

---

# Evaluation des propriétés mécaniques des briques en terre crue à différentes hygrométries

L. Laou<sup>1,2</sup>, S. Ait-Ali Said<sup>1</sup>, S. Yotte<sup>1</sup>, L. Ulmet<sup>1</sup>, P. Maillard<sup>3</sup>, S. Rossignol<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes – Equipe Génie Civil et Durabilité. Université de Limoges, Boulevard Jacques Derche, 19300 Egletons, France, mail : [lamyaa.laou@unilim.fr](mailto:lamyaa.laou@unilim.fr), [sarah.ait-ali-said@etu.unilim.fr](mailto:sarah.ait-ali-said@etu.unilim.fr), [laurent.ulmet@unilim.fr](mailto:laurent.ulmet@unilim.fr), [sylvie.yotte@unilim.fr](mailto:sylvie.yotte@unilim.fr).

<sup>2</sup> Sciences des Procédés Céramiques et de Traitements de Surface (SPCTS), Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, 12 Rue Atlantis, 87068 Limoges cedex, France, mail : [lamyaa.laou@etu.unilim.fr](mailto:lamyaa.laou@etu.unilim.fr), [sylvie.rossignol@unilim.fr](mailto:sylvie.rossignol@unilim.fr).

<sup>3</sup>Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction, 1 avenue d'Ester, 87069 Limoges Cedex, France, mail : [p.maillard@ctmnc.fr](mailto:p.maillard@ctmnc.fr).

[lamyaa.laou@unilim.fr](mailto:lamyaa.laou@unilim.fr)

---

**RÉSUMÉ.** La présente étude traite de l'influence des sollicitations hydriques des murs fabriqués en brique en terre crue sur leur comportement mécanique. Pour cela, une comparaison de deux lots de briques en terre crue (Br1 et Br2) de différentes compositions, de microstructures et de procédés de fabrication différents a été menée. Les résultats permettent de souligner le problème du séchage, et de le mettre en relation avec l'évolution des contraintes à la rupture en compression/traction en fonction de la teneur en eau. Les essais de compression mettent en évidence une diminution de la résistance en compression de 12% pour une variation de 1 % de teneur en eau. Ainsi, un ratio de 3 entre la résistance en compression des deux briques (6 MPa pour Br1 et 20 MPa pour Br2) à 8 % de HR et à T = 23 °C est observé. Une variation similaire de la résistance en traction en fonction de la teneur en eau a été également constatée. Pour les deux briques le rapport entre la résistance en compression et en traction est proche de 3.

**ABSTRACT.** The present study deals with relative humidity influence on mechanical behavior of unfired clay brick walls. For that, two types of brick (Br1 and Br2) with different composition, microstructure and manufacturing process were compared. The results underline the problem of drying and relate the evolution of compressive / tensile strength as a function of the water content. Compression tests demonstrate a decrease in compressive strength of 12% for a 1% variation in water content. A ratio of 3 between the compressive strength of the two bricks (6 MPa for Br1 and 20 MPa for Br2) at 8 % RH and T = 23 °C, was observed. A similar variation in the tensile strength as a function of the relative humidity was detected. The ratio between compressive and tensile strength of each brick is near 3 as well.

**MOTS-CLÉS:** brique en terre crue, humidité relative, compression, traction.

**KEYWORDS:** earth brick, relative humidity, compressive, tensile.

---

## 1. Introduction

La consommation énergétique mondiale ne cesse de croître. En Europe, le secteur du bâtiment représente 40 % de l'énergie primaire consommée. En dépit des réglementations thermiques mises en place, le chauffage et la climatisation représentent toujours 60 % de l'énergie totale consommée par les bâtiments. Le transfert thermique à travers l'enveloppe des bâtiments reste donc la principale cause de consommation énergétique. Pour réduire cette dépense, des actions de recherche et de développement ont été menées dans le domaine des matériaux et la conception des parois [JAQ 09]. Une voie sélectionnée est l'utilisation dans l'enveloppe du bâtiment de parois constituées de matériaux hygroscopiques comme la terre crue, capables de réguler l'humidité et la température de l'ambiance sans avoir recours aux systèmes de climatisation ou de chauffage.

Les parois de l'enveloppe des bâtiments sont en interaction constante avec l'environnement extérieur et l'air intérieur et sont le siège de transferts de chaleur, d'humidité, et d'air. Par ailleurs, un gradient d'hygrométrie important peut causer des dommages à la construction, en particulier lors du séchage. Par conséquent, l'étude du comportement hydromécanique des briques en terre crue en traction et compression s'avère indispensable. Dans cette étude, des résultats d'essais sont présentés pour deux différents types de briques.

