

## EFFETS DU TAUX DE SUBSTITUTION DE 15% DE SABLE DE DÉCHETS DE CÉRAMIQUES SUR LES PROPRIÉTÉS D'UN BÉTON HYDRAULIQUE

### EFFECTS OF THE 15% SUBSTITUTION RATE OF SAND OF CERAMIC WASTE ON THE PROPERTIES OF A HYDRAULIC CONCRETE

Réception: 01/11/2019

Acceptation: 14/12/2019

Publication: 09/01/2020

HEBHOUB Houria<sup>1</sup>, KHERRAF Leila<sup>2</sup>, MOUATS Wassila<sup>3</sup>, ABDELOUAHED Assia<sup>4</sup>, BOUGHAMSA Wassila<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda – hebhoubhouria@yahoo.fr

<sup>2</sup>Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda – kherrafleila@yahoo.com

<sup>3</sup>Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda – mouats.wassila@gmail.com

<sup>4</sup>Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda – assiaabdelouahed@yahoo.fr

<sup>5</sup>Laboratoire LMGHU, Université 20 Aout 1955- Skikda – boughamsawassila@yahoo.fr

**Résumé-** L'objectif de cette investigation est d'étudier la faisabilité du remplacement partiel du sable ordinaire par un sable recyclé issu des déchets de céramiques dans la composition d'un béton hydraulique. Le but visé est de minimiser l'épuisement des ressources des granulats ordinaires et de réduire l'impact environnemental de ces déchets. À cet effet, le sable de déchets de céramique a substitué partiellement un sable ordinaire à un taux égal à 15%. Le comportement à l'état frais (densité, ouvrabilité et air occlus) ainsi que les performances mécaniques à l'état durci (résistance en compression et en traction par flexion, résistance à la surface et homogénéité, absorption par immersion, absorption capillaire et pénétration des chlorures à l'âge de 28 jours) ont été évalués et comparés à ceux du béton témoin renfermant 100% de sable ordinaire. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de 15% de sable de déchets de céramique améliore les propriétés du béton hydraulique ainsi que sa durabilité.

**Mots - clés :** Valorisation, Déchets de céramiques, Performances, Durabilité, Béton hydraulique.

**Abstract-** The aim of this investigation is to study the feasibility of partially replacing of ordinary sand with recycled sand issued from ceramic waste in the composition of hydraulic concrete. The purpose is to minimize the depletion of ordinary aggregates and reduce the environmental impact of these wastes. In this context, the ceramic waste sand has partially substituted an ordinary sand at a rate equal to 15%. The behaviour in the fresh state (density, workability and air content) as well as the mechanical performances in the hardened state (compressive and flexural tensile strength, surface resistance and homogeneity, absorption by immersion, capillary absorption and chloride penetration at age 28 days) were evaluated and compared to those of control concrete containing 100% of ordinary sand. The results show that the use of 15% of ceramic waste sand improves the properties of hydraulic concrete as well as its sustainability.

**Keywords :** Valorization, Ceramics wastes, Performances, Durability, Hydraulic concrete,

## 1-Introduction

De nos jours, les chantiers de déconstruction génèrent des quantités importantes de déchets de céramique. Ces déchets sont généralement inertes, sans pollution de l'environnement et sans influence sur la santé humaine. Toutefois, ils constituent

une pollution visuelle (Arabi et Berredjem, 2011) [1]. À cet effet, leur élimination est souvent onéreuse. Le recyclage est l'une des nombreuses voies qui offrent une excellente occasion pour réduire le volume de ces déchets et la préservation des ressources naturelles (Senhadji et al, 2014) [2].

Plusieurs chercheurs à travers le monde ont démontré qu'il est possible, entre autres applications, de les utiliser en tant que granulats dans la production d'objets en béton non structurels.

En effets, Medina et al., 2011[3] ont introduit les matériaux céramiques dans la composition du béton. Ils ont trouvé que ces déchets présentent des caractéristiques pouzzolaniques acceptables en contribuant à augmenter les résistances mécaniques à moyen et court terme ainsi que la résistance chimique des bétons aux agents agressifs et peuvent être utilisés dans la production de béton préfabriqué.

Tavakoli et al., 2013 [4] ont étudié la possibilité d'utiliser des chutes de carreaux de céramique dans le béton. Les granulats grossiers ont été remplacés dans la plage de 0 à 40%. Ils ont trouvé que la résistance à la compression augmente de 5,13%, tandis que l'affaissement, l'absorption d'eau et la masse volumique diminuent de 10%, 0,1% et 2,29%, respectivement, avec une substitution de 10%.

