

# Impact des déchets stériles de charbon en tant qu'ajouts sur les propriétés physiques des mortiers.

RajaeAddou<sup>1</sup>, Kinda Hannawi Salmo<sup>2</sup>, William Prince Agbodjan<sup>2</sup>, Mohamed Zenasni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique et de Calcul numérique 'LM2N', Ecole Nationale des Sciences Appliquées, Oujda, Maroc.

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

## Résumé :

La présente étude vise à valoriser ces déchets miniers de la mine de Jerada, en les incorporant comme constituants dans des matériaux de construction.

Le travail sera effectué sur des mortiers avec l'ajout de ces déchets en remplacement volumique de sable avec différents pourcentages, tout en étudiant à chaque essai l'effet du traitement thermique à 400°C et à 600°C. Des essais physiques ont été menés : la mesure de la masse volumique apparente et la porosité, la mesure de la perméabilité apparente au gaz, la mesure de propagation des ondes ultrasonores et la mesure de la conductivité thermique. On observe de ce fait que la porosité accessible à l'eau des mortiers composites augmente avec l'ajout de déchets et encore plus avec le traitement thermique, entraînant ainsi une légèreté remarquable du mortier. Par contre, la mesure de la perméabilité apparente au gaz démontre une diminution de la perméabilité avec l'incorporation des déchets. Par ailleurs, on remarque une augmentation de la perméabilité au gaz dans les mortiers après traitement thermique et une diminution de la vitesse des ultrasons. Finalement, on constate une baisse de la conductivité thermique dans les échantillons ce qui rendra les mortiers composites légèrement moins conducteurs. Ainsi, le traitement thermique de ces composites présente un intérêt sur le plan de la légèreté et de l'isolation.

**Mots clefs :** *Matériaux à faible impact environnemental, charbon, porosité, perméabilité au gaz, conductivité thermique, ondes ultrasonores.*

## 1. Introduction :

Plusieurs études ont été déjà menées dans le cadre du développement durable par de nombreux chercheurs qui se sont intéressés à la valorisation de ces déchets et leur exploitation dans le domaine du génie civil. En Espagne et dans d'autres pays, on les emploie comme terre armée ou comme matériau de colmatage dans les remblais de routes, et de chemins de fer, en plus des digues maritimes. Ce fut l'objectif d'une étude menée par des espagnols: Gonzalez Canibano, Madera Fernandez, Hunosa [1]. Ces déchets peuvent aussi être valorisés dans l'industrie des ciments par une économie d'énergie due au phénomène exothermique lié à la

combustion du charbon, sujet traité dans la thèse de D.Belkheiri et al [2].

Enfin, une étude faite récemment dans le cadre d'un Projet de Fin d'Etudes [3] a découlé sur des résultats acceptables, concernant la réutilisation de ces rejets comme granulats pour béton et enrobé bitumineux.

Ce travail de recherche vise à valoriser ces déchets miniers de la région de Jerada, en les réutilisant comme ajout dans des matériaux de construction, notamment comme granulats à béton.

## 2. Matériaux et Méthodes

### 2.1 Matériaux :

#### 2.1.1 Stériles de Charbon de Jerada :

Les déchets de charbon ont été prélevés du Grand Terril se trouvant à la sortie de Jerada vers Hassi Blal, de forme conique mesurant à la base 450 m x 412 m et de hauteur = 70 m [3]. Pour les essais qui suivent, on prend seulement la fraction granulaire 0/5 des déchets par tamisage, puis broyer la fraction la plus grande et la tamiser.

#### 2.1.2 Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment portland artificiel de type CEM I 52,5, de densité  $\rho_c = 3,15$ .

#### 2.1.3 Sable

Le sable utilisé est un sable ordinaire, de masse volumique  $\rho_s = 2,65$ .

### 2.2 Méthodes : Essais sur mortiers avec remplacement volumique du sable

On a confectionné des mortiers normaux, dans des éprouvettes cylindriques 40x60 mm<sup>2</sup>, avec différents pourcentages de déchets de charbon en remplacement volumique du sable (0%, 10%, 20% et 50%). Après une cure dans la salle humide pendant 90 jours, on les a faites sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante, puis réparties en trois : une partie des éprouvettes laissée à 105°C, la deuxième a subi un traitement thermique à 400°C et la troisième à 600°C. Ainsi, on pourrait observer l'impact du traitement thermique sur ces mortiers.

