellement rempli assure le renouvellement du produit sur la surface d'échange.



Sècheurs à couche mince : Buss DAS, Duprat, GEA Canzler, GMF



Ce sont des sècheurs utilisés depuis longtemps dans l'industrie pour le séchage de produits difficiles. Les boues sont disposées en fines couches sur un cylindre chauffé, selon différents procédés.

En fin de rotation, les boues séchées sont raclees par un couteau.

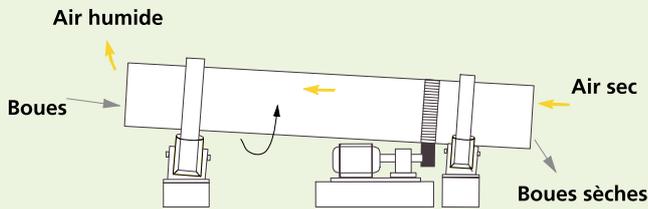
Autres sècheurs indirects

- Sècheurs couplant déshydratation mécanique et séchage indirect (Bertrams, Ashbrook) : les boues circulent sur un filtre chauffé.
- Sècheurs à plateaux : sècheurs multi-étages à plateaux chauffés.

- Sècheurs sous vide (Lödige) dans une cuve cylindrique horizontale chauffée dans laquelle est inséré un agitateur muni de pales.
- Sècheurs radiatifs (Hytec) : un convoyeur de séchage dirige les boues sous des émetteurs infrarouges gaz ou électriques.

Les sècheurs directs

Tambours rotatifs : Andritz, Comessa, KHD, Maurer Söhne, Promeca, Swiss Combi, Vadeb

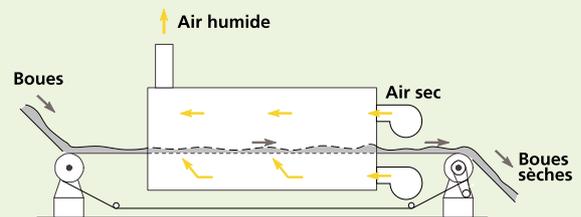


Les éléments constitutifs de ces sècheurs sont les mêmes que dans le cas des sècheurs indirects, mais les parois en contact avec les boues ne sont pas chauffées.

Le séchage s'effectue par une circulation d'air chaud dans le même sens ou en sens inverse des boues.

Sècheurs à bandes : Mabarex, Sevar, STC

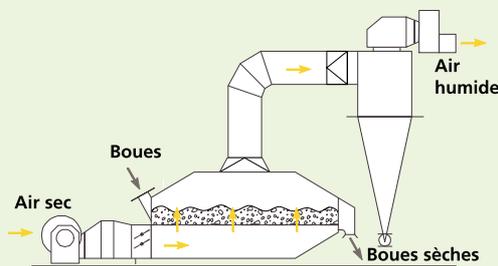
Généralement, le produit est d'abord mis en forme dans une extrudeuse ou un granulateur pour augmenter la surface d'échange. Les boues sont ensuite disposées sur des bandes transporteuses où elles sont soumises à un écoulement d'air chaud parallèlement ou perpendiculairement à leur sens de déplacement.



Sècheurs à transport pneumatique : Andritz, Barr Rosin, CQVB

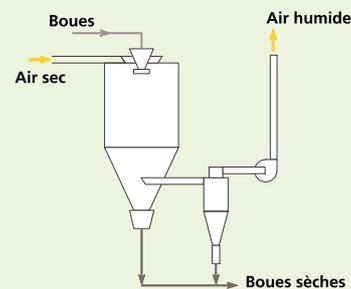
Sècheurs à lit fluidisé

Sècheurs à lit fluidisé : Ils sont composés d'un caisson étanche à deux compartiments séparés par une sole de fluidisation sur laquelle est disposé le produit à sécher. L'air ou la vapeur surchauffée est injectée par le bas, ce qui fragmente et fluidise le produit.



