

USE OF GLASS AGGREGATES AS A PARTIAL SAND REPLACEMENT: EFFECTS ON MORTAR PERFORMANCE

L. Mechri¹, S. Saggai^{*1,2}, D. Benlarbi-Oulhaci¹, L. Benharoune³

¹Laboratoire d'Exploitation et de Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides (EVRNZA), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie

²Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien (GEEMS), Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie

³Département Génie Civil et Hydraulique. Faculté des Sciences Appliquées, Université Kasdi Merbah, 30 000 Ouargla, Algérie

Received: 11 May 2020 / Accepted: 08 November 2020 / Published online: 01 January 2021

ABSTRACT

The present study consists in verifying the effect of the partial replacement of alluvial sand by glass aggregates on the performance of mortar. For that, a series of mechanical tests (compression and bending) and an examination of the pozzolanic activity were carried out on samples of prismatic shapes (40x40x160 mm³) of three types of mortar: (i) control mortar (cement + alluvial sand + mixing water); (ii) type 1 mortar (AV10) (cement + “90% alluvial sand + 10% glass aggregate” + water); and (iii) type 2 mortar (AV20) (cement + “80% alluvial sand + 20% glass aggregate” + water). The obtained results show that the presence of glass aggregates as a partial replacement for alluvial sand increases the performance of the mortar for an age of 28 days, in particular for the case of AV20.

Keywords: waste glass, alluvial sand, flexural strength, compressive strength, pozzolanic activity.

Author Correspondence, e-mail: sofianeero@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.23>

1. INTRODUCTION

Le recyclage des déchets de verre est un problème majeur en raison des coûts de son élimination élevés et des préoccupations environnementales [1]. Le recyclage du verre issu des déchets municipaux en vue de son utilisation en tant que matière première dans un nouveau produit verrier est limité en raison des coûts élevés [2]

L'utilisation des déchets de verre dans la construction suscite un vif intérêt dans le monde entier en raison de sa consommation en grande quantité et de la multiplication des sites de construction [3-6]. Récemment, de nombreuses études se sont concentrées sur l'utilisation du verre de récupération comme remplacement partiel d'agrégats naturels dans le béton [7-10].

Les poudres de verre présentent une très forte activité pouzzolanique [11,12]. La préoccupation majeure pour l'utilisation des déchets de verre dans le béton est la réaction alcaline-silice (ASR) qui se produit entre les alcalis du ciment et la silice réactive du verre. Cette réaction peut être très déterminante pour la stabilité du béton [13,14].

Dans notre contexte, l'utilisation des déchets de verre comme remplaceant partiel du sable de construction ne permet pas, uniquement la valorisation de ce déchet, et par conséquence la préservation de l'environnement mais aussi la sauvegarde des gisements de ce sable alluvionnaire.

Le présent travail consiste à présenter l'effet de l'utilisation des déchets de verre sous forme d'agrégats comme remplaçant partiel du sable de construction sur les propriétés du mortier.

2. MATERIELS

2.1. Ciment

Il résulte du mélange de clinker en quantité au moins égale à 65 % et d'autres constituants tels que (les) laitiers de haut fourneau, cendres volantes, pouzzolanes, fumée de silice, dont le total ne dépasse pas 35 % [15]. Le ciment utilisé est celui de la cimenterie d'Ain-Touta (Batna). Il est d'une masses volumiques apparente de 1085 kg/m³, d'une masse volumique absolue de 3050 kg/m³ et d'une surface spécifique BLAINE (SSB) de 3892 cm²/g [NF EN 196-6]. Les compositions chimiques et minéralogique du clinker sont représentées successivement dans les tableaux 1 et 2, ci-dessous.

Tableau 1. Composition chimique du clinker (en %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
22	5,02	2,94	64,36
MgO	SO ₃	RI	PAF
2,07	1,94	0,73	0,64

Tableau 2. Composition minéralogique du clinker (en %)

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
51,28	24,68	8,33	8,94

2.2. Sable

Il s'agit d'une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre ; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer Les sables peuvent être classés d'après leur origine et distinguer en les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière [16].

L'introduction des sables, permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques, ajoutant à cela, sa disponibilité et son aspect esthétiques (couleur). Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important : Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix [16]. Le sable utilisé est un sable alluvionnaire avec une classe granulaire (0/5). Il provient du gisement de SIDI SLIMANE (33°17'20''N, 6°05'33''E). Les caractéristiques de ce sable sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3. Les caractéristiques du sable

Parameters	Value	Norms
M _F	2,02	NF P18-304
ES _P (%)	93	NF P18-598
M _{v app} (g/cm ³)	1,63	NF P18- 554
M _{v abs} (g/cm ³)	2,67	NF P18- 554

2.3. Agrégats de verre

En 2016, la production mondiale totale du verre était d'environ 140 millions de tonnes dont 72 millions de tonnes de verre plat produit à 50 %, en Chine, 15 % en Europe, 10 % en Amérique du Nord, 7 % dans le Sud-Est asiatique, 5 % au Japon, 4 % en Amérique du Sud [17]. Il était prévu que le total de la production de verre augmenterait en raison de l'expansion de l'industrialisation et l'amélioration du niveau de vie. À titre d'exemple, le total des dépenses de l'UE en 2002 concernant les déchets de verre était pour 3 millions de tonnes, tandis que les déchets en 2008 étaient pour 4,1 millions de tonnes [18]. En 2017, le tonnage collecté était de plus de 12 millions de tonnes[17].