#### a- Porosité accessible à l'eau:

La porosité dans un corps peut être soit ouverte, c-à-d. accessible à l'eau, ou fermée. Sa mesure indique le pourcentage des vides à l'intérieur de la masse du mortier, qui sont connectés avec la surface. Cet essai est réalisé

selon la norme NF EN 18-459 à 90 jours de cure des mortiers [4].

### b- Perméabilité aux gaz:

La perméabilité d'un matériau traduit son aptitude à se laisser traverser par un fluide sous un gradient de pression. Ceci nécessite à l'échelle macroscopique la présence d'une porosité ouverte interconnectée [5].

Pour calculer la perméabilité apparente, la pression de confinement est fixée à 8 bars, et la pression de percolation est prise égale à 2 bars. On attend la stabilisation de l'écoulement du gaz, puis on note Q (m<sup>2</sup>/s) pour déterminer K<sub>a</sub>(m<sup>2</sup>), qui dépend de P<sub>i</sub> (pression de percolation du gaz) selon la formule suivante :

$$K_a = \frac{2QL}{A} \left( \frac{P_{atm}}{P_i^2 - P_{atm}^2} \right)$$

Avec:- L et A sont respectivement la hauteur (m) et la section (m<sup>2</sup>) de l'éprouvette -  $\mu$  est la viscosité du gaz à 20°C ( $\mu_{\text{hélium}} = 0,000194 \text{ Po} = 19,4 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.s}$ ) [6];

- P<sub>atm</sub> est la pression à la sortie du gaz (= 1bar)

- P<sub>i</sub> est la pression d'entrée en bars.

### c- Propagation des ultrasons :

La mesure de propagation des ondes ultrasonores, est un processus facile et non destructif certes, mais très exigeant puisqu'il dépend de la forme, la distribution et l'orientation cristallographique en plus de la taille des défauts (pores et fissures) et de la présence de fluides interstitiels [4].

Pour notre étude, les vitesses ultrasonores ont été mesurées par la méthode de transmission, en disposant deux transducteurs (émetteur et récepteur) de part et d'autre d'une éprouvette de longueur connue pour mesurer le temps que l'onde met pour la traverser.

### d- Conductivité thermique :

La conductivité thermique  $\lambda$  (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) caractérise le comportement d'un matériau lors d'un transfert thermique par conduction. Plus  $\lambda$  est grande, plus le matériau est conducteur, et plus le matériau est dense, plus il est conducteur. Dans le béton, elle dépend aussi de sa porosité et de son humidité [4].

Dans cette partie, nous voudrions examiner les effets de l'ajout des déchets de charbon et du traitement thermique dans les mortiers. Pour cela, nous utiliserons la méthode Hot Disk, qui est une méthode de mesure en régime transitoire du type « plan chaud ».

Pour cet essai, on a fait les mesures de conductivité thermique pour les éprouvettes non traitées thermiquement et celles avec un traitement à 600°C. Chaque éprouvette a été découpée en deux parties égales, puis séchée à l'étuve à 105°C pendant 48 heures.

Un analyseur Hot Disk Thermal Constants TPS 1500 a été utilisé pour la mesure des valeurs pour chaque éprouvette.

## 3. Résultats et discussions :

### 3.1 Porosité accessible à l'eau et masse volumique apparente :

L'évaluation de l'effet des déchets de charbon sur la porosité accessible à l'eau, montre à 90 jours de cure que le mortier témoin (0%) est moins poreux que les mortiers contenant les déchets de charbon.

Cette porosité augmente encore avec le traitement thermique de ces mortiers pour atteindre 25,69% pour les mortiers à 50% traités à 600°C. Une hausse de porosité due essentiellement à la combustion du charbon contenu dans ces déchets, aux alentours de 530°C (Voir figure 1).