Sècheurs flash

Sècheurs flash ou atomiseurs : la matière à sécher est transportée jusqu'à l'entrée du sécheur où elle est dispersée dans le réacteur par un injecteur. Le courant d'air chaud transporte ensuite les particules, puis le produit sec est séparé des buées.



Autres sècheurs directs

- Sècheurs utilisant l'énergie solaire : les boues sont épandues sur une épaisseur d'environ 30 cm. Elles doivent être régulièrement mélangées.

- Séchage par injection directe de gaz chaud dans les boues à traiter.

Les sècheurs mixtes

Conductif + Convectif :

Alpha-Vomm, Comessa, Va Tech Nabag

- Sècheurs s'apparentant à des sècheurs à palettes à circulation d'air.
- Sècheurs associant la technologie du lit fluidisé à un chauffage des parois.

Radiatif + Convectif :

Nesa

Les boues déshydratées mécaniquement et extrudées sont déposées sur une bande transporteuse. Elles sont ensuite séchées par le rayonnement provenant de la paroi chauffée par des gaz de combustion et par de l'air chaud circulant dans la chambre d'évaporation.

Avantages et inconvénients des différents types de sècheurs

Séchage indirect (par conduction)

Avantages :

- Quantité de gaz à épurer faible
- Buées condensables
- Possibilité de traitement des incondensats au niveau du brûleur
- Traitement aisé des odeurs
- Risques d'explosion et d'inflammation faibles

Inconvénients :

- Construction compliquée
- Usure/Maintenance
- Inertie thermique

Séchage direct (par convection)

Avantages :

- Conception simple
- Souplesse d'adaptation aux variations de siccité en entrée
- Capacités importantes

Inconvénients :

- Quantité de buées à épurer
- Grande taille des installations de traitement des odeurs
- Moins rentable pour les petites installations

Séchage mixte

Avantages :

- Meilleure efficacité thermique
- Durée de séjour réduite
- Produit sec non obligatoirement recyclé

Inconvénients :

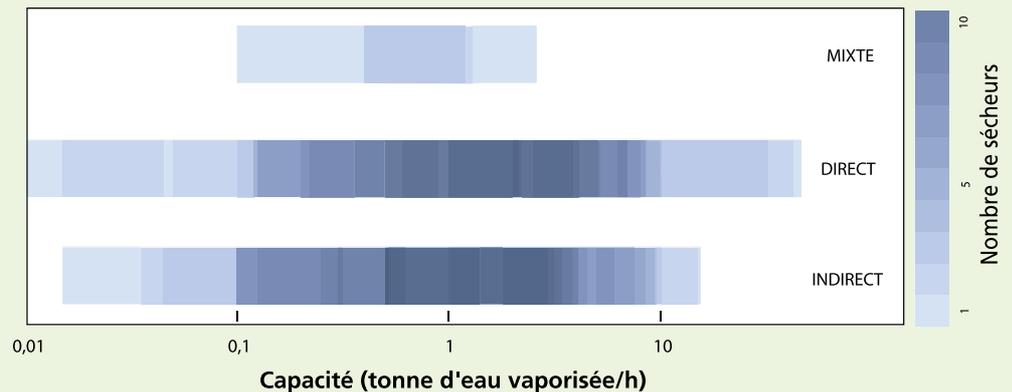
- Quantité de phase gaz importante
- Grande taille des installations de traitement des odeurs

L'offre technologique

Présentation des capacités évaporatoires des différents sècheurs répertoriés

La capacité évaporatoire correspond au débit d'eau évaporée et s'exprime en tonne d'eau évaporée par unité de temps (Tev/h).

Le graphique ci-contre illustre le nombre de constructeurs disposant d'une technologie donnée à capacité évaporatoire fixée. Plus la zone est foncée, plus l'offre technologique est importante.

