



Promotion de la technique du bloc de terre comprimée dans le secteur de la construction par l'amélioration de son comportement mécanique **Promoting the technique of grounding block compressed in the construction sector by improving its mechanical behavior**

A. Ammari¹, K. Bouassria², A. Tayyibi³, H. Bouabid¹, M. Cherraj¹, S. Charif D'ouazzane⁴, M. Ibnoussina⁵

¹ *Dept. de physique - Agdal Université, Rabat, Maroc.*

² *Dept. de physique, Ibn Tofail Université, Kenitra, Maroc.*

³ *Ecole Nationale d'Architecture, Maroc.*

⁴ *LMCM, ENIM Rabat, Maroc.*

⁵ *Université Cadi Ayyad, Faculté Semlalia, Lab. Géoenvironnements/Géorisques/Géotechnique, Marrakech.*

*Corresponding author: A. Ammari, Tel: +212 6 07 15 68 00; E-mail address: abdelmalek09@gmail.com

Abstract

The stabilization of the earth gives good results as it concerns the strength. The chemical elements are critical and allow, in the presence of cement, to strengthen the links between clays and grains. The knowledge of the nature of the earth by identifying its components is essential. This study searches for better performances in the use of natural materials. Our research shows the experimental results of mineralogical and chemical analyses in the territory of Fez. The results of uniaxial compression tests associated with different cement percentages (0%, 4%, 7% and 10%) are presented in order to investigate the effect of the mineralogical and chemical elements on the mechanical properties. The earth of Fez, mainly composed of calcite, quartz and dolomite improved the behaviour of the material by the addition of cement. The strong presence of calcite clay stabilized by the cementation of quartz and the cement matrix has strengthened ties between the grains.

Keywords: calcite, quartz, dolomite, compressive strength, Young's modulus.

1. Introduction

Le procédé de la stabilisation de la terre crue est appliqué systématiquement dans le domaine de la construction, et ce, dans l'objectif d'améliorer ses performances mécaniques. La technique du bloc de terre comprimée est utilisée dans ce sens avec des adjuvants de stabilisation, dont les plus connus sont le ciment, la chaux et les fibres. Cependant, il est constaté que les résultats de cette stabilisation ne sont positifs qu'en fonction de la composition minéralogique et granulométrique de la terre. Notre recherche étudie les potentialités éventuelles de la terre de Fès prise comme échantillon d'étude. Des analyses minéralogiques et chimiques sont ainsi effectuées sur cette terre pour étudier ses éléments chimiques, ses proportions en éléments minéraux (Millogo et al., 2011; Pagliolico et al., 2010; Millogo et al., 2008) et leur influence sur l'apport de ciment, et par conséquent, sur le comportement du matériau terre (Cherraj, 2008; Guettala et al., 2006; Basha et al., 2005; Zine-Dine et al., 2000; Hakimi et al., 1999).

2. Matériau de l'étude

L'échantillon de terre utilisée dans ce travail de recherche est extrait du centre de la ville de Fès conformément aux recommandations édictées par le Laboratoire international CRATerre. Elle est référenciée par 'F'. Le Tableau 1 résume la fraction granulaire de cette terre.

Tableau 1: La fraction granulaire de la terre de Fès

	Fraction granulaire (%)				
	Graviers	Sables gros	sables fins	Limons	Argiles
Terre F	28	30	22	12	8

L'analyse de la partie argileuse de la terre F complète les résultats de son identification, pour définir ses états de consistance dits limites d'Atterberg: limite de liquidité 'WL', limite de plasticité 'WP' et l'indice de plasticité IP = WL - WP. Ces limites sont données au Tableau 2. Il reprend aussi le coefficient d'activité 'Ca' et la surface spécifique 'Sa'.