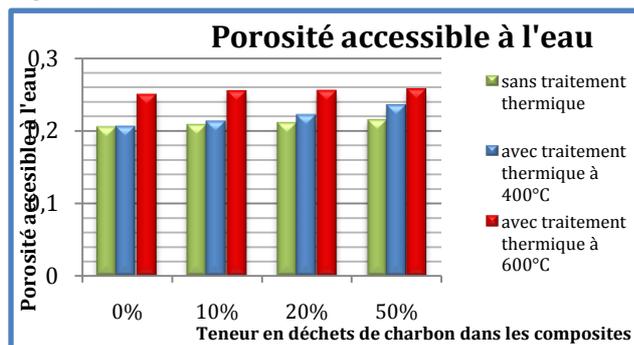


Fig.1 : Evolution de la porosité dans les différents composites avec le traitement thermique.

Cette hausse de porosité entraîne une baisse de la masse volumique apparente. (Voir figure 2).

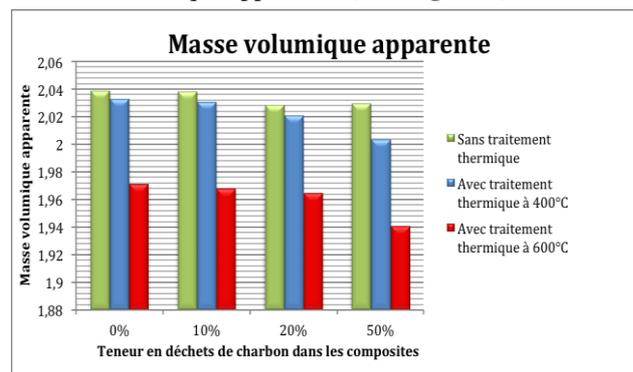


Fig.2 : Evolution de la masse volumique dans les différents composites avec le traitement thermique

### 3.2 Perméabilité au gaz :

Pour chaque composition, les échantillons ont été testés sous une pression de percolation P<sub>i</sub>= 2 bars pour identifier la perméabilité apparente. Voir figure 3.

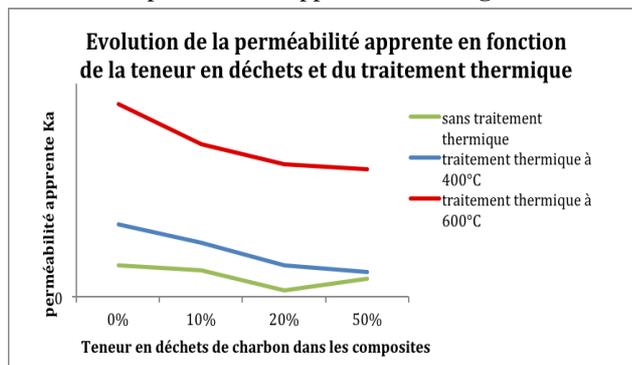


Fig.3 : Evolution de la perméabilité apparente dans les composites avec le traitement thermique

Ces résultats démontrent que l'incorporation des déchets stériles de charbon entraîne une diminution de la perméabilité apparente. Cela laisse à supposer que malgré la porosité des composites, les pores ne sont pas interconnectés et donc le passage du gaz n'est pas assuré. Par ailleurs, après traitement thermique des mortiers étudiés, la valeur de la perméabilité apparente augmente pour chaque composite. Ceci peut s'expliquer d'un côté par la combustion du charbon contenu dans les déchets, qui a lieu aux alentours de 530°C, et qui libère un volume des pores dans le mortier et par la suite augmente sa perméabilité au gaz ; de l'autre côté, cette augmentation est due à la décomposition de portlandite dans la pâte de ciment au-delà de 450°C.

### 3.3 Propagation des ultrasons :

Les résultats montrent que la vitesse de propagation des ultrasons est plus grande pour les éprouvettes non traitées thermiquement, et diminue avec le traitement thermique. Cela s'explique par la porosité des mortiers qui augmente avec le traitement thermique. Voir figure 4.

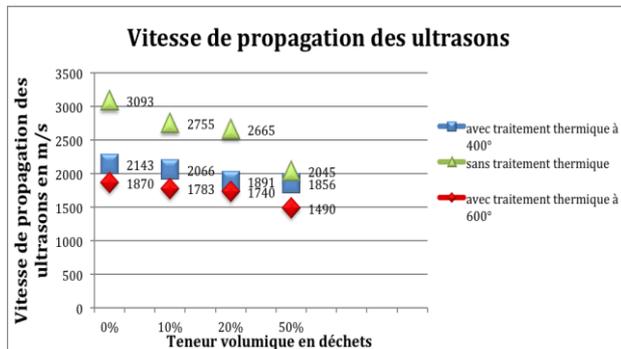


Fig. 4 : Evolution de la vitesse de propagation des ultrasons dans les composites avec le traitement thermique

D'autre part, on constate que cette vitesse diminue avec l'ajout de déchets de charbon dans les mortiers composites. On attribuera cela à l'augmentation de la porosité due à l'ajout de ces déchets, ce qui va atténuer les ondes et diminuer leur propagation.