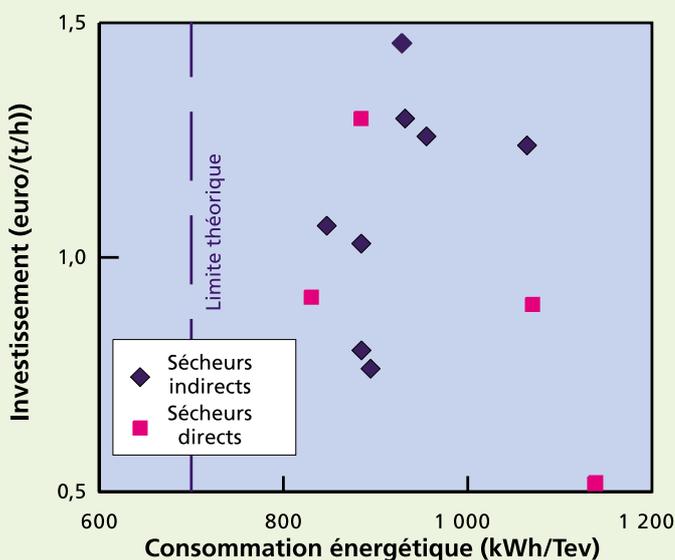


L'offre la plus importante se situe autour d'une tonne par heure.

Aspect économique

Comparaison des coûts d'investissement et des consommations spécifiques des différents sècheurs de boues

Une installation de séchage de boues est constituée, non seulement du sécheur proprement dit, mais également d'un nombre important d'équipements annexes (stockages, système d'alimentation et de mise en forme des boues séchées, dispositif de traitement des odeurs, etc.). Ces derniers conditionnent, pour une part importante, la qualité du fonctionnement de l'installation. Le coût des équipements périphériques est souvent du même ordre de grandeur que celui du sécheur proprement dit.



Aucune catégorie de sécheur ne se distingue particulièrement en terme d'investissement ou de consommation spécifique. Le choix de la technologie est donc principalement lié au type d'exploitation et aux boues à traiter, ainsi qu'à la destination finale envisagée.

L'énergie représente généralement entre 1/3 et 1/2 du coût total du séchage, le reste correspond aux frais de maintenance et de main d'œuvre. Il existe néanmoins des écarts importants selon les procédés.

Campagnes de mesures

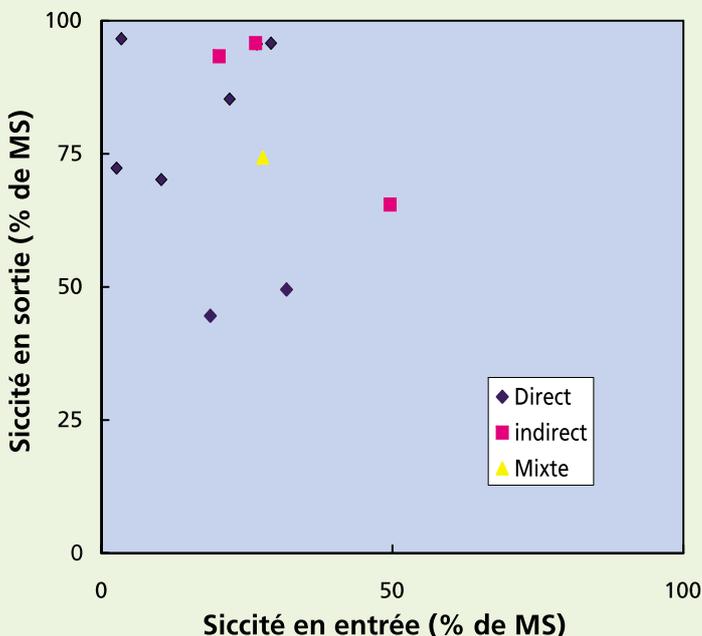


Ces résultats sont issus d'une première campagne de mesures réalisée par Gaz de France en partenariat avec l'ADEME et l'Agence de l'Eau Seine Normandie portant sur 8 sécheurs et d'une seconde campagne de mesures effectuée par Gaz de France portant sur 4 sécheurs.