Statistiquement, les informations concernant la quantité totale des déchets de verre dans le monde entier ne sont pas complètes, en raison du manque d'informations provenant de différents pays, comme le Moyen-Orient, par exemple. Selon les estimations des Nations Unies relatives aux déchets solides, il y en avait 200 millions de tonnes, en 2004, dont 7% de verre, soit 14 millions de tonnes de verre de récupération [19].

Le secteur de la construction peut apporter une solution très importante et utile à l'impact environnemental quant aux déchets de verre, en raison de la composition chimique et des propriétés physiques du verre, similaires à celles du sable et du ciment [20,21]. L'utilisation de déchets de verre dans la préparation du mortier et du béton préserve les ressources naturelles de la planète, économise de l'énergie et de l'argent (des ressources financières) et réduit les émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre [22,23,8,24].

Dans notre travail, les déchets de verre sont utilisés sous forme d'agrégats transparents et de diamètres compris entre 0,125 et 0,60 mm. Ces diamètres sont proches de ceux du sable alluvionnaire utilisé.

La composition chimique des agrégats de verre est présentée dans le tableau 4.

Tableau 4. Composition chimique des agrégats de verre(en %).

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO
71,9	0,054	1,705	0,248	10,905	1,299	0,035
Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	PbO
13,063	0,575	0,095	0,026	0,111	0,006	0,028

2.4. Eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert, non seulement à hydrater le ciment, mais facilite, également, la mise en œuvre du béton ou du mortier, contribuant ainsi à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

L'eau utilisée dans notre travail est une eau douce, claire et sans odeur.

3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

3.1. Préparation des différents types de mortier

Pour la composition du mortier témoin, nous avons utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui qui est un mortier normalisé ; c'est à dire une part de ciment et trois parts de sable. Concernant le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité qui nous permis d'apprécier la fluidité d'un mortier [25]. Dans notre cas, nous l'avons utilisé pour la détermination de la quantité d'eau qui correspond à un mortier "plastique"[25]. La composition de chaque type de mortier et les doses des différentes composantes sont représentées dans le tableau 5 suivant :

Tableau 5. Composition des différents types de mortier

	E/C (%)	SC/C	V (%)
Témoin	50	3	0
AV10	50	3	10
AV20	50	3	20

3.2. Essais mécaniques sur les mortiers

Les essais mécaniques exécutés sont ceux de la compression et de flexion suivant la norme EN 196-1.

- a) **Essai de résistance à la flexion :** Cet essai est réalisé en plaçant, d'une part, le prisme dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui et son axe longitudinal perpendiculaire à ceux-ci ; et en appliquant, d'autre part, la charge verticalement par le rouleau de chargement sur la face latérale opposée du prisme et en l'augmentant de 50 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à rupture. La résistance à la flexion (en MPa) est calculée au moyen de la formule :

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times l}{b^3}$$

Rf : est la résistance en flexion, en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en mm.

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en N.

l : est la distance entre les appuis, en mm.

- b) **Essai de résistance à la compression** : Cet essai est réalisé sur un appareil de compression universel de type Oehlgass fonctionnant avec un système de pression hydraulique. L'éprouvette est centrée entre deux plateaux métalliques de façon à ce que son axe vertical coïncide avec l'axe des blocs de chargement. La charge est appliquée à l'éprouvette de manière continue avec une vitesse de $2400 \text{ N/s} \pm 1\,200 \text{ N/s}$ durant toute l'application de la charge jusqu'à la rupture. La résistance à la compression (en MPa) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

R_c : est la résistance en compression, en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en mm.

F_c : est la charge maximale à la rupture, en N.

3.3. Indice de l'activité pouzzolanique

L'indice de l'activité pouzzolanique (IAP) est le rapport entre la valeur de la contrainte de résistance à la compression d'un mortier contenant des proportions de pouzzolane naturelle de 28 jours et un mortier témoin de qualité ordinaire du même âge [ASTM C1240].

$$IAP = R_{CAV} / R_{CT}$$

IAP : est l'indice d'activité pouzzolanique.

R_{CAV} : est la résistance à la compression pour le mortier avec agrégats de verre, en MPa.

R_{CT} : est la résistance à la compression pour le mortier Témoin, en MPa.

Cet essai consiste à déterminer l'indice d'activité par la préparation en laboratoire des deux mortiers afin d'effectuer l'analyse réelle des résultats.

4. RESULTATS

Les figures suivantes 1 et 2 représentent les résultats obtenus à partir des expériences de compression effectuées sur les échantillons.

