

VALORISATION DES RESIDUS D'EPURATION DES FUMÉES D'INCINERATION DES ORDURES MENAGERES (R.E.F.I.O.M.) EN TECHNIQUE ROUTIERE : PROCEDURES EXPERIMENTALES

A.L. Kechebar, R. Belouettar & I. Saadi

Laboratoire de Génie Civil - Université Badji Mokhtar – 23000 Annaba, BP 12. Algérie.

Reçu le 19 Avril 2012 – Accepté le 18 Novembre 2013

Résumé

La production des déchets reste inéluctable, d'où le gisement important des sous produits d'ordures Ménagères (7 M tonnes/an selon l'ANDA), offrant des possibilités multiples de valorisation. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail : mise en place d'une procédure expérimentale dont le but est de décrire les étapes à suivre pour la réalisation des éprouvettes de Sables traités et Graves traitées au Ciment et aux Cendres Volantes traitées (REFIOM) ; avec une possible incorporation comme matériau de substitution dans les techniques routières. Un inventaire détaillé sur les Résidus de Traitements Thermiques, ainsi que les voies possibles de leur valorisation vient étayer cette recherche de valorisation (physico-mécanique). La démarche s'appuie sur une présentation des caractéristiques des matériaux utilisés, suivie d'une campagne d'essais Proctor (modifié) définissant un optimum de compactage. La confection des éprouvettes par Compression statique et Vibro-compression, respectivement pour les sables traités et graves traitées, avec différentes proportions de Cendres volantes y est décrite. Sous condition de conservation hygrométrique précise, des essais mécaniques nous révèlent des résultats prometteurs en termes de résistance mécanique.

Mots clés : Valorisation, ordures ménagères, essai Proctor, déchets, résistance mécanique.

Abstract

The production of the waste remains inevitable, where from the deposit importing produced by household waste (7 M tons / year according ANDA¹), offering multiple possibilities of valuation. It is in this context that joins our work: implementation of an experimental procedure the purpose of which is to describe the stages to be followed for the realization the specimen of treated sands and Grave treaties in the Cement and in flying treated ashes (REFIOM); with a possible incorporation as a substitution material in the road techniques. An Inventory detailed on the Residues of Heat treatments, as well as the possible ways of their valuation comes to support this research for valuation. The approach leans on a presentation of the characteristics of used materials, followed by a trial partner Proctor defining an optimum of compaction.

The preparation of specimen by static Compression and Vibro-compression respectively for treated sands and grave treaties, with various proportions of flying Ashes is described there. On the condition of precise hygrometric preservation, mechanical tries reveal us promising results in mechanical resistance.

Key words : Valuation, household waste, Proctor test, waste, mechanical resistance.

ملخص

تقييم إنتاج النفايات المنزلية يبق حتميا مما يعطي كميات هائلة من النفايات المنزلية (7 طن سنويا حسب ANDA) والتي تعطي إمكانات متعددة لتقويمها. يندرج هذا البحث في هذا الإطار, حيث تهدف إلى شرح المراحل الواجب إتباعها لتحضير عينات رمل معالج و حصى معالج بالاسمنت و الفضلات المعالجة REFIOM هذه الطريقة تسمح لنا باستعمال هذه المواد في تقنيات الطرق. لقد قمنا بجرد هذه الفضلات وعلاجها. تطرقنا إلى تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لهذه المواد وبعض تجارب بروكتور. حضرنا عينات باستعمال عدة نسب. تحصلنا على نتائج ايجابية في المقاومة الميكانيكية.

كلمات مفتاحية: تقويم, النفايات المنزلية, تجربة بروكتور, فضلات, المقاومة الميكانيكية.