Anderson et al., 2016 [5] ont remplacé dans un béton témoin un granulats grossiers par trois matériaux de carreaux de céramique de rebut différents avec des taux de 20%, 25%, 35%, 50%, 65%, 75%, 80% et 100% respectivement. Les résultats ont montré que les déchets de céramique peuvent être utilisés comme matériau de remplacement des granulats grossiers avec un minimum de modifications des propriétés mécaniques.

Dans l'étude élaborée par Medina et al., 2016 [6], 20% et 25% des granulats ordinaires grossiers dans le béton ont été remplacés par des granulats recyclés de l'industrie des appareils sanitaires pour étudier les effets sur la pénétration du chlorure et la résistivité électrique ainsi que la relation entre les indicateurs de durabilité qui prédisent des performances concrètes lors de sa durée de vie. Les résultats obtenus ont stipulé que la pénétration du chlorure était légèrement plus profonde dans les bétons recyclés, alors qu'aucune modification n'a été observée dans la relation entre les indicateurs de durabilité. La résistivité électrique, à son tour, a été observée à la hausse avec l'utilisation des granulats recyclés en raison des caractéristiques intrinsèques de ce matériau. Les nouveaux

bétons se sont révélés aussi durables que le matériau conventionnel et ont donné des résultats satisfaisants tout au long de leur durée de service.

Les granulats de céramiques fins et grossiers ont substitués 25, 50, 75 et 100% des granulats ordinaires, dans l'étude effectuée par Awoyera et al., 2016 [7]. Les résultats publiés montrent que les granulats de céramique donnent de meilleurs résultats que les mélanges de béton de référence en ce qui concerne la résistance à la compression, l'absorption capillaire de l'eau, la perméabilité à l'oxygène et la diffusion du chlorure conduisant ainsi à un béton plus durable pour les structures.

Koeh, 2017 [8] a étudié les propriétés du béton fabriqué en incorporant les déchets de céramique broyés sous forme de granulats fins. Il a conclu que les déchets de céramique broyés ne peuvent pas remplacer le sable de rivière comme un granulats fin, car les propriétés techniques obtenues du béton sont inférieures à celles du béton de référence.

L'objectif principal du présent travail est de valoriser les déchets de céramiques dans la fabrication du béton en vue d'économiser les granulats ordinaires et d'éliminer les déchets par recyclage d'où la protection de l'environnement. Dans ce travail, une étude expérimentale a été entreprise afin d'étudier les modifications apportées sur un béton hydraulique par le remplacement partiel avec un taux de 15% d'un sable ordinaire par un sable de déchets de céramiques (chutes de faïences) et ce, à l'état frais (densité, ouvrabilité et air occlus) et à l'état durci (résistance en compression et en traction par flexion, scléromètre et ultrason, absorption par immersion et capillaire et pénétration des chlorures). Le choix de ce taux est basé sur des études antérieures [7, 9, 10], qui stipulent qu'il était possible d'obtenir un béton de meilleure qualité que le béton témoin en substituant des granulats fins avec divers proportions allant de 10% à 50% de matériau céramique sans préciser le comportement pour le taux de 15% qui fera l'objet de ce travail.

## 2- Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans ce travail sont :

- Ciment CPJ-CEM II 42.5 (S-L) provenant de la cimenterie de Hdjar Soud (Skikda). La composition chimique et les caractéristiques physiques de ce ciment sont données dans le Tab. 1 ;
- Un sable de dune SD d'origine Oued Zhor (Skikda) ;
- Un gravier de carrière de classe 3/8 (G3/8) de provenance de Ain Abid (Constantine) ;
- Un gravier de carrière de classe 8/15 (G8/15) de provenance de Ain Abid (Constantine) ;
- Un sable de déchet de céramique SC de classe 0/2 obtenue par concassage des chutes de carreaux de faïence puis tamisé au moyen d'un tamis 2mm ;
- Eau de gâchage du robinet.

