



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 99-0217/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

**ETUDE DES PROCEDES DE SECHAGE DES BOUES URBAINES
ET INDUSTRIELLES**

mars 2001

P. ARLABOSSE - Centre Energetique et Environnement
Ecole Nationale des Mines d'Albi-Carmaux

I. Contexte de l'étude :

La législation relative à l'élimination des boues constitue un paysage complexe, qui traduit les négligences du passé en matière d'environnement et le besoin actuel de regagner la confiance du public. Face à ce durcissement des contraintes d'admission dans la plupart des filières d'élimination et devant une production inévitable et en constante augmentation, il est nécessaire de trouver des solutions pour réduire les volumes de boues produites mais aussi pour valoriser ce déchet. Le séchage est une opération qui permet de réduire de façon considérable le volume de la boue mais aussi de préserver l'ensemble des possibilités d'élimination dans les principales filières actuelles. Néanmoins, le paradoxe repose dans le fait d'appliquer une technique coûteuse et techniquement assez sophistiquée à un déchet.

II. Objectifs et plan de l'étude :

Dans ce contexte, l'École des Mines d'Albi Carmaux, qui travaille depuis 5 ans sur cette thématique, a conduit une étude sur les procédés de séchage des boues urbaines et industrielles. Cette étude a comme premier objectif de réaliser un inventaire des différentes technologies disponibles sur le marché pour sécher les boues résiduaires, qu'elles soient urbaines ou industrielles, et d'estimer les performances de ces séchoirs. Le second objectif est de réaliser un état de l'art des recherches en cours dans le domaine du séchage des boues, cette synthèse bibliographique pouvant mettre en évidence le développement de nouvelles solutions spécialement développées pour les boues résiduaires ou au contraire mettre en évidence les verrous scientifiques et les manques à combler.

Dans la première partie du rapport final de cette étude, nous nous sommes attachés à mettre en évidence l'intérêt d'une étape de séchage thermique dans la filière de traitement de la boue en rappelant, filière par filière, les principales contraintes introduites par la législation. Devant les incertitudes qui pèsent sur les filières aval, le séchage thermique, qu'il soit partiel, poussé ou total, doit pouvoir trouver définitivement sa place dans la chaîne de traitement de la boue. La question, qui se pose ensuite, concerne le choix du procédé le mieux adapté pour sécher la boue. Cette question, loin d'avoir une réponse évidente, puisqu'il n'existe pas de classification disponible permettant de prédire son comportement dans un procédé donné, a guidé nos réflexions dans les deux chapitres suivants.

Le second chapitre est consacré à l'inventaire des technologies de séchoirs disponibles sur le marché. Néanmoins, il convient de garder à l'esprit que le séchoir ne constitue pas le seul élément d'un poste de déshydratation thermique : en particulier, selon la technologie retenue, le dispositif de traitement des boues peut représenter une opération primordiale. Pour réaliser cet inventaire, nous avons sollicité les constructeurs par l'intermédiaire d'un questionnaire puis d'entretiens téléphoniques. Nous avons ainsi pu recueillir un certain nombre d'informations sur les procédés et leurs fonctionnements ainsi que sur les installations existantes.

La troisième partie de ce travail concerne les recherches en cours dans le domaine du séchage des boues résiduelles. Après avoir identifié les équipes de recherche, nous proposons un état de l'art des travaux publiés dans la littérature.

Enfin, la conclusion de ce mémoire synthétise le travail réalisé durant notre étude et laisse entrevoir des perspectives pour l'avenir.

III. Exposés des principaux résultats obtenus :

Par rapport à la problématique des boues et au contexte législatif, le séchage présente un certain nombre d'avantages. En effet, il permet :

- ✓ comme nous l'avons déjà souligné, de réduire de façon conséquente le volume de la boue ;
- ✓ la plupart du temps, d'hygiéniser la boue grâce à des températures élevées et des temps de séjour suffisamment longs, (la stabilisation étant systématiquement réalisée) ;
- ✓ d'atteindre les minima légaux en vue d'une mise en décharge par exemple ou des minima techniques avant une incinération ;
- ✓ d'une part, de conserver les propriétés fertilisantes de la boue et, d'autre part, d'améliorer l'acceptabilité du produit par le grand public.