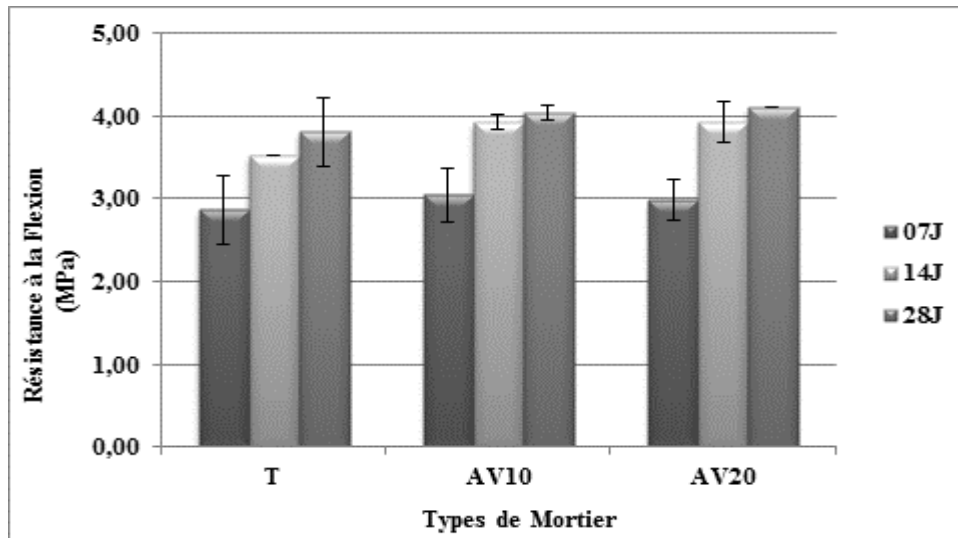


Fig. 1. Résistance à la flexion en fonction de la variation du pourcentage de remplacement par le verre

D'après la figure 1, ci-dessus, la résistance à la flexion est importante concernant le cas de remplacement du sable par 20% d'agrégats de verre pour les âges de 14 et 28 jours. Cette constatation n'est pas faite pour l'âge de 7 jours où la résistance à la flexion était importante dans le cas du remplacement de sable par 10% d'agrégats de verre. Les valeurs de la résistance dans les cas de AV10 et AV20 dépassent celles du témoin respectivement de 6 et 8 %.

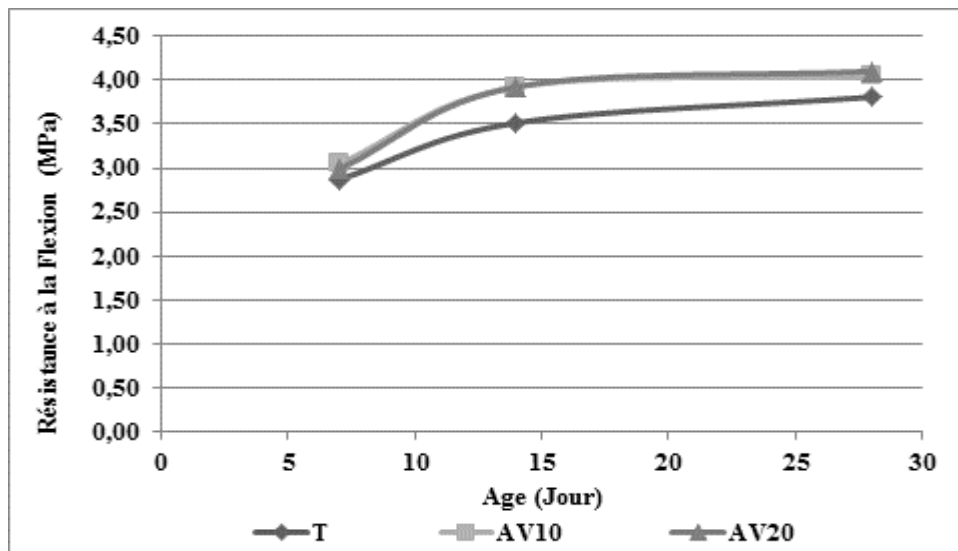


Fig. 2. Evolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge

La figure 2 ci-dessus permet de suivre l'évolution de la résistance à la flexion en fonction de l'âge. Les courbes des trois types de mortier montrent qu'il y a une croissance rapide de la

résistance à la flexion entre 7 jours et 14 jours. Cette croissance devient de plus en plus lente entre 14 jours et 28 jours et tend vers la stabilité en particulier pour les cas de remplacement partiel du sable par des agrégats de verre. La figure 2 confirme aussi que la résistance à la flexion dans les types de mortier avec remplacement partiel du sable est supérieure à celle enregistrée dans le mortier témoin.

La figure 3 qui suit représente la différence de la résistance à la flexion entre le mortier de l'âge de 7 jours et celui de 28 jours.

