

Effet des conditions de cure sur les propriétés physiques et mécaniques des blocs de terre comprimée

O. IZEMMOUREN^a, K. Gadri^b, A. GUETTALA^c

a. Laboratoire de Recherche en Génie Civil, Université de BISKRA, ALGERIE

b. Laboratoire de Recherche en Génie Civil, Université de BISKRA, ALGERIE

c. Laboratoire de Recherche en Génie Civil, Université de BISKRA, ALGERIE

Résumé

Depuis quelques années, on assiste à un ressaut intéressant de la recherche sur la valorisation des matériaux dits traditionnels. On cherche des logements économiques suite à la rareté et au coût excessif des logements pour les pays en développement notamment l'Algérie. Les blocs de terre comprimée peuvent être stabilisés par l'addition de petits pourcentages en masse de chaux, pour améliorer certaines de ses propriétés.

L'objectif de cette étude est d'analyser l'effet des conditions de cure sur les caractéristiques mécaniques des blocs de terre comprimée (BTC). Dans ce cadre, trois teneurs en chaux (6%, 10% et 14%) du poids du mélange sec et deux modes de conservation des (BTC) sont utilisées. Les échantillons ont été soumis aux essais des résistances mécaniques de traction et de résistances en compression à l'état sec et à l'état humide. Les résultats obtenus ont montré que, la cure par vapeur des blocs stabilisés à la chaux à 80°C pendant 24 heures en pression atmosphérique conduit à des résistances mécaniques considérablement plus fortes que pour la cure obtenue à l'aide de tissus humides à températures ambiantes.

Mots clefs: blocs de terre comprimée, sol, chaux, résistances mécaniques.

Abstract

In recent years, there has been a jump of interesting research on the development of so-called traditional materials. We are looking for low-cost housing due to the scarcity and excessive cost housing for developing countries including Algeria. The compressed earth blocks can be stabilized by the addition of small percentages by weight of lime to improve some of its properties.

The objective of this study is to analyze the effect of curing conditions on the mechanical properties of compressed earth blocks (CEB). In this framework, three lime contents (6%, 10% and 14%) of the weight of the dry mixture and two conservation methods of (CEB) are used. The samples were tested for mechanical strength tensile and strength compression dry and wet.

The results obtained showed that the cure by steam of lime stabilized blocks at 80 ° C for 24 hours in atmospheric pressure leads to considerably higher mechanical resistance for the cure obtained with the aid of wet tissues to ambient temperatures.

Keywords: compressed earth bricks, soil, lime, mechanical strengths.

1 Introduction

Le besoin de construire, la pénurie des matériaux de construction et l'influence de leur prix rendent l'utilisation des matériaux locaux dans la construction de plus en plus nécessaire. Sa disponibilité et son faible coût on fait de la terre dans la plupart des régions du globe, un des matériaux de construction les plus réponsus et les plus anciens. La terre présente un intérêt écologique évidant, où sa construction participe bien à la protection de l'environnement à l'industrie chimique (fabrication de ciment) où à l'économie énergétique (fabrication des briques cuites) [1].

Les briques de terre comprimée (B.T.C) est une évolution moderne des blocs de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe [2]. Les (B.T.C) sont de petits éléments de maçonnerie de forme

parallélépipédique obtenue par la compression statique ou dynamique de la terre humide placée dans un moule puis démouler juste après.

Les produits de terre stabilisés à la chaux peuvent être très avantageusement exposés à de hautes températures ($>60^{\circ}\text{C}$). Une cure de séchage sous le soleil et sous un film de plastique ou sous un tunnel de tôles permet l'élévation de la température et de l'humidité relative. Des recherches menées à l'Université du Danemark ont montré que l'on obtient de très bons produits avec une cure de 24 h en chambre de haute pression de vapeur à $60-97^{\circ}\text{C}$ et à 100% H.R. [3]- [4].

