

# COMPORTEMENT MECANIQUE DES MORTIERS DE CHAMOTTE A BASE D'UN MELANGE DE CIMENT- FILLER CALCAIRE

Belmahi Samir<sup>1,2</sup>, Zidour Mohammed<sup>1,2</sup>, Bensatllah Tayeb<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Université Ibn Khaldoun, BP 78 Zaaroura, 14000 Tiaret, Algérie.

<sup>2</sup>Laboratoire de Géomatique et Développement Durable, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie.  
belmasamir@yahoo.fr

(Received 5 September 2017 – Accepted 9 January 2018)

## RESUME

**Samir, Belmahi, Zidour Mohammed et Bensatllah Tayeb. 2018. Comportement mécanique des mortiers de chamotte à base d'un mélange de ciment-filler calcaire. Journal Scientifique Libanais, 19(1): 95-104.**

*Ce travail consiste à étudier le comportement mécanique des mortiers composés d'un mélange de ciment et de chamotte. Le filler calcaire est ajouté comme additif dans ce mélange. L'idée principale est de comparer ce mortier avec un mortier ordinaire, fabriqué avec un sable normal, ainsi de connaître la limite de leur utilisation dans la construction. Les résultats ont montré et confirmé que le mortier de chamotte ne peut pas donner des résistances meilleures qu'un mortier de sable normalisé. L'idée secondaire est d'introduire le filler calcaire fabriqué par l'ENG Tlemcen (Algérie) comme un ajout, les pourcentages proposés sont variés de 5% à 30 % de la masse de ciment. Les résultats ont montré que la substitution d'une partie de ciment par le filler calcaire aide à améliorer les résistances mécaniques et que la meilleure fraction du filler calcaire est fixée à 10%.*

**Mots clés :** Mortier, Chamotte, Filler Calcaire, Résistance, Compression, Traction.

## ABSTRACT

**Samir, Belmahi, Zidour Mohammed et Bensatllah Tayeb. 2018. Mechanical behavior of mortars composed of a mixture of cement and lime stone filler. Lebanese Scientific Journal, 19(1): 95-104.**

*This work consists in studying the mechanical behavior of mortars composed of a mixture of cement and fire-clay. The limestone filler is used as an additive in this mixture. The main idea was to compare this mortar with an ordinary mortar, made with a normal sand, thus, to know the limit of their use in construction. The results showed and confirmed that fire-clay mortar, cannot give better resistances than a normal sand mortar. The second idea was to introduce the limestone filler manufactured by ENG Tlemcen (Algeria) as an addition. The proposed percentages varied from 5% to 30% of the cement mass. The results obtained showed that the substitution of a part of cement by the limestone filler helps to improve the mechanicals resistances of mortars and that the best fraction of limestone filler was fixed at 10%.*

**Keywords:** Mortar, Fire-clay, limestone filler, Resistance, Compression, Tensile.

## INTRODUCTION

La chamotte et le filler calcaire sont des matériaux utilisés largement dans la construction ou pour fabriquer un autre type de matériau composite de caractéristiques recherchées. L'emploi de ces matériaux a un effet sur les plans économiques (Frédéric et al, 2008), non seulement pour la réduction du coût des matières premières, mais aussi pour la valorisation de déchets et la libération des plateformes de stockage, ainsi que sur le plan écologique, pour la

réduction des émissions des gaz de CO<sub>2</sub> (Frédéric et al, 2008) et empêchements ou éliminations de grandes surfaces de décharge.

Alors que la chamotte est une argile brute calcinée à une température de 1300 à 1400 °C, après cuisson cette chamotte est broyée et tamisée (Boussak et al, 2015). Elle est lisse et parfaitement inerte et réduit les retraits (Belamri, 2008). Sa teneur en Alumine (AL) varie entre 24% et 34% et en silice de 50% à 60% (Murray, 2000). Elle a une couleur plus claire, Blancs à jaunâtre, rosé, rouge, brun clair, etc. (Bélaid, 2003), avec une densité voisine de sable d'environ de 1300 Kg/m<sup>3</sup>.