**Tableau 1 :** Propriétés du ciment

**Table 1 :** Cement properties

Propriétés	Valeur
Masse volumique apparente $g/cm^3$	1.04
Masse volumique absolue $g/cm^3$	3.08
Surface spécifique Blaine $cm^2/g$	3200
Consistance normale %	28.6
Début de prise min.	186
Fin de prise min.	228
CaO %	60.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	5.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3.52
SiO <sub>2</sub> %	22.21
MgO %	1.12
Na <sub>2</sub> O %	0.16
K <sub>2</sub> O %	0.8
Cl <sup>-</sup> %	0.003
SO <sub>3</sub> %	2.45
P.A.F %	7.5
CaO libre %	2

Les propriétés des sables sont présentées dans le Tab. 2 et les courbes granulométriques des granulats sont données par la Fig.1.

D'après les résultats des essais de caractérisations on constate que :

- Le sable de déchets de céramique donne le plus faible pourcentage de fines argileuses ;
- Le sable ordinaire est plus propre que le sable de déchets de céramique ;
- Le coefficient d'absorption du sable de déchets de céramique est plus fort que le coefficient d'absorption du sable ordinaire, c'est un signe que le sable recyclé donne un

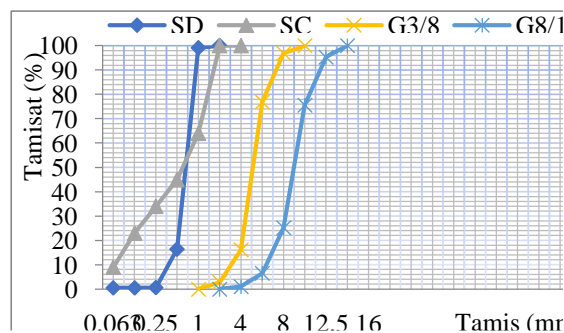
béton moins durable en comparaison avec le béton à base de sable ordinaire ;

- Le sable de déchets de céramique est riche en Silice et contient des quantités importantes de chaux et d'alumine.

**Tableau 2 :** Propriétés des sables

**Table 2 :** Sands propertie

Propriétés	SD	SC
Masse volumique apparente $g/cm^3$	1.50	1.54
Masse volumique absolue $g/cm^3$	2.580	2.630
Valeur au bleu de méthylène %	1.00	0.5
Module de finesse %	1.90	1.68
Équivalent de sable %	86	81.4
Absorption %	1.25	3.36
CaO	0.60	12.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.70	13.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.10	6.10
SiO <sub>2</sub>	95.00	50.20



**Figure 1 :** Courbes granulométriques des granulats

**Figure 1 :** Granulometric curves

## 3- Programme expérimental

L'objectif de ce travail est d'étudier les modifications apportées sur un béton hydraulique par le remplacement partiel (avec un taux de 15%) d'un sable ordinaire de nature roulée par un sable recyclé issu des déchets de céramique.

La formulation du mélange du béton témoin (BT) a été obtenue à l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse avec les paramètres fixes dont le rapport E/C= 0.55, le dosage en ciment (350  $kg/m^3$ ) et le squelette granulaire continu. La composition du mélange (BC) a été obtenue en remplaçant le sable ordinaire par 15% de sable déchets de céramiques (Tab. 3). La résistance souhaitée est de 20MPa avec une

consistance plastique et granulats ordinaires de bonne qualité dont le rapport G/S=2,30. La substitution du sable ordinaire par le sable de déchets de céramique est pondérale.

**Tableau 3 :** Composition des mélanges

**Table 3 :** Mixture composition

Bétons	E L	SD Kg/m <sup>3</sup>	SC Kg/m <sup>3</sup>	G 3/8 Kg/m <sup>3</sup>	G 8/15 Kg/m <sup>3</sup>
BT	192	711.75	--	511.75	587.00
BC	192	605.00	108.50	511.75	587.00

Les essais réalisés sur les mélanges à l'état frais et durci sont:

- Mesure de la densité selon la norme NF EN 12350-6 ;
- Mesure de l'ouvrabilité par affaissement au cône d'Abrams selon la norme NF P18-451 ;
- Mesure de l'air occlus selon la norme NF P18-583 ;
- Résistance à la compression à 7jours, 28jours et 90jours sur éprouvettes cubiques 15x15x15cm<sup>3</sup> selon la norme NF P18-406 (03 éprouvettes par essai) ;
- Résistance à la traction par flexion a 7jours, 28jours et 90jours sur éprouvettes 7x7x28 cm<sup>3</sup> selon la norme NF P18-407 ;
- Essai au scléromètre à l'âge 28jours sur éprouvettes cubiques de 20x20x20 cm<sup>3</sup> selon la norme EN12-504-2 ;
- Essai ultrasonique à l'âge 28 jours sur éprouvettes cubiques de 20x20x20 cm<sup>3</sup> selon la norme EN12-504-4 ;
- Essai d'absorption par immersion selon la norme NF P 18-555 ;
- Essai d'absorption capillaire sur éprouvettes 7x7x28cm<sup>3</sup> selon la norme ;

- Essai de pénétration des chlorures à l'âge 28jours sur éprouvettes 7x7x28cm<sup>3</sup> selon la norme NF EN 12390-11.

