

Transfert de chaleur dans une brique contenant un matériau à changement de phase

Laurent ROYON^{1,2}, André BONTEMPS², Hébert SALLEE³, Gérard GUIFFANT¹

¹ Université Paris 7, Laboratoire MSC, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet CC 7056, Paris cedex 13, France.

² Université Paris Est Marne la Vallée, IUT 2 rue A. Einstein, 77420 Champs sur Marne

³ Université Joseph Fourier, Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels (LEGI), BP 53, Grenoble cedex 9, France.

⁴ Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 24, rue Joseph Fourier, 38400, Saint Martin d'Hères, France.

(* laurent.royon@paris7.jussieu.fr)

Résumé – Des briques remplies d'un matériau à changement de phase (MCP) à base de paraffine sont proposées pour augmenter l'inertie thermique des parois de bâtiments. L'enthalpie de fusion, la température de transition solide – liquide et la conductivité thermique du MCP sont évaluées au moyen de techniques usuelles (micro-DSC et conductimètre à fil chaud). Une étude comparative du comportement thermique d'une brique creuse et d'une brique contenant le MCP, soumises simultanément à une sollicitation thermique, est présentée.

Mots clés : Matériaux à Changement de Phase, MCP, Stockage d'énergie, Inertie thermique,

Nomenclature

C_p capacité thermique massique, $J\ kg^{-1}K^{-1}$
 m masse (kg)
 T température, $^{\circ}C$
 t temps, s

Symbole grec

λ conductivité thermique, $W.m^{-1}K^{-1}$
 Φ densité de flux de chaleur, W/m^2
indice
 BC brique creuse
 MCP matériau à changement de phase

1. Introduction

Dans les bâtiments actuels, en particulier dans le domaine tertiaire, on s'efforce de diminuer l'épaisseur des parois pour diminuer les coûts tout en respectant les normes pour limiter les pertes thermiques. De telles structures ne permettent plus d'avoir une inertie thermique suffisante capable d'amortir les fluctuations de la température extérieure. L'utilisation de Matériaux à Changement de Phase (MCP) dans les parois peut remédier à ce problème, grâce à la forte chaleur latente qu'ils échangent lors des transferts thermiques. Cette solution ne reste néanmoins envisageable que si, d'une part, la température de fusion est proche de la température de confort des occupants et si, d'autre part l'enrobage garanti une étanchéité parfaite évitant toute fuite du produit lorsqu'il est à l'état liquide [1]. Les articles de

Khudair et Farid [2] et K. Peippo et al. [3] présentent une large revue bibliographique des différentes investigations menées dans ce domaine.

Ce travail fait suite au développement d'un nouveau MCP à base de paraffine. Ce matériau qui ne nécessite aucun enrobage de par sa conception, est introduit dans les cavités d'une brique creuse. L'objectif est d'étudier son impact sur l'inertie thermique d'une paroi en brique dans le cadre d'un confort d'été. Après une première partie consacrée à la présentation du matériau, les résultats d'une étude expérimentale sur le transfert de chaleur à travers une brique avec du MCP sont présentés.

2. Présentation du MCP et de la brique à changement de phase

2.1 Le MCP

La procédure de fabrication, exposée dans [4], permet d'obtenir un matériau qui ne nécessite, de part la présence d'une matrice polymère, aucun enrobage. Une concentration de 20% en polymère est retenue permettant d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques. Cet atout permet de l'insérer dans de nombreux matériaux du bâtiment, qui présentent des cavités, comme dans le béton ou la brique par exemple. Le MCP utilisé est une paraffine commerciale qui est en fait un mélange qui contient principalement de l'octadécane. Les propriétés thermophysiques du composite ont été effectuées par des méthodes classiques (micro-DSC, méthode flash). Pour la conductivité thermique, on retrouve des valeurs similaires à celles des paraffines traditionnelles : $0,28 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à 13°C et de $0,20 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à 39°C . La présence du polymère n'améliore donc pas la conduction de la chaleur au sein de la paraffine.

La figure 1 présente la courbe expérimentale de la capacité thermique massique équivalente à pression constante du MCP entre -10°C et 35°C en chauffage et en refroidissement. En mode chauffage, on observe une forte augmentation du C_p entre 24°C et $28,5^\circ\text{C}$, du fait du changement d'état de la paraffine ainsi que la présence d'un petit pic autour de 25°C qui doit correspondre à un résidu de paraffine de plus faible poids moléculaire contenu dans la paraffine de base. En mode refroidissement, le pic dû au changement d'état apparaît à $25,8^\circ\text{C}$.