L'introduction de la chamotte dans le mélange a pour objectif d'assurer une stabilité volumétrique vis-à-vis de la température et par conséquent empêche la fissuration et le retrait (Bélaid, 2003), (Bounib, 2013), comme elle peut améliorer la résistance de certains types de mortier. La nature de la chamotte dépend du mode de préparation (broyage, finesse, tamisage et température de cuisson, etc.) (Bélaid, 2003).

Le filler calcaire est quant à lui une poudre généralement d'une couleur blanche résultante d'un broyage très fin d'une roche calcaire (Michel, 2007), (Harrison, 1993). Le filler calcaire peut être utilisé dans deux cas : soit, le cas général, il substitue une fraction de ciment travaux de Z. Guemmadi et al (Guemmadi et al, 2009) et Frédéric Michel, (Frédéric et al, 2008), Paco Diederich (Diederich, 2010) pour fabriquer le béton auto plaçant, (Chaid et al, 2010) pour fabriquer un BHP, soit il est utilisé comme granulats, comme dans les travaux de Chiheb et al, où les auteurs ont utilisé un sable riche en filler calcaire pour fabriquer des bétons de hautes performances BHP, (Chiheb et al, 2016).

L'utilisation des additions minérales comme le filler calcaire est devenue aujourd'hui indispensable. Selon Paco Diederich (Diederich, 2010), ils remplacent une bonne partie de ciment dans le mélange et conduisent à la diminution du coût du béton ainsi que l'effet négatif du retrait dû à la chaleur d'hydratation du ciment. De point de vue chimique, les fillers calcaires appelés calcite (CaCO<sub>3</sub>) n'ont pas de propriétés pouzzolanéque (Guemmadi et al, 2009), mais ils réagissent avec la pâte d'alumine (aluminates de ciment (C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>) pour former un calcium mono-carboaluminate hydraté de type (C<sub>3</sub>A. CaCO<sub>3</sub>.11H<sub>2</sub>O) qui cristallise en fines plaquettes hexagonales et qui participera à la résistance au même titre que les autres hydrates (Caré et al, 2010), (Guemmadi et al, 2009). Cette particularité permet d'attribuer au filler calcaire la propriété d'une activité liante ou hydraulique (Caré et al, 2010).

De point de vue physique, il a été montré par calorimétrie que l'hydratation du silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) est plus rapide en présence de calcaires (CaCO<sub>3</sub>) due à un effet physique dit de «nucléation hétérogène» (Chaid et al, 2010), alors le calcaire joue le rôle d'un accélérateur dès les premiers instants et il dépend de sa finesse (granulométrie après broyage) et de sa quantité dans le mélange (Caré et al, 2010), donc plus les grains du calcaire sont fins et leur fraction dans le mélange est élevée, plus le rôle d'accélérateur sera favorable.

Aussi le filler calcaire permet de combler les vides présents dans le matériau ce qui traduit par une augmentation de la compacité qui va avoir des effets sur les propriétés à l'état frais et à l'état durci (Diederich, 2010), (Chaid et al, 2010). Dans le cas inverse, selon Caré et al, (Caré et al, 2010), l'ajout des additions en général en grande quantité permet d'augmenter le volume de la matrice (pâte), alors que la résistance en compression est sensible à l'épaisseur maximale de pâte, définie comme la distance moyenne entre deux gros gravillons adjacents. Plus cette distance augmente, plus la résistance diminue. Ce troisième effet de l'incorporation d'additions est négatif et appelé effet d'écartement des granulats (Caré et al, 2010).

Les fillers calcaires sont définis dans les normes NF P 18-545 et NF EN 12620 (Frédéric et al, 2008).

Donc l'objectif principal de cette recherche est de savoir à quel point on peut valoriser la chamotte et le filler calcaire pour fabriquer d'autres matériaux de construction tels que le mortier ou le béton.

