

Etude Thermique de la Terre Stabilisée au Ciment Utilisée en Construction au Nord du Maroc

H. Ezbakhe, S. Bousad, A. El Bakkour, T. Ajzoul et A. El Bouardi

Laboratoire de Thermique, Energie Solaire & Environnement, Faculté des Sciences, Université A. Essaâdi, B.P. 2121, Tétouan, Maroc

Résumé - *L'estimation des paramètres thermophysiques des matériaux de construction joue un rôle primordial dans un grand nombre de domaines scientifiques et industriels. Notre choix s'est porté sur le matériau terre qui connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise énergétique et celle du logement. Contrairement au ciment, au béton ou à l'acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée comme matériau de construction pratiquement sans dépense d'énergie, elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux et culturels. Nous présentons dans cet article, les résultats concernant les propriétés thermophysiques de la terre extraite de la région de Larache au Nord du Maroc où le mode de mise en oeuvre traditionnel dominant est l'adobe.*

Les résultats obtenus montrent que l'humidité modifie considérablement les propriétés thermophysiques de la terre et que la stabilisation au ciment augmente la résistance du matériau face aux variations de l'humidité. L'influence notable de la masse volumique sur la conductivité thermique a été montrée. L'ajout de ciment au matériau initial fait diminuer la teneur en eau de saturation des matériaux stabilisés au fur et à mesure que le taux de ciment augmente, tout en augmentant le temps de fin de reprise d'eau lors de l'essai de capillarité.

Mots clés: Conductivité thermique - Diffusivité thermique - Méthode des boîtes - Terre stabilisée au ciment.

1. INTRODUCTION

Nos recherches menées au Laboratoire de Thermique, Energie solaire et Environnement entrent dans le cadre des études consistant à développer la connaissance des matériaux locaux utilisés dans la construction au Nord du Maroc, tel que : le plâtre, le liège, la brique creuse [1]. Récemment, et dans le cadre d'un projet de recherche (Pars, Physique 012), un intérêt particulier a été donné au matériau terre [2]. L'objectif de cette étude était de caractériser ce matériau prélevé de six différents sites du nord du Maroc et d'y mener une étude comparative. A partir des résultats thermiques et granulométriques obtenus [3], notre choix s'est porté sur la terre prélevée du site de Larache, où la filière de construction dominante est l'adobe : c'est une brique de terre crue stabilisée ou pas, moulée manuellement à l'état plastique et séchée à l'air libre.

Il s'agit de présenter les résultats concernant les propriétés thermiques (conductivité et diffusivité) de ce matériau. L'effet de la stabilisation au ciment sur ces paramètres thermiques est mis en évidence. Pour des conditions pratiques et économiques, nous nous sommes fixés dans le cadre de notre étude à des taux de ciment allant de 0 % à 10 %. Du fait que L'eau est le facteur principal des agents susceptibles de dégrader les constructions en terre, nous avons choisi de mener en parallèle une étude sur l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques de ce matériau.

La conductivité thermique apparente en régime permanent et la diffusivité thermique en régime dynamique sont mesurées expérimentalement par 'la méthode des boîtes' [4].

2. PRINCIPE DE MESURE DES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES

La technique de mesure des caractéristiques thermophysiques est la méthode des boîtes. Elle a été mise au point par le laboratoire d'études thermiques et solaires de l'Université Claude Bernard Lyon I en France [4]. Un prototype similaire a été monté dans notre laboratoire. Les dimensions des briques échantillons sont parallélépipédiques (27 x 27 x e) cm³ dont l'épaisseur e varie de 2 à 6 cm, elles sont déterminées en fonction de l'outil de mesure utilisé.