Installations étudiées

Caractéristiques des installations			
Type de matériel	Applications		Mode de chauffage
	Type	Nombre	
Sécheurs indirects	Boues urbaines	1	Vapeur
	Boues industrielles • Hydroxyde • Papeterie • Textile	5	Vapeur (1) Gaz naturel (3) Électricité (1)
Sécheurs directs	Boues urbaines	3	Fumées d'incinération (1) Gaz naturel + biogaz (1) Fioul + biogaz (1)
	Boues industrielles • Hydroxyde	1	Gaz naturel
Sécheur mixte	Boues industrielles • Tannerie	1	Vapeur (cogénération)

Comparaison entre les siccités des boues brutes en entrée et en sortie des différents sécheurs (résultats expérimentaux issus des campagnes de mesures)



Le séchage thermique est un procédé fortement énergivore. Le besoin thermique nécessaire pour déshydrater les boues est d'autant plus important que leur siccité initiale est faible. Le séchage est donc appliqué sur des boues de siccité en entrée supérieure à 15-20 %.

Une partie des boues séchées est parfois recyclée à l'entrée du sécheur et mélangée avec les boues humides. Ainsi le sécheur travaille au-delà de la phase plastique.

Pour des boues de siccité élevée, la déshydratation s'effectue avec un apport d'énergie plus réduit, mais dans ce cas, les procédés sont beaucoup plus délicats à mettre en œuvre.

La siccité des boues séchées dépend plus de la destination finale envisagée que des caractéristiques intrinsèques du sécheur considéré.

Enjeux



La production française de boues devrait connaître une forte croissance dans les années à venir. Dans un contexte réglementaire de plus en plus contraignant, notamment au niveau de l'aspect sanitaire, la valorisation des boues par séchage thermique présente un intérêt certain pour la filière.

Les atouts de ce procédé sont nombreux :

- Réduction du poids et du volume (stockage et transport).
- Stabilisation et diminution des nuisances olfactives des boues.

- Hygiénisation.
- Mise en forme du produit final.
- Amélioration des propriétés fertilisantes des boues par ajout de nutriments (valorisation en filière agricole).
- Atteinte des minima légaux de siccité pour l'admission en décharges.
- Augmentation du pouvoir calorifique en vue de l'incinération.

Conclusions



Le séchage thermique est un procédé intermédiaire de traitement des boues qui ouvre des possibilités d'élimination dans l'ensemble des filières.

Les campagnes de mesures réalisées ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Il n'existe pas intrinsèquement de « bon sécheur » ou de sécheur meilleur que les autres mais uniquement des sécheurs plus ou moins bien adaptés ou exploités.
- Le choix du sécheur doit s'opérer en fonction des contraintes locales : destination des boues séchées, énergie disponible, capacité et mode de fonctionnement de l'installation, caractéristiques des boues, contraintes locales d'implantation.
- Globalement, les performances constatées sur le terrain sont conformes à celles annoncées par les fabricants de sécheurs.

Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont très variés.

Les équipements périphériques revêtent une grande importance au niveau tant économique (coûts d'investissement, de fonctionnement...) que technique (fiabilité, nuisances...).

Il convient d'être attentif à certaines contraintes inhérentes au séchage thermique :

- Un coût énergétique important.
- Des risques de polluants (poussières, fumées, buées) et d'odeurs.
- Une problématique sécurité de l'installation.



Séchage thermique des boues urbaines et industrielles

Pour en savoir plus

GAZ DE FRANCE

DIRECTION DE LA RECHERCHE

Pôle Industrie

361, avenue du Président Wilson - BP 33

93211 Saint-Denis La Plaine Cedex

téléphone : 01 49 22 57 90

e-mail : DR-industrie@gazdefrance.com

<http://innovation.gazdefrance.com>

AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE

51, rue Salvador-Allende

92027 NANTERRE Cedex

téléphone : 01 41 20 16 00

e-mail : webmestre@aesn.fr

www.aesn.fr

ADEME

Siège social

2, square La Fayette - BP 406

49004 ANGERS Cedex 01

téléphone : 02 41 20 41 20

www.ademe.fr