

Effet du laitier de haut fourneau sur les propriétés d'ingénierie des briques de terre comprimée à base d'un sol portant de sulfate

Ouarda Izemmouren*¹, Abdelhamid Guettala²

¹ Laboratoire de recherche en génie civil, université de Biskra BP145 Biskra, Algérie

* izemmourenouarda16@yahoo.fr

RESUME : *Un sol contient une forte proportion de trioxyde de soufre SO_3 qui réagit avec d'autres minéraux dans le sol pour former des sulfates. L'utilisation du laitier granulé finement broyé de haut fourneau (GGBS), un sous-produit industriel, est un additif minéral qui donne une meilleure stabilisation du sol portant de sulfate. L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet de l'addition de (GGBS) activé par du ciment sur des briques de terre comprimée (BTC) basée sur un sol portant de sulfate pour améliorer les propriétés mécaniques. Deux séries de briques ont été préparées avec 3% et 5% de ciment, en plus de la terre et avec l'addition de (GGBS) à des taux de 0%, 4% et 8% pour chacun. Les briques ont été testées pour la résistance à la traction, la résistance à la compression à l'état sec et humide, Les résultats ont montré que la combinaison de (GGBS) et de ciment peut améliorer les propriétés mécaniques des briques de terre comprimée.*

MOTS-CLÉS : *Briques de terre comprimée, laitier, résistances mécaniques.*

ABSTRACT: *The soil contained a high percentage of sulfur trioxide SO_3 which reacts with other minerals in the soil to form sulfates. The use of ground granulated blast furnace slag (GGBS), an industrial by-product, is a mineral additive That Gives better stabilization of soils contained a sulfate. The objective of this study is to analyze the effect of addition of (GGBS) activated by cement on compressed earth bricks (CEB) based on a sulphate bearing soil for improve its mechanical properties. Two sets of bricks were prepared with 3% and 5% cement, in addition to the soil and with the addition of (GGBS) at rates of 0%, 4%, and 8% each. The bricks were tested for mechanical strength tensile, strength compression dry and we,. The results showed that the combination of (GGBS) and cement Portland can improve the mechanical properties of the compressed earth bricks.*

KEYWORDS: *compressed earth bricks , slag, mechanicals strength.*

1. INTRODUCTION

La terre est une matière naturelle, largement disponible, dont la transformation en matériau de construction requiert peu de dépenses énergétiques. Ses grandes qualités plastiques, thermiques, écologiques et esthétiques ont permis à nos ancêtres de l'utiliser en abondance pour édifier leurs demeures, et ce en parfait accord avec leur environnement. La fabrication des briques de terre comprimée (BTC) requiert des quantités réduites de matériaux. En agissant dans ces conditions, le compactage devient plus efficace en conférant au parpaing une densité apparente beaucoup plus élevée que la brique d'adobe.

Plusieurs activités de recherche sont orientées vers l'étude des propriétés mécaniques de BTC en utilisant différentes techniques de stabilisation du sol avec un traitement chimique tel que du ciment [1-4], du chaux [5] et plusieurs autres additifs minérales comme les cendres volantes [6,7] la fumée de silice [4] et le laitier de haut fourneau [8,9]. L'utilisation de ces additions minérales en remplacement du ciment est très importante, en plus de l'économie d'énergie et la réduction des émissions de CO_2 , ces additions minérales améliorent les propriétés de BTC. Wild et al. [10] ont étudié l'effet de laitier sur les propriétés mécaniques des sols argileux portant de sulfate stabilisée par la chaux. Ils ont découvert que la substitution de la chaux avec GGBS dans la stabilisation de plâtre contenant des argiles

améliore la résistance. Ece Celik et al [11] ont étudié l'utilisation de laitier sur le gonflement des sols portant de sulfate et stabilisé par la chaux. Ils ont conclu que l'addition de 6% de laitier à la chaux dans la stabilisation des argiles portant du sulfate produit des améliorations significatives dans le potentiel de la houille. Les objectifs de cette étude est d'étudier l'effet de GGBS activé par le ciment sur les propriétés d'ingénierie des briques de terre comprimée, on utilise l'échantillon de sol prélevé de la région de Biskra (sud-est de l'Algérie), qui contient un pourcentage élevé de sulfate.