## 2. Matériaux et méthodes expérimentales

### 2.1 Matériaux

Les deux lots de briques (Br1 et Br2) issues d'un procédé de fabrication par extrusion ont été prélevés dans deux briqueteries différentes. Les briques sont retirées de la chaîne de production classique de la terre cuite après séchage et avant cuisson. La comparaison des propriétés mécaniques de ces deux matériaux est très intéressante puisqu'ils présentent de grandes différences en termes de masse volumique, de composition minéralogique, de pourcentage d'argile et de processus de fabrication. En effet, la brique Br1 est simplement extrudée alors que la brique Br2 l'est sous vide.

### 2.2 Méthodes expérimentales

Les essais mécaniques réalisés pour caractériser le comportement des briques à différentes humidités relatives sont des essais de compression et des essais de flexion 3 points. Les deux essais ont été réalisés suivant les normes NF XP 13-901 pour l'essai de compression et NF EN 1015-11 pour l'essai de flexion simple. L'appareillage utilisé pour les deux essais est une presse Zwick équipée d'une cellule de charge de 50 kN. Pour mesurer les déformations durant l'essai de compression, des jauges de type « rosettes » ont été collées au milieu des éprouvettes. Le module d'élasticité a été déterminé par le calcul de la pente de la courbe contrainte/déformation. Pour l'essai de flexion 3 points, les déformations ont été mesurées à l'aide d'une jauge « linéaire », collé sur la partie inférieure de l'éprouvette, et distante de 1 cm de l'axe d'application de la charge (côté fibre tendue). La contrainte au pic a été calculée avec la théorie des poutres (RDM). Le tableau 1 résume les caractéristiques des essais.

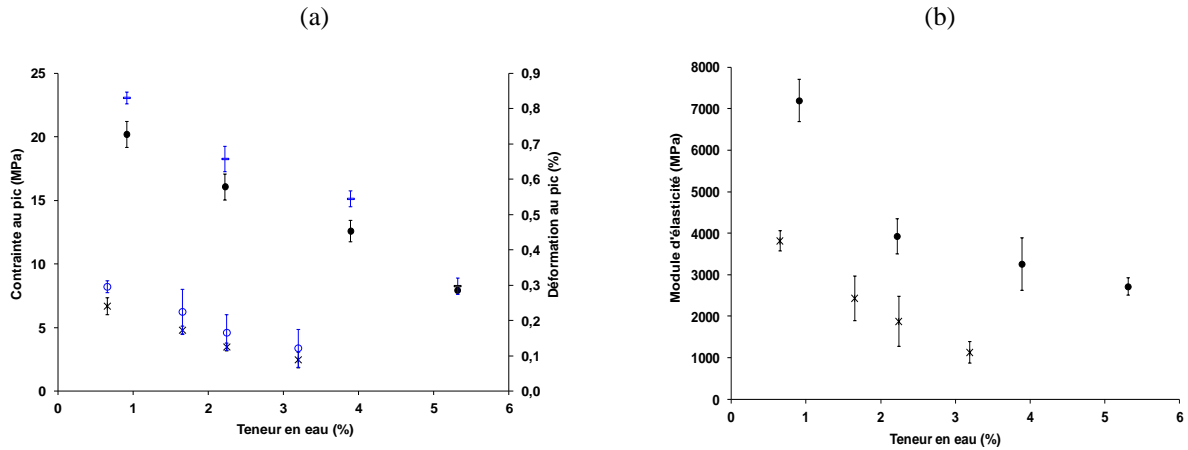
Tableau 1. Caractéristiques des essais

Essai	Nombre d'éprouvettes	Taille d'éprouvette (cm <sup>3</sup> )	Température (°C)	Vitesse de traverse (mm/min)	Niveaux d'hygrométrie (%)	Teneur en eau correspondante à l'équilibre (%)
Compression	6	5 x 5 x 10	23	0,5	8, 30, 55 et 75	0,6; 1,6; 2,2; 3,2
Flexion simple	6	4 x 4 x 16	23	0,3	8, 30, 55 et 75	0,9; 2,2; 3,9; 5,3