Ainsi, le séchage se positionne comme un procédé intermédiaire *commun* à l'ensemble des filières. Néanmoins, il présente un certain nombre de contraintes, qu'il est important de garder à l'esprit. Techniquement, cette opération reste difficile à réaliser :

- ✓ des problèmes de sécurité (incendies, explosions) peuvent apparaître dans la conduite de l'installation ;
- ✓ la qualité du produit final (aspect et/ou consistance) reste encore difficilement maîtrisable, ce point étant primordial pour la manutention ultérieure de la boue ;
- ✓ les installations doivent être robustes et surtout doivent pouvoir s'adapter à de brusques modifications de la composition de la boue ou de sa structure ;
- ✓ enfin, le coût de cette opération doit rester modéré. Il faut garder à l'esprit que le coût énergétique d'un séchoir représente moins de la moitié du coût de fonctionnement. En particulier, un minimum de main d'œuvre doit être nécessaire pour faire fonctionner l'installation et toutes les possibilités de récupération de l'énergie (utilisation de biogaz ...) doivent être étudiées.

Pour présenter l'ensemble des résultats obtenus lors de l'inventaire des technologies disponibles sur le marché, une classification technologique habituellement utilisée par la profession a été introduite. Nous distinguons ainsi les séchoirs directs des séchoirs indirects et des séchoirs mixtes et, dans chaque catégorie, les séchoirs ont été regroupés par famille. Les différents procédés disponibles sur le marché sont ensuite présentés en soulignant les différences fondamentales entre ces séchoirs. Nous avons aussi essayé de recenser le nombre de références pour les différents fabricants. Enfin, nous avons tenté de les "comparer" sur la base du temps de séjour de la boue dans le séchoir, de leur capacité évaporatoire et de leur consommation énergétique.

Nous avons identifié quatre classes principales de séchoirs indirects : les séchoirs à disques, à palettes, à couche mince et à tambour. Il semble que les séchoirs à disques aient encore le plus de références, loin devant les séchoirs à palettes et à couche mince. Le nombre de références, encore réduit, pour les séchoirs à tambour avec chauffage indirect semble rencontrer ces derniers temps un succès croissant, probablement dû à une conception beaucoup plus simple que les autres séchoirs indirects. Une classification sur la base d'une consommation spécifique ne permet pas d'introduire une hiérarchie au niveau des différents procédés disponibles : cette consommation spécifique est de l'ordre de 0.88 kWh/kg d'eau évaporée. La comparaison des séchoirs sur la base de leur capacité évaporatoire et du temps de séjour a permis de mettre en évidence l'intérêt des séchoirs à couche mince qui présentent des capacités évaporatoires spécifiques élevées avec des temps de séjour extrêmement courts. Néanmoins, ces courtes durées de séchage peuvent poser des problèmes au niveau de l'hygiénisation de la boue. Les séchoirs à disques et à palettes ont des performances relativement proches, avec cependant un léger avantage aux séchoirs à palettes qui présentent des capacités évaporatoires légèrement plus grandes et une consommation spécifique plus faible. Pour les séchoirs à tambour à chauffage indirect, il est difficile de conclure : peu de données étaient disponibles pour cette étude. A leur avantage, signalons des temps de séjour relativement faibles, de l'ordre de trente minutes, et des consommations spécifiques raisonnables surtout en absence de recirculation du produit sec.

Parmi les séchoirs directs, nous avons introduit quatre catégories de procédés : les séchoirs à tambour directs, les séchoirs à bandes, les séchoirs à transport pneumatique et les autres types de séchoirs, catégorie regroupant les procédés batch, les installations de séchage solaire... Les séchoirs à tambour directs présentent de façon très nette le plus grand nombre de références, loin devant les séchoirs à bandes. Nous n'avons obtenu que peu d'informations concernant les consommations spécifiques des séchoirs directs (une par catégories de séchoirs). Néanmoins, il semble que la consommation moyenne des séchoirs fonctionnant en continu soit un peu plus élevée que celles des séchoirs indirects, de l'ordre de 1.1 kWh/kg d'eau évaporée. Pour les procédés batch, nous avons obtenu des consommations beaucoup plus faibles puisque ces procédés réalisent un séchage partiel de la boue et qu'une récupération d'énergie est proposée de manière systématique. D'une manière générale, les temps de séjour moyens dans un séchoir direct sont beaucoup plus courts que dans le cas des procédés indirects. C'est pourquoi ces installations sont généralement utilisées pour sécher de gros tonnages.

Enfin, concernant les procédés mixtes, nous n'avons pu identifier qu'un petit nombre de technologies disponibles sur le marché avec un nombre réduit de réalisations. Ceci ne nous a pas permis de proposer une comparaison significative.

Pour la partie sur les recherches en cours, nous avons constaté que le nombre d'équipes travaillant dans cette thématique est extrêmement restreint; la France avec 3 équipes sur 8 est assez fortement représentée. Les travaux restent très appliqués : ils se concentrent sur la détermination des cinétiques de séchage dans un procédé donné et sur l'étude de l'influence des conditions opératoires. En fonction des circonstances, des travaux de caractérisation des propriétés de la boue ont été entrepris. Mais, les méthodes classiques

étant généralement mal adaptées à ce type de produits, il est souvent nécessaire de développer de nouvelles méthodes de mesures, avant de caractériser le produit.