Tableau 2: Limites de consistance de la terre F

	W_p (%)	W_L (%)	I_P (%)	Ca	Sa (m²/g)
Terre F	25,32	35,58	10,26	1,28	48,93

3. Analyses minéralogiques et chimiques

Pour caractériser le matériau terre de Fès en ce qui concerne ses éléments chimiques et les proportions de ses éléments minéralogiques, quatre différentes techniques d'analyses ont été réalisées au laboratoire de L'UATRS1 du CNRST de Rabat: la diffraction des rayons X, l'Infrarouge, le Microscope Electronique à Balayage et la Fluorescence X.

3.1. Diffraction des Rayon X (DRX)

La diffraction des rayons X de la terre F (Figure 1) montre qu'elle est formée principalement de calcite (CaCO₃), de quartz (SiO₂) et de dolomie [CaMg(CO₃)₂]. La présence de calcite et l'absence de portlandite montrent que les liants sont entièrement carbonatés. D'après Mertens et al. (2006), le quartz n'est pas un liant et il constitue une partie de la fraction de sable fin de l'agrégat.

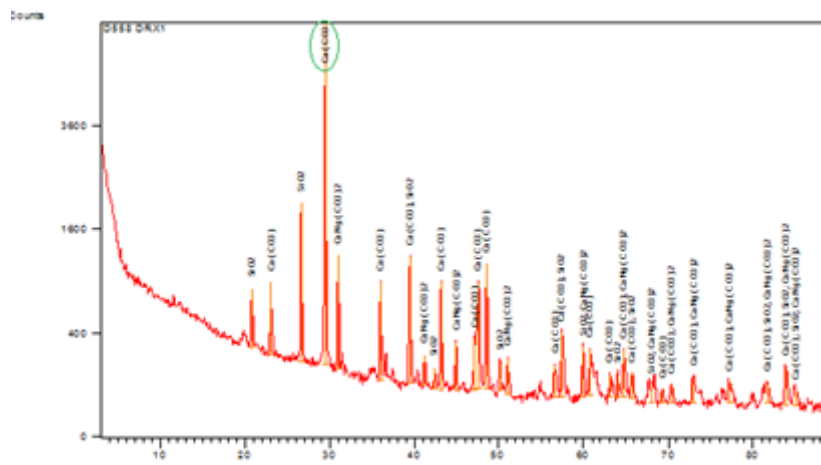


Figure 1: Spectres de diffractions des rayons X

3.2. Analyse d'Infrarouge (IR)

L'analyse d'Infrarouge est une méthode complémentaire de l'analyse de diffraction des Rayons X, elle sert à étudier les argiles et les minéraux argileux.

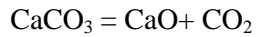
Cette analyse nous a permis d'obtenir les spectres d'Infrarouge de la terre F (Figure 2). Ces spectres sont fortement dominés par des bandes de vibration (1798.1, 1431, 874, 712.6) cm⁻¹ de la calcite (CaCO₃), du quartz (1033.5, 798) cm⁻¹ et d'une bande de vibration de l'eau à 3416.1 cm⁻¹.

¹UATRS: Unités d'Appui Technique à la Recherche Scientifique

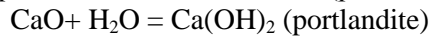
La formation de ces carbonates est liée aux conditions bio-physico-chimiques de la terre. Bien que, la calcite est le produit de la carbonatation de la chaux, cette dernière, une fois gâchée à l'eau et mélangée avec du sable, possède la propriété de faire prise rapidement en agglomérant des particules inertes, tel que le quartz (Gounya et al., 2012; Millogo et Morel, 2012; Millogo et al., 2008; Dekayir et al., 2004).

Les réactions chimiques qui interviennent dans la préparation de cette dernière sont:

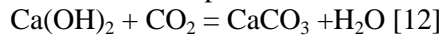
(i) Préparation de la chaux vive par incinération du calcaire entre 900 et 1000°C:



(ii) Préparation de la chaux éteinte (portlandite) par mélange de la chaux vive à l'eau:



(iii) Carbonatation de la phase liante:



Ainsi, on trouve des bandes d'acides humiques et fulviques qui sont liées à l'activité racinaire quelconque (2516.1, 2876.3, 530.5) cm^{-1} (Gounya et al., 2012; Millogo et Morel, 2012; Millogo et al., 2008; Dekayir et al., 2004).