## 3. Résultats

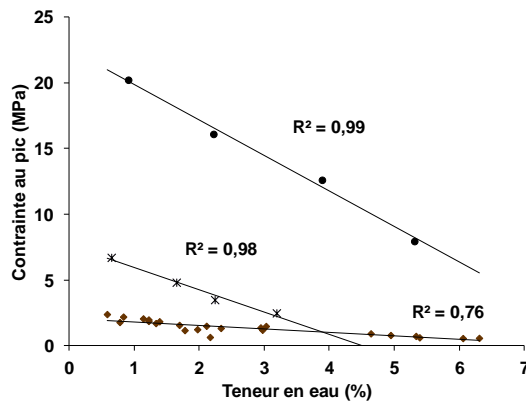
La Figure 1(a et b) représente respectivement les évolutions des valeurs de la contrainte et de la déformation à la rupture ainsi que le module d'élasticité en fonction de la teneur en eau. Il est noté une diminution de la contrainte et de la déformation au pic en moyenne de 12 % pour une variation de teneur en eau de 1 % pour les deux briques. De plus, pour les différentes hygrométries, la brique Br2 représente une résistance trois fois plus élevée que celle de la brique Br1. A titre d'exemple, pour 30 % de HR, les deux briques Br1 et Br2 représentent respectivement une résistance de 16 MPa et de 5 MPa pour des variations de teneur en eau de 1,6 et de 2,2 %. Ces évolutions, peuvent être modélisées selon une loi linéaire d'équation :  $\sigma_c = A w + B$  avec B la résistance en compression du matériau anhydre et A représente la résistance à la compression pour 1 % de variation de teneur en eau. La variation du module d'élasticité en fonction de la teneur en eau montre le même comportement, ce dernier varie de 7200 à 3000 MPa pour Br2 et de 3800 à 1200 MPa pour Br1 sur la plage de teneur en eau

étudiée. Les valeurs obtenues révèlent une diminution du module d'élasticité de 14 % pour une variation de teneur en eau de 1 % pour les deux briques.



**Figure 1.** (a) Contrainte au pic (x) Br1 et (●) Br2 /déformation au pic (-) Br1 et (○) Br2 ; (b) module d'élasticité en fonction de la teneur en eau (x) Br1 et (●) Br2.

La Figure 2 représente la comparaison de la contrainte au pic en fonction de la teneur en eau pour les deux briques étudiées et du pisé [PIR 12]. Le comportement des deux briques est très bien corrélé avec une loi linéaire avec un coefficient de corrélation d'environ 0,99. Pour le pisé, les travaux de PIRAT et al. [PIR12] ont modélisé ces données (pisé) par une loi puissance avec un coefficient de corrélation de 0,89.

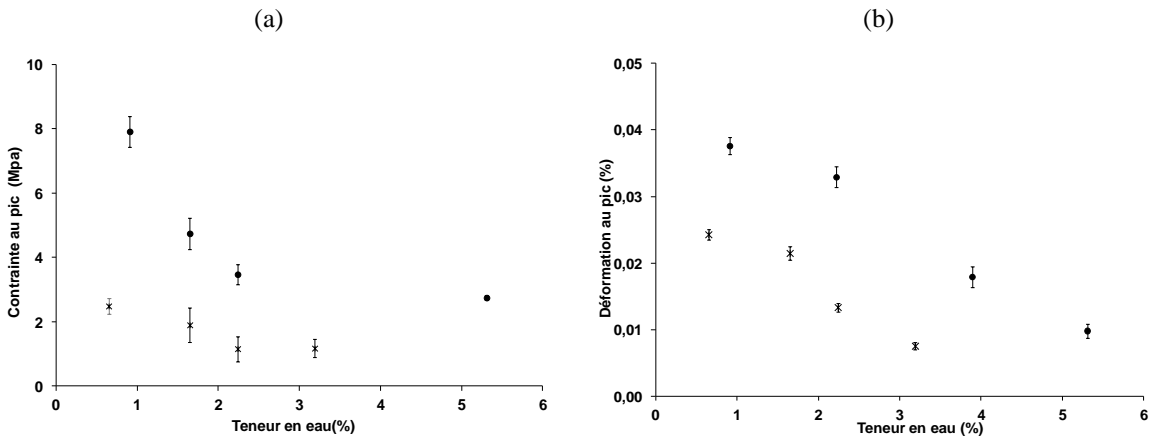


**Figure 2.** Valeurs de la contrainte au pic des deux briques (x) Br1, (●) Br2 et (◆) du pisé en fonction de la teneur en eau

Sur le plan du modèle, il est possible d'ajuster les données de PIRAT par une loi linéaire (coefficient de corrélation 0,86). De plus, les résultats de résistance en compression obtenus sont beaucoup plus faibles pour le pisé. Le fait de pouvoir choisir deux modèles indifféremment (loi puissance ou loi linéaire) et la faiblesse relative de la résistance peut s'expliquer par le mode de fabrication manuel (mélange et compactage). Ce mode de fabrication augmente l'hétérogénéité et la dispersion des résultats. De plus, les phénomènes physiques conduisant à cette chute de résistance en fonction de la teneur en eau sont nombreux (voir §3). C'est pourquoi, de façon pragmatique, il sera gardé un modèle linéaire pour cette plage de valeur de teneur en eau.

