
Evaluation des propriétés hydriques des briques en terre crue en fonction de leurs compositions et leurs microstructures.

L. Laou^{1,2}, L. Ulmet¹, S. Yotte¹, S. Ait-Ali Said¹, P. Maillard³, S. Rossignol².

¹ 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, sarah.ait-ali-said@etu.unilim.fr, laurent.ulmet@unilim.fr, sylvie.yotte@unilim.fr.

² Sciences des Procédés Céramiques et de Traitements de Surface (SPCTS), ENSIL ENSCI, 12 Rue Atlantis, 87068 Limoges cedex, France, mail : lamyaa.laou@unilim.fr, sylvie.rossignol@unilim.fr.

³ Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction, 1 avenue d'Ester, 87069 Limoges Cedex, France, mail : p.maillard@ctmnc.fr.

lamyaa.laou@unilim.fr

RÉSUMÉ. La présente étude s'intéresse à l'effet de la composition, de la microstructure des briques en terre crue sur leurs propriétés hydriques. Pour pouvoir identifier les différents facteurs régissant ces propriétés, une comparaison de deux lots de briques en terre crue (Brique Br1 et Brique Br2) est réalisée. La capacité d'adsorption de la brique Br2 extrudée sous vide est deux fois plus importante que celle de la brique extrudée simplement. Les résultats expérimentaux et numériques montrent que la perméabilité apparente est supérieure pour la brique Br1 (malgré sa faible capacité de stockage) à celle de la brique Br2. De plus, il est possible d'avoir une loi continue de la perméabilité en fonction de la teneur en eau contrairement au test de la coupelle normalisé. Ces essais montrent que les deux matériaux choisis possèdent des qualités hydriques susceptibles de réagir de façon satisfaisante aux différentes sollicitations.

ABSTRACT. The present study investigates the effect of the composition, and the microstructure of the mud bricks on their hydric properties. In order to identify the different factors governing these properties, a comparison of two batches of mud bricks (Brick Br1 and Brick Br2) is carried out. The adsorption capacity of the Br2 brick extruded under vacuum is twice as important as that of the brick extruded simply. The experimental and numerical results show that the apparent permeability is higher for the Br1 brick despite its low storage capacity compared to that of the Br2 brick. Moreover, it is possible to have a continuous law of permeability in terms of the moisture content, in contrast to the standardized cup test. These tests show that the two materials chosen have hydric qualities capable of reacting satisfactorily to the various solicitations.

MOTS-CLÉS : brique en terre crue, composition, microstructure, capacité d'adsorption, régulation

KEYWORDS: mud bricks, composition, adsorption capacity, microstructure, regulation

1. Introduction

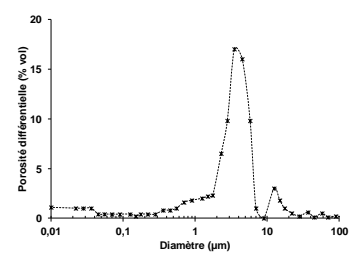
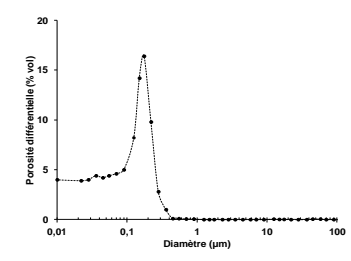
La construction en terre crue, dans ses différentes formes comme pisé, torchis ou adobe est utilisée depuis des siècles dans les bâtiments traditionnels. Récemment, il a été observé un nouveau regain dans la construction en terre crue, et par conséquent, une augmentation des activités de recherche sur les propriétés de ces matériaux [JAQ 09]. Le premier point d'intérêt des constructions en terre crue est provoqué par la hausse croissante du coût de l'énergie, qui se répercute sur des produits comme le ciment et la brique cuite. La terre crue a de nombreuses retombées positives sur l'environnement et la société tels qu'un faible coût d'énergie ou une contribution plus faible aux émissions de gaz à effet de serre par rapport aux autres matériaux de construction. Le deuxième intérêt est lié aux propriétés physiques de ce matériau présentant une meilleure inertie thermique, une plus grande perméabilité et une grande capacité d'adsorption. Le but de cette étude est de faire le lien entre les propriétés hydriques évaluées en termes de capacité d'adsorption et en termes de perméabilité apparente avec la composition ou la microstructure des briques en terre crue. Dans ce travail, la comparaison de deux types de brique en terre crue sera faite vis-à-vis de ces deux propriétés.