¹ Agence Nationale des Déchets en Algérie, chiffre déc. 2007

I. Introduction :

Les cendres volantes sont les résidus des usines d'incinération comprenant les fines sous chaudières, les résidus de dépeussierage et les résidus de la neutralisation des fumées. Elles désignent aussi les fines vitrifiées récupérées à partir des gaz dégagés par la combustion de charbon au cours de la production d'électricité. Mélangées avec de la chaux et de l'eau, les cendres volantes issues des centrales électriques forment un composé cimentaire dont les propriétés ressemblent à celles d'un liant. Les fines doivent subir un traitement avant stockage. Les cendres volantes ont des caractéristiques remarquables comme le pouvoir pouzzolanique. Ces propriétés en font des produits très intéressants pour la construction.

II. Caractérisation des matériaux utilisés :

2.1- Ciment : c'est un ciment portland du type CPA-CEMI 52.5 dont le choix fait appel aux normes NF P 15-301 et NF P 15-306. Comme indiqué sur la norme NF P 98-113 (sables traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques).

2.2- Granulats : nous avons utilisé un sable et des gravillons alluvionnaires. L'analyse granulométrique conformément à la norme P 18-560 est décrite par les figures 1 et 2.

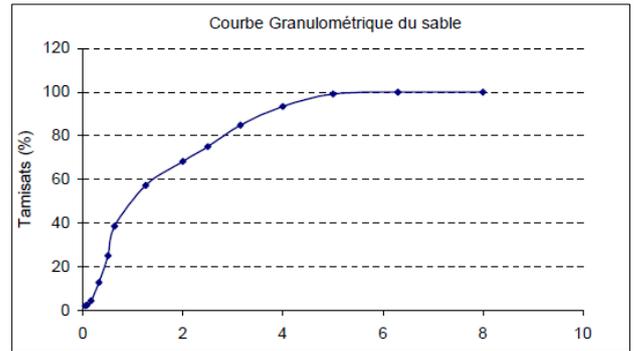


Figure 1 : Courbe granulométrique du sable.

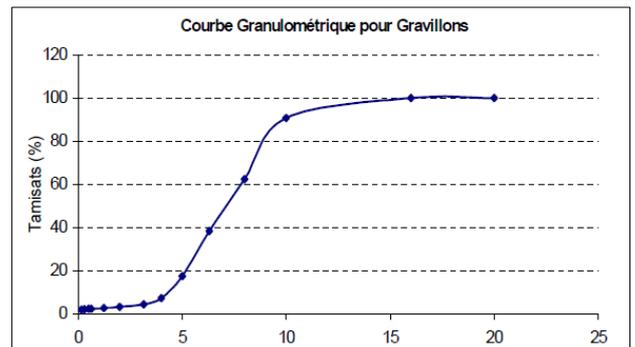


Figure 2 : Courbe granulométrique des gravillons.

2.3-Cendres Volantes Traitées (Revasol) :

Les cendres volantes utilisées sont issues du traitement Revasol, dont les principales étapes sont représentées par le schéma suivant, (figure 3).