## 4- Résultats et discussion

### 4.1- Densité

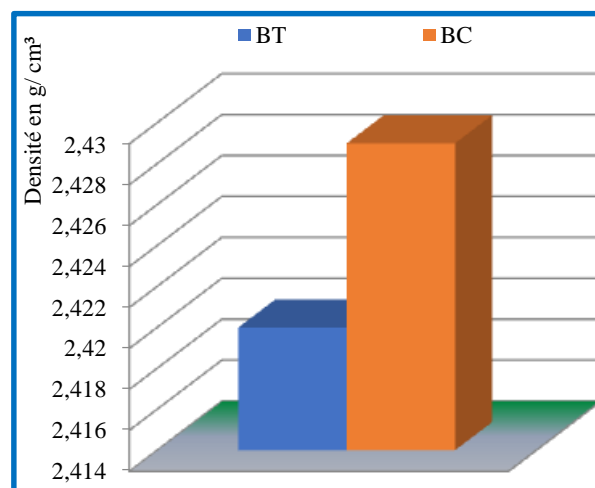
Dans le Tab.4 on présente les résultats de l'essai de la densité.

**Tableau 4 :** Résultats de l'essai de la densité

**Table 4:** Results of the density test

Désignations	Densité g/cm <sup>3</sup>
BT	2.420
BC	2.429

Dans la Fig. 2, la substitution du sable ordinaire par le sable de déchets de céramique, mène à une légère augmentation de la densité de l'ordre de 0.37 % par rapport à celui du béton ordinaire. Ces résultats ne correspondent pas avec ceux trouvés par (Silva et al, 2009 et Vieira et al, 2016) [11, 12]. Ceci peut être dû à la différence des densités des deux sables.



**Figure 2 :** Comparaison des densités des mélanges de BT et BC

**Figure 2:** Comparison of densities of BT and BC mixtures

## 4.2- Ouvrabilité

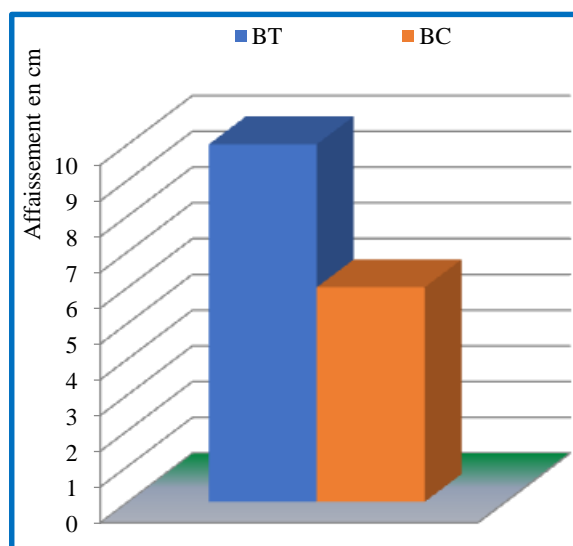
On présente les résultats de l'essai d'affaissement dans le Tab.5.

**Tableau 5 :** Résultats de l'essai d'affaissement

**Table 5:** Results of the workability test

Désignations	Affaissement en cm
BT	10
BC	6

La Fig. 3 indique que l'introduction de sable de déchets de céramique dans le béton témoin engendre une diminution de l'ouvrabilité. Ce résultat est conforme avec celui publié par (Neto and Leite, 2018) [13]. Cette décroissance de la maniabilité est justifiée par le module de finesse et l'absorption d'eau élevée de ce dernier (Cabrera et al., 2015) [14] et également due à une plus grande angularité de la forme des grains du sable déchet de céramique.



**Figure 3 :** Comparaison de l'ouvrabilité des mélanges de BT et BC

**Figure 3:** Comparison of workability of BT and BC mixtures

## 4.3- Air occlus

Les résultats de l'essai de l'air occlus sont donnés dans le Tab.6.