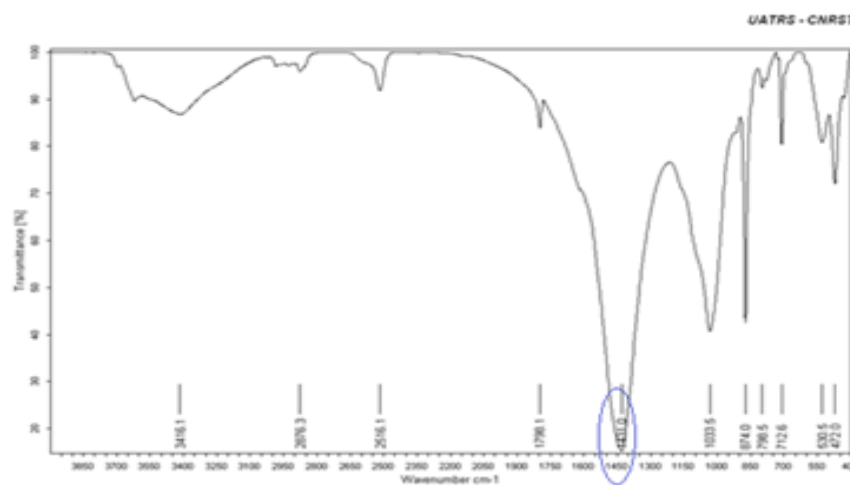


Figure 2: Spectres d'Infrarouge de la terre de Fès

3.3. Observations au Microscope Electronique à Balayage (MEB)

Le MEB permet de réaliser des images de la surface des échantillons en trois dimensions avec une très haute résolution de l'ordre du nanomètre, ce qui nous donne des informations qualitatives sur l'homogénéité de l'échantillon.

D'après les images de la terre F obtenues par le MEB (Figure 3), on remarque que la calcite est dominante ainsi que le quartz.

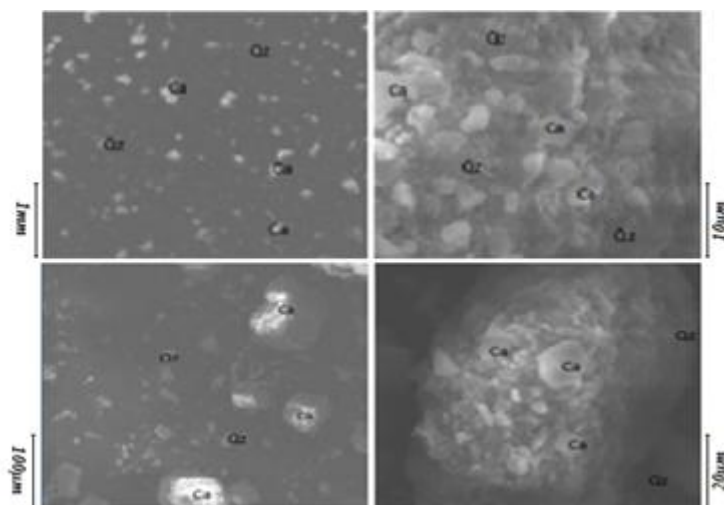


Figure 3: Images MEB prises sur la terre F (Qz: quartz, Ca: calcite)

3.4. Analyse par la fluorescence X

L'analyse par la fluorescence X permet de mesurer le pourcentage des éléments chimiques contenus dans l'échantillon de la terre F.