Ce travail consiste, à l'étude de l'effet des conditions de cure sur les résistances mécaniques (résistance à la traction, à la compression sec et humide) des blocs de terre comprimée stabilisés par la chaux (teneurs de 6%, 10% et 14% du poids sec des mélanges sol+sable), en utilisant deux modes de conservation pour les B.T.C premier mode cure par vapeur à 80°C et de 100% d'humidité (enceinte climatique) à 12, 24, et 48 heures puis séchées dans l'étuve à un poids constant et deuxième mode cure en atmosphère humide dont les blocs sont couverts par tissu plastique à 28 jours puis séchées dans l'étuve à un poids constant.

2 Méthodologie

2.1 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette recherche sont : sol, sable concassé, chaux éteinte.

2.1.1 Sol

Le sol utilisé provient de la région de Biskra (Algérie).

Caractéristiques physiques du sol:

- Masse volumique apparente = 1.414 g/m^3
- Masse volumique absolue = 2.4 g/m^3
- Limite de liquidité LL = 30 %
Limite de plasticité LP = 22%

2.1.2 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 ci-après.

- Masse volumique apparente = 1.54 g/cm^3
- Masse volumique absolue = 2.6 g/cm^3
- Module de finesse = 3.08
- Equivalent de sable : ES visuel = 66.6 %
ES piston = 63.33 %

2.1.3 Chaux

Tous les types de chaux sont à employer en principe, la préférence est néanmoins donnée aux chaux aériennes qu'aux chaux hydrauliques. La chaux est surtout conseillée pour les sols contenant une fraction argileuse de moins 20 % [1]. L'action de la chaux sur les minéraux argileux se fait surtout par l'intermédiaire des ions Ca^{++} et OH^- en solution. La chaux industrielle, autre que CaO et CaCO_3 , contient de nombreuses impuretés.

Pour son traitement, on peut utiliser deux catégories : la chaux vive CaO ou la chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Une chaux de bonne qualité sera celle qui présente peu d'insolubles et ayant un pourcentage élevé en chaux libre CaO .

L'utilisation de la chaux éteinte donnant des résultats comparables à ceux de la chaux vive s'accompagne d'un abaissement en teneur en eau mais elle se justifie par sa facilité de manipulation. Dans cette étude on a utilisé la chaux éteinte produite dans la wilaya de Saida (Algérie), où la fiche technique des propriétés chimiques et physiques de la chaux est présentée dans le tableau 1.

Caractéristiques de base	La fiche technique de la chaux
Apparence physique	Poudre blanche sèche
CaO (%)	>73.3
MgO (%)	< 0.5
Fe ₂ O ₃ (%)	< 2
Al ₂ O ₃ (%)	< 1.5
SiO ₂ (%)	< 2.5
SO ₃ (%)	< 0.5
Na ₂ O (%)	0.4 - 0.5
CO ₂ (%)	< 5
CaCO ₃ (%)	< 10
Densité spécifique (g/cm ³)	2
Plus de 90 µm (%)	< 10
Plus de 630 µm (%)	0
Matériau insoluble (%)	< 1
Densité apparente (g/l)	600 - 900

TAB. 1 – La fiche technique des Propriétés physiques et chimiques de la chaux Saida [5].

2.2 Composition des mélanges, la préparation des échantillons

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des blocs de terre comprimée, nous avons stabilisé le sol par la chaux avec trois teneurs différentes : 6, 10 et 14%, le tableau 2 montre la quantité des matériaux utilisés pour chaque série de blocs.

D'après des études menées par [6]-[7], le compactage statique est mieux adapté aux sols argileux, et que la détermination de la teneur en eau optimale pour le BTC à partir de l'essai Proctor est inappropriée, car l'énergie de compactage n'est pas la même que celle d'un compactage statique utilisé pour la fabrication du BTC. Ceci nous a poussé à utiliser la presse directement, et en appliquant le compactage statique selon la méthode proposée par le CDE [8]. L'essai nous a permis de déterminer la teneur en eau optimale correspondant à la masse volumique sèche maximale de chaque série de B.T.C.