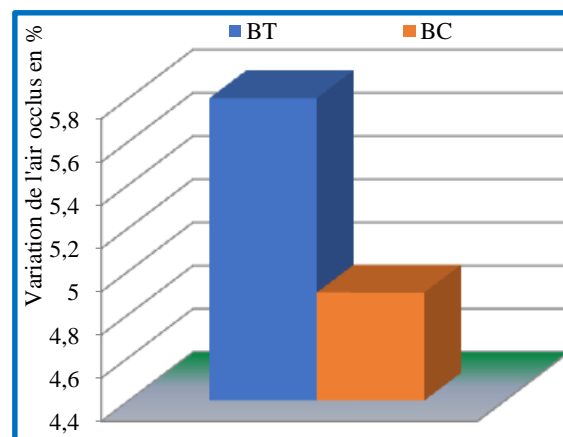
**Tableau 6 :** Résultats de l'essai de l'air occlus

**Table 6:** Results of air content test

Désignations	% air occlus
BT	5.8
BC	4.9

Dans la Fig. 4, la substitution de 15% de sable ordinaire par le sable de déchet de céramique entraîne une diminution de la teneur en air occlus de 12,5%. Cette constatation correspond aux résultats trouvés par Neto and Leite, 2018 [13].

On peut expliquer ce résultat par le fait que l'inclusion de sable de déchet de céramique provoque un raffinement du système de pores en augmentant le volume des pores capillaires et diminuant le volume des macros pores.

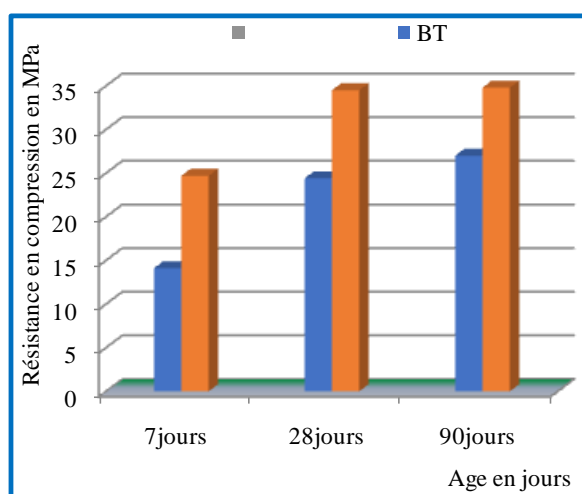


**Figure 4 :** Comparaison de la teneur en air occlus des mélanges de BT et BC

**Figure 4:** Comparison of air content of BT and BC mixtures

On peut dire que les caractéristiques des bétons à l'état frais sont influencées par la forme des grains et l'absorption du sable recyclés.

#### 4.4- Résistance à la compression



**Figure 5 :** Variation de la résistance à la compression en fonction du taux de substitution

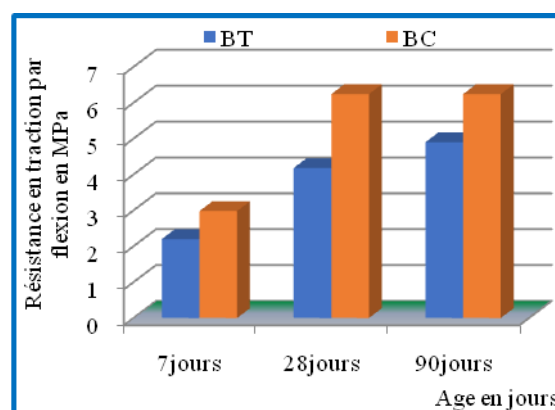
**Figure 5 :** Variation of compressive strength versus substitution rate

Selon la Fig. 5, l'introduction du sable de déchets de céramique améliore la résistance à la compression du béton ordinaire aux trois échéanciers 7 jours, 28 jours et 90 jours. Ces résultats coïncident avec ceux énoncés par Silva et al., 2009 [11].

L'augmentation de la résistance aux jeunes âges (7 et 28 jours) est due à l'augmentation de la calcite et l'oxyde d'aluminium dans la composition du mélange, ce qui facilite la granulation et la qualité des hydrates formés.

Au-delà de 28 jours, l'introduction du sable de déchets de céramique a entraîné une activité pouzzolanique, ce qui engendre un grand développement des résistances au cours du temps (Vieira et al., 2016) [12]. De plus, la capacité d'absorption d'eau du déchet de céramique réduit finalement le rapport eau / ciment. Il y a aussi lieu de noter que la résistance augmente avec l'âge (Medina et al., 2011) [3].