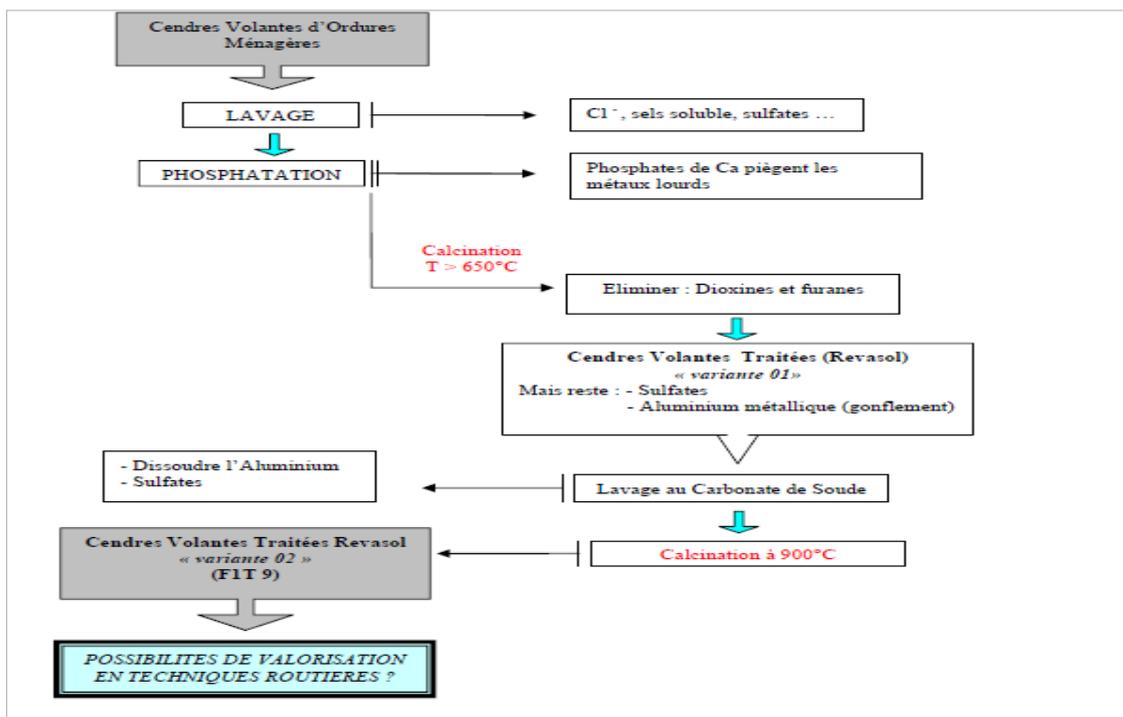


Figure 3 : Schéma simplifié du processus "Revasol"

On présentera dans le tableau 1 quelques caractéristiques des cendres volantes, appelées FIT 9 pour des raisons de simplification.

• **Caractéristiques chimiques :**

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des cendres volantes traitées (FIT 9)

Majeurs (%)		Mineurs (mg/kg)			
Elément	(%)	Elément	(mg/kg)	Elément	(mg/kg)
CaO	25,2	Zn	22629	Mo	<40
SiO2	20,7	Pb	6070	Rb	<60
P2O5	13,6	Sn	2518	Bi	24
SO3	10,8	Cr	1651	V	<150
Al2O3	10,0	Ni	1381	Ce	29
MgO	2,7	Cu	1679	Ga	22
Fe2O3	1,4	Ba	1345	La	14
TiO2	2,7	Sb	1253	Nd	<10
Na2O	1,7	Cd	515	Nb	<10
K2O	1,4	Sr	<400		
MnO	0,2	W	192		
Cl ⁻ libres	0,0	Zr	132		
Humidité	0,1	As	102		
Paf	5,8	Co	44		

Dosage en Hg (ppb)	14
Dosage en calcite (%)	0

• **Caractéristiques physiques :**

Masse volumique réelle : 2,90 g/cm³
 Masse volumique absolue : 2,95 g/cm³
 La granulométrie de ces cendres est présentée par la figure 4

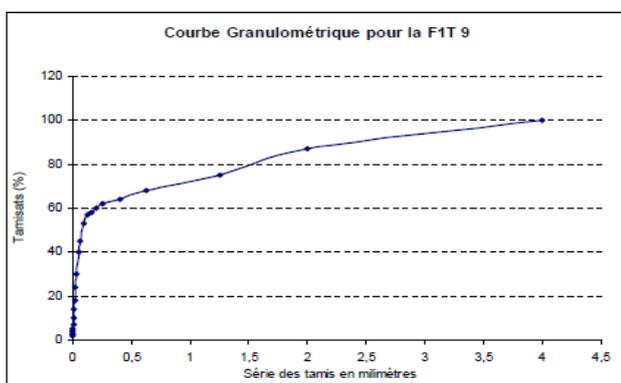


Figure 4 : Courbe granulométrique des FIT 9 (par laser)