1. Matériaux et méthodes expérimentales

2.1 Matériaux

Les deux lots de briques (Brique Br1 et Brique Br2) testées ont été prélevés dans deux usines de briqueteries différentes issues d'un procédé de fabrication par extrusion. Les briques sont retirées de la chaîne de production classique de la terre cuite après séchage et avant cuisson. Leurs principales caractéristiques sont répertoriées dans le Tableau 1. La comparaison des propriétés hygrométriques de ces deux matériaux révèle des différences en termes de masse volumique, de composition minéralogique, de pourcentage d'argile et de processus de fabrication. En effet, la brique Br1 est extrudée simplement alors que la Brique Br2 l'est aussi mais sous vide.

Tableau 1. Principales caractéristiques des briques

Nom	Répartition des particules	ρ_{anhydre} (kg/m ³)	Porosité (%)	S_{BET} (m ² /g)	Répartition de tailles des pores
Br1	28,8 % Argile 62,9 % Limon 8,3 % Sable	1700	31	4	
Br2	46,6 % Argile 41,3 % Limon 12,1 % Sable	2200	21	10	

2.2 Méthodes et résultats

2.2.1 Isotherme de sorption

Les isothermes de sorption sont décrites par une courbe rapportant la teneur en eau d'équilibre de l'échantillon en fonction de l'humidité relative de l'atmosphère qui l'entoure. Ces essais ont été réalisés sur des échantillons cubiques 4×4×4 cm³ suivant les recommandations de la norme NF EN 12571. Trois échantillons ont été soumis à l'essai et la valeur moyenne est présentée. La Figure 1 illustre la variation de la teneur en eau d'équilibre en fonction de l'humidité relative pour les deux briques Br1 et Br2. Les courbes des deux matériaux ont une allure presque identique présentant une augmentation de la teneur en eau avec l'humidité relative. Il est à noter que la courbe de sorption de Brique Br1 est en dessous de celle de Brique Br2, ce qui montre que sa capacité d'adsorption sous l'effet des variations d'humidité relative est plus faible.

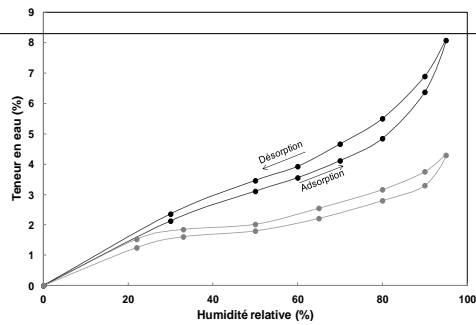


Figure 1. Isotherme de sorption à 23 °C pour les briques (●) Br1 et (●) Br2.

2.2.2 Perméabilité apparente

- **Méthode numérique**

Il a été choisi d'identifier la perméabilité apparente (phase vapeur + phase liquide) en exploitant les cinétiques de sorption. Les paliers de sorptions sont simulés par un modèle de transfert hygro-thermique, développé au GEMH dans l'environnement « Eléments finis CAST3M » [CAS]. L'identification paramétrique repose sur la minimisation avec la méthode simplexe des écarts entre les valeurs de teneur en eau moyennes théoriques et mesurées. Pour chaque palier de sorption, les valeurs de perméabilité en fonction de la teneur en eau sont déterminées par cette démarche. Cela a été réalisé sur les courbes d'adsorption et de désorption.