Tableau 3: taux des éléments chimiques:

<i>N Composés</i>	<i>Conc%</i>	<i>N Composés</i>	<i>Conc%</i>
P.a.f	32,9	TiO ₂	0,226
CaO	31,8	Cl	0,0617
SiO ₂	22,3	MnO ₂	0,0503
Fe ₂ O ₃	1,72	I	0,0168
SO ₃	1,29	PbO	0,015
P ₂ O ₅	0,753	ZrO ₂	0,0143
K ₂ O	0,536	SrO	0,0125
Na ₂ O	0,323	Rb	0,00264

Le Tableau 3 montre que le pourcentage de CaO est de près de 32% qui est dû à la présence de la matrice du carbonate, et d'une teneur en SiO₂ de 22,3% qui est due à la concentration de quartz. De plus, les pertes en feu (P.a.f) sont liées à la présence de l'eau.

4. Résultats expérimentaux

4.1. Mode d'essai

Les essais sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques de dimensions h=12 cm et Ø = 8 cm. L'essai d'écrasement est effectué en plaçant un système anti-fretage composé du Néoprène et du Téflon (Figure 4) entre les deux plateaux de la presse et l'éprouvette. Ce système permet une meilleure distribution des contraintes conduisant ainsi à une homogénéité des déformations et empêchant l'apparition des zones rigides locales instables qui engendre les surfaces de rupture prématurées. Le ciment utilisé dans cette étude est le CPJ35, avec des dosages associés au bloc de 0%, 4%, 7% et 10%.

Avant l'essai, toutes les éprouvettes ont subi une cure de 28 jours: Une conservation sous plastique de 14 jours ce qui entraîne une saturation du milieu en vapeur d'eau. L'hygrométrie est au-delà de 90%, ce qui favorise une meilleure prise de la pâte de ciment et une formation des liaisons solides; et une conservation à l'air libre de 14 jours permettant de stabiliser la teneur en eau résiduelle tout en assurant un bon durcissement de la pâte de ciment. La vitesse d'écrasement est fixée à 0,09 mm/s (RILEM TC 76-LUM-b1).

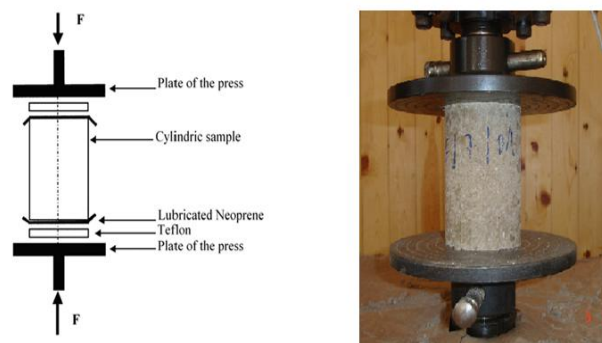


Figure 4: Matériau expérimental de l'essai de compression

4.2. Résultats expérimentaux et interprétations

La terre étudiée est associée aux dosages de 0%, 4%, 7% et 10% en ciment avec un effort de compactage constant égal à 2Mpa. Les caractéristiques relevées à partir de l'expérimentation sont la résistance à la compression 'Rc', et le module d'Young 'E' (pente de la partie linéaire de la courbe de comportement).

Le Tableau 4 regroupe les résultats expérimentaux moyens de la résistance à la compression 'Rc' et le module d'Young 'E' associés aux dosages de 0%, 4%, 7% et 10% en poids de ciment.

Tableau 4: Résultats expérimentaux moyens des blocs de la terre F associés aux différents dosages en ciment

<i>Dosages en ciment</i>	<i>Résultats expérimentaux moyens</i>	
	<i>E(Mpa)</i>	<i>RC (Mpa)</i>
0%	621,1	2,02
4%	862,5	2,46
7%	1194,8	3,62
10%	1456,6	4,58

On remarque d'après les résultats expérimentaux moyens que la valeur de module d'Young passe de 621,1Mpa à 1456,6 Mpa, et celle de la résistance à la compression de 2,02 Mpa à 4,58 Mpa, en allant respectivement de 0% à 10% en poids de ciment. Les résultats des analyses minéralogiques et chimiques de la terre F montrent qu'elle contient un taux de calcite et de quartz élevé. D'après les résultats obtenus par Dekayir et al. (2004), les grains de quartz sont cimentés par la calcite. D'où, pour la terre F, l'argile est stabilisée par la carbonation de la chaux (calcite). Alors que, la matrice de ciment hydraté à la terre réagit de deux façons [Houben et Guillaud, 1994, 2006; Basha et al., 2005): une réaction forte avec le squelette sableux graveleux et une réaction très faible avec l'argile qui est déjà stabilisée par la calcite $CaCO_3$.