### 3.4 conductivité thermique :

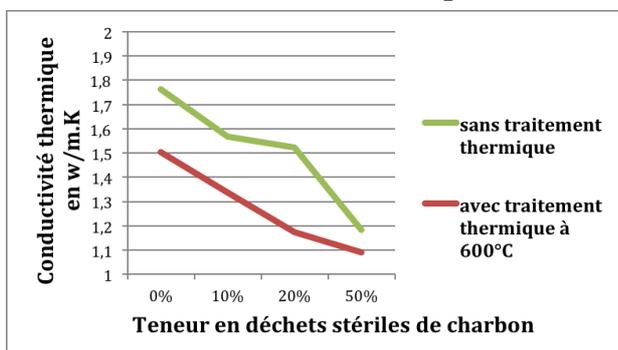


Fig.5 : Evolution de la conductivité thermique dans les mortiers composés en fonction de la teneur en déchets et avec le traitement thermique.

Sur le graphe des résultats ci-dessus, on observe la tendance générale qui reste identique même après traitement thermique des échantillons. On voit nettement une diminution de la conductivité thermique avec l'accroissement des quantités des déchets dans les

mortiers. Cette réduction atteint 33% pour les composites non traités thermiquement contenant 50% de déchets de charbon. Ceci étant dit, cette tendance peut être attribuée à la faible conductivité thermique de l'air (0,024 W/mK) occlu dans les pores dont le volume est de plus en plus important avec la quantité des déchets incorporés dans les mortiers. Ceci dit, même les mortiers contenant 50% de déchets en substitution du sable n'ont pas une conductivité thermique suffisamment faible ( $\lambda_{50\%} = 1,0898 \text{ W/m.K} > 0,75 \text{ W/m.K}$ ) pour justifier une utilisation comme un isolant [4].

### Conclusion :

Dans le contexte énergétique mondial, des solutions de matériaux alternatifs plus économes et plus conformes aux préoccupations du développement durable sont de plus en plus recherchées..

A l'issu de ce travail, nous voyons l'impact de ces ajouts sur la masse volumique des mortiers qui baisse, et la porosité accessible à l'eau qui s'accroît avec le traitement thermique. Aussi, la perméabilité apparente aux gaz évolue d'une manière décroissante avec le pourcentage des ajouts, mais d'une manière croissante avec le traitement thermique. Enfin, nous constatons que la propagation des ultrasons diminue avec l'ajout de déchets ainsi qu'avec le traitement thermique, sans pour autant être intéressant comme matériau isolant vu les conductivités thermiques mesurées dans les mortiers composites.

### Références:

- [1] Gonzalez CANIBANO, Madera Fernandez, Hunosa. Estériles De Carbón/ Ficha Técnica, Diciembre 2011/ Ministerio De Fomento, Centro De Estudios Y Experimentación De Obras Públicas
- [2] D.BELKHEIRI et al. Characterization of Moroccan coal waste: valorization in the elaboration of the Portland clinker / MATEC Web of Conferences 11, 01009 (2014)
- [3] Niama EL Elbryky, Projet de Fin d'Etudes (2015), encadré par M. Rachid HAKKOU, Université Cadi Ayyad, Marrakech: "Faisabilité de réutilisation des déchets miniers solides dans le domaine de BTP".
- [4] Kinda HANNAWI, Thèse de Doctorat (2011) ; Conception, Caractérisation physico-mécanique et durabilité de nouveaux matériaux de construction à caractère environnemental.
- [5] Son Tung PHAM, Thèse de Doctorat (2014) ; Etude sur les effets de la carbonatation sur les propriétés microstructurales et macroscopiques des mortiers de ciment Portland.
- [6] Pierre BOULIN, Thèse de Doctorat (2008); Expérimentation et Modélisation du Transfert d'hydrogène à travers des argiles de centre de stockage de déchets radioactifs.