- **Méthode expérimentale**

L'essai de perméabilité a été réalisé selon une méthode normalisée NF EN ISO 12572 modifiée de façon à imposer différentes humidités relatives. Il consiste à imposer un gradient de pression de vapeur d'eau constant et unidirectionnel de part et d'autre d'une éprouvette scellée sur une coupelle en polypropylène. L'humidité relative à l'intérieur de la coupelle, est contrôlée par une solution saline placée dans celle-ci. Les échantillons sont ensuite placés dans une enceinte climatique à 23°C imposant ainsi différentes humidités relatives extérieures. La différence de pression partielle de vapeur d'eau entre la coupelle et la chambre climatique sont enregistrées en continu à l'aide des capteurs thermo-hydriques (Figure 2.a). La perméabilité δ_{app} du matériau est calculée par l'équation [2] :

$$\delta_{app} = (G \times e) / (S \times \Delta P_v) \quad [2]$$

où G est le flux de vapeur (Figure 2.b), calculé en régime stationnaire en kg/s, e représente l'épaisseur de l'éprouvette en m, S est la surface exposée moyenne de l'éprouvette en m² et ΔP_v la différence de pression partielle de vapeur d'eau entre les deux faces de l'éprouvette en Pa.

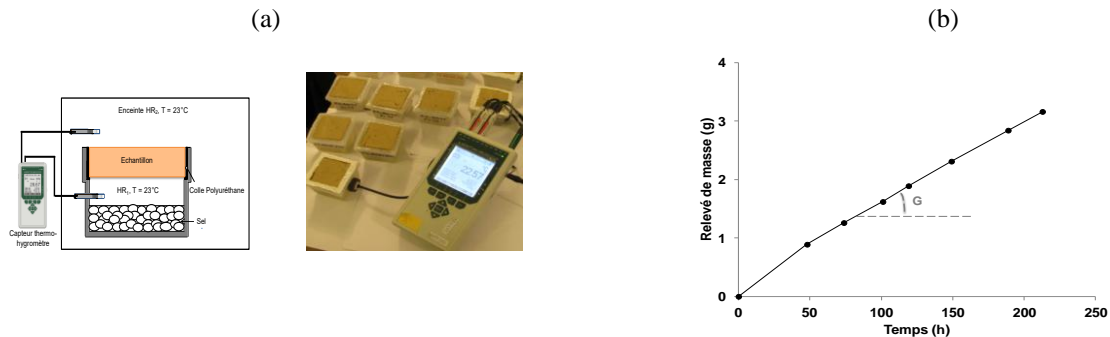


Figure 2. (a) Schéma du dispositif de perméabilité à la vapeur d'eau et (b) relevé de masse en fonction de temps correspondant.

Les différentes valeurs de perméabilité obtenues numériquement sont représentées sur la Figure 2.a pour les deux briques Br1 et Br2. Il est noté que la perméabilité augmente avec la teneur en eau pour les deux briques et qu'elle est plus élevée pour la brique Br1. Cette augmentation devient plus importante pour une teneur en eau supérieure respectivement à 4 et 5 % pour la brique Br1 et Br2. Il convient d'être prudent sur l'utilisation de ces valeurs dans ces domaines proches de la saturation, car le mode de transfert sous forme liquide devient alors prédominant. Pour valider cette méthode d'identification, une comparaison des résultats numériques et expérimentaux est présentée sur la Figure (3.b). Il est à noter que les valeurs de la perméabilité obtenues

expérimentalement suivent la même tendance que celles obtenues numériquement. Ce résultat conforte les résultats numériques.