- Essai de flexion 3 points

La Figure 3 (a et b) recense respectivement les valeurs de la résistance et de la déformation en traction en fonction de la teneur en eau. Il est noté une diminution (Figure 3.a) de la résistance en traction de 12 % pour une variation de 1 % de la teneur en eau pour les deux briques. Il est important de préciser que la brique Br2 possède une résistance en traction plus importante que la brique Br1. Le même comportement a été observé pour les variations de la déformation et un modèle linéaire peut être utilisé (Figure 3.b). Les valeurs de la résistance en traction en moyenne sont trois fois plus faibles que la résistance en compression, ce qui est en accord avec les essais réalisés sur les mortiers de terre sans ciment par [PKL 03].



**Figure 3.** (a) *Contraite* et (b) *déformation à la rupture en traction en fonction de la teneur en eau pour les briques* (x) Br1 et (●) Br2

### 3. Discussions

Les résultats mécaniques de compression et de traction mettent en évidence une diminution de la contrainte et de la déformation au pic en fonction de la teneur en eau pour les deux briques. Ceci peut être expliqué par la modification de l'intensité des liaisons physico-chimiques entre les plaquettes argileuses, et donc la diminution des forces capillaires quand la teneur en eau augmente. Il est à noter que pour les mêmes taux d'hygrométries, la valeur de la résistance au pic de la brique Br2 est plus élevée que celle de la brique Br1. Ceci est dû d'une part, au mode de fabrication entraînant une porosité différente pour les deux types de briques : 21 % pour Br2 (extrusion sous vide) et 31 % pour Br1 (extrusion simple). Et d'autre part, à la teneur en minéraux argileux de la brique Br2 (46,6 %) plus élevée que de la brique Br1 (28,8 %).

### 4. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis via une campagne expérimentale d'évaluer la résistance mécanique en compression et en traction de deux types de briques en terre crue. Il a été constaté une diminution de la résistance en traction et en compression en fonction de la teneur en eau, pouvant être modélisée par une relation linéaire. Le séchage d'un mur de 80 % à 50 % d'humidité relative entraîne des contraintes internes induisant une rupture dans le matériau [GOU 13]. En effet, l'eau migre dans le mur vers l'extérieur et vers les joints. Le matériau en terre crue subit alors une augmentation de sa résistance en traction et en compression et est exposé aux contraintes engendrées par le retrait au moment du séchage. L'augmentation de résistance est donc insuffisante pour empêcher l'apparition de fissures dans le matériau. Pour cela, il faudrait diminuer le retrait et /ou augmenter la pente de la courbe contrainte au pic en fonction de la teneur en eau. Ceci consisterait à augmenter la valeur critique du critère de rupture exprimée soit en termes de déformation ou en termes de contrainte. L'expression du critère en fonction de la déformation peut être intéressante pour travailler sur les propriétés de dilatations des briques en fonction de la teneur en eau.

D'autres pistes de recherche sont envisageables comme (i) établir le lien entre la composition de la terre, sa microstructure et le comportement mécanique et (ii) réaliser d'autres essais mécaniques sous différentes atmosphères (essai brésilien, essai de cisaillement...).

### 4. Bibliographie

- [JAQ 09] JAQUIN P-A., « Humidity regulation in earth buildings », *Ramboll Technical Forum*, London, Novembre 2009.
- [PIR 12] Pirat P-E., Filloux R., « Etude de l'effet d'échelle sur le matériau terre », *Projet d'initiation à la Recherche et au Développement*, INSA-Lyon, 2012.
- [PKL 03] PKLA A., MESBAH A., RIGASSI V., MOREL J. C., « Comparaison de méthodes d'essais de mesures des caractéristiques mécaniques des mortiers de terre », *Materials and Structures*, vol.36, 2003, p. 108-117.
- [ROU 03] ROUQUEROL F., LUCIANI L., LLEWELLYN P., DENOYEL R., ROUQUEROL J., « Texture des matériaux pulvérulent ou poreux » *Technique de l'ingénieur*, 2003, p.1050