

IDENTIFICATION DES CENDRES DE BOUES DE STATION D'EPURATION RESULTATS D'ETUDES EN LABORATOIRE

A. GUEZOULI

Docteur Ingénieur, Chargé de cours à l'USTOran.

J. GIELLY

Professeur en Génie Civil à l'IUT Génie Civil (Lyon).

L. CURTIL

Maître de conférence à l'IUT Génie Civil (Lyon).

D. KERAL

Professeur en Génie Civil à l'USTOran.

RESUME

Nous présentons dans cette investigation les résultats d'une étude au laboratoire L2M2S de l'université Claude Bernard de Lyon, portant sur l'identification des cendres de boue de la station de Pierre Bénite de Lyon pour leur éventuel emploi en travaux publics

Ces essais préliminaires entrent pour une bonne part dans le cadre d'un contrat avec la direction de la station d'épuration de Pierre Bénite pour la valorisation de ces cendres. L'étude de l'identification en laboratoire est divisée en deux parties:

La première partie donne les résultats de l'étude de la composition chimique de la cendre et son influence sur l'environnement.

Dans la deuxième partie les caractéristiques physico-mécaniques de ce matériau sont déterminées pour une éventuelle valorisation.

Mots clés: Déchet • Environnement • Boue • Cendre • Identification • Caractéristiques • Valorisation • Essai • Epuration •

1 INTRODUCTION:

Les stations d'épuration des eaux produisent de plus en plus des quantités importantes de boues provenant de l'épuration des eaux usées et pluviales. En faible quantité les boues ne constituaient pas un problème majeur: les modes d'élimination étaient peu onéreux, elles étaient généralement soit déversées très souvent dans des décharges, soit utilisées en épandage agricole en fonction de leurs analyses chimiques et minéralogiques soit

incinérées sur place dans des centrales.

Les cendres de boues produites dans les usines d'incinération de boues des stations d'épuration méritent désormais de retenir l'attention en raison de l'importance des tonnages recueillis, des grandes surfaces de stockage qu'elles nécessitent et du coût sans cesse croissant de leur mise en décharge.

En Algérie, la majorité des stations d'épurations déjà réalisées sont implantées dans les villes côtières.

Par analogie avec la France dans le domaine de l'incinération, nous essayerons de devancer toutes ces problématiques, au vu des grandes infrastructures déjà réalisées et celles projetées en Algérie. [1]

Actuellement, les permis d'exploitation de centrales et d'usines sont en train de changer pour des raisons de protection de l'environnement et d'économie, ainsi plusieurs directives en Europe concernant l'incinération des boues imposent des limites d'émission très sévères et des contrôles contraignants. En outre une des directives imposée qu'à partir de l'année 2002, seuls les déchets ultimes pourront être mis en décharge.

La valorisation des cendres de boues dans divers secteurs de l'activité, en particulier dans le Génie Civil et la construction a par conséquent pris les dimensions d'un problème économique.

Pour mieux connaître, ces cendres et les réemployer dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, nous procéderons à l'identification de leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques, en confirmant un certain nombre d'essais [2] et en effectuant d'autres supplémentaires en laboratoire.

2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES:

Avant d'envisager tout réemploi, il a été indispensable de caractériser au mieux ces cendres de boues de station d'épuration des eaux.

Trois échantillons ont été prélevés à la station d'épuration de Pierre Bénite à Lyon en France:

- Cendre 1 correspond à une période de faible pluviométrie (1.6mm en 10 jours).
- Cendre 2 correspond à une période pluvieuse (53.6mm en 10 jours).
- Cendre 3 correspond à une période très pluvieuse (97.8mm en 10 jours).

Les cendres incinérées à diverses températures pourraient présenter des propriétés différentes (*composition chimique, pouvoir pouzzolanique*). L'étude de ces variations serait intéressante en s'attachant aux propriétés géotechniques qui conditionnent l'emploi de ce matériau en technique routière.

2.1 Analyse chimique:

Le résumé des différents résultats obtenus sur l'analyse chimique des trois échantillons de cendre [2] est présenté dans le tableau 1 suivant:

ELEMENTS	CENDRE1 %	CENDRE 2 %	CENDRE 3 %
SiO ₂	39	27	28
CaO	12.57	35.01	27.81
Al ₂ O ₃	11.05	7.17	10.26
FeO ₃	5.81	4.06	4.55
K ₂ O	1.82	1.16	1.80
SO ₄	1.76	3.65	0.99
MgO	1.33	1.90	1.41
Na ₂ O	1.65	0.87	0.93
Zn	0.22	0.24	0.72
Cu	0.10	0.10	0.21
Pb	0.08	0.09	0.10
Ni	0.02	0.04	0.02
Se	0.02	0.02	0.01
CL-	0.01	0.02	0.15
Hg	0.001	0.001	0.001
Cd	0.001	0.001	0.001
As	0.001	0.001	0.001
CrVI	0.001	0.01	0.001
Résidu sec	54.3 % sur brut	39.4 % sur brut	49.6 % sur brut
Fraction soluble	1.44 % sur sec	1.33 % sur sec	1.8 % sur sec
Teneur en mat. Orm/sec	1.87	3.56	1.20
COT/sec	0.33	< 0.1	0.30

Tableau 1: Analyse chimique.