2.1 Conductivité thermique

L'échantillon (E), placé entre la capacité isotherme froide (A) et la source de chaleur à flux constant (R), est traversé par un flux thermique supposé unidirectionnel. On mesure alors le gradient de température qui s'établit entre ses deux faces lorsque celui-ci devient constant (Fig. 1). Une fois le régime permanent établi, la conductivité thermique apparente est donnée par :

$$\lambda_a = \frac{e}{S \Delta T} (q + C \Delta T') \quad (1)$$

avec : C : Coefficient de déperdition thermique ($W \cdot ^\circ C^{-1}$); e : Epaisseur de l'échantillon (m); q : flux de chaleur (W); S : Surface de l'échantillon (m^2); ΔT : Ecart de température entre les faces chaude et froide de l'échantillon ($^\circ C$); $\Delta T'$: écart de température entre les ambiances extérieure et intérieure de la boîte ($^\circ C$)

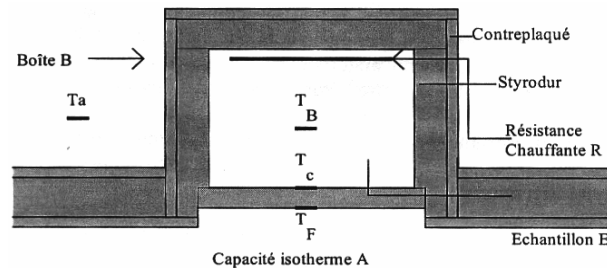


Fig. 1: Boîte de mesure de la conductivité thermique et position des sondes

2.2 Diffusivité thermique

Le dispositif est le même que celui utilisé pour la mesure de la conductivité thermique de l'échantillon (figure 2) [1, 2].

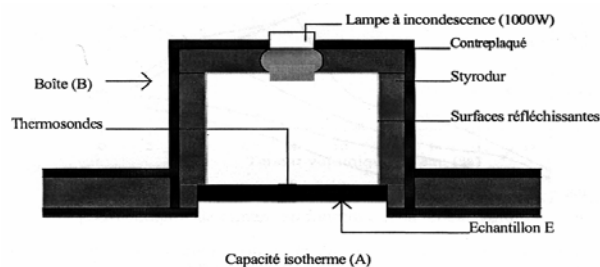


Fig. 2: Boîte de mesure de la diffusivité thermique

L'échantillon, placé entre la boîte chaude (B) à parois internes réfléchissantes et la capacité isotherme (A), reçoit une impulsion thermique, de courte durée (t_0), d'une source de rayonnement thermique à flux constant constituée d'une lampe à incandescence de puissance (1000 W). L'analyse du thermogramme expérimental enregistré sur la face non irradiée de l'échantillon (E) permet de déterminer, en utilisant des techniques de dépouillement déjà existantes [5, 6], la diffusivité thermique apparente a .

3. ETUDE THERMOPHYSIQUE DU MATERIAU TERRE DE LARACHE STABILISEE AU CIMENT

Pour améliorer les propriétés mécaniques de la terre, on la stabilise avec du ciment. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à des taux variant de 0 % à 10 % (0 %, 4 %, 5 %, 8 %, et 10 %).

L'eau étant le facteur principal des agents susceptibles de dégrader les constructions en terre, il nous a paru nécessaire de mener également une étude sur l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques du matériau. Nos mesures ont été effectuées pour des teneurs en eau choisies intermédiaires entre l'état sec et l'état de saturation.

3.1 Résultats et interprétations

3.1.1 Conductivité thermique

Sur la figure 3, nous avons représenté l'illustration graphique des résultats de mesures de la conductivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau effectués sur le matériau terre de Larache dosé à différents pourcentages de ciment.

D'après les résultats obtenus, on constate que la conductivité thermique croît en fonction du taux de ciment. Ce résultat reste valable dans tout le domaine de variation de la teneur en eau des échantillons, ce qui peut s'expliquer par le fait que l'ajout du ciment apporte au matériau initial beaucoup d'éléments fins qui bouchent les pores créés par la proximité des particules de grandes dimensions. Le matériau obtenu après le mélange est moins poreux que le matériau initial. On constate également que la conductivité thermique augmente en fonction de la teneur en eau, ce résultat a été observé sur d'autres matériaux tel que le plâtre et les briques creuses rouges [1].

Les teneurs en eau envisagées pour la terre crue non stabilisée restent faibles comparées à celles obtenues pour la terre dosée au ciment ; en fait la terre crue retient facilement l'eau qui provoque la désagrégation et même l'effritement de l'échantillon. Le matériau stabilisé au ciment est donc plus résistant aux effets de l'humidité.