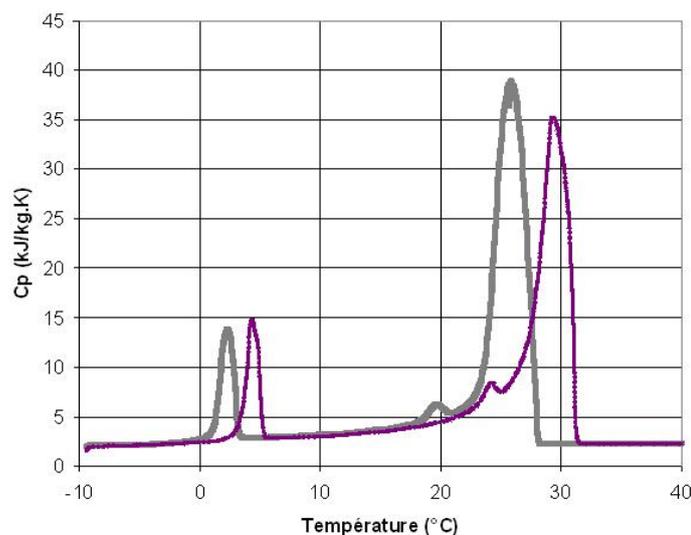


Figure 1 : Courbe de C_p équivalent en phase de refroidissement et réchauffement à $0,1^\circ\text{C/mn}$

Dans les deux cas, on observe un pic à 5 °C (Chauffage) et à 3 °C (Refroidissement) qui correspond probablement à la présence de Tétradécane.

Le tableau 1 présente les valeurs de la température de changement d'état évaluées au pic et l'enthalpie de changement d'état du MCP en phase de chauffage et de refroidissement pour une vitesse de 0,1°C/min. Cette vitesse a été choisie pour être représentative de celles observées dans le bâtiment. En considérant la valeur prise au pic, une différence de 3,5°C entre la température de fusion et la température de solidification est observée.

PIC (°C)		Enthalpies (J/g)	
Refroidissement	Chauffage	Refroidissement	Chauffage
25,8	29,2	131,2	131,7

Tableau 1 : Résultats des mesures calorimétriques

A titre de comparaison, le produit Energain de Dupont de Nemours présente une chaleur latente de 107 kJ/kg [5] et le produit Micronal de BASF une chaleur latente de 110 kJ/kg.

2.2. La brique à changement de phase

Le MCP est introduit lors de sa fabrication dans les cavités d'une brique creuse du commerce de dimension : 11cm x 21,5 cm x 15 cm. Chaque cavité est un parallélépipède de section 2,5 cm x 2,5cm et de 15 cm de hauteur. La figure 2 présente une photographie de la brique creuse traditionnelle et de la brique contenant le MCP dans ses cavités. Les dimensions de la face supérieure de la brique sont précisées sur la Figure 3. La quantité de MCP dans la brique représente 26% en volume.



Figure 2 : Photographie d'une brique creuse (à droite) et de la brique remplie de paraffine (à gauche)

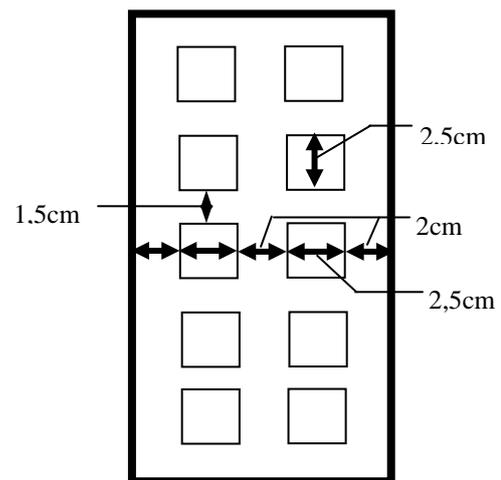


Figure 3 : Dimensions de la face supérieure de la brique

3. Comportement thermique d'une brique à base de MCP

3.1 Etude expérimentale

Un dispositif, présenté schématiquement Figure 4, a été développé afin de soumettre simultanément les deux briques (creuse et avec paraffine) à une même sollicitation thermique. Le dispositif expérimental comprend une plaque plane thermo-régulée par un bain programmable, sur laquelle est fixée l'une des faces latérales de la brique. La face opposée est laissée en contact direct avec la température ambiante de la salle du laboratoire, les autres faces sont entourées d'une couche de mousse de polyuréthane de 3cm d'épaisseur. Des sondes de température notée T_1 , T_2 et T_3 (thermocouples type K) sont disposées au sein de la brique, le thermocouple T_4 mesure la température de l'air ambiant à 15cm de la brique et un capteur de flux (Captec) est placé sur la face avant et arrière de chaque brique.