#### 4.5- Résistance à la traction par flexion



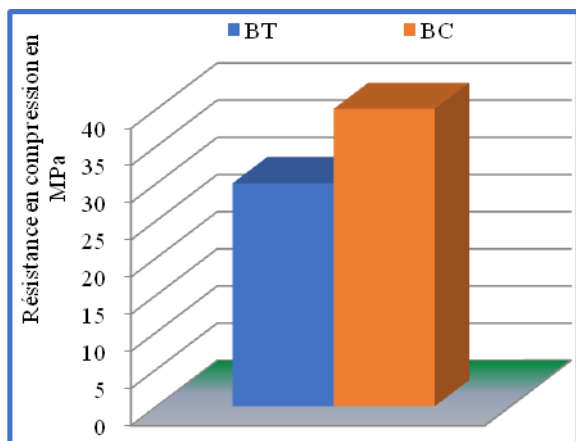
**Figure 6 :** Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du taux de substitution

**Figure 6:** Variation of tensile strength versus substitution rate

Sur la figure 6, on remarque que le comportement en traction est le même qu'en compression. L'introduction de déchets de céramique améliore la résistance à la traction par flexion du béton. Ces résultats sont en cohérence avec ceux trouvés par Silva et al., 2009 [11] et Abadou et al., 2018 [15]. Cette constatation est expliquée particulièrement par une densification des hydrates nés suite à l'amélioration du processus d'hydratation.

#### 4.6- Résistance en compression obtenue par l'essai sclérométrique

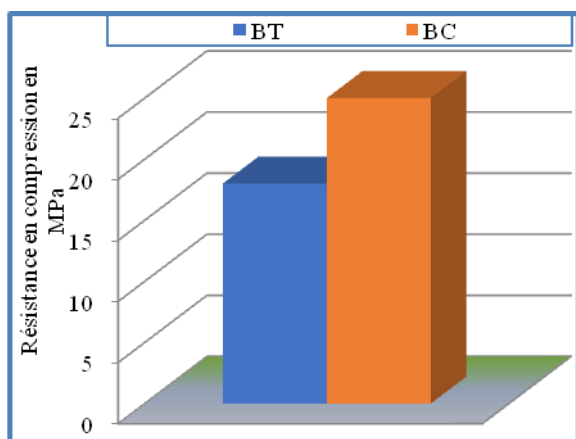
D'après la Fig. 7, la dureté et la résistance à la surface est plus élevée dans le béton à base de sable de déchets de céramique en comparaison avec le béton témoin. Ceci est principalement dû à la morphologie des granulats de céramique qui offre une meilleure adhérence à la pâte que les granulats ordinaires (Medina et al., 2011) [3].



**Figure 7 :** Résistance en compression obtenue par sclérométrie

**Figure 7:** Compressive strenght obtened by sclerometer

#### 4.7- Résistance en compression obtenue par ultrason

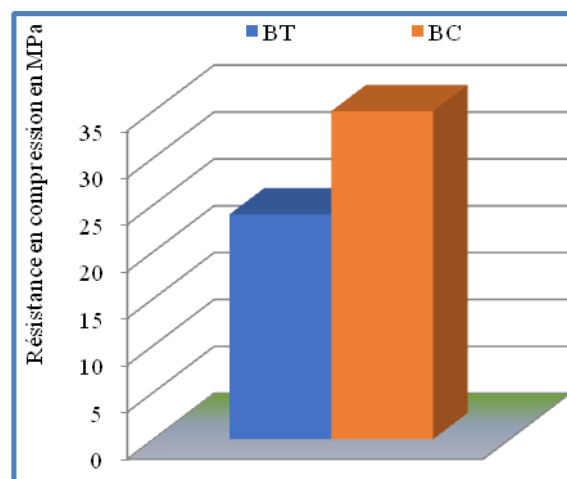


**Figure 8 :** Resistance en compression obtenue par ultrason

**Figure 8:** Compressive strenght obtened by ultrason

La résistance en compression obtenue par l'essai ultrasonique est la même que la résistance obtenue par l'essai sclérométrique. L'introduction du déchet de céramique (Fig.8) conduit à augmenter la résistance du béton à l'âge de 28 jours. Donc, l'introduction du sable de déchets de céramique améliore l'homogénéité du béton.