Sol+Sable (%)	94	90	86
Chaux (%)	6	10	14

TAB. 2 – La composition des mélanges des B.T.C

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 de 5 l avec une vitesse de 139 tr/min, ensuite on ajoute les liants et on continue le malaxage pendant une minute [10]. 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 plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble (moule + mélange+ piston), le plateau supérieur restant fixe. L'opération est conduite jusqu'à l'affichage sur l'écran de la lecture de la contrainte de compactage désirée. 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 5MPa. En utilisant deux modes de conservations pour les B.T.C premier mode cure par vapeur à 80°C, 100% humidité (enceinte climatique) à 12,24, et 48 heures et deuxième mode cure en atmosphère humide dont les briques sont couvertes par tissu plastique à 28 jours.

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 [9]. 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.

L'essai de la résistance à la compression humide est identique à l'essai de résistance à la compression sèche, excepté le fait que l'échantillon soit humidifié par immersion complète durant deux heures.

3 Résultats

3.1 Cure par vapeur

Pour caractériser l'évolution des résistances mécaniques en fonction du temps de cure par vapeur, nous avons opté pour une composition stabilisée à 6, 10 et 14% de chaux et avec une teneur en sable constante de 30% compactée à 5 MPa, et conservée dans l'enceinte climatique à 80° C, 100% d'humidité pendant 12, 24 et 48 heures.

Les observations suivantes peuvent être faites à partir des résultats représentés sur la figure. 1, figure. 2 et figure. 3

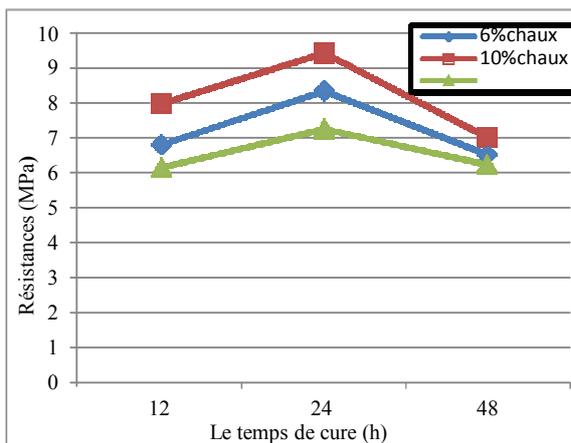


FIG. 1 – Résistance en compression sèche en fonction du temps de cure par vapeur

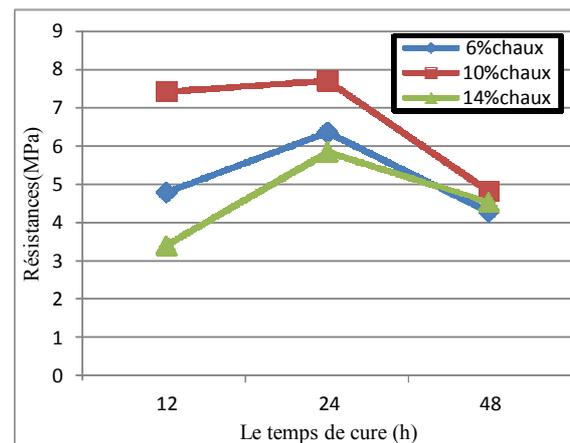


FIG. 2 – Résistance en compression humide en fonction du temps de cure par vapeur