Parallèlement à ces travaux sur l'optimisation des procédés, toutes les autres actions de recherche à notre connaissance concernent l'intégration de techniques de séchage dans un matériel de séparation mécanique. Pour des raisons encore mal connues, la séparation liquide/solide est favorisée lorsque la déshydratation est thermiquement assistée. Ce type de procédé permettrait de gagner quelques points de siccité et d'éviter ainsi une étape de séchage poussé, qui n'est pas toujours utile.

D) Analyse et commentaires des résultats :

Jusqu'à un passé récent, le séchage de boues a été un problème de transfert de technologies existantes, appliquées dans le domaine de l'agroalimentaire ou de la chimie. Ceci explique que l'on retrouve la plupart des procédés classiques de séchage. Parmi les problèmes les plus fréquemment rencontrés, on retrouve les problèmes de sécurité (risques d'incendie et d'explosion), qui apparaissent dans les séchoirs convectifs, et les problèmes de collage, qui apparaissent dans les procédés indirects avec agitation du type séchoirs à disques ou à palettes mais aussi dans les séchoirs convectifs du type lit fluidisé. Ces problèmes de collage sont à associer aux problèmes d'abrasion qui peuvent apparaître lorsque la boue ou des pièces métalliques sont en mouvement. Devant ces problèmes technologiques et devant la difficulté de conquérir une place sur le marché des boues urbaines, l'offre disponible s'est considérablement réduite au cours de ces deux dernières années (par exemple, la technologie des séchoirs à lit fluidisé est presque abandonnée dans son application aux boues résiduaires) et une grande partie des constructeurs restants s'attaquent de façon préférentielle au marché des boues industrielles.

Au fur et à mesure, on s'aperçoit que l'adaptation de technologies existantes ne se fait pas si simplement. Des actions de recherche très appliquées ont été engagées mais elles se trouvent très rapidement confrontées à la méconnaissance du produit et de ses propriétés de transport. Ainsi, il apparaît nécessaire de revenir à une démarche plus traditionnelle et d'engager des recherches plus fondamentales sur les propriétés de la boue et la compréhension des mécanismes physiques qui interviendront lors du séchage de la boue. Ce n'est qu'à ce prix que l'on pourra espérer disposer d'une typologie des boues en vue du procédé de séchage, sur le modèle de celle qui existe pour la déshydratation mécanique. Ce projet reste, en l'état de nos connaissances, un challenge ambitieux.

Enfin, signalons qu'aucune des recherches actuelles ne concerne le séchage bas niveau comme le séchage solaire, qui peut présenter beaucoup d'intérêt lorsque l'on dispose de temps et d'espace, ou le séchage convectif à des températures modérées.

I. Context of Study:

The French laws relative to sludge disposal is a complex system which highlights the errors of the past in environmental management and the present needs to gain the citizen's trust.

Sludge disposal meets more and more regulations and constraints and the sludge production rate is constantly increasing. It is thus necessary to find solutions both to reduce the volume of the sludge output and turn it into a valuable product. Drying operations allow to reduce significantly the output volume of sludge and can be inserted in the set of presently available disposal methods. Nevertheless, it is a paradox to apply a costly and sophisticated technique to a waste.

II. Goals and content of the study

Ecole des Mines d'Albi has worked for 5 years on sludge drying. The present study first aims at making a review of the different drying technologies available on the market for the treatment of urban and industrial sewage sludge and give an estimation of the dryers performance. The second goal is to make a literature review of the current research work in sludge drying. This review should be able to point out the development of new technologies specially designed for sewage sludge treatment and highlight the scientific issues linked with existing drying problems.

In the first chapter of the final report, the different sludge disposal methods are examined, stressing for each of them the legal issues. The place and interest of a drying operation is highlighted. Although the choice of sludge disposal methods raises a number of questions, partial or exhaustive drying should find an appropriate place in the sewage sludge treatment processes. The question, next, concerns the choice of most suitable drying technologies for sludge drying. This question has no straightforward answer since no classification has been done yet regarding the prediction of the sludge behavior towards drying technologies. The two next chapters deal with this aspect.

In the second chapter, an inventory and a classification of drying technologies available on the market is presented. To realize this inventory, manufacturers have been contacted by mail and telephone. Technical information and feed back on operating processes have been recorded. It was emphasized that according to the technology used, flue gas treatment at the exhaust of the dryer could be an important part in the overall process.

The third chapter is dedicated to research activities in the field of sewage sludge drying. A literature review of the main research teams and most relevant research works is presented.

The conclusion of this report makes a synthesis of the study and gives a prospect in this area.

