

ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE LA BRIQUE DE TERRE CUITE

ABOU DALLE, M.¹, LE, T.T.H.², MEFTAH, F.³, SARI, M.⁴

Introduction

Les techniques de construction en petits éléments de maçonnerie présentent de très nombreux avantages, que les professionnels du domaine exploitent avec profit : grandes facilité et simplicité de mise en œuvre, rapidité de montage, performances mécaniques et thermiques, durabilité élevées, etc.

Afin de répondre aux impératifs sans cesse croissants en matière de sécurité, de confort et de coût, de nombreux laboratoires travaillent au développement de procédés originaux de maçonnerie, et se penchent, en particulier, sur leurs performances au feu. Des méthodes originales d'essais et de modélisation sont ainsi proposées.

Le comportement au feu des murs en maçonneries dépend du comportement de leurs composants élémentaires, tels que briques, joints et revêtements. De ce fait, il est nécessaire de le considérer à différentes échelles (de l'échelle du matériau intrinsèque à celle, réelle, du mur), puis de faire des simulations numériques, à des fins de modélisation. Les travaux présentés dans cet article portent sur une caractérisation mécanique à l'échelle du matériau en terre cuite.

Etude bibliographique

Selon plusieurs références [1], le comportement de la terre cuite à différentes températures est, globalement, de type élastique, fragile. La Figure 1 montre l'évolution de la résistance en compression et du module de Young en fonction de la température de tessons extraits d'une brique en terre cuite, dans la direction d'extrusion. Le module de Young de la brique de terre cuite, ainsi que sa résistance à la compression, ne sont pas impactés de manière significative jusqu'à 600°C ; par ailleurs, une augmentation de la résistance en compression est observée jusqu'à 900°C, le module de Young restant relativement inchangé jusqu'à cette température. Selon d'autres travaux [2], le module de Young diminue de façon linéaire avec l'augmentation de la température, comme montré sur la Figure 2.

La divergence de ces résultats illustre l'intérêt d'étudier le module de Young à différentes températures en tenant compte de critères plus spécifiques, afin d'optimiser la modélisation. De ce fait, des essais ont été réalisés sur la base de la position et de l'orientation des différentes parois de la brique (extérieures, intérieures, longitudinales et transversales). En outre, des essais non-destructifs et destructifs ont été réalisés sur ces échantillons, pour comparer les résultats des différentes méthodes.

¹ ABOU DALLE, Mahmoud, INSA de Rennes et CTMNC, France, abou-dalle.m@ctmnc.fr

² LE, Thi Thu Huong, CTMNC, 17 rue Letellier, 75726 Paris Cedex 15, France, le.tth@ctmnc.fr

³ MEFTAH, Fekri, INSA de Rennes, 20 avenue des Buttes de Coëmes, CS 70839, 35708 RENNES Cedex, France, fekri.meftah@insa-rennes.fr

⁴ SARI, Mustapha, CTMNC, 17 rue Letellier, 75726 Paris Cedex 15, France, sari.m@ctmnc.fr

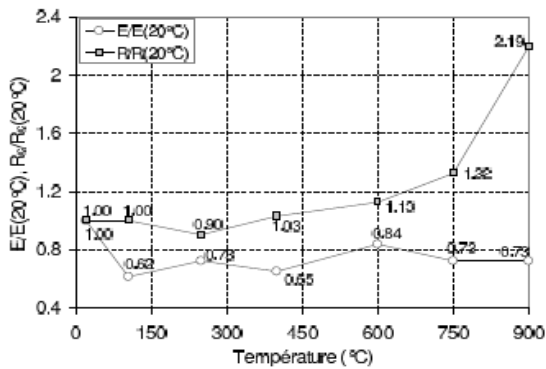


Figure 1 : Évolution de la résistance en compression et du module de Young en fonction de la temp. - Tessons extraits d'une brique en terre cuite - $R_c(20^\circ\text{C}) = 32.2 \text{ MPa}$; $E(20^\circ\text{C}) = 2.7 \text{ GPa}$ [1]

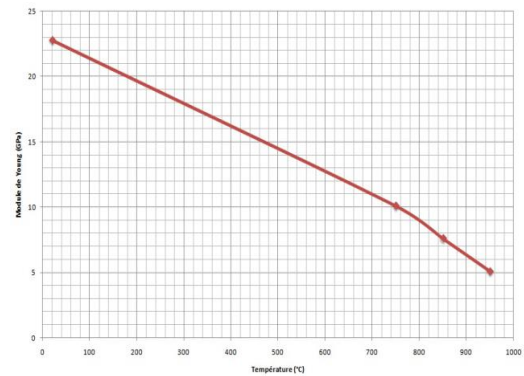


Figure 2 : Évolution du module de Young en fonction de la temp. - Tessons extraits d'une brique en terre cuite - $E(20^\circ\text{C}) = 22.8 \text{ GPa}$ [2]