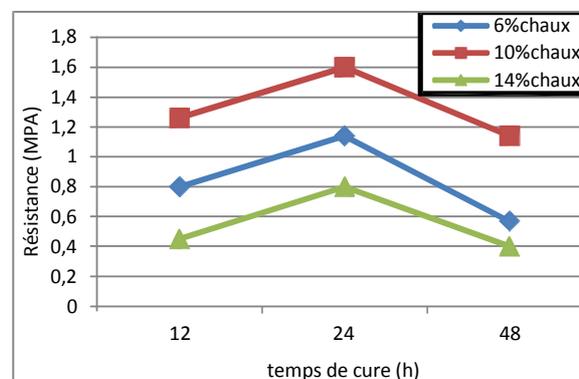


FIG. 3 – Résistance à la traction en fonction du temps de cure par vapeur

- Les résistances à la traction, à la compression à l'état sec et à l'état humide augmentent en fonction du temps de cure jusqu'à l'optimum de 24 heures qui donnera la meilleure résistance, au-delà de cette valeur on constate une chute de résistance pour différents teneurs de chaux, Les travaux consultés à savoir [4] donnent des résultats similaires pour les essais de compression à l'état humide.
- Les résistances (traction, compression à l'état humide et à l'état sec) augmentent d'une manière significative de 6% à 10% de la chaux, cette croissance des résistances est due à l'augmentation du potentiel de cations échangeables du calcium apporté par la chaux, au-delà de 10% de chaux il ya une diminution de la résistance, cette décroissance de la résistance se traduit par la réduction de la cohésion et de la plasticité de l'argile sous l'effet de fortes teneurs en chaux.

3.2 Cure en atmosphère humide et la comparaison entre les deux modes

On a fabriqué pour la terre utilisée une série d'éprouvette dosée à des teneurs en chaux croissantes (6, 10 et 14%) avec un dosage en sable de 30%, compactée à une pression de 5MPa et conservée en atmosphère humide aux températures ambiantes dont les blocs sont couverts par un tissu plastique à 28 jours et puis séchés dans l'étuve à 60C°.