3.1.2 Diffusivité thermique

Les résultats de mesures de la diffusivité thermique en fonction de la teneur volumique en eau effectuées sur le matériau terre dosé à différents pourcentages de ciment sont illustrés sur la figure 4. Ces résultats sont obtenus à partir de la méthode de Yezou de dépouillement du thermogramme expérimental [6].

Cette méthode de dépouillement a été retenue du fait que ses conditions expérimentales sont proches des nôtres. On constate une augmentation de la diffusivité thermique en fonction de la teneur en eau. Par contre, pour une teneur en eau donnée, la diffusivité thermique décroît en fonction du taux de ciment, ceci s'explique tout simplement par la relation : $a = \lambda/\rho c$.

4. RESULTATS ET COMMENTAIRES

L'observation des figures 3 et 4 montre que le comportement thermique des matériaux étudiés est fonction de la teneur en eau au sein de ces matériaux et l'on peut distinguer trois domaines :

- A l'état sec et pour des teneurs en eau faibles, le transfert de chaleur se fait essentiellement au niveau des points de contact entre les grains formant le matériau, d'où la faible augmentation de la valeur de la conductivité thermique.

- L'augmentation de la teneur en eau, entraîne la formation des ponts thermiques ou ponts de conduction de la chaleur au sein du matériau ; d'où l'augmentation de la conductivité et de la diffusivité thermiques du matériau.

- On ne peut déterminer le comportement thermique du matériau terre crue dans le domaine des fortes teneurs en eau. L'état de saturation absolue n'a pu être atteint que pour des matériaux en terre stabilisée au ciment. Pour ces derniers, lorsque la teneur en eau atteint une valeur maximale correspondant à l'état de saturation ou état de formation de chemins continus, la conductivité thermique tend à se stabiliser.

Des résultats similaires ont été observés sur la terre stabilisée et compressée prélevée de différents sites au sud du Maroc [8].

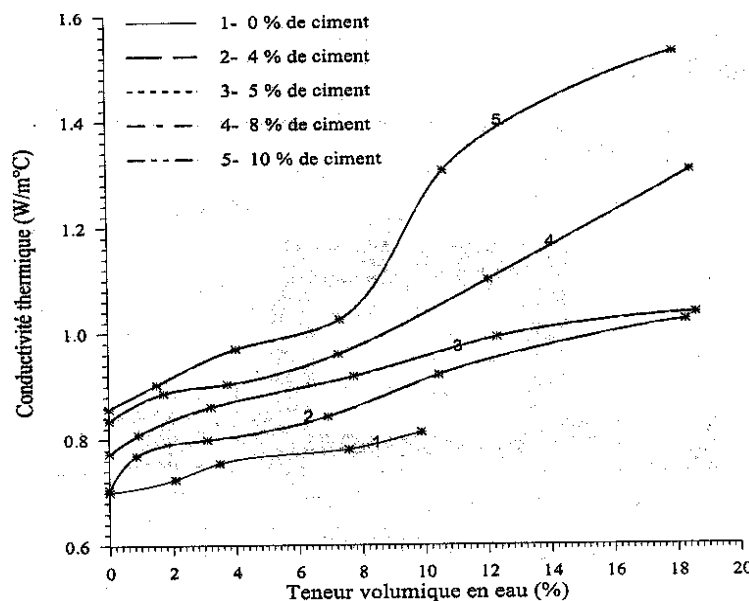


Fig. 3: Conductivité thermique de la terre dosée à différents pourcentages de ciment en fonction de la teneur volumique en eau