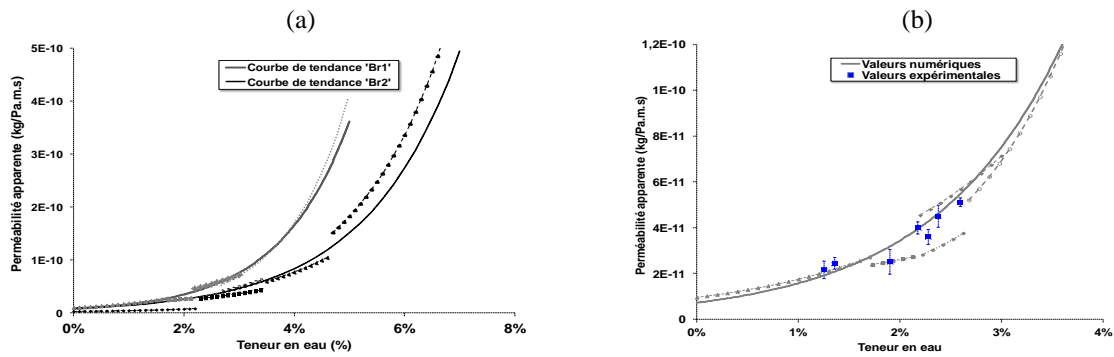


Figure 3. (a) Valeurs numériques de la perméabilité apparente en fonction de la teneur en eau des deux briques (—) Br1 (---) Br2 et (b) confrontation des résultats expérimentaux (■) et numériques (—) pour la brique Br1, pour des teneurs en eau de 0 % à 4 %.

2. Discussions

La brique Br2 montre une capacité de stockage de vapeur d'eau plus importante (8 %) que la brique Br1 (4 %). Il est important de préciser que la porosité ouverte de Br1 (31 %) est supérieure à celle de Br2 (21 %) mais la capacité d'adsorption est supérieure pour la brique Br2. Ceci signifie que la porosité seule n'est pas le paramètre qui permet de prédire la capacité d'adsorption de ce matériau. D'après [Don 03] la répartition de taille de pores est prépondérante. Celle-ci est différente pour les deux briques avec des tailles de pores plus élevées pour la brique Br1. La répartition en taille est monomodale (5 μm) pour la brique Br1 et bimodale (0,04 μm – 0,2 μm) pour la brique Br2 (Tableau1). En effet, un matériau constitué de pores de petites tailles en nombre présente un caractère hygroscopique plus marqué que s'il était constitué de pores de tailles élevées [RAI 07]. Les travaux de Bourges sur l'adobe [BOU 03] montrent que la perméabilité augmente en fonction du taux de minéraux argileux et de leur capacité d'adsorption de la vapeur. La perméabilité de la brique Br1 plus élevée que celle de la brique Br2 pour une teneur en minéraux argileux plus faible souligne que ces deux paramètres doivent être pondérés. Par conséquent, il faudrait aussi prendre en compte la porosité et la répartition des tailles de pores.

3. Conclusion

Ce travail a permis via des approches expérimentales et numériques d'évaluer, d'une part la capacité à adsorber l'humidité pour deux lots de briques en terre crue ayant une composition et une microstructure différente. Les résultats obtenus pour les deux types de briques montrent que les propriétés hydriques dépendent non seulement de leurs minéralogies mais aussi de leurs microstructures. De plus, la confrontation des résultats numériques et expérimentaux montrent la possibilité d'identifier la perméabilité sur un large domaine d'humidité relative. D'autre part, une modification du test de la coupelle a permis d'obtenir une série de points expérimentaux et de confirmer les valeurs obtenues numériquement. Ces caractéristiques hydriques soulignent la capacité de la terre crue à réguler l'ambiance au sein d'une construction.

4. Bibliographie

[BOU 03] BOURGES A., « Study on the physical-mechanical properties on artificial adobe and determination of the water influence », Rapport Projet Terra, 69 p., 2003.

[CAS]CAST3M, Code aux éléments finis, Commissariat français à l'Energie Atomique (CEA), www.cast3M.cea.fr

[DON 03] DONDI M., PRINCIPI P., RAIMONDO M., ZANARINI G., « Water vapour permeability of clay bricks », *Construction and Building Materials*, vol. 17, 2003, p. 253–258.

[JAQ 09] JAQUIN P.-A., « Humidity regulation in earth buildings », Ramboll Technical Forum, London, Novembre 2009.

[RAI 07] RAIMONDO M., DONDI M., MAZZANTI F., STEFANIZZI P., BONDI P., « Equilibrium moisture content of clay bricks: The influence of the porous structure », *Building and Environment*, vol. 42, 2007, p. 926-932.

[KOL 97] KOLSKI C., *Interfaces homme-machine*, Paris, Editions Hermès, 1997.