• **Analyse par diffraction des rayons X**

L'analyse par diffraction est représentée par la figure 5

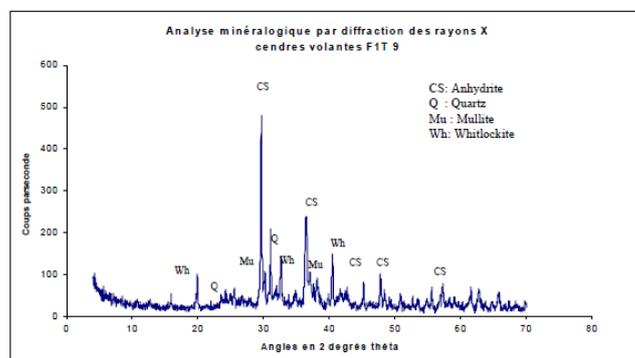


Figure 5 : Analyse par diffraction des rayons X

III. Les formules :

Après lecture des normes NF P 98-113 et NF P 98-128, nous avons opté pour les formules suivantes :

3.1. Cas des sables traités: Trois formules sont proposées, nous les résumons dans le tableau 2

Tableau 2 : Mélanges retenus pour les sables traités

	Sable	Ciment	FIT 9
Témoin	93%	7%	0%
Formule I	86%	7%	7%
Formule II	51%	7%	42%

3.2. Cas des graves traitées: Deux formules sont proposées dans le cas des graves traitées, à savoir :

Tableau 3 : Mélanges retenus pour les graves traitées

	Sable	Gravillon	Ciment	FIT 9
Témoin	45,5%	51%	3,5%	0%
Formule 12	33,5%	51%	3,5%	12%

IV. Fabrication des éprouvettes par compression statique :

La mise au point de cet essai a été faite en s'appuyant sur la norme NF P 98-230-2, qui définit une méthode de confection d'éprouvettes de masse volumique et de teneur en eau données, par l'exercice d'une charge statique sur le matériau.

Cette norme est applicable aux sables traités aux liants hydrauliques ou non traités, dont la dimension D est inférieure ou égale à 6,3 mm

L'essai consiste à compacter le matériau utilisé par l'action d'une force axiale statique provoquant l'enfoncement simultané de deux pistons et vibro-compression. Pour ce faire, le matériau est placé dans un moule cylindrique de dimensions données, indéformable dans les conditions de compactage, muni à chaque extrémité d'un piston cylindrique de diamètre légèrement inférieur au diamètre du moule.

Les éprouvettes utilisées dans notre travail ont un diamètre de 160 mm et une hauteur de 320 mm. Ces moules doivent être fermés à chaque extrémité par un couvercle après compactage de l'éprouvette.

La réalisation des éprouvettes a été possible après avoir tenu compte des recommandations et descriptions, données par la norme NF P 98-230-1 et le manuel d'utilisation de l'appareillage (Vibro-Compresseur).

Nous tenons à signaler que quelques modifications d'ordre technique ont été apportées à l'appareillage pour permettre la bonne conduite du procédé de confection des éprouvettes.

La procédure comporte essentiellement deux étapes :

- 1/ - Préparation des matériaux (NF P 98-230-3),
- 2/ - Compactage par Vibro-compression (NF P 98-230-1). (Figure 6)

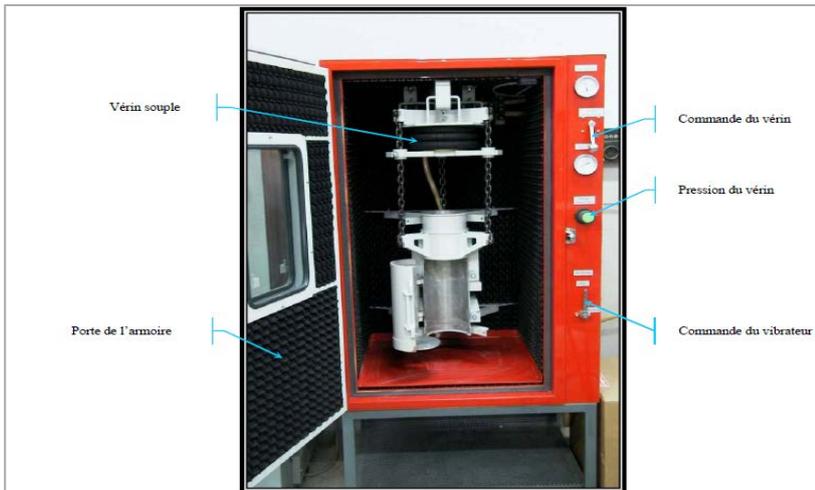


Figure 6 : Vibro-Compresseur à Paramètres Contrôlés (Armoire du VCPC)