2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

2.1. SOL

Le sol utilisé dans ce travail trouve son appartenance dans la région de Biskra. La composition minéralogique des propriétés physiques est représentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : La composition minéralogique du sol

Minéraux présents	composition%	Formule chimique
Calcite	29.5	CaCO ₃
Quartz	20	SiO ₂
Gypsum	46	CaSO ₄ .2H ₂ O
Muscivite	2.5	CaAlSi ₃ O ₈
Minéraux ferrugineux +fond RX	1	–
<i>Propriétés physiques</i>		
Limite de liquidité	36%	
Limite de plasticité	13%	
PH	8,5	

Tableau 2: la composition chimique du sol, ciment et laitier

Oxide	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₃	TiO ₂	
SB	20.39	31.29	2.34	0.79	1.14	21.36	0.3	0.21	0.05	0.16	21.98
PC	22.17	64.55	4.53	1.02	5.04	1.34	0.42	0.21	-	-	1,2
GGBS	40.92	41.30	10.63	4.45	1.51	0.36	1.05	0.19	0.02	0.38	-0.8

On se rend compte finalement que notre sol contient un taux important de gypse, de quartz et de calcite. et l'analyse chimique montre que le sol contient une forte pourcentage de SO₃.

2.2. CIMENT

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CPJ45 fabriqué à la cimenterie de Ain-Touta, wilaya de Batna. Sa composition chimique représenté sur le tableau 2.

2.3. Laitier

Le laitier utilisé dans ce travail provient de l'usine sidérurgique d'EL-Hadjar de Annaba. C'est un laitier fondu dans les bassins d'eaux, ce qui conduit à la formation d'une grande quantité de la phase vitreuse. L'analyse chimique du laitier granulé représenté dans le tableau 2.

2.4. Sable

Le sable utilisé dans tous les mélanges des blocs est un sable concassé (0/3) provenant des carrières de la région de Biskra (Algérie). Les caractéristiques physiques du sable déterminées selon les normes AFNOR sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristique physique des sables utilisés

Masse volumique spécifique γ_s (g/cm ³)	Masse volumique apparente ρ_0 (kg/cm ³)	Equivalent de sable E.S	
		A vu	A piston
2.64	1.52	70.42	64.08

3. COMPOSITION DES MELANGES, LA PREPARATION DES ECHANTILLONS

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des blocs de terre comprimée, nous avons stabilisé le sol par le (GBS) activé par le ciment, le tableau 4 montre la quantité des matériaux utilisés pour chaque série de blocs.

Tableau 4: La composition des mélanges des B.T.C

Désignation	PC	Composants			
		Sol	sable	Cément	GGBS
CP3-GBS0	3%	70	30	3	0
CP3-GBS4		70	30	3	4
CP3-GBS8		70	30	3	8
CP3-GBS0	5%	70	30	5	0
CP3-GBS4		70	30	5	4
CP3-GBS8		70	30	5	8

Avant le malaxage on doit s'assurer que notre mélange est vraiment sec. Pour cela on doit soumettre le sol et le sable concassé au séchage à l'étuve pendant 24 h à 60°C. Après, on procède au malaxage à sec du mélange (sol + sable concassé) pendant 2 min dans un malaxeur à ciment, ensuite on ajoute les liants et on continue le malaxage pendant une minute. On ajoute de l'eau au mélange et on continue le malaxage de l'ensemble pendant 2 min. Le matériau est mis en place et compacté juste après le malaxage. Le compactage des éprouvettes est du type statique à simple effet, il est assuré par une presse hydraulique. Le moule utilisé est en acier trempé, il est composé de 5 éléments formant après montage un volume de 10x10x20 cm. Durant toutes les étapes de cette étude, on a soumis les mélanges à une contrainte de compactage de 10MPa. Avant de soumettre les BTC aux essais, ils doivent être dessécher à l'étuve jusqu'à masse constante. Les essais effectués dans cette étude sont :

- La résistance à la traction est réalisée selon la procédure de [12]. Il est dérivé de l'essai de traction par fendage (essai Brésilien)
- La résistance en compression à l'état sec est permet de déterminer la résistance nominale en compression simple des blocs de terre crue compressée selon la norme XP P 13-901. Il s'agit de soumettre un échantillon constitué de deux demi-blocs superposé et collés par un joint de mortier de ciment à une compression simple jusqu'à la rupture.
- Les blocs humides ont des caractéristiques mécaniques (résistance à la compression), plus faibles qu'à l'état sec. Il est donc utile de les tester à l'état humide afin de connaître leurs

caractéristiques minimales dans le cas le plus défavorable.