#### 4.8- Combinaison ultrason/scléromètre



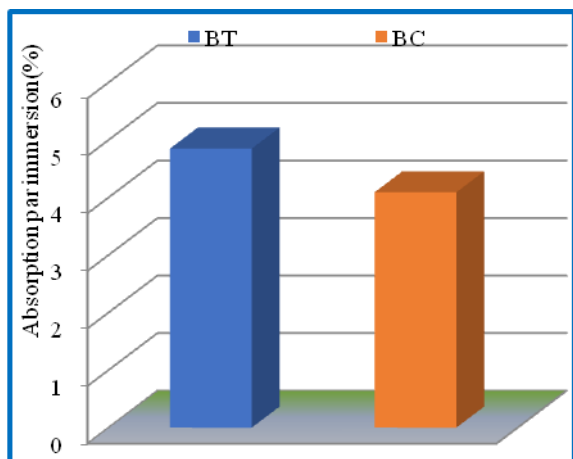
**Figure 9 :** Résistance en compression calculée par la méthode combinée

**Figure 9:** Compressive strenght calculated with combined method

La résistance maximale affichée par la combinaison ultrason/scléromètre (Fig. 9) est donnée par le béton à base de sable de déchets de céramique tandis que la valeur minimale est donnée par le béton témoin.

#### 4.9- Absorption d'eau par immersion

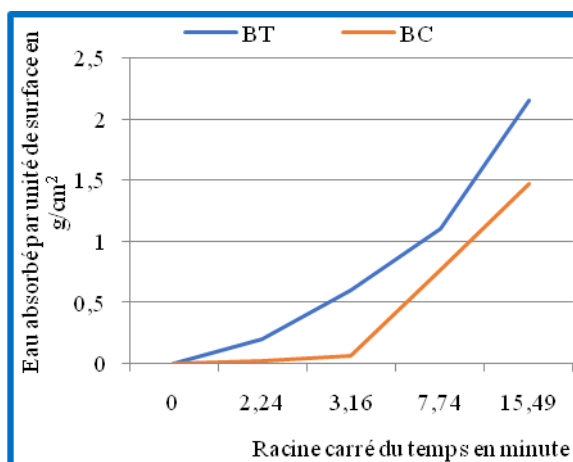
D'après la Fig. 10, l'absorption d'eau maximale est donnée par le béton témoin alors que l'absorption minimale est donnée par le béton à base de sable de déchets de céramique. Donc le sable de déchets de céramique diminue l'absorption d'eau contrairement aux résultats trouvés par Vieira et al., 2016 [12]. Cela peut être expliqué par le degré d'hydratation de la matrice cimentaire plus élevée, liée à la plus haute absorption d'eau de sable de déchets de céramique.



**Figure 10 :** Variation de l'absorption par immersion en fonction du taux de substitution

**Figure 10:** Variation of water absorption by immersion versus substitution rate

#### 4.10- Absorption d'eau par capillarité



**Figure 11 :** Variation de l'absorption par capillarité en fonction de la racine carrée du temps

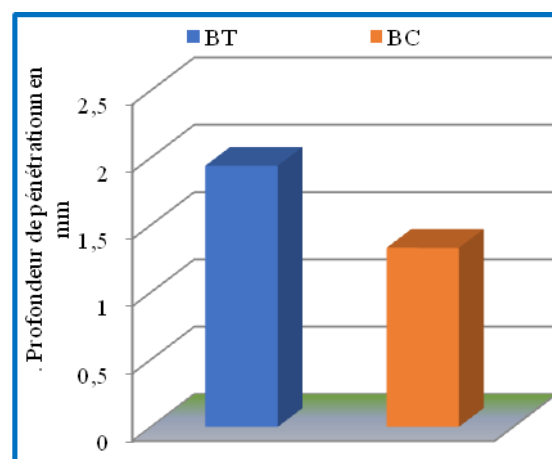
**Figure 11:** Variation of capillarity absorption versus of the square root of time

L'absorption d'eau par capillarité (Fig. 11) augmente avec le temps, l'absorption maximale étant donnée par le béton témoin. Les courbes présentent une variation très éloignée entre le béton à base de sable de déchets de céramique et le béton ordinaire. Au-delà de 10 minutes, l'absorption est plus accentuée.

L'introduction de sable de déchets de céramique entraîne une diminution de l'absorption par capillarité en raison des réactions pouzzolaniques entre la silice, l'alumine et l'oxyde de calcium entraînant par conséquent la formation de pores capillaires avec un diamètre plus petit (Vieira et al., 2016) [12].