Figure 7 : Résultat du compactage et retrait de l'éprouvette



V. Conservation des éprouvettes :

Selon la norme NF P 98-230-1, les moules (étuis) contenant les éprouvettes doivent être transportés avec le plus grand soin possible en conservant la même position que lorsqu'ils sont extraits de la machine.

Les éprouvettes ont été gardées dans la salle de conservation, répondant aux exigences de la norme suscitée, dont l'hygrométrie doit être supérieure à 90%. (figure 8)



Figure 8 : Conservation des éprouvettes dans la salle humide

VI. Présentation et discussions des résultats :

6.1- Essai sur éprouvettes de sables traités (Compression simple) :

Nous avons suivi l'essai de rupture en compression simple en utilisant la norme NF P 98-111 (essai de réactivité des cendres volantes silico-alumineuses à la chaux), en utilisant la presse mécanique, décrite dans la confection des éprouvettes de sable. La vitesse de montée en charge de la presse est de 2 kN/s.



Figure 9 : Cônes de frettage et mode de rupture des éprouvettes de sable traité, pour $\lambda = 1$.

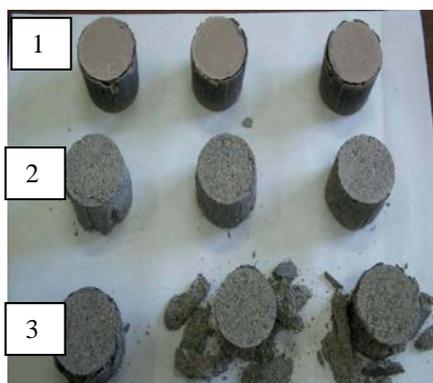


Figure 10 : Première série d'essai pour les trois mélanges

1. Eprouvettes avec 42% de FIT9
2. Eprouvettes avec 7% de FIT9
3. Eprouvettes avec 0% de FIT9

Nous avons remarqué sur les éprouvettes rompues, la formation de deux cônes de frettage qui se joignent au centre de l'éprouvette, cette caractéristique est propre aux éprouvettes dont l'élançement λ est égal à 1 (éprouvette courte).

Les essais de compression nécessitent un nombre important d'éprouvettes, c'est pour cette raison qu'il faut prévoir un nombre suffisant dès les phases de préparation et de confection. La résistance à la compression simple a été déterminée par écrasement de trois éprouvettes pour chaque échéance fixée. Nous avons rapporté les résultats sur la figure 11.

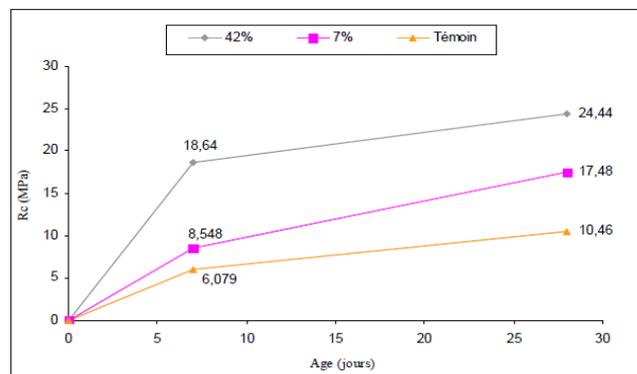


Figure 11 : Evolution des résistances à la compression des éprouvettes de sables traités en fonction du temps

On remarque l'existence d'une même cinétique d'évolution des résistances. Elle correspond à un durcissement initial rapide $R_{c7}/R_{c28} = 0,581$ pour l'éprouvette témoin, légèrement en baisse par rapport à celui de l'éprouvette avec 7% de cendres volantes ($R_{c7}/R_{c28} = 0,605$). Cependant, l'évolution pour l'éprouvette avec 42% de cendres volantes est la plus importante avec un $R_{c7}/R_{c28} = 0,763$.