Ainsi, le module d'élasticité 'E' et la résistance à la compression 'Rc' augmentent substantiellement en fonction du taux de ciment. Les Figures 5 et 6, donnent l'évolution de la résistance à la compression et du module d'Young des blocs de terre F comprimée.

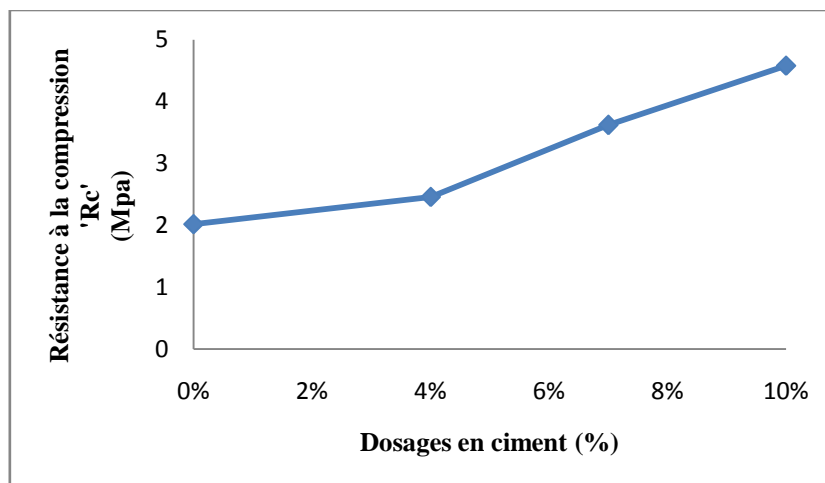


Figure 5: Résistance à la compression de la terre F en fonction du dosage en ciment

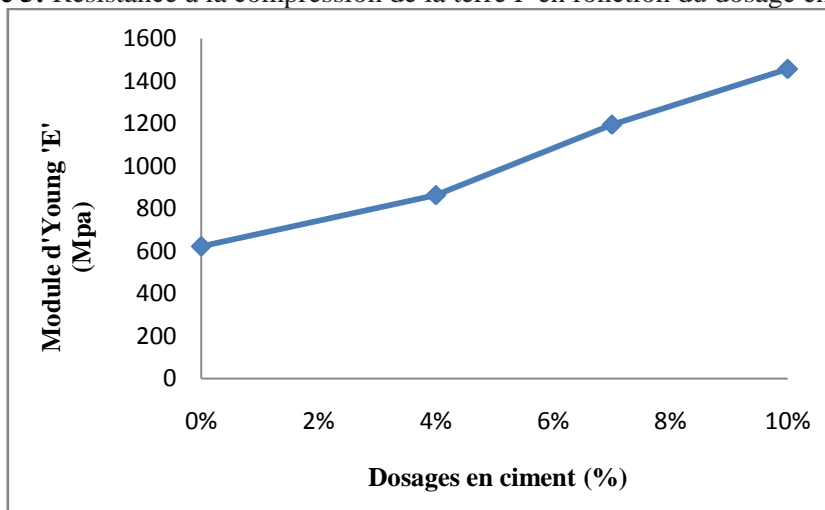


Figure 6: Module d'Young de la terre F en fonction du dosage en ciment

Conclusion

La construction en terre gagne à être promu grâce au recours à l'ingénierie moderne appliquée aux savoirs faire traditionnels. En effet, la terre locale bénéficie d'avantages importants qui permettent une meilleure performance mécanique, et ce, notamment, en présence d'adjuvants de stabilisation utilisés à des proportions convenables.