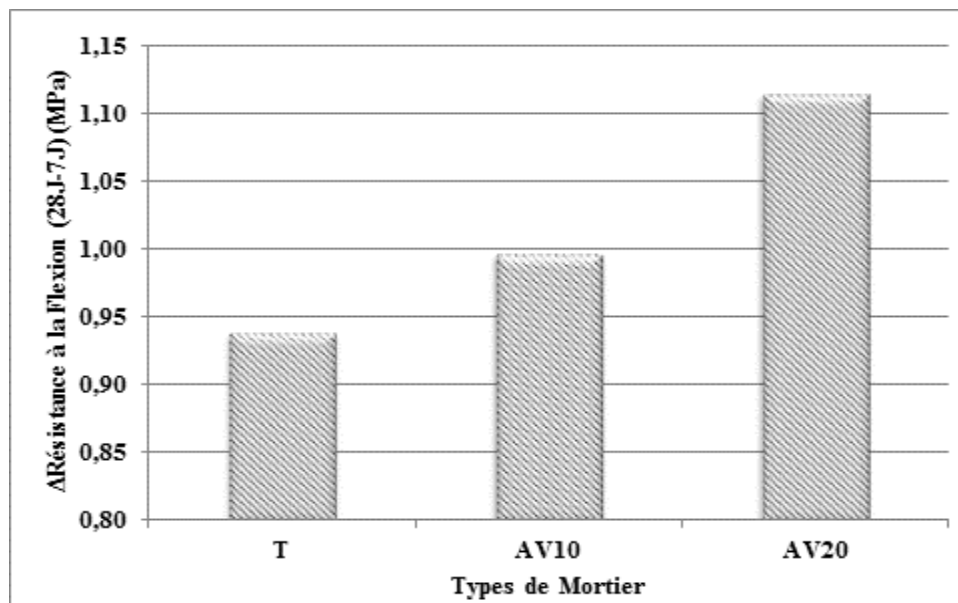


Fig. 3. Différence de résistance à la flexion entre les âges 7 jrs et 28 jrs

D'après la figure 3 ci-dessus, la différence de la résistance à la flexion augmente en fonction de l'augmentation du taux de remplacement. Cette augmentation dans le cas de AV20 dépasse celle de AV10 de 0,11 MPa et celle de témoin de 0,17 MPa.

Il ressort des résultats des essais de flexion représentés par les figures 1, 2 et 3 que la présence des agrégats de verre contribue à l'augmentation de la résistance à la flexion et cette augmentation corrèle positivement avec l'augmentation de la quantité de sable à remplacer par le verre.

Les figures suivantes 4 et 5 représentent les résultats obtenus à partir des expériences de compression effectuées sur les échantillons.

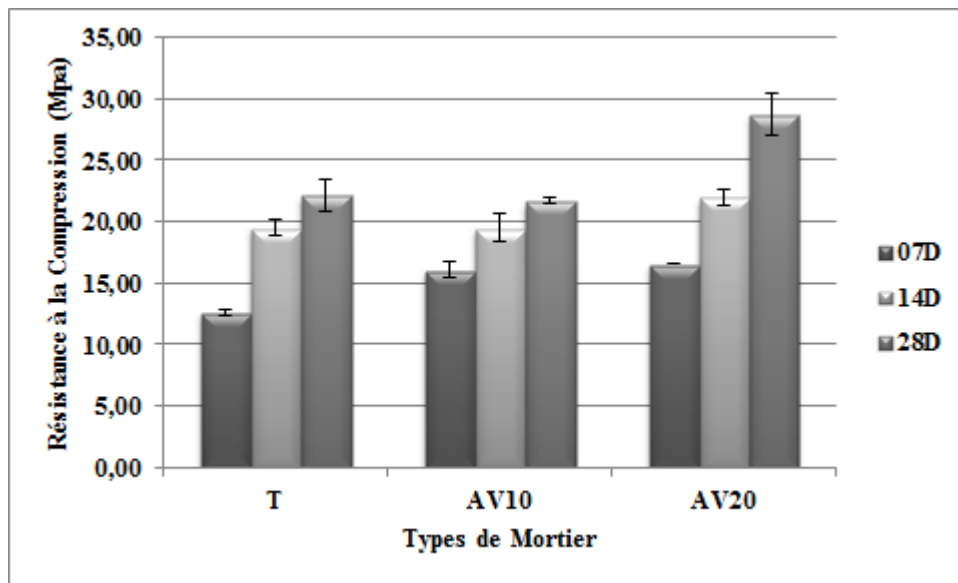


Fig. 4. Résistance à la compression en fonction de la variation du pourcentage de remplacement par le verre

Il est bien observé dans la figure 4 que la résistance à la compression est nettement élevée dans le cas de remplacement du sable par 20% d'agrégats de verre pour les trois âges (7, 14 et 28 jours). Pour les deux cas de témoin et de remplacement de sable par 10%, les résultats montrent qu'à l'exception de l'âge 7 jours où la résistance est faible dans le cas témoin, les valeurs de résistance sont proches avec un léger avantage pour le cas des échantillons témoins.