#### 4.11- Pénétration des chlorures

Dans la figure 12, on note que l'introduction de sable de déchets de céramique conduit à diminuer la profondeur de pénétration des chlorures par rapport à celle du béton témoin en raison de la formation de produits d'hydratation supplémentaires capables de se lier aux ions chlorures (Vieira et al., 2016) [12].



**Figure 12 :** Variation de la profondeur de pénétration des chlorures en fonction du taux de substitution

**Figure 12:** Variation of chlorid penetration versus substitution rate

## 5-Conclusion

D'après cette étude on conclut que :

- L'introduction de 15% de sable de déchets de céramique influe légèrement sur la densité du béton ;
- L'introduction du sable de déchets de céramique diminue l'ouvrabilité ;



- La teneur en air occlus diminue par l'introduction de sable de déchets de céramique ;

- L'utilisation du sable de déchets de céramiques dans le béton hydraulique avec un taux de 15% améliore la résistance à la compression et à la traction par flexion, l'homogénéité et la dureté à la surface, diminue l'absorption d'eau par immersion et par capillarité et retarde la diffusion des ions de chlorure.

D'une manière générale la substitution de 15% de sable ordinaire par un sable recyclé (déchets de céramique) influe positivement sur les propriétés du béton.

### Références bibliographiques

[1] Arabi, N. et Berredjem, L., *Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons*, Déchets - Revue Francophone d'Ecologie Industrielle, n° 60, pp 25-30, 2011.

[2] Senhadji, Y., Escadeillas, G., Mouli, M., Khelafi, H. et Benosman, S., *Influence of natural pozzolan, silica fume and limestone fine on strength, acid resistance and microstructure of mortar*, Powder Technology, Elsevier, Vol. 25. N° 4, pp 314–323, 2014.

[3] Medina, C., Sánchez de Rojas, M. I., Frías, M. and Juan, A., *Using ceramic materials in coefficient concrete and precast concrete products*, Advances in Ceramics - Electric and Magnetic, Publisher Intech Open , pp 534-550, 2011.

[4] Tavakoli, D., Heidari, A., & Karimian, M., *Properties of concretes produced with waste ceramic tile aggregate*, Asian J. of Civil Eng., 14(3), 369-382, 2013.

[5] Anderson, D. J., Smith, S. T., & Au, F. T., *Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate*, Constr. Build. Materls., 117, 20-28, 2016.

[6] Medina, C., De Rojas, M. S., Thomas, C., Polanco, J. A., & Frías, M., *Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate. Inter-indicator*

*relationships*, Const. Buil. Materls., Vol.105, 480-486, 2016.

[7] Awoyera, P. O., Akinmusuru, J. O., & Ndambuki, J. M., *Green concrete production with ceramic wastes and laterite*, Const. Buil. Materls., Vol.117, 29-36, 2016.

[8] Koech, A. K., *Full Replacement of Fine Aggregate in Concrete with Crushed Ceramic Waste*, Global J. Enviro. Sci. Technol., Vol.5, n° 6, 488-520, 2017.

[9] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S., *Reusing ceramic wastes in concrete*, Constr. Build. Materls., Vol. 24, n° 5, 832-838, 2010.

[10] Guerra, I., Vivar, I., Llamas, B., Juan, A., & Moran, J., *Eco-efficient concretes: The effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete*, Waste management, 29, n° 2, 643-646, 2009.

[11] Silva, J., de Brito, J., and Veiga, M. D.R., *Incorporation of fine ceramics in mortars*, Constr. Build. Materls., Vol. 23, n° 1, pp 556–564, 2009.

[12] Vieira, T., Alves, A., de Brito, J., Correia, J.R., and Silva, R.V., *Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware*, Materls & Design, Vol. 90, 767–776, 2016.

[13] Neto, G.A.S and Leite, M.B., *Study of the influence of the mortar fine recycled aggregate ratio and the mixing sequence on the behavior of new mortars*, Ambient. Constr. Vol. 18, n° 2, 2018.

[14] Cabrera, F., Gómez, J., Almaral, J. Arredondo, S., and Corral, R., *Mechanical properties of mortars containing recycled ceramic as a fine aggregate replacement*, J. Constr., Vol.14, n° 3, pp 22-29, 2015.

[15] Abadou, Y., Kettab, R. and Ghrieb, A., *Durability of a repaired dune sand mortar modified by ceramic waste*, Eng. Struct. Technol., Vol. 10, n° 1, pp 1-9, 2018.