Essais de compression monotone et avec cycles de charge - décharge

1. Essais de compression monotone : Les éprouvettes d'essai ont été prélevées sur les parois extérieures de briques alvéolées ; elles ont une forme parallélépipédique, avec des épaisseurs variant de 4 à 10 mm. La vitesse de chargement a été de 30 N/s.
2. Cycles de charge-décharge : Des tessons de $15 \times 15 \times 8.5 \text{ mm}^3$ extraits de la paroi extérieure ont été utilisés. La vitesse de chargement a également été de 30 N/s. Trois cycles de chargement - déchargement (jusqu'à des niveaux de 1000 – 2000 - 3000 N) ont été effectués à cette même vitesse.

Pour chaque configuration, six éprouvettes ont été testées.

La figure 3 donne les valeurs moyennes du module de Young de la paroi extérieure déterminées par compression monotone et cyclique, sur la même brique. On observe, ici, une différence de 12% entre les valeurs du module de Young.

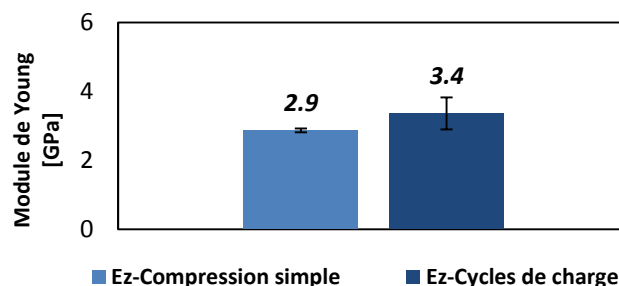


Figure 3 : Comparaison entre les valeurs moyennes du module de Young par la compression monotone et avec cycles de charge - décharge de la même brique

Essais statiques en flexion

La détermination de la résistance en traction a été réalisée par l'intermédiaire d'essais de flexion "trois points" ou "quatre points". Les éprouvettes ont été extraites selon trois directions, dans différentes parois de la brique. Cinq (5) échantillons ont été testés pour

chaque direction et paroi, avec des dimensions 300 x 20 x ép. pour les directions X, Z et 200 x 20 x ép. pour la direction Y (Figure 4).

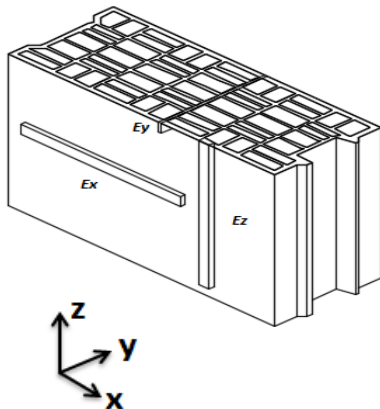


Figure 4 : Directions d'extraction des éprouvettes d'essai

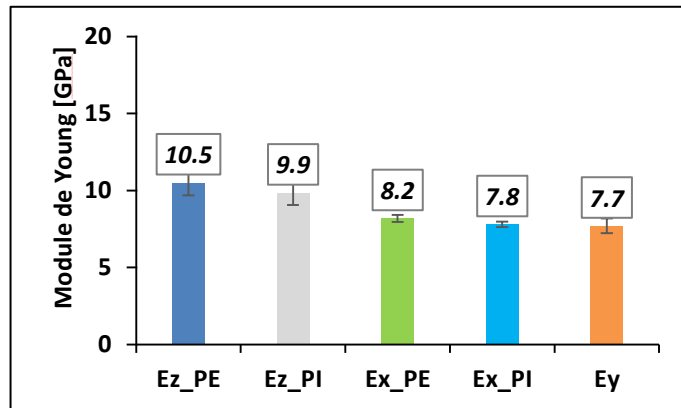


Figure 5 : Comparaison entre les valeurs moyennes du module de Young selon les différentes directions

La figure 5 présente la variation du module de Young selon les directions X, Y et Z : On constate qu'il y a une différence entre les résultats des trois directions. Les échantillons extraits selon la direction Z (direction d'extrusion) ont les valeurs les plus élevées. Ceci est dû à une différence de densification de la pâte argileuse, durant la fabrication des briques. De plus, on remarque que les valeurs du module de Young obtenues dans l'essai de compression diffèrent de celles de l'essai de flexion. Ceci s'explique par le fait que la porosité du matériau influence sa réponse mécanique : Dans l'essai de compression simple, les pores sont confinés et le matériau est consolidé jusqu'à un certain niveau, alors que dans l'essai de flexion, la matrice poreuse est étirée.

