



**HAL**  
open science

# Tests d'indentation instrumentée sur granulats de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux. Influence de la taille de l'indenteur sur le module élastique

Libasse Sow, Siham Kamali-Bernard, Olivier Bartier, Gérard Mauvoisin,  
Fabrice Bernard

## ► To cite this version:

Libasse Sow, Siham Kamali-Bernard, Olivier Bartier, Gérard Mauvoisin, Fabrice Bernard. Tests d'indentation instrumentée sur granulats de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux. Influence de la taille de l'indenteur sur le module élastique. MATEC Web of Conferences, 2019, 261, pp.01002. 10.1051/matecconf/201926101002 . hal-02000856

**HAL Id: hal-02000856**

**<https://hal.science/hal-02000856>**

Submitted on 10 Jul 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Tests d'indentation instrumentée sur granulats de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux. Influence de la taille de l'indenteur sur le module élastique.

*Libasse Sow*<sup>1,2,\*</sup>, *Siham Kamali-Bernard*<sup>2</sup>, *Olivier Bartier*<sup>3</sup>, *Gérard Mauvoisin*<sup>3</sup>, and *Fabrice Bernard*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM), INSA Rennes, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM), IUT Rennes, France

**Résumé.** Des tests d'indentation instrumentée ont été effectués sur des particules isolées de Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux (MIDND) provenant des carrières de la Garenne à Vignoc (Bretagne, France). Deux indenteurs sphériques en carbure de tungstène de rayon respectifs 0,5 et 140 mm ont été utilisés pour les séries de tests « A » et « B ». Les particules étudiées ont des diamètres variant entre 20 et 25 mm. Avec un indenteur de rayon 0,5 mm, des modules élastiques réduits moyens variant de 15 à 68 GPa ont été trouvés. Un module élastique réduit moyen de 15 GPa a été trouvé avec l'indenteur de rayon 140 mm.

## 1 Introduction

Une étude menée par Eurostat en 2012 a révélé que chaque habitant en France produit annuellement en moyenne 458 kg de déchets ménagers. Face à ces quantités importantes en croissance incessante, il existe plusieurs types de traitements : thermique, biologique, tri pour recyclage, stockage. Cependant, l'incinération reste la meilleure solution puisqu'elle permet de réduire de 70 % la masse et de 90 % le volume des déchets incinérés. Les agrégats qui en résultent sont appelés Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux (MIDND) réglementés par l'arrêté du 18 novembre 2011 en France [1]. Pour une utilisation rationnelle en technique routière, il faut une meilleure connaissance de leurs caractéristiques de comportement mécanique. Des publications récentes ont été faites sur les caractéristiques élastiques de ces types de sous-produits industriels [2, 3]. Les caractéristiques élastiques servent de données d'entrée à des travaux de modélisation tels que ceux présentés dans [4, 5]. Nous présentons dans cet article des résultats d'expérimentations mettant en évidence l'influence de la taille de l'indenteur sur les valeurs de modules élastiques réduits des granulats de MIDND étudiés. Cependant, une version plus étendue des expérimentations ainsi que des résultats est présentée dans [6]. Les courbes d'indentation et une analyse approfondie des résultats y sont fournies en détails.

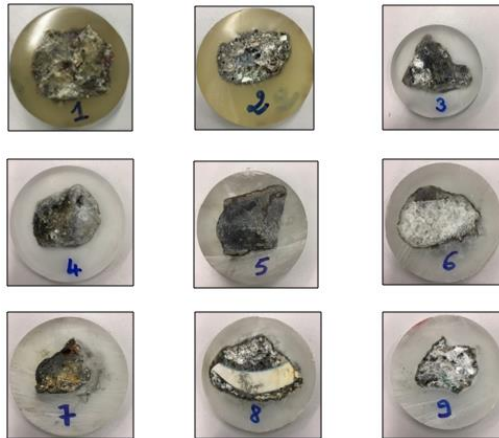
---

\* Corresponding author: [libasse.sow@esp.sn](mailto:libasse.sow@esp.sn)