## MATERIAUX ET PROCEDURE

### Matériaux

#### Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé CPJ-CEM II/B 32,5 R CHAMIL de la cimenterie de LAFARGE Algérie. Il présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 (IANOR. 2008) et la norme EN 197-1 (tableau 1). La détermination du temps de prise (durcissement) a été faite à l'aide de l'appareil de Vicat (norme EN 196-3 et normes NA 228 et 229 (IANOR. 2008)) qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.

**Tableau 1. Caractéristiques générales du ciment utilisé.**

Minéralogie du clinker		Temps de prise à 20° C	
C <sub>3</sub> S (%)	C <sub>3</sub> A (%)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
60 ± 3	7.5 ± 1	150 ± 30	250 ± 50
Analyses chimiques			
Perte au feu (%) (NA5042)	Teneur en sulfate (SO <sub>3</sub> ) %	Teneur en oxyde de magnésium MgO %	Teneur en chlorures (NA5042) %
13.0 ± 2	2.5 ± 0.5	1.7 ± 0.5	0.02 -0.04
Propriétés physiques			
Consistance normale (%)	Finesse (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	Retrait à 28 jours (µm/m)	Expansion (mm)
27 ± 2.0	4300 à 5500	<1000	≤ 3

#### Sable

Le sable utilisé est de granulométrie moyenne, d'une classe granulaire (d/D = 0/4 mm) de module de finesse égale à 2.2 (figure 2), les valeurs optimales de foisonnement (teneur en eau de 5% ; masse volumique apparente de 1047 Kg/m<sup>3</sup>). Sa masse volumique absolue est de l'ordre de 2500 Kg/m<sup>3</sup>. Il présente un équivalent de sable (ES = 76 %). Ce sable convient parfaitement pour fabriquer un mortier ou un béton de qualité.

#### Chamotte

La chamotte utilisée est un mélange de chamotte de la briqueterie de Rahouia-wilaya de Tiaret sous un état grenu et la chamotte obtenue par la brique pleine broyée et tamisée au niveau de notre laboratoire de génie civil, université de Tiaret (figure 1). La classe granulométrique de la chamotte a été reconstituée, en suivant la courbe granulométrique du sable. La classe granulométrique retenue est de (0/4) (figure 2), le pourcentage des fines est d'environ 0.6% avec un module de finesse égale à 2.08.



a) Broyage de la chamotte

b) Tamisage et analyse granulométrique

Figure 1. Préparation de la chamotte.

### Fillers calcaire

Les fillers calcaires sont fabriqués par l'entreprise algérienne de granulat (ENG Tlemcen) d'une roche calcaire dolomitique. La fiche technique de ce matériau a été fournie par le laboratoire de l'entreprise. Il présente une densité absolue de 2,70 et une surface massique égale à 2900 cm<sup>2</sup>/g. La courbe granulométrique de ce filler est représentée dans la figure 2 et sa composition chimique est résumée dans le tableau 2 suivant:

Tableau 2. Composition chimique du filler calcaire de l'ENG Tlemcen.

Éléments	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Anhydrite carbonatée	Eau de combinaison
Min %	4.73	33.81	18.59	0.49	93.64	41.20	0.49
Max %	5.64	34.09	20.06	0.54	96.97	42.67	0.56
Moy %	5.18	33.95	19.32	0.51	95.30	41.93	0.52

la figure 2 et comme indiqué ci-dessus , elle représente les trois courbes granulométriques des matériaux analysés : le sable, la chamotte et le filler calcaire. On remarque bien que la courbe granulométrique de la chamotte a été ajustée selon la courbe granulométrique du sable pour avoir la même classe granulométrique avec un module de finesse et pourcentage de fine proches.