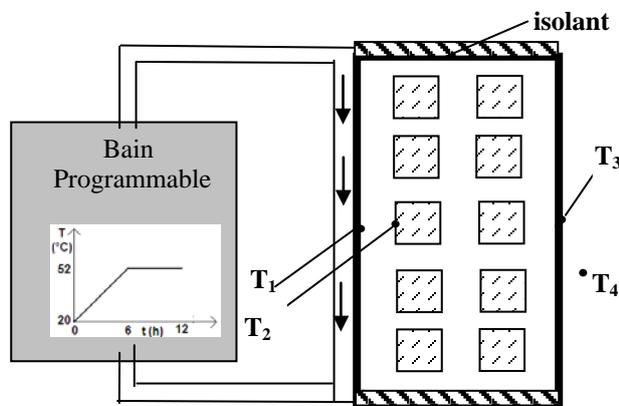


Figure 4. Schéma du dispositif expérimental

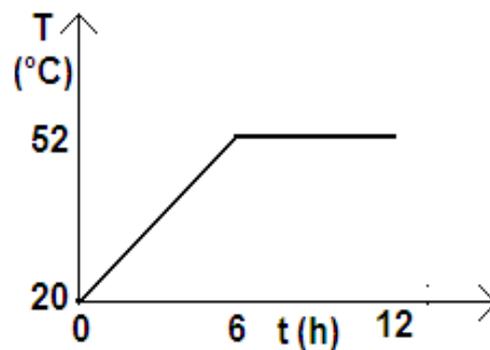


Figure 5 : Représentation schématique de la sollicitation thermique imposée

Le protocole expérimental consiste à imposer sur la face avant de chaque une montée linéaire en température de 21°C à 52°C d'une durée de 6 heures suivi d'un palier en température à 52°C de 6 heures (figure 5). L'autre face est directement en contact avec l'air ambiant du laboratoire dont la température est stabilisée autour de 21°C pendant l'expérience.

La figure 6 présente les variations de température enregistrées par les différents thermocouples. La courbe de température obtenue par le thermocouple T_2 fait apparaître, lors de la phase de croissance, une modification de pente autour de 28°C, qui est le résultat du changement d'état du MCP qui est en contact avec une partie de la surface de ce thermocouple. Sur la face opposée à la sollicitation, la courbe de température du thermocouple T_3 présente une montée linéaire suivie d'un palier de température. Le niveau de température atteint par cette face en contact avec l'air ambiant est situé dans la gamme de température du changement de phase du MCP. Pour la brique creuse sans paraffine, le niveau de température atteint dans les mêmes conditions est plus élevé d'environ 3°C. Cette expérience met clairement en évidence l'effet du MCP sur l'inertie thermique de la brique, la mise en température de la brique avec MCP est beaucoup plus lente. Le niveau de température atteint sur une période de 12 H est plus bas en présence du MCP, cela est dû aux pertes thermiques qui sont différentes en les deux briques.