## 2 Tests d'indentation instrumentée

### 2.1 Préparation des échantillons de MIDND

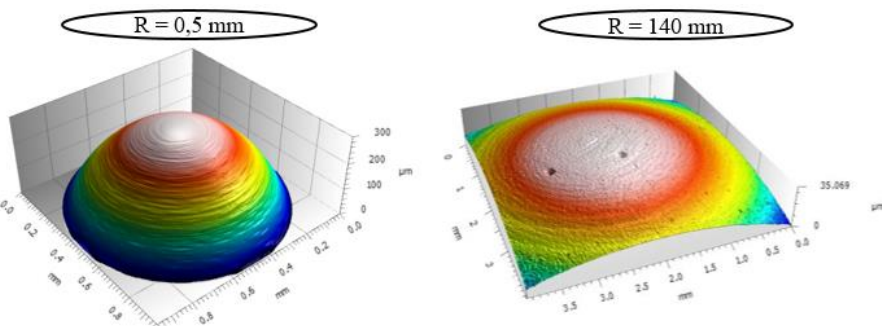
La granulométrie 0/25 mm des MIDND reçu a été scindée en deux fractions par tamisage : 0/12,5 mm et 12,5/25 mm. Un prélèvement de 9 grains de diamètres compris entre 20 et 25 mm a été fait. Chaque granulat a été enrobé puis scié après durcissement de la résine. Une opération de polissage de la surface de l'échantillon a ensuite été faite en utilisant différents draps de polissage. Les échantillons obtenus sont montrés à la figure 2. En plus d'une grande porosité, les MIDND sont caractérisés par une hétérogénéité particulière avec la présence de différentes phases : scories, métaux, verre, céramique, imbrûlés, etc.



**Fig. 1.** Echantillons préparés pour les tests d'indentation instrumentée.

### 2.2 Protocole expérimental

Les tests d'indentation ont été effectués en appliquant le protocole d'essai décrit dans [3]. Il s'agit de : trois phases successives de « chargement-déchargement », une phase de chargement maintenue constante pendant 100s et une phase de déchargement pendant laquelle le module réduit «  $E_r$  » est déterminé. La procédure de détermination du module élastique réduit est détaillée dans [3]. Deux séries de tests ont été effectuées en utilisant deux types d'indenteur sphérique en carbure de tungstène dont les caractéristiques mécaniques sont connues ; ils sont montrés à la figure 2.



**Fig. 2.** Types d'indenteur utilisés dans les tests d'indentation instrumentée.

L'indenteur de rayon 0,5 mm permet de tester les phases solides séparément tandis que l'indenteur de rayon 140 mm prend en compte différentes phases solides ainsi que la porosité.

### 3 Résultats

Les tableaux 1 et 2 regroupent les résultats obtenus en termes de modules élastiques réduits.

**Tableau 1.** Série « A » : indenteur de rayon 0,5 mm

N° échantillon	1	2	3	4	5	7	8	9
$E_r$ (GPa)	67,6	38,8	60,7	57,1	37,5	63,5	54,3	15,2

**Tableau 2.** Série « B » : indenteur de rayon 140 mm

N° échantillon	1	2
$E_r$ (GPa)	16	14

### 4 Discussions et conclusions

Avec un indenteur de rayon 140 mm, une faible rigidité homogénéisée est obtenue (15 GPa en moyenne). Les modules élastiques réduits obtenus avec un indenteur de rayon 0,5 mm varient entre 15 et 68 GPa environ. Vu les différents matériaux que l'on peut rencontrer dans un granulats de MIDND, il est normal que les modules obtenus en des zones ponctuelles soient différents. Les particules étudiées proviennent des carrières de la Garenne en (Bretagne, France), ces résultats leurs sont intrinsèques alors. Il serait toutefois intéressant d'effectuer une étude statistique pour mettre en évidence l'influence de la zone de production sur les caractéristiques de rigidité.

### Références

1. Arrêté relatif au recyclage en technique routière des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, France (18 Novembre 2011).
2. L. Sow, S. Kamali-Bernard, O. Bartier, G. Mauvoisin, F. Bernard. Experimental estimation of the elastic modulus of non-hazardous waste incineration bottom ash aggregates by indentation tests - Microanalysis of particles by Scanning Electron Microscopy. *Adv. Mat. Res.*, **1145**, pp. 80-84 (2018).
3. L. Sow. Approche couplée expérimentation – modélisation multi-échelle pour la détermination du comportement mécanique des graves routières traitées aux liants. Application à la valorisation des Mâchefers d'Incinération de Déchets Non Dangereux, Ph.D. Thesis. INSA Rennes (2018).
4. L. Sow, F. Bernard, S. Kamali-Bernard and C.M.F. Kébé. Experiment-based modelling of the mechanical behaviour of non-hazardous waste incineration bottom ashes treated by hydraulic binder. *MATEC Web Conf.*, **149**, 01038 (2018).
5. L. Sow, F. Bernard, S. Kamali-Bernard, C.M.F. Kébé. Mesoscale modeling of the temperature-dependent viscoelastic behavior of a Bitumen-Bound Gravels. *Coup. Syst. Mec.*, an International Journal., **7(5)**, pp. 509-524 (2018).
6. L. Sow, S. Kamali-Bernard, G. Mauvoisin, O. Bartier, F. Bernard. Original Experimental Campaign of Indentation Instrumented on Aggregates of Non-Hazardous Waste Incineration Bottom Ash to Study the Heterogeneity of their Rigidity. *Mat. Sci. For.*, (submitted).