III. Principal results:

Regarding the environmental legislation and regulation issue, drying presents a number of advantages:

- ✓ significant volume reduction
- ✓ hygienisation due to high temperature and long residence times (stabilization is systematic).
- ✓ minimum dry solid content: due by the French law for landfill disposal and technically necessary for combustion purposes.
- ✓ conservation of fertilizing properties in agricultural spreading and improvement of aspect and acceptability by public.

Thus drying may be considered as an intermediate operation *common* to all disposal methods. But technical and economical obstacles are met:

- ✓ security problems (fire, explosions) in the operation of dryers.
- ✓ final product quality issues: aspect, size distribution, stickiness are difficult to predict and condition the ability to further handling of the sludge.
- ✓ versatility and robustness of the operating plants which should be able to cope with rapid changes in the sludge composition, structure and mechanical properties.
- ✓ low operation costs: staff and energy costs – for instance by using low grade energy sources or energy from waste (biogas).

To present the results from the survey of existing dryers, a technological classification was used. Dryers were separated into indirect, direct, and mixed dryers, and for each of these groups, subgroups were formed. The main features and fundamental differences between these groups are highlighted. The number of references (operating plants) for each manufacturer was also mentioned – when available – and comparison was made according to 3 criteria: the mean residence time of the sludge in the dryer, the evaporative rate and the specific energy consumption.

Four subgroups of indirect dryers are identified: disc dryers, paddle dryers, thin film dryers and drum dryers. Disc dryers are the most referenced, far beyond paddle dryers and thin film dryers. There are still few references for drum dryers with indirect heating systems but an increasing demand was observed in the past years probably due to their simpler design. The specific energy consumption is on average 3.2 kJ/kg of evaporated water (0.88 kWh/kg) and no hierarchy between dryers can really be established with this criterion. Thin film dryers have high evaporative rates and short residence times. Disc and paddle dryers have similar performances with a slight advantage to paddle dryers concerning evaporative rates and energy consumption. For drum dryers, data are scarce and limited conclusions should be driven. Very short residence time is observed (30 min) and in spite of the absence of product recycling, reasonable energy consumption is expected.

Among direct dryers, four subgroups are identified: rotary dryers, conveyor belt dryers, pneumatic transport dryers and other types of dryers including batch type and solar dryers...

Rotary dryers are the most widely used dryers far beyond conveyor belt dryers. Little information was obtained about energy consumption (only one data per subgroup). From these data, the average specific energy consumption seems higher than that of indirect dryers: 4.0 kJ/kg of evaporated water (1.1 kWh/kg). For batch dryers, smaller energy consumption is observed because the sludge is partially dried and energy recovery is high. The average residence time of direct dryers is shorter than indirect ones and the operating plants have a bigger capacity.

Concerning mixed dryers, only a few specific technologies are available on the market, with a limited number of operating plants. No significant trend was thus derived from our study.

The research activity in the field of sludge drying is very limited. French research with 3 out of 8 identified laboratories is quite strongly represented. It is mainly applied research work especially focused on the influence of operating conditions in a given process on drying kinetics. Sludge properties are also studied but standards methods are often unsuitable for sludge characterization. Thus new measurement techniques have been developed or adapted for this particular type of material.

Beside works on process optimization, other research programs concern the combination of drying and dewatering technologies. For yet unknown reasons liquid/solid separation is enhanced when dewatering is thermally assisted. This combination might, for some application where no complete drying is needed, rise the solid content to a suitable value without having to include a costly drying device in the process.

D) Analysis of results and comments:

Until a recent past, sludge dryers were designed by transferring existing technological knowledge from chemicals or food industry. This explains that most sludge dryers are issued from standard equipment. Among the most frequently encountered problems, can be found security problems – mainly occurring in direct dryers- and problems linked to the stickiness of the sludge – mainly occurring in some indirect dryers like paddle or disk dryers, or fluidized bed direct dryers. In association with stickiness, wear problems are also observed when moving parts are in contact with the sludge.

Technological problems and market tensions have reduced the offer of drying technologies during the past two years. For instance, the fluidized bed technology was almost discarded for sewage sludge treatment. The remaining manufacturers are preferentially positioned on the market of industrial sludge.

Adaptation of existing technologies cannot be simply achieved. Applied research and development projects are rapidly facing difficulties due to little understanding of the

product's behavior. Thus more fundamental work should be undertaken on sludge physical and transport properties, as well as comprehension of the underlying physical mechanism during sludge drying. This work could lead to the build up of sludge drying typical patterns – as it already exists in dewatering processes -. As far as our knowledge on the subject is concerned, this would be an ambitious research challenge.

No research has been undertaken for low-grade energy drying like solar drying, or convective drying at moderate temperature which can present major advantages when space and residence time is not a big concern.