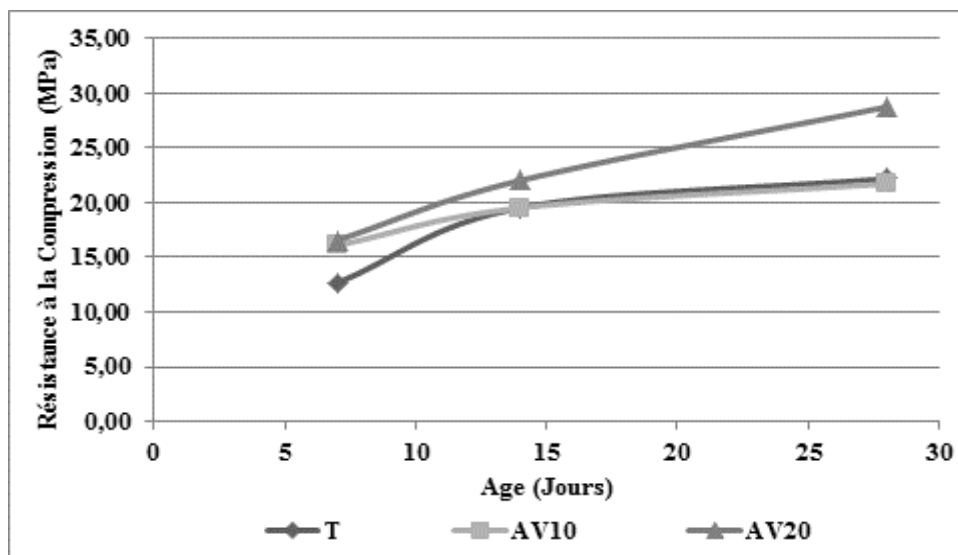


Fig. 5. Evolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge

La figure 5 montre qu'après 7 jours la résistance à la compression est importante dans les cas de remplacement partiel du sable par les agrégats de verre. Cette résistance augmente rapidement chez les échantillons témoins et de 20% de remplacement par les agrégats de verre entre les âges de 7 jours et 14 jours. Pour l'âge de 14 jours, elle devient presque identique dans les deux cas de témoin et de 10% de remplacement de sable par les agrégats de verre mais faible par rapport au cas de remplacement par 20%. Dans le cas de 28 jours, le taux d'augmentation de la résistance est faible et identique pour les échantillons témoin et ceux de 10% de remplacement de sable par contre il devient plus important quand le taux de remplacement augmente (20%).

La figure 6 suivante représente la différence de la résistance à la compression entre les valeurs obtenues dans les âges de 7 et 28 jours pour les trois types de mortier.

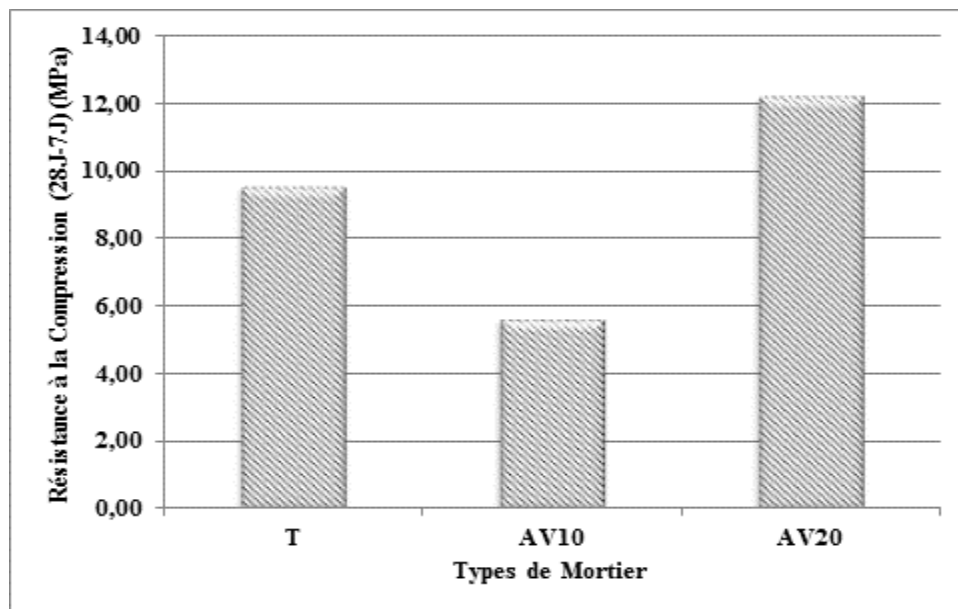


Fig. 6. Différence de résistance à la compression entre les âges 7 jrs et 28 jrs

La figure 6 montre qu'aucune corrélation n'existe entre l'augmentation du pourcentage de remplacement du sable par le verre et la différence en résistance à la compression. La différence maximale est enregistrée dans le cas de remplacement du sable par 20% de verre alors que la minimale est dans le cas de remplacement du sable par 10% de verre.

Les résultats des essais de compression représentés par les figures 4, 5 et 6 montrent que la présence des agrégats de verre contribue à l'augmentation de la résistance à la compression mais sans qu'il y est une nette corrélation positive comme dans le cas de la résistance à la flexion car les résultats dévoilent une légère chute de résistance à la compression dans le cas de

mortier de remplacement partiel de 10% du sable par les agrégats de verre par rapport au mortier témoin.

La figure 7 ci-dessous représente l'indice de l'activité pouzzolanique calculé sur la base des résistances à la compression enregistrées dans les trois types de mortier pour l'âge de 28 jours.