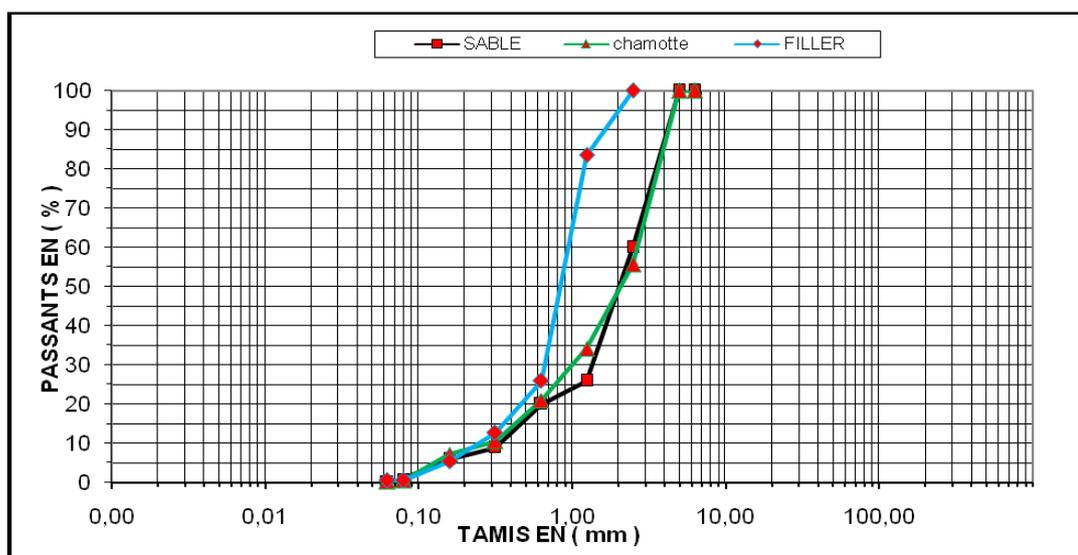


Figure 2. Courbes granulométriques des agrégats (sable, chamotte et filler calcaire).

### Procédure de formulation

Dans ce travail, on a commencé par la confection d'un mortier ordinaire composé d'un sable, de ciment et d'eau c'est le mortier témoin ou de référence. Par la suite la quantité de sable a été remplacée graduellement en deux parties par la chamotte : la première (50% de chamotte et 50% de sable), puis le secondaire (100% chamotte). Pour ce dernier, après le premier test on a constaté que le rapport E/C = 0.55 ne convient pas pour ce mélange d'où le besoin d'ajout d'un adjuvant pour ne pas nuire à la résistance des éprouvettes. Après plusieurs tests, les rapports suivants sont retenus (E/C= 0.55 et adjuvant, 0.3%).

La seconde partie de ce travail expérimental consiste à savoir l'effet ou l'apport du filler calcaire à la qualité de ce type de mortier, pour cela le filler calcaire a été substitué à la place du ciment avec les quantités suivantes : 5% ; 10% ; 20% et 30%. Les compositions finales sont résumées dans le tableau 3.

Tableau 3. Compositions des mortiers retenues.

Mortiers	Ciment (g)	Sable (g)	Chamotte (g)	Eau/Ciment E/C	Filler Calcaire	Adjuvant (%)
M1 (sable)	675	1350	/	0.55	/	/
M2 (50S/50C)	675	675	675	0.55	/	/
M3 (chamotte)	675	/	1350	0.55	/	0.3
M4 (5% Filler)	641.25	/	1350	0.55	33.75	0.3

M5(10% Filler)	607.5	/	1350	0.55	67.5	0.4
M6 (20% Filler)	540	/	1350	0.55	135	0.6
M7 (30% Filler)	472.5	/	1350	0.55	202.5	0.7

### Confection des éprouvettes

Les éprouvettes ont été préparées conformément à la norme EN 196-1 qui décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai. Ils ont une forme prismatique de volume (40 x 40 x 160) mm figure 3, elles doivent être moulées après 24 heures, et conservées dans l'eau aux conditions de laboratoire.



**Figure 3. Confection des éprouvettes (préparation des moules ; malaxage et remplissage).**

Tous les mortiers indiqués ci-dessus sont sujets à l'essai de traction par flexion à 28 jours, selon la norme ASTM C109/C 109M puis à l'essai de compressions à 28 jours, selon la norme ASTM C109/C 109M.



a) Essai de traction par flexion

b) essai de compression

Figure 4. Machines et essais mécaniques (traction et compression).