Notre recherche nous a permis de confirmer cette constatation par les deux points suivants:

L'étude effectuée sur la terre de Fès conforte l'intérêt de la stabilisation dans la mesure d'une connaissance approfondie de la nature des sols. En effet, les différents résultats obtenus démontrent que la composante chimique de l'argile de la terre de Fès matérialisée par la calcite CaCO_3 avec une teneur en SiO_2 (22,3%) élevée due à la concentration en quartz et en dolomie, consolide le bloc de terre comprimé stabilisé.

La résistance à la compression et le module d'Young des blocs de terre F ont significativement augmenté en fonction de la teneur en ciment. Cette augmentation significative est constatée à environ le double en passant d'un taux de ciment de 0% à 7%; celle-ci est due à la forte présence de la calcite qui a stabilisé la fraction argileuse (dominée par le quartz) pendant que la matrice de ciment a renforcé les liens entre les grains de la terre (squelette).

References

1. Bahar R., Benazzoug M., Kenai S., Performance of compacted cement-stabilised soil, *Cement & Concrete Composites*, (2004) 811–820.
2. Basha E. A., Hashim R., Mahmud H. B., Muntohar A. S., Stabilisation of residual soil with rice husk ash and cement, *Construction and Building Materials*, (2005) 448- 453.
3. Cherraj J M., thèse de doctorat, Valorisation des matériaux locaux: Un modèle numérique d'évaluation des caractéristiques mécaniques du BTC et du mortier en fonction de la stabilisation en compactage et/ou en ciment, (2008), Université Mohamed V – Agdal, Rabat.
4. Dekayir A., Amouric M., Olives J., Parron C., Nadiri A., Chergui A., El Hajraoui M. A., Structure et caractérisation des matériaux utilisés dans la construction d'une mosaïque romaine de la cité de Volubilis (Maroc), *C. R. Géoscience*, (2004) 1061–1070.
5. Gounya F., Fouchal F., Maillard P., Rossignol S., A geopolymer mortar for wood and earth structures, *Construction and Building Materials*, (2012), p. 188–195.
6. Guettala A., Abibsi A., Houari H., Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure, *Construction and Building Materials*, (2006) 119–127.
7. Hakimi A., Fassi-Fehri O., Bouabid H., Charifd'Ouazzane S., El kortbi M., Non-linear behaviour of the compressed earth block by elasticity damage coupling, *Materials & Structures*, (1999) 539-545.
8. Houben H., Guillaud H., Earth construction: a comprehensive guide, Intermediate Technology Publications, (1994), p. 73.
9. Houben.H., Guillaud H., Traité de construction en terre, CRATerre-EAG, Editions Parenthèses, Marseille, (2006).
10. Mertens G., Elsen J., Laduron D., Brul R., Minéralogie des silicates de calcium présents dans des mortiers anciens à Tournai, *Revue d'archéométrie*, (2006), No.30.
11. Millogo Y., Hajjaji M., Morel J.C., Physical properties, microstructure and mineralogy of termite mound material considered as construction materials, *Applied Clay Science*, (2011) 160–164.
12. Millogo Y., Hajjaji M., Ouedraogo R., Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks, *Construction and Building Materials*, (2008) 2386–2392.
13. Millogo Y., Morel J.C., Microstructural characterization and mechanical properties of cement stabilized adobes, *Materials and Structures*, (2012) 1311–1318.
14. Pagliolico S.L., Ronchetti S., Turcato E.A., Bottino G., Gallo L.M., De Paolia R., Physicochemical and mineralogical characterization of earth for building in North West Italy, *Applied Clay Science*, (2010) 439–454.
15. RILEM TC 76-LUM-b1., Compressive strength of small walls and prisms, (1991).
16. Zine-Dine K., Bouabid H., El Kortbi M., Charif D'ouazzane S., Hakimi A., El Hammoumi A., Fassi-Fehri O., Rheology of walls in compressed earth block in uniaxial compression: Study and modelling, *Materials & Structures*, (2000) 529-536.

(2016); <http://www.jmaterenvironsci.com>