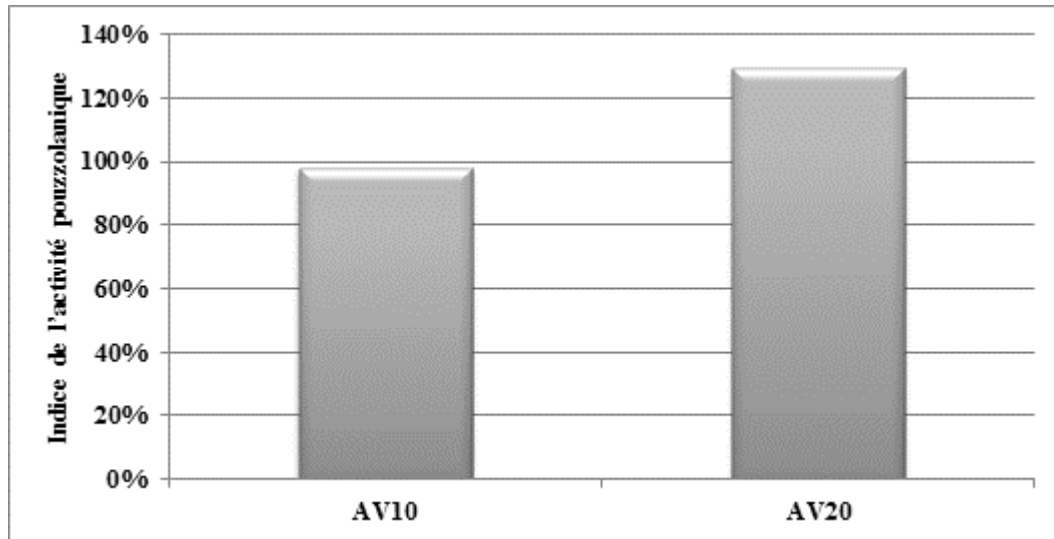


Fig. 7. Indice de l'activité pouzzolanique pour les deux types de mortier

D'après la figure 7, l'IAP est de l'ordre de 98% pour le cas de remplacement de 10% sable alluvionnaire par les agrégats de verre et de 130% pour le cas de remplacement de 20% de sable alluvionnaire par les agrégats de verre. Ceci montre que l'IAP augmente en fonction de l'augmentation de la quantité de verre dans le mortier.

5. DISCUSSION

Selon les résultats de leur caractérisation, les composantes des différents types de mortier (ciment-sable-agrégats de verre- eau) sont de bonne qualité. Le ciment est consistant avec un temps de prise acceptable [EN 196-3] ; pour le sable, il est à majorité de grains fine [NF P-18 304] acceptable pour mortier de qualité courante [NF P18-598] ; en ce qui concerne l'eau de gâchage, elle est potable et acceptable pour la préparation de mortier. Enfin et en ce qui concerne les agrégats de verre riches en silicium et représentant un faible taux d'absorption de l'eau selon Ismail et al. [26], ils sont très intéressants dans la préparation du mortier.

Pour les essais mécaniques et d'après les différents résultats des essais de flexion, nous remarquons une corrélation positive entre l'augmentation du taux des agrégats de verre dans le mortier et l'augmentation de la résistance à la flexion pour les différents âges 7, 14 et 28 jours.

La valeur maximale de la résistance à la flexion est de 4,1 MPa pour le cas du mortier de taux de verre de 20% après 28 jours. Cette valeur dépasse celle de mortier témoin de 8% pour le même âge.

En passant d'un âge à un autre, le taux d'augmentation de la résistance à la flexion devient important entre les mortiers de l'âge de 7 et de 14 jours comparé à celui entre les mortiers de l'âge de 14 et de 28 jours pour les trois types (témoin, AV10 et AV20). Le taux le plus élevé d'augmentation entre les deux premiers âges (7 jours et 14 jours) est de 31,44% et il est enregistré dans le mortier dont les agrégats de verre remplacent 20% de sable (AV20). Pour les deux autres âges (14 jours et 28 jours), le taux le plus élevé est enregistré dans le cas du mortier témoin avec une valeur de 8,24 %.

Selon les résultats des essais de compression, la meilleure valeur de résistance à la compression sur 28 jours est de 28,75 MPa. Elle est obtenue pour un mélange de mortier composé de 20% d'agrégats de verre, ce qui représente une augmentation de la résistance à la compression allant jusqu'à 29,62% par rapport au mélange témoin.

Cependant, tous les échantillons de mortier avec agrégats de verre pour les différents âges présentent des valeurs de résistance à la compression légèrement supérieures à celles des mortiers témoins, à l'exception des échantillons de 14 jours et 28 jours pour le cas témoin et le cas de 10% de remplacement de sable par la poudre de verre. Pour l'âge de 14 jours les valeurs de résistance sont identiques dans le cas témoin et le cas de 10% de verre. Cependant pour l'âge de 28 jours, la résistance à la compression dans le cas témoin dépasse de 0,18 MPa celle enregistrée dans le cas de 10% de verre.

Le taux d'augmentation de la résistance à la compression d'un âge à un autre diffère d'un type de mortier à un autre. Entre l'âge de 7 jours et l'âge 14 jours, le taux d'augmentation est maximum dans le cas de mortier témoin avec 54,39% et il est minimum dans le cas de mortier avec 10% de remplacement de sable avec 21,38%. En passant de 14 jours à 28 jours, le taux devient maximum dans le cas de mortier avec remplacement de 20% de sable par du verre avec 30,50% et reste minimum dans le cas du mortier de 10% avec 12,65%.