La composition chimique moyenne des trois cendres est peu variable, elles sont composées majoritairement de Silice SiO₂ (d'environ 30%), de Chaux CaO (d'environ 25%) et de l'Alumine Al₂O₃ (d'environ 10%).

Les cendres volantes produites dans les centrales thermiques présentent généralement des propriétés pouzzolaniques. Ces propriétés très intéressantes, sont celles des matériaux qui riches en Silice et en Aluminium, ont la faculté de durcir en présence de chaux et d'eau [4].

On rattache souvent à la richesse en Silice plus Alumine le pouvoir pouzzolanique des cendres, ceci n'est pas inexact, mais il ne faut pas perdre de vue que la réaction chimique tendant à la formation de Silico-Aluminate dépend étroitement de l'état physique des cendres (analogie à la trempe) [4].

Les teneurs en métaux lourds polluants et dangereux sont faibles à inexistantes. Ce fait nous rend optimiste à l'égard de l'utilisation de ces cendres dans l'Environnement.

2.2 Test de Lixiviat:

Bien que ces métaux lourds soient en faible quantité, ils peuvent être nocifs d'où la nécessité d'envisager des tests de lixiviation pour connaître les teneurs des éléments mis en solution. Plusieurs tests ont été réalisés sur des cendres sèches et des cendres lavées [2] (Tableau 2).

ELEMENTS	Quantité extraite cendre sèche (mg/kg sec)	Quantité extraite cendre lavée (mg/kg)	Comparaison au seuil (mg/kg)
Fe2O3	1.3	<2.9	/
Zn	0.7	1.4	8
Cu	<1.5	<2.9	<1.2
Pb	<3	<6	<10
Ni	<1.5	<2.9	/
Hg	<0.015	0.01	<0.2
Cd	<0.6	<1.2	<1
As	<0.06	<0.11	<9
crvi	2.23	<1.2	<1
COT	110.9	187.9	<1 500
Fraction soluble	1.8%	1.8%	<5 %

TABLEAU 2: Analyse de lixiviat

Les seuils de comparaison utilisés sont tirés de la circulaire française du 9 mai 1994[5], [6].

On constate que les cendres testées ne sont pas polluantes, néanmoins les teneurs en cuivre et en chrome dépassent légèrement le seuil toléré. On pourra toujours prendre des précautions supplémentaires pour utiliser ces cendres, en récupérant par des drainages les lixiviats.

3 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES:

3.1 Teneur en eau:

CENDRE1	w ₁ site = 86%	w ₁ laboratoire = 4.18%
CENDRE2	w ₂ site = 130%	w ₂ laboratoire = 5.78%
CENDRE3	w ₃ site = 104%	w ₃ laboratoire = 13.03%

Les teneurs sont très élevées sur les sites des usines d'incinérations et demandent un séchage au minimum de douze mois pour arriver aux teneurs de laboratoire.

Elles présentent un inconvénient pour une utilisation en travaux publics, il faudrait probablement les sécher avant leur mise en oeuvre.

3.2 Surface spécifique de Blaine:

Les valeurs sont de l'ordre de:

CENDRE1	$S_1 = 5462,5 \text{ cm}^2/\text{g}$
CENDRE2	$S_2 = 6394,8 \text{ cm}^2/\text{g}$
CENDRE3	$S_3 = 4204,0 \text{ cm}^2/\text{g}$

Les résultats très élevés rendent compte de la finesse des grains et leur grande surface d'échange, à titre indicatif une comparaison avec quelques valeurs de surfaces spécifiques:

CIMENT:	$S = 2500 \text{ à } 4500 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$
CENDRE VOLANTE:	$S = 2200 \text{ à } 4000 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$
CENDRE DE BOUE:	$S = 4000 \text{ à } 6000 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

3.3 Densité du constituant des grains solides:

Les densités des grains ont été déterminées à l'aide du pycnomètre, elles sont de l'ordre:

CENDRE 1	$G_{S1} = 2,56$
CENDRE 2	$G_{S2} = 2,69$
CENDRE 3	$G_{S3} = 2,63$

La densité moyenne des grains est de 2.63, elle correspond à la valeur courante de l'ordre de 2.65 pour un granulat pulvérulent [3].