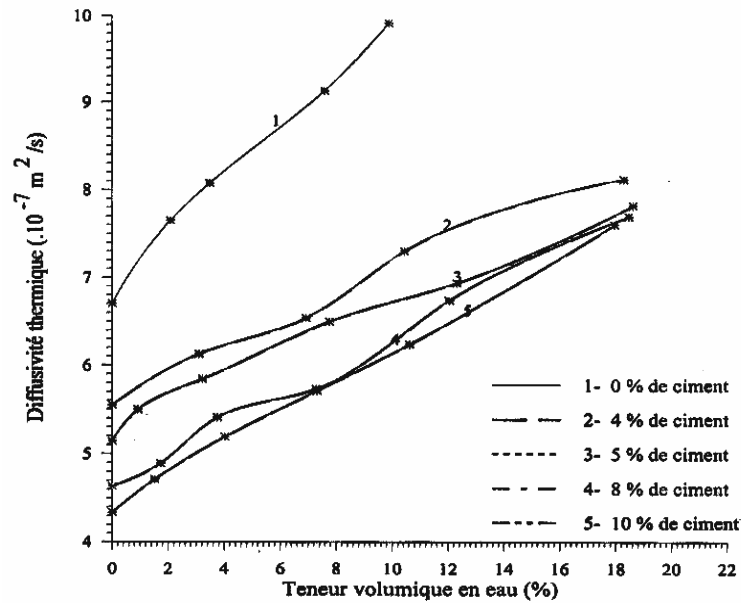


Fig. 4: Diffusivité thermique de la terre dosée à différents pourcentages de ciment en fonction de la teneur volumique en eau

5. CONCLUSION

Le regain d'intérêt que connaît actuellement le matériau terre est largement justifié; c'est un matériau local par excellence. Lorsqu'il est stabilisé au ciment, il peut servir comme isolant porteur pour des constructions individuelles.

A l'issue des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons dégager certaines conclusions :

- Les paramètres thermiques évoluent considérablement avec la teneur en eau pour la terre crue (0 % de ciment) et la terre stabilisée au ciment (de 4 à 10 % de ciment).
- Les teneurs en eau envisagées pour la terre non stabilisée restent faibles comparées à celles utilisées pour les matériaux dosés au ciment, ceci est dû au fait que le matériau stabilisé est plus résistant aux effets de l'humidité.
- Les propriétés thermiques du matériau ne sont pas à elles seules un critère de choix, il faut également tenir compte de l'état du matériau, de sa disponibilité et de ses propriétés mécaniques.

Hormis son utilisation dans la construction, à l'état brute ou stabilisé au ciment, la terre peut servir, une fois stabilisée avec la margine (résidu, polluant et non utilisé, de l'huile des olives), à la formation des chaussées des pistes agricoles par exemple. Un projet dans ce cadre, a été présenté pour financement, au Centre National de Recherche Scientifique Marocain.

REFERENCES

- [1] A. El Bakkouri, 'Caractérisation Thermophysique et Mécanique de Quelques Matériaux Locaux Utilisés dans l'Isolation et la Construction au Maroc: le Plâtre, le Liège, la Brique Creuse', Thèse de Diplôme d'Etudes Supérieures de 3^{ème} Cycle, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences de Tétouan, 1996.
- [2] S. Boussaid, A. El Bakkouri, H. Ezbakhe, A. El Bouardi et T. Ajzoul, 'Méthode Générale d'Identification des Paramètres Thermophysiques du Matériau Terre Utilisé dans la Construction dans le Nord du Maroc', 4^{ème} Congrès de Mécanique, pp. 137-138, Mohammadia, Maroc, 13-16 avril 1999.
- [3] H. Ezbakhe, S. Boussaid, A. El Bakkouri, A. El Bouardi et T. Ajzoul, 'Etude Thermophysique du Matériau Terre Utilisé dans la Construction dans le Nord du Maroc', 9^{èmes} JITH, pp. 91-98, Liège, Belgique, 15-18 septembre 1999.
- [4] H. Ezbakhe, 'Caractéristiques Thermiques et Mécaniques des Matériaux Poreux Utilisés comme Isolants Simples ou Porteurs', Thèse de Doctorat d'Etat, U.C.B Lyon I, 1986.
- [5] A. Degiovanni, 'Diffusivité et Méthode Flash', Revue Générale de Thermique, 185, pp. 420-442, 1977.
- [6] R. Yezou, 'Contribution à l'Etude des Propriétés Thermophysiques des Matériaux de Construction Cohérents et non Cohérents', Thèse de Docteur-Ingénieur, INSA, Lyon, 1978.
- [7] -, 'Terre Cuite et Construction', N°83, 2/97, Editée par le Groupement National de l'Industrie de la Terre Cuite.
- [8] M. El Kortbi, 'Energie et Bâtiment - Etude Thermophysique des Matériaux Locaux : la Terre', La Recherche Appliquée au LPEE, Bilan 97/98, juin 1999.