### RESULTATS ET DISCUSION

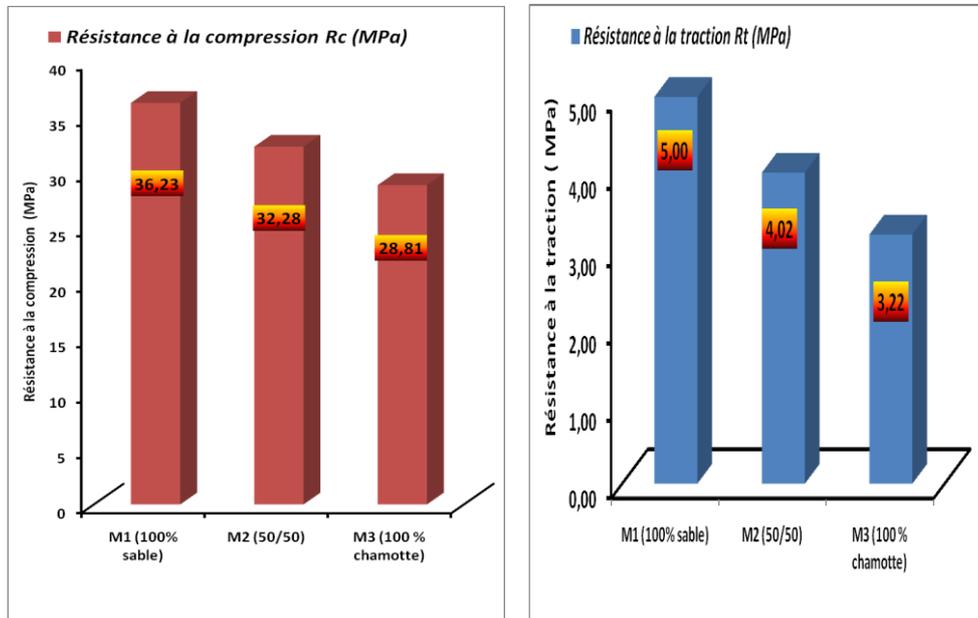
Les résultats obtenus durant ce travail, sont résumés dans le tableau 4, ci-dessous:

Tableau 4. Résultats: essais de compression et de traction.

Mortiers	Force de traction Ft (KN)	Résistance à la traction Rt (Mpa)	Force de compression Fc (KN)	Résistance à la compression Rc (MPa)
M1 (sable)	2.5	5.00	57.97	36.23
M2 (50Sable/50 Chamotte)	2.01	4.02	51.65	32.28
M3 (100% chamotte)	1.61	3.22	46.10	28.81
M4 5.% Filler	2.48	4.95	50.00	31.25
M5 10% Filler	2.62	5.23	53.65	33.53
M6 20% Filler	2.5	5.00	52.25	32.03
M7 30% Filler	2.38	4.76	49.25	30.78

#### Effet de la chamotte (Mortier de chamotte)

La figure 5, représente une comparaison entre le mortier témoin et les mortiers à base de chamotte (50% et 100%).