3.4 Analyse granulométrique:

La méthode de la sédimentométrie a été utilisée. Les résultats sont présentés sur les courbes suivantes:

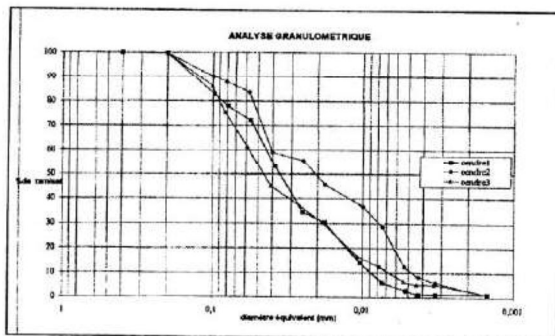


Figure 1 : Courbes granulométriques essai 1.

Les cendres de boues sont des matériaux très fins. Leur courbe granulométrique est très peu différente de celle d'un limon, avec un passant à 80 microns voisin de 80%.

En outre, la granularité est relativement serrée, la presque totalité du matériau étant comprise entre 1 micron et 200 microns.

On note que cette granularité paraît assez peu variable pour les trois cendres.

Ces cendres paraissent trop fines pour pouvoir corriger la granularité des matériaux d'assise de chaussée.

3.5 Limites d'atterberg et sensibilité à l'eau

3.5.1 Consistance des cendres

Les limites d'Atterberg n'ont pas été possibles. Elles n'ont pas de signification dans notre cas sur ce matériau artificiel qui manque de cohésion. Un essai au bleu de méthylène a montré qu'il n'y avait pas de particules colloïdales donc pas de minéraux argileux.

On ne pourra donc pas parler d'indice de plasticité pour ces cendres.

Ces cendres de boues incinérées absorbent de grandes quantités d'eau, jusqu'à 25% de leur poids sans perdre leur stabilité mécanique. Mais dès que la teneur en eau atteint une valeur voisine de 45% elles forment une boue liquide.

Elles sont sensibles à l'excès d'eau.

3.5.2 Perméabilité

Des mesures de perméabilité ont été effectuées sur les trois cendres. Le coefficient de perméabilité k des cendres compactées est de l'ordre de 0, 5 à $2,23 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$, celui des cendres non compactées est de l'ordre de $2,0 \text{ à } 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

Ces grandeurs sont analogues à celles d'un sable très fin, ou un limon donc de degré de perméabilité faible.

3.6 Caractéristiques de compactage:

3.6.1 Essai proctor normal:

Des essais proctor ont été réalisés sur les trois cendres, les résultats obtenus sont représentés sur la figure-2:

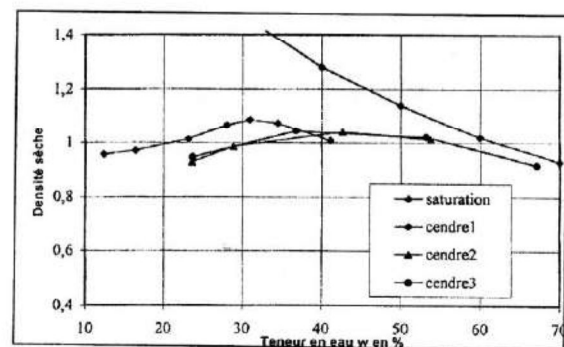


Figure 2 : Courbes proctor des cendres de boues.

Les courbes de compactage sont très plates et les teneurs en eau optimum élevées : de 45% pour les cendres 2 et 3, de 33% pour la cendre 1. La teneur en eau de compactage a une faible influence sur la densité sèche.

Les densités sèches optimales des cendres de boues sont proches de 1.05, ce sont des matériaux très légers.

3.6.2 Essai CBR

L'Indice Portant Immédiat (IPI) a été mesuré en fonction de la teneur en eau (fig.3)

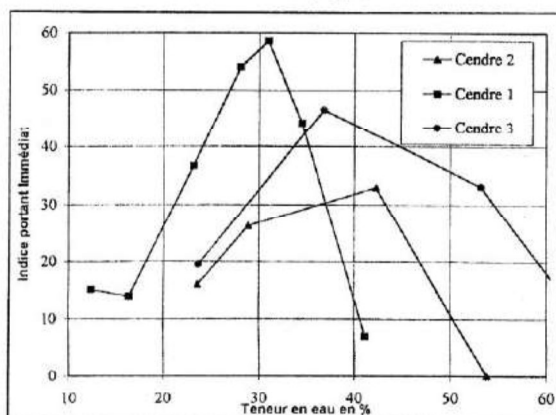


Figure 3 : Essai CBR sur des cendres de boues.