Les résistances à la compression, au jeune âge, sont d'autant plus élevées que la teneur en FIT 9 augmente. Cette même remarque est valable pour les résistances enregistrées à 28 jours. Les sables traités à 42% de FIT 9 offrent donc une meilleure résistance et présentent un gain important. (figure 12)

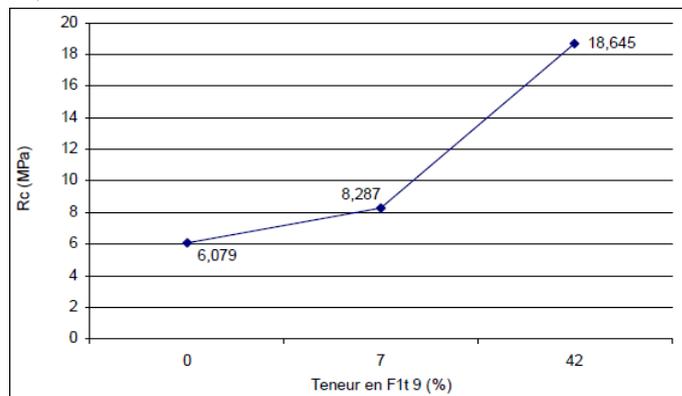


Figure 12 : Influence de l'introduction des C.V. sur la résistance (à 7 jours)

6.2- Essai sur éprouvettes de graves traitées (Traction par fendage) :

La résistance en traction R_t est estimée sur les éprouvettes de graves traitées à l'aide de l'essai de fendage (norme NF P 18-408), en prenant 80% de la résistance donnée par ce dernier.

Par convention : $R_t = 0,8 f_t$ (1)

Où : f_t : Résistance à l'essai de fendage.

On procède à l'essai sur éprouvette cylindrique conformément à la norme NF P 18-408.

Dans cet essai, on applique à l'éprouvette un effort de compression le long de deux génératrices opposées. Cet effort de compression induit des contraintes de traction dans le plan passant par ces deux génératrices. La rupture, due à ces contraintes de traction, se produit dans ce plan (figure 13). Le calcul permet de définir la contrainte de traction correspondant à cette rupture.

La contrainte de rupture est obtenue d'après cette formule :

$$f_t = 0,637 \frac{P}{d \cdot h} ; \text{MPa} \quad (2)$$

h : est la hauteur de l'éprouvette,

d : son diamètre

P : la charge appliquée.



Figure 13 : Dispositif pour l'essai de fendage et mode de rupture de l'éprouvette



Figure 14 : Section de rupture, d'une éprouvette témoin de grave traitée présentant une distribution homogène des grains

La Vibrocompression confère aux éprouvettes un arrangement assez homogène des grains.

Nous avons pu constater cela après rupture des éprouvettes à l'essai de fendage. La figure 14 illustre cette observation.

Les résultats obtenus lors des essais de traction sont reportés sur la figure 15.

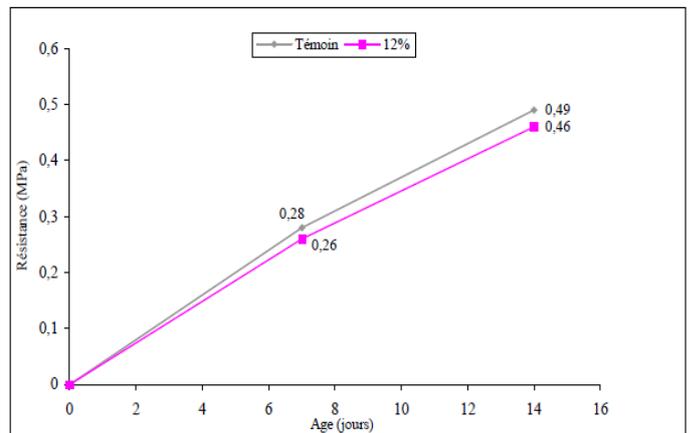


Figure 15 : Evolution des résistances à la traction des éprouvettes de graves traitées en fonction du temps

On remarque aussi, l'existence d'une même cinétique d'évolution des résistances. Ces dernières obéissent presque, à un même comportement dans leur évolution : $R_{t7}/R_{t14} = 0,571$ pour l'éprouvette témoin, légèrement en hausse par rapport à celui de l'éprouvette avec 12% de cendres volantes ($R_{t7}/R_{t14} = 0,565$).