En analysant les résultats obtenus, deux autres remarques importantes sont relevées. La première concerne le mortier témoin où le taux d'augmentation de la résistance à la compression a chuté d'une façon remarquable de 54,39% entre les échantillons de 7 jours et ceux de 14 jours à 13,59% entre les échantillons de 14 jours et ceux de 28 jours. La deuxième concerne le type de mortier avec 20% de remplacement du sable par les agrégats de verre où les taux d'augmentation de la résistance à la compression sont très proches (différence de 2,53%) avec

un avantage pour le cas de passage des échantillons de l'âge de 7 jours à ceux de l'âge de 14 jours où le taux est de 33,03%.

Les résultats obtenus dans notre étude, en ce qui concerne la relation entre les résistances à la flexion et à la compression d'une part et le taux de remplacement du sable par les agrégats de verre d'autre part, concordent avec les résultats de plusieurs auteurs tels que Batayneh et al. [27] et Mageswari et Vidivelli [28] qui attestent que les résistances à la flexion et à la compression augmentent avec l'augmentation du pourcentage d'agrégats de verre pour des pourcentages qui ne dépassent pas les 20% et ils rapportent que l'augmentation de la résistance à la flexion est due à la texture de surface et à la résistance des particules de verre comparées à celle du sable.

Pour l'activité pouzzolanique, les indices calculés pour les deux types de mortier (AV10 et AV20) après 28 jours corrént positivement avec le pourcentage de remplacement du sable par le verre. Pour le cas du mortier AV10 l'IAP est de 98% et pour celui de AV20 il est égal à 130%. Ces valeurs sont supérieures à 75% ce qui implique que l'activité pouzzolanique est positive [ASTM C618].

Ces différentes analyses montrent que la présence des agrégats de verre, en particulier avec 20% et après 28 jours, influe positivement sur les performances de mortier.

Du point de vue environnemental, la réduction de 20% de sable alluvionnaire contribue à la réduction de l'exploitation des gisements de ce type de sable qui est une richesse naturelle épuisable et non renouvelable [29]. D'autre part, la valorisation de déchet de verre permettra de réduire sa présence indésirable dans l'environnement.

Economiquement, l'exploitation intense de sable alluvionnaire est une préoccupation dans nos régions du fait de sa rareté dans le sud de l'Algérie, du coût élevé de son transport [30].

6. CONCLUSION

L'augmentation des besoins humains dans le monde et la recherche de leur satisfaction ont poussé l'Homme à exploiter irrationnellement les ressources naturelles. De plus, le taux élevé de consommation a fait augmenter de façon alarmante les déchets. Ces deux facteurs ont incité les chercheurs à réfléchir sérieusement sur la préservation de l'environnement pour un développement durable. Dans ce contexte, nos recherches ont visé d'étudier les méthodes d'utilisation des déchets de verre dans le domaine de la construction afin de réduire l'exploitation des mines de sable alluvionnaire qui est un patrimoine minéral et ainsi préserver l'environnement et les ressources naturelles dans le cadre de l'économie verte.

Les essais entrepris au niveau des laboratoires du département de Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Ouargla sur des échantillons de trois types de mortier contenant des agrégats de verre comme remplaçant partiel de sable alluvionnaire (0%, 10% et 20%) ont montré que la présence des agrégats de verre augmente les performances de mortier en matière des résistances à la flexion et à la compression et l'activité pouzzolanique après 28 jours dans le cas de remplacement par 20%.

De point de vue économique et environnemental, le remplacement partiel de sable alluvionnaire par les agrégats de verre permet à la fois de minimiser les coûts de transport de sable alluvionnaire, de préserver ses gisements et de s'en débarrasser des déchets de verre.

Les résultats obtenus ne sont que les fruits d'une première expérience locale dans notre contexte et qui nécessite une succession d'expériences pour arriver à un modèle technico-économique et environnemental qui s'adapte à nos conditions locales.

7. REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article tiennent à remercier vivement tous ceux qui ont contribué à réaliser et enrichir ce modeste travail de recherche en particulier Mr. KECHIRED Ali et Dr. CHAIB Hachem.

8. REFERENCES

- [1] Edwards D.W., Schelling J. Municipal Waste Life Cycle Assessment: Part 2: Transport Analysis and Glass Case Study. *Process Safety and Environmental Protection*, 1999, 77(5), 259-274.
- [2] Blengini G.A., Busto M., Fantoni M., Fino D. Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA. *Waste Management*, 2012, 32(5), 1000-1008.
- [3] Lu J.X., Zhan B.J., Duan Z.H., Poon C.S. Using glass powder to improve the durability of architectural mortar prepared with glass aggregates. *Materials and Design*, 2017, 135, 102–111.
- [4] Mohajerani A., Vajna J., Cheung T. H. H., Kurmus H., Arulrajah A. Horpibulsuk S. Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 2017, 156, 443-467.
- [5] Khan F. A., Fahad M., Shahzada K., Alam H., Ali N. Utilization of waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 2015, 4(03), 181-185.