4. Résultats

4.1 Evolution des résistance mécanique en fonction de l'âge de durcissement

Pour caractériser l'évolution des résistances mécaniques en fonction de l'âge de durcissement Deux séries des briques ont été préparées avec 3% et 5% de ciment, en plus de la terre et avec l'addition de (GGBS) à des taux de 0%, 4% et 8% chacun avec une teneur en sable constante de 30% et compactées à 5 MPa, conservées en atmosphère humide aux températures ambiantes dont les briques sont couverts par un tissu plastique à 28 jours et puis séchées dans l'étuve à 60C°. Les observations suivantes peuvent être faites à partir des résultats représentés sur la figure1, figure 2 et figure 3

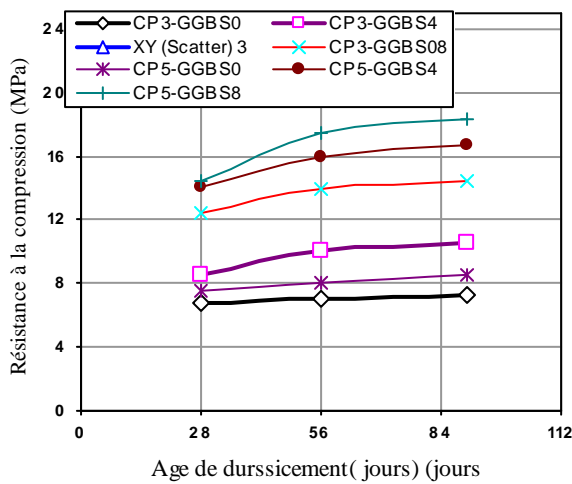


Figure 1: Evolution de la résistance à la compression sèche en fonction de l'âge de durcissement

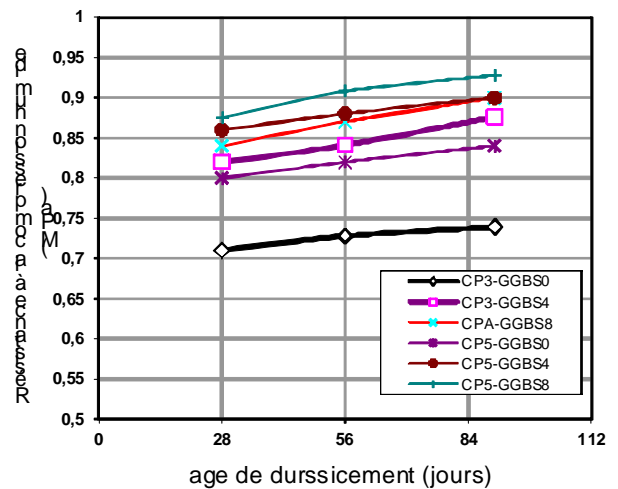


Figure 2: Evolution de la résistance à la compression humide en fonction de l'âge de durcissement

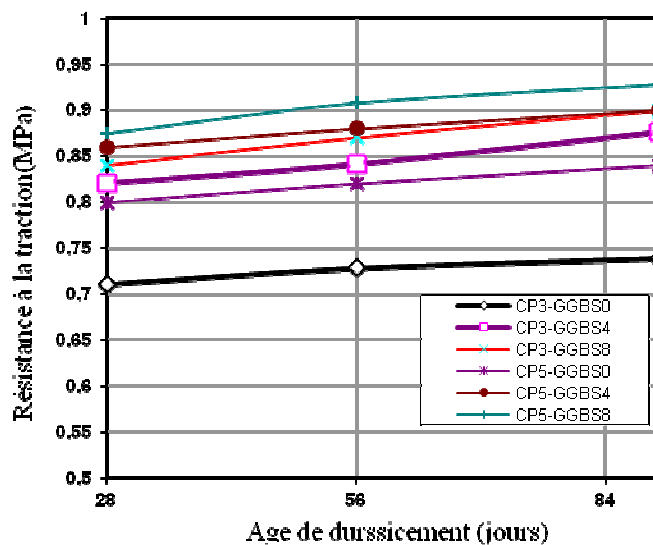


Figure 3 : Evolution de la résistance à la traction en fonction de l'âge de durcissement