Ces essais ont montré que les teneurs en eau correspondantes aux grandes portances étaient sensiblement plus faibles que celles de l'Optimum proctor (cendre1 w=31 % , cendre2 w=38%, cendre3 w=41%)

Les portances entre les trois cendres ne sont pas égales pour une même teneur en eau. Les valeurs de l'IPI maximum varient entre 30 et 60.

3.7 Essai de cisaillement:

Des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande [2] ont été réalisés sur les trois cendres, nous avons obtenu les résultats suivants, (figure 4):

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 0,8184 \cdot \sigma + 23 & \phi &= 39^\circ & C &= 23 \text{ KPa} \\ \tau_2 &= 0,7178 \cdot \sigma + 12 & \phi &= 35^\circ & C &= 12 \text{ KPa} \\ \tau_3 &= 0,5672 \cdot \sigma + 26 & \phi &= 29^\circ & C &= 26 \text{ KPa} \end{aligned}$$

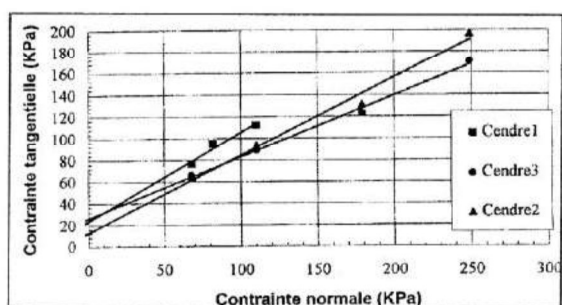


Figure 4 Droites de cisaillement des cendres de boues.

On note de faibles valeurs des cohésions, par contre les angles de frottement interne sont acceptables, mais avec une petite dispersion. Ces angles de frottement sont semblables à ceux des sables.

4 CONCLUSION

La composition chimique des trois cendres de boues est peu variable, elles se composent majoritairement de Silice, Chaux, et d'Alumine. Ce genre de cendre a généralement des propriétés pouzzolaniques.

Les teneurs en métaux lourds polluants et dangereux sont faibles à inexistantes dans les cendres, ce qui nous encourage à les utiliser dans l'Environnement. Néanmoins, les teneurs en Cuivre et Chrome dépassent légèrement le seuil sur les tests de lixiviat.

Ces cendres ne possèdent pas de particules colloïdales, tous les essais tendent à montrer qu'elles se comportent comme un sable très fin ou comme un limon.

Il a été également mis en évidence qu'il fallait compacter les cendres à une teneur en eau inférieure à celle de l'Optimum proctor pour avoir les meilleures portances.

Elles ne peuvent pas être employées brutes en assise de chaussée car elles sont sensibles à l'eau et possèdent une grande finesse. Cependant elles sont susceptibles d'être utilisées en remblai à condition de les compacter suffisamment en évitant l'accumulation de l'eau dangereuse. Cette eau peut créer des pressions interstitielles puis une liquéfaction de la cendre (pour w>45%).

On peut protéger le remblai contre la pénétration des eaux de pluie en assurant son évacuation à la base par une couche drainante. Les cendres de boues peuvent être utilisées en faisant appel à des procédés de traitement par des liants hydrauliques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M. BENTIR "L'épuration des eaux usées urbaines en Algérie état actuel et perspectives". Revue EDIL Inf-AU n°11, page 4 à 6, juin 96.
- [2] L. CURTIL. "Etude de la valorisation des boues de station d'épuration de la communauté urbaine de Lyon". rapport interne du Laboratoire. Génie Civil Habitat et Environnement, I.U.T.A Lyon 1, avril 1995.
- [3] A. GUEZOULI. "Mesures des pressions au contact sol-fondation", Thèse Doctorat Ingénieur: INSA de Lyon: juillet 1985, 220p.
- [4] J. LEGRAND, J. BONNOT. "Utilisation des cendres volantes dans la réalisation d'assises de chaussées", Bull. Liaison. Laboratoire. Ponts et Ch. N°28, Nov.Déc. 1967.
- [5] P. SELVESTRE "Les mâchefer d'U.I.O.M. et leur valorisation", CETE de Lyon, EUROFORUM, sept.1994, 11 p.
- [6] P. SILVESTRE et J.P. RAMPIGNON, « Valorisation en structure routière du mâchefer d'incinération d'ordures ménagères de l'usine de Lyon-sud". CETE de Lyon, EUROFORUM, 7p. sept. 1994.