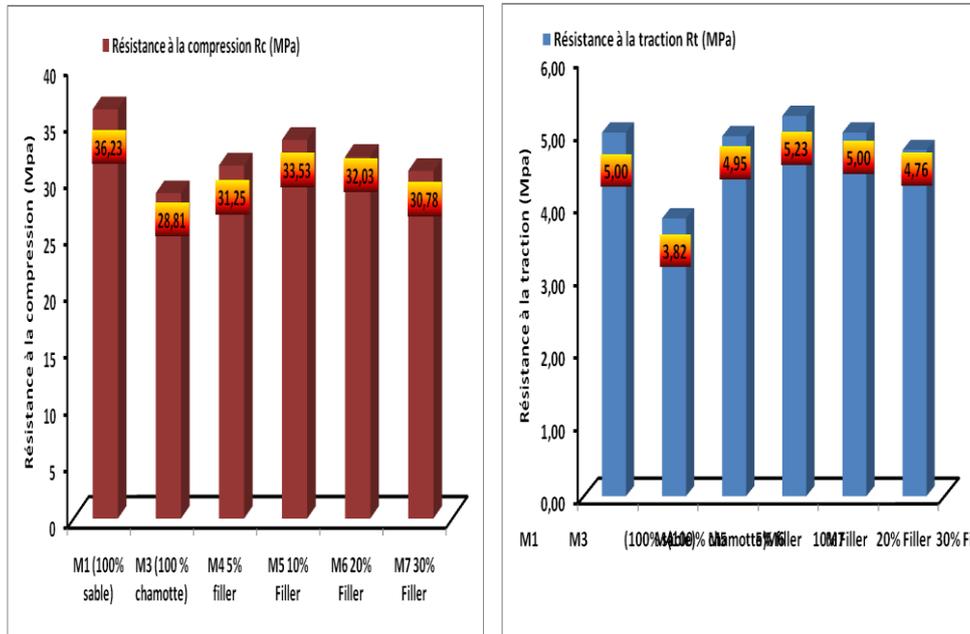


**Figure 5. Effet de la chamotte sur la résistance à la compression et à la traction.**

Nous constatons tous d'abord sur la figure 5, que les résistances ont été diminuées en remplaçant partiellement ou complètement le sable par la chamotte. Donc les résistances d'un mortier de chamotte restent faibles par rapport à un mortier de sable normal. Cette diminution est estimée à plus de 15 % pour la résistance à la compression et à plus de 35 % pour la résistance à la traction. Inversement on peut dire que l'ajout du sable dans un mortier de chamotte réagit positivement pour la qualité de ce dernier.

#### **Effet du filler calcaire**

La figure 6, représente l'effet de l'ajout du filler calcaire dans un mortier de chamotte, une comparaison a été faite on incluait le mortier témoin et les mortiers à base de chamotte (50% et 100%) seuls.



**Figure 6. Effet de filler calcaire sur la résistance à la compression et à la traction.**

Dans la figure 6, nous constatons tout d'abord qu'en faisant varier le dosage en filler de 0 à 30 %, les résistances augmentent puis diminuent pour les deux cas de la résistance, en compression et en traction :

De 0 à 10 % : l'augmentation est estimée à plus de 16 % (de 28.81 à 33.53 MPa) pour le cas de la résistance à la compression tandis que l'augmentation de la résistance à la traction est presque le double, estimée à plus de 36 % (de 3.82 à 5.23 MPa).

De 10 à 30 % : une diminution faible estimée à plus de 8 % (de 33.53 à 30.78 MPa) pour le cas de la résistance à la compression tandis que la diminution de la résistance à la traction est estimée à plus de 9 % (de 5.23 à 4.76 MPa).

Par ailleurs, on remarque que malgré ces pertes de résistance à partir des pourcentages de filler calcaire supérieurs à 10%, les résistances restent suffisantes et supérieures par rapport au cas de mortier sans filler (100 % chamotte).

Donc on peut dire que l'ajout du filler calcaire dans un mortier de chamotte est avantageux et bénéfique avec un meilleur rapport, selon notre étude, égal à 10%.

Les explications de ces valeurs relatives et commentaires données ci-dessus peuvent être comparées à quelques travaux de recherche notamment le travail de Guemmadi et al, (Guemmadi et al, 2009) où ils ont montré, comment le filler calcaire affecte la microstructure de l'incorporation de béton. Ils ont étudié l'influence de plusieurs types de filler calcaire (F5, F10 et F29) de diamètres médians respectivement (5 µm, 10 µm et 29 µm) avec des différents pourcentages de filler calcaire de 6 à 42% de la masse de ciment. L'utilisation de la microscopie électronique à balayage sur la microstructure de ces échantillons de béton durci a montré que l'ajout du filler calcaire jusqu'à 30% donne une structure plus dense et plus homogène du béton, avec une meilleure valeur obtenue par le filler calcaire type (F5) selon leur étude et avec un pourcentage de 18%.