- L'analyse des résultats figure 1, démontre clairement que les résistances mécaniques à la compression à l'état sec évoluent en fonction de la teneur en ciment et montre un accroissement notable pour les briques stabilisées par la combinaison ciment et laitier. la résistance de ces briques augmente significative avec le temps de durcissement. les briques qui donne la meilleur résultat et CPA3-GGBS8 et CP5-GGBS8.
- L'interprétation des résultats obtenus figure 2 obéit aux mêmes critères d'évaluations citées auparavant (essai à la compression à l'état sec). la résistance à la compression humide atteint 14MPa pour l'échantillon CPA5-GGBS8. Bien que le changement du comportement rhéologique de la brique de terre comprimée lorsqu'il est immergée dans l'eau est la perte de cohésion et chute de résistance, nous avons constaté que la stabilisation effectuée par ce traitement mixte a été bénéfique pour l'ensemble des briques en réduisant la sensibilité à l'eau et qui peuvent espérer à une meilleure durabilité.
- Il est nécessaire de connaître le comportement à la traction. Par ailleurs, les constructions en terre sont aussi sollicitées en traction et en cisaillement dans le cas de vent important, de séisme de chargement ponctuel et de tassement différentiel dans les fondations. d'après la figure 3 on constate que la résistance à la traction augmente en fonction du temps de durcissement ainsi en fonction de la teneur en ciment et la teneur de laitier. les briques stabilisées avec la combinaison du ciment et de laitier donne des résultats considérable.

5. Conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous avons entrepris de contribuer à l'étude des briques de terre comprimée à base d'un sol portant des sulfates destinés à la construction. Ce choix résulte à l'intérêt économique et thermique que revêt ce matériau. D'après les résultats expérimentaux on peut tirer les points suivants :

- la résistances mécaniques (traction, compression à l'état sec et humide) augmentent en fonction de la teneur en ciment et en fonction de la teneur en laitier.
- les résistances mécaniques augmentent significatives en fonction de l'âge de durcissement pour les briques stabilisées avec la combinaison du laitier et le ciment.
- les briques qui donnent les meilleurs résultats pour les deux séries sont CPA-6GGBS8 et CPA3-GGBS8.

6. Références

- [1] A.Guettala, A.Abibsi, H.Houari, *Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure*. Construction and Building Materials, 2006;20,119- 127.
- [2] F.O. Ogunye, H. *Diagnosis of assessment methods for weatherability of stabilised compressed soil blocks*. Construction and Building Materials 16 (2002) 163–172.
- [3] K. Heathcote, *Durability earthwall buildings*. Construct Building Mater 1985;9(3):185–9.
- [4] AG. Kerali, *Durability of compressed and cement-stabilized building blocks*. Ph.D Thesis. UK: University of Warwick, school of Engineering, September 2001.
- [5] A. Guettala, H.Houari, B.Mezghiche, R.Chebili. *Durability of lime stabilized earth blocks*. Courier du Savoir 2002;2:61–6.
- [6] M.Temimi, JP.Camps, M.Laquerbe, *Valorization of fly ash in the cold stabilization of clay materials*. Resour Conserv Recy 1995;15(3–4): 219–34.
- [7] P. Chindaprasirt , K. Pimraksa, *A study of fly ash–lime granule unfired brick*. Powder Technology 182 (2008) 33–41.
- [8] Oti JE, Kinuthia JM, Bai J, *Engineering properties of unfired clay masonry bricks*. Eng Geol 2009;107:130–9.

- [9] Oti JE, Kinuthia JM, Bai J. Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks. *Eng Geol* 2009;109:230–40.
- [10] Wild, S., Kinuthia, J.M., Jones, G.I., Higgins, D.D., 1998. Effect of partial substitution of lime with ground granular furnace slag (GGBS) on the strength properties of lime-stabilised sulphate-bearing clay soils. *Engineering Geology* 51, 35–53.
- [11] Ece Celik, Zalihe Nalbantoglu. Effects of ground granulated blastfurnace slag (GGBS) on the swelling properties of lime-stabilized sulfate-bearing soils. *Engineering Geology* 2013;163: 20-25.
- [12] Centre for Development of Enterprise (C.D.E). Compressed earth blocks: Testing procedures. In: C.D.E., ENTPE et CRATerre Coed, Brussels, Belgium; 2000.