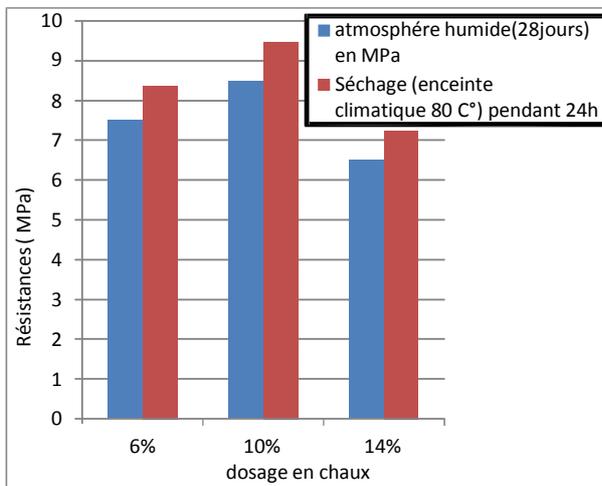


FIG. 4 – Résistance en compression sèche en fonction du dosage en chaux

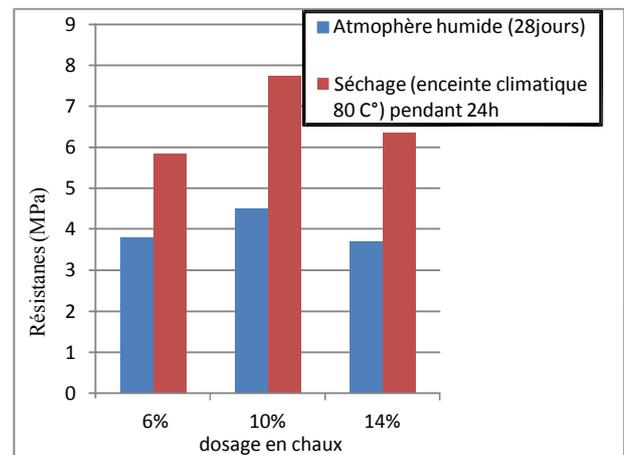


FIG. 5 – Résistance en compression humide en fonction du dosage en chaux

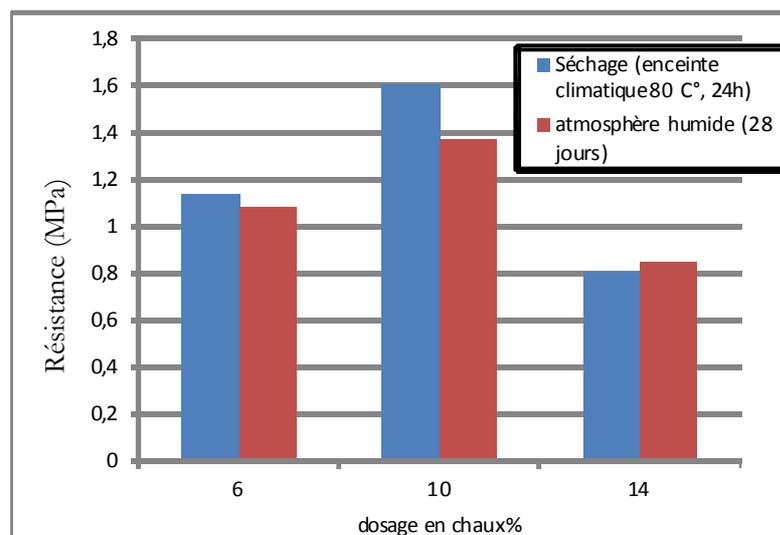


FIG. 6 – La résistance mécanique à la traction en fonction du dosage en chaux

- L'analyse des résultats d'après la figure. 4, la figure. 5 et la figure. 6, indique clairement que les résistances mécaniques pour les briques durcies dans l'enceinte climatique à 24 heures sont supérieures par rapports

aux blocs durcis à l'atmosphère humide à 28 jours pour les différents teneurs en chaux.

- Ainsi l'augmentation de la résistance en compression humide pour les blocs durcis par vapeur est presque deux fois la résistance des briques durcies à l'atmosphère humide.

- Les résistances (traction, compression à l'état humide et à l'état sec) des blocs curés à l'atmosphère humide à 28 jours, augmentent d'une manière significative de 6% à 10% de la chaux, cette croissance des résistances est due à l'augmentation du potentiel de cations échangeables du calcium apporté par la chaux, au-delà de 10% de chaux il y a une diminution de la résistance.

4 Conclusion

Dans le cadre de cette étude, nous avons entrepris de contribuer à l'étude des blocs de terre comprimée 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 cure par vapeur à 24 heures accélère le durcissement des briques de terre stabilisée à la chaux et donne des meilleures résistances mécaniques surtout la résistance en compression humide par rapport au durcissement à l'atmosphère humide à 28 jours.
- Le traitement à la chaux des blocs de terre comprimée et durcis par vapeur améliore les caractéristiques mécaniques spécialement la résistance en compression humide.

Référence

- [1] Oti J.E. Kinuthia J.M. Bai j., Engineering properties of unfired clay masonry bricks, *Engineering Geology*, 107 (2009): 130–139.
- [2] Silveira D. Varum H. Costa A. Martins T. Pereira H. Almeida J., Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions, *Construction and Building Materials*. 2012;28:36–44.
- [3] Houben H. Guillaud H., *Traité de construction en terre*, CRATerre, Edition Parenthèse, Marseille, France, 2006. p 1-355.
- [4] Venkatamara R. Hubli, Propriétés of lime satbilised steam-cured Blocks for masonry, *Matériaux et constructions*: pp293-300, 2002.
- [5] Harichéne K. Ghrici M. Belbbaci A. Mekkaci A., Effet de la chaux et de la pouzzolane naturelle sur le comportement de la plasticité des sols argileux, *Séminaire international, Département de Génie Civil, Institut supérieur des études technologiques de Sfax, Tunisie 2009*.
- [6] P'KLA A., Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (BTC): Application aux maçonneries "BTC-Mortier de terre, Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, France, 1999.
- [7] Mesbah A. Morel JC. Olivier M., Comportement des sols fin argileux pendant un essai de compactage statique: détermination des paramètres pertinents, *Matériaux et constructions*, 1999.vol 32, N°223.
- [8] Centre pour le développement de l'entreprise (CDE), Blocs de terre comprimée : procédures d'essais, Coédition CDE, ENTPE et CRATerre, Bruxelles, Belgique, 2000. p 1-121.
- [9] Mesbah A. Morel JC. Walker P. Ghavami Kh., Development of a direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2004. vol. 16, 95-98.
- [10] Guettala A. Abibsi A. Houari H., Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure, *Construction and Building Materials*, 2006.vol.20,119-127.