L'amélioration de la résistance, chose obtenue dans notre travail peut être justifiée par la revue bibliographique rédigée en introduction de ce présent travail, elle est essentiellement due à l'effet accéléré de formation d'hydrate de carboaluminates de calcium par le filler calcaire et qui a contribué à l'augmentation globale du taux d'hydratation ainsi que la bonne répartition de Silicates de Calcium Hydratés (CSH). Par contre, la microscopie électronique à balayage Guemmadi et al, (Guemmadi et al, 2009) a confirmé que le béton devient plus hétérogène lorsque la quantité de filler calcaire est très élevée et aussi lorsque la granulométrie de filler calcaire augmente, ce qui correspond à l'augmentation de la taille des pores et par conséquent béton moins dense et moins compact.

En conclusion, on peut dire que le mortier de chamotte (100% chamotte) est un mortier d'une résistance représentée en moyens de 15 à 35% d'un mortier ordinaire de sable (100% sable). Le mélange du sable avec de la chamotte (50% chamotte/ 50% sable) est la solution idéal pour la valorisation de la chamotte. Les résistances peuvent être encore augmentées de plus de 15 % pour la compression et de plus de 35 % pour le cas de la traction en ajoutant le filler calcaire à environ de 10% selon notre étude et au moins de 20% selon la littérature, au-delà de ces valeurs, la résistance commence à chuter faiblement, mais elle reste suffisante et supérieure par rapport au cas de mortier sans filler (100% chamotte).

## REFERENCES

- Bélaïd, A. 2003. *Élaboration et caractérisation d'un matériau réfractaire thermorésistant pour supports de cuisson rapide des produits céramiques*. Thèse de doctorat. Université de Boumerdes, Algérie.
- Belamri, Z. 2008. *Élaboration et caractérisation des matériaux poly cristallins à base de kaolin DD et KT2*. Mémoire de magister en physique. Université Mentouri Constantine, Algérie.
- Bounib, H. 2013. *Élaboration et caractérisation microstructurale et mécanique des réfractaires à base de kaolin DD3 et la dolomite (5-20% poids)*. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas-Sétif. Algérie.
- Boussak, H., Chemani, H. and Serier, A. 2015. Characterization of porcelain tableware formulation containing bentonite clay. *International Journal of Physical Sciences*, 10: 38-45.
- Caré, S., Linder, R., Baroghel-Bouny, V., de Larrard, F. et Charonnat, Y. Effet des additions minérales sur les propriétés d'usage des étons, plan d'expérience et analyse statistique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). France.
- Chaid R., R. Jauberthie et A. Boukhaled. 2010. Effet de l'ajout calcaire sur la durabilité des bétons. *Lebanese Science Journal*, 11(1): 91-103.
- Chiheb, D., Belaoura, M., Oudjit, M. N. et Bali, A. 2016. Incorporation des sables concassés à différents taux de fillers dans la composition des bétons à tres hautes performances: comportement mécanique et durabilité. *Lebanese Science Journal*, 17(2): 146-165.
- Frédéric Michel, Julie Pierard, Luc Courard. 2008. Application du concept de performance équivalente aux bétons additionnés de fillers calcaires. XXIV Rencontre Universitaire de Génie Civil RUGC 4 au 6 juin 2008.
- Guemmadi, Z., M. Resheidat, H. Chabil and B. Toumi. 2009. Modeling the Influence of Limestone Filler on Concrete: A Novel Approach for Strength and Cost. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 3(2):158-171.
- Harrison, D. J. 1993. Mineralogy and petrology series. Pp. 12-13 *In: Industrial minerals laboratory manual: limestone*. BGS (British geological survey) technical report WG/92/29.
- Haydn, H. Murray. 2000. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, 17(5-6): 207-221.
- Michel, F., Pierard, J., Courard, L. and Pollet, V. 2007. Influence of physic-chemical characterization of limestone filler on fresh and hardened mortar performances. Pp. 205-210 *In: Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium on Self-compacting Concrete*. Gent, Belgium.
- Paco Diederich. 2010. Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement auto plaçant du béton. Thèse de doctorat. Université de Toulouse III - Paul Sabatier.
- IANOR. 2008. Institut Algérien de Normalisation (IANOR) liants, bétons, granulats. Recueil des normes Algériennes (NA), applicables au secteur des Travaux Publics.