-
- [6] Bhandari. P.S, Tajne. K.M. Use of waste glass in cement mortar. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2013, 3(4), 704-711.
- [7] Sadiqul Islam G. M., Rahman M. H., Nayem Kazi. Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2017, 6, 37–44.
- [8] Shekhawat B.S., Aggarwal V. Utilisation of Waste Glass Powder in Concrete – A Literature Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2014, 3(7), 14822-14826.
- [9] Jani Y., Hogland W.. Waste glass in the production of cement and concrete – A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2014, 2, 1767–1775.
- [10] Tamanna N., Mohamed Sutan N., Lee D. T. C., Yakub I.. utilization of waste glass in concrete. 6th International Engineering Conference, Energy and Environment (ENCON 2013). Published by Research Publishing. doi: 10.3850/978-981-07-6059-5_090 . 2013, 323-329.
- [11] Shi C, Wu Y, Riefler C, Wang H. Characteristics and Pozzolanic Reactivity of Glass Powders. *Cement and Concrete Research*, 2005, 35(5), 987-993.
- [12] Karamberi A., Moutsatsou A. Participation of coloured glass cullet in cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 2005, 27(2), 319-327.
- [13] Liu M. Incorporating ground glass in self-compacting concrete. *Construction and Building Material*, 2011, 25(2), 919–925.
- [14] de Castro S., de Brito J. Evaluation of the durability of concrete made with crushed glass aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 41, 7–14.
- [15] CICA. Les constituants des bétons et des mortiers. Fiches techniques, Tome 1. Collection Technique CIMBETON. Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications, 2005, 71 p.
- [16] R.Dupain, R. Lanchon, J.C. Saint-Arroman. Granulats, sols, ciments et bétons Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. Ed. Educavivre, 2004, 240p.
- [17] L'Élémentarium. Verres, <https://www.lelementarium.fr/product/verres/> [site visité le 01/03/2020]
- [18] European Commission. Environmental Statistics and Accounts in Europe, Eurostat Statistical Books, 2010.
- [19] Topçu I. B., Canbaz M. Properties of concrete containing waste glass. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34, 267–274.

-
- [20] Letelier V., Henríquez-Jara B. I., Manosalva M., Parodi C., Ortega J. M. Use of Waste Glass as A Replacement for Raw Materials in Mortars with a Lower Environmental Impact. *Energies* 2019, 12(10), 1974.
- [21] Leghrieb Y., Mitiche R., Bentebba M. T., Djouhri M., Kriker A. The Manufacture of Raw Brick from the Saharan Sand-Based Mortar of Ouargla (Located in the Septentrional Sahara, Algeria) for use in Arid Regions. *Arab J Sci. Eng.*, 2012, 37, 2149–2161.
- [22] Hendriks, C. A., Worrell, E., De Jager, D., Blok, K., Riemer, P. Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry. *The Proceeding of the Greenhouse Gas Control Technologies Conference* (2004).
<http://www.wbcsd.org/web/projects/cement/tf1/prghgt42.pdf>.
- [23] Vidya, B. and Tejaswi, S Sai and Rao, R. Chinna and Renuka, J. Experimental Investigation of Waste Glass Powder as Partial Replacement of Cement and Sand in Concrete. *The IUP Journal of Structural Engineering*, 2015, 8(4), 14-22.
- [24] Vijayakumar G., Vishaliny H., Govindarajulu D. Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013, 3(2), 153-157.
- [25] Dupain R., Lanchon R., Saint-Arroman J.-C. *Granulats, sols, ciments et bétons, Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*, Édition Casteilla. 1995.
- [26] Z.Z. Ismail, E.A. Al-Hashmi, Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete, *Waste Management (New York, N.Y.)* , 2009, 29, 655–659.
- [27] M. Batayneh, I. Marie, I. Asi, Use of selected waste materials in concrete mixes, *Waste Management (New York, N.Y.)*, 2007, 27, 1870–1876.
- [28] M. Mageswari, B. Vidivelli, The use of sheet glass powder as fine aggregate replacement in concrete, *Open Civil Engineering Journal*, 2010, 4, 65–71.
- [29] JORA, 2014 « JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18-30 mars 2014 Formation, composition du patrimoine minéral et classification des substances minérales ou fossiles en mines et carriers.
- [30] Bouziani, M. Bederina and M. Hadjoudja, Effect of Dune Sand on the Properties of Flowing Sand-Concrete (FSC), *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2012, 6(1), 59-64.

Normes

- ASTM C1240-05, Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, www.astm.org
- ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org
- NF EN 196-1, mar.1990, "Détermination des résistances mécaniques (compression et flexion) " Edition AFNOR, Paris, 1990.
- NF EN 196-3, Avr. 2006, «Méthodes d'essais des ciments - Partie 3 : détermination du temps de prise et de la stabilité", Edition AFNOR, Paris, 2006.
- NF EN 196-6, Avr. 2012, "Détermination de la finesse par perméabilité de l'air (méthode Blaine) ", Edition AFNOR, Paris, 2012.
- NF P18-554, Déc. 1990,"Essai pour Analyse granulométrique de sable ", Edition AFNOR, Paris, 1990.
- NF P18-554, Déc. 1990," Granulats -Essai Masses volumiques ", Edition AFNOR, Paris 1990.
- NF P18 -304, Déc. 1990," Granulats - Modules de finesse" , Edition AFNOR, Paris, 1990.
- NF P 18 -598, Oct. 1991,"Granulats - Equivalent de sable", Edition AFNOR, Paris, 1991.

How to cite this article:

Mechri L, Saggai S, Benlarbi-Oulhaci D, Benharoune L. use of glass aggregates as a partial sand replacement: effects on mortar performance. J. Fundam. Appl. Sci., 2021, 13(1), 436-452.