Nous pouvons observer des résultats similaires avec ceux des éprouvettes de sables traités, concernant le gain de résistance à jeune âge.

VII. Conclusion

Dans cette étude, nous avons pu prendre connaissance des techniques usuelles pour la préparation des éprouvettes de sables et graves traitées aux liants hydrauliques (le ciment dans notre cas) et aux cendres volantes.

Nous nous sommes intéressés à l'influence de l'introduction des cendres sur les performances mécaniques, à savoir : Résistance à la compression simple et à la traction (par fendage).

Les conclusions qui peuvent être citées, sont regroupées dans les points suivants :

- ✓ Les résultats obtenus sur éprouvettes de sables traités, ont montré qu'une introduction en dosage important des cendres volantes (F1T 9), donnerait de meilleurs résultats sur la résistance à la compression simple, et ceci dès le jeune âge.
- ✓ La cinétique de l'évolution des résistances était la même pour l'ensemble des mélanges pour chaque type d'éprouvettes. Il serait intéressant de pouvoir comparer cette évolution avec celle d'une autre cendre volante (cendre volante traitée Revasol – variante 1).
- ✓ Pour les graves traitées, les résistances à jeune âge (7 jours) étaient très rapprochées pour les deux mélanges étudiés, de même pour l'échéance de 14 jours. Nous concluons alors qu'il serait plus appréciable d'avoir des résultats à des échéances plus avancées, afin de pouvoir donner une estimation correcte des résultats.
- ✓ Une influence non négligeable est à citer aussi, c'est l'augmentation de la demande en eau qu'entraînerait une forte introduction des cendres volantes, rendant ainsi le compactage difficile.

Références bibliographiques

[1] ARQUIE G. : "*Le compactage, routes et pistes*". Edition Eyrolles, 1970.

[2] DELSOL C. : "*Perspectives d'emploi en Génie Civil des cendres volantes de centrales thermiques équipées systèmes de désulfuration primaire*". Thèse INSA. Octobre 1995.

[3] JEUFFROY G. : "*Conception et construction des chaussées Tom I*". Edition Eyrolles, 1967.

[4] MATHIEU C., PIELTAIN F. : "*Analyse physique des sols, Méthodes choisies*". Lavoisier Tec & Doc, 1998.

[5] Ministère de l'équipement des transports et du logement, centre d'études techniques de l'équipement CETE – *Appareil de compactage par Vibro-compression d'éprouvettes de matériaux aux liants hydrauliques* A 143 e.

[6] *Travaux pratique de mortiers et béton*. LMDC-UPS Toulouse, 1999-2000.

[7] *Travaux pratiques de mécanique des sols*. LMDC-UPS III.

[8] NF P 98-114-1 : *Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - graves traitées aux liants hydrauliques. Assises chaussées*. Décembre 1992

[9] NF P 98-114-2 : *Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques – Sable traités aux liants hydrauliques. Assises chaussées*. Novembre 1994.

[10] NF P 98-230-1: *Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités –Fabrication des éprouvettes par vibro-compression. Essais relatifs aux chaussées*. Avril 1992

[11] NF P 98-230-2 : *Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités-Fabrication des éprouvettes de sables ou de sols fins par compression statique. Essais relatifs aux chaussées*. Août 1993

[12] NF P 98-230-3 : *Préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités-Fabrication en laboratoire de mélange de graves ou de sables pour la confection d'éprouvettes. Essais relatifs aux chaussées*. Décembre 1993.