Comparaison entre les essais non-destructifs et destructifs

Les essais non-destructifs ont été réalisés sur la base de mesures de FRF (réponses en fréquence) de barreau mise en flexion dynamique par excitation impulsionnelle au pot vibrant. Des éprouvettes prismatiques (extraites des briques) ont été utilisées, une pastille étant disposée à leur milieu, fixée à la tête d'impédance. Dans cette dernière, se trouvent un capteur de force et un accéléromètre (Figure 6).

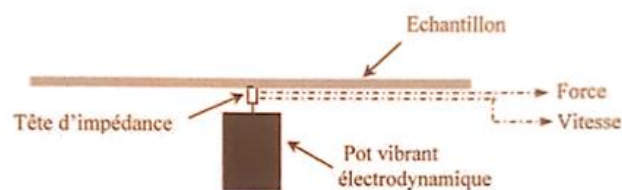


Figure 6 : Schéma expérimental de l'essai du pot vibrant [3]

Le module de Young peut être calculé d'après l'équation de Bernoulli, ci-dessous [3]:

$$E = \frac{3\pi^2 \rho L^4}{\gamma_n^4 h^2} f_n^2$$

Tel que : E est le module de Young, ρ est la masse volumique, h est l'épaisseur, L est la longueur, f est la fréquence de résonance, γ dépend des conditions aux limites.

La figure 7 montre un bon accord entre les valeurs de différents essais selon les trois directions, les valeurs mesurées par la technique du pot vibrant étant légèrement plus grandes.

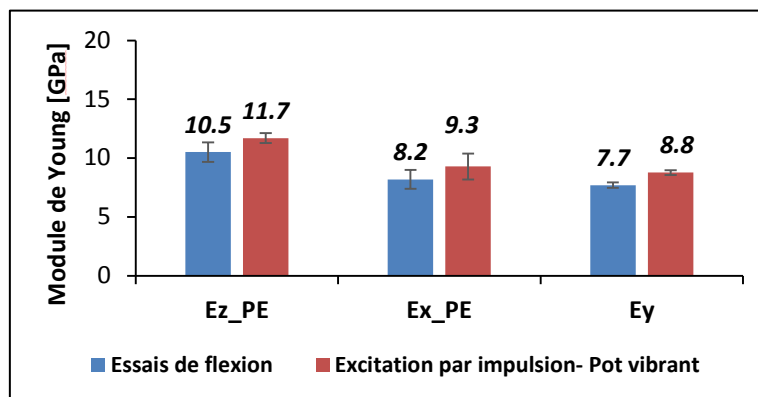


Figure 7 : Comparaison des valeurs de module de Young mesurées dans les essais de flexion 3 points et les essais non-destructifs (au pot vibrant) selon X, Y, Z - Parois extérieures, rectifiées.

Conclusion

Les essais de compression simple et de flexion réalisés permettent de mieux appréhender le comportement mécanique des tessons considérés. La comparaison entre les essais non-destructifs par la méthode du pot vibrant et les essais de flexion 3 points donnent également des conclusions intéressantes.

1. Les valeurs du module de Young obtenues dans l'essai de compression sont plus faibles que celles de l'essai de flexion. Il est nécessaire de prendre cette différence en compte dans la modélisation numérique.
2. Les valeurs du module de Young sont différentes selon la direction considérée. Ceci est dû à l'anisotropie du matériau, liée au processus d'extrusion. Cet aspect est également à prendre en compte dans la modélisation.
3. Il y a un bon accord entre les valeurs du module de Young des essais dynamiques non-destructifs (pot vibrant) et les essais de flexion 3 points.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement Sébastien Ciukaj, Magda Ez-zaher et Dwen Delbauche pour leur participation à ce travail.

Références

- [1] Nguyen, T.-D. *Etude du comportement au feu des maçonneries de briques en terre cuite : Approche expérimentale et modélisation du risque d'écaillage*. Thèse de doctorat. Université Paris-Est, 2009.
- [2] Sridi, A. *Modélisations thermomécanique et numérique du comportement de maçonneries en briques alvéolées en terre cuite sous chargements mécanique et thermique sévères*. Thèse de doctorat. Université Paris-Saclay, 2018.
- [3] Jacques, G. – *Etude des caractéristiques acoustiques des matériaux alvéolaires utilisés pour la construction de parois dans le bâtiment* – Thèse de doctorat. Université de Toulouse, 2011 (pages 148 à 159).