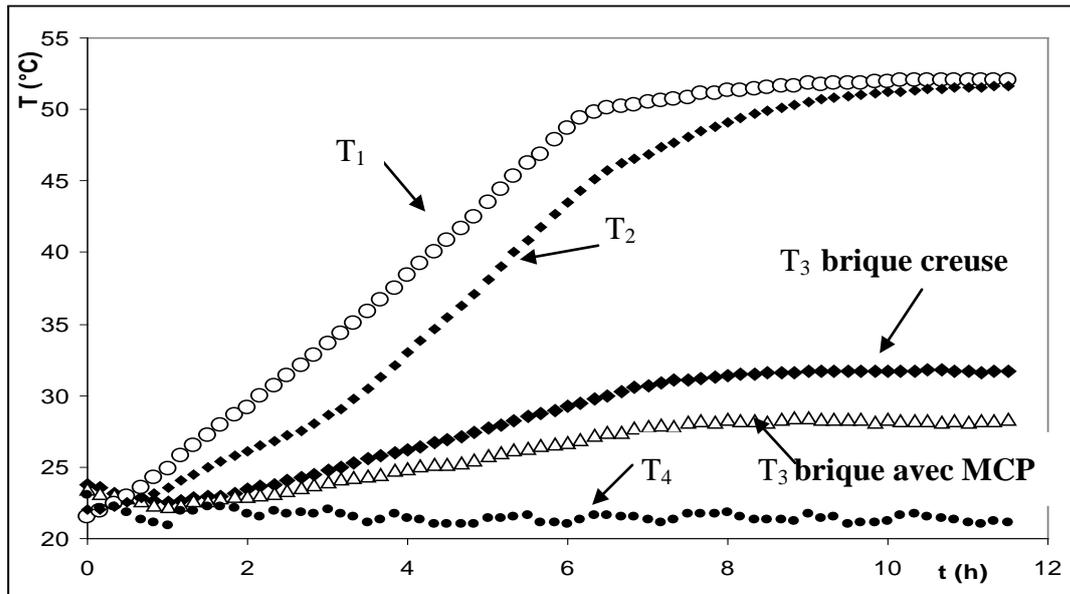


Figure 6 : Evolution temporelle de la température au sein de la brique à base de MCP et de la brique creuse

La figure 7 présente les courbes de densité de flux de chaleur entrant et sortant de la brique creuse et de la brique avec MCP. Chaque brique reçoit un flux identique sur la face avant. Sur la face arrière, on peut observer que le flux de chaleur sortant de la brique creuse est plus important que celui de la brique avec MCP ; cette différence entre les flux est liée au flux absorbé par la MCP permettant de stocker une quantité de chaleur supplémentaire.

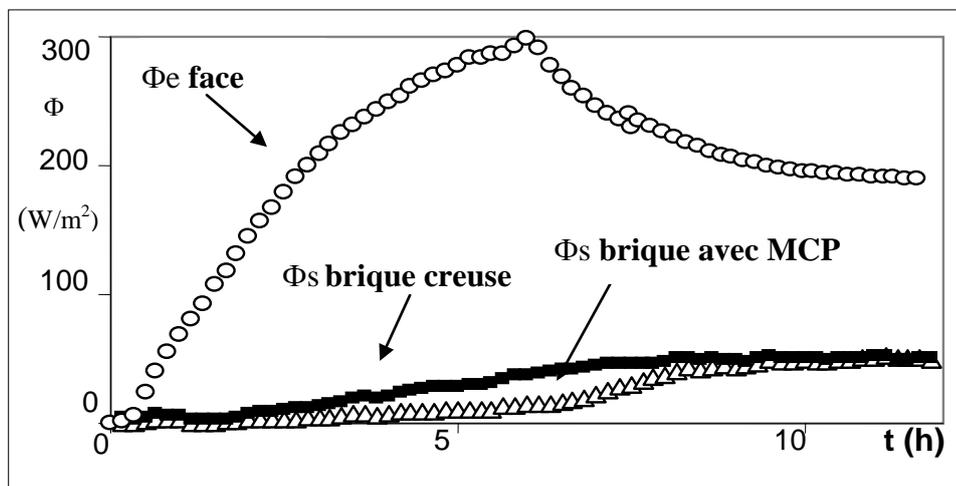


Figure 7 : Evolution temporelle des densités de flux entrant et sortant de la brique à base de MCP et de la brique creuse

3.2 Analyse préliminaire

Les résultats de cette sollicitation thermique de 12H nous montrent que la température de la brique avec MCP se stabilise à la température de changement d'état ce qui était l'objectif recherché. En faisant la différence entre les flux de sortie des deux briques, on obtient le flux qui est absorbé par le MCP (Figure 8). La surface entre la courbe et l'axe des abscisses permet d'évaluer la quantité de chaleur stockée par chaleur latente. En supposant que les pertes thermiques sont identiques pour les deux briques, on constate qu'environ 12 kJ ont servi au

stockage par chaleur latente soit environ 17% de la quantité totale stockable par chaleur latente. Cette faible quantité sous-estime l'énergie thermique stockée mais il semble bien que toute la paraffine n'ait pas changé d'état. Ceci est dû à la mauvaise conductivité de la paraffine et il convient donc de fabriquer une brique spécifique. Cependant les contraintes du métier du bâtiment nous imposent de trouver des matériaux et des modes de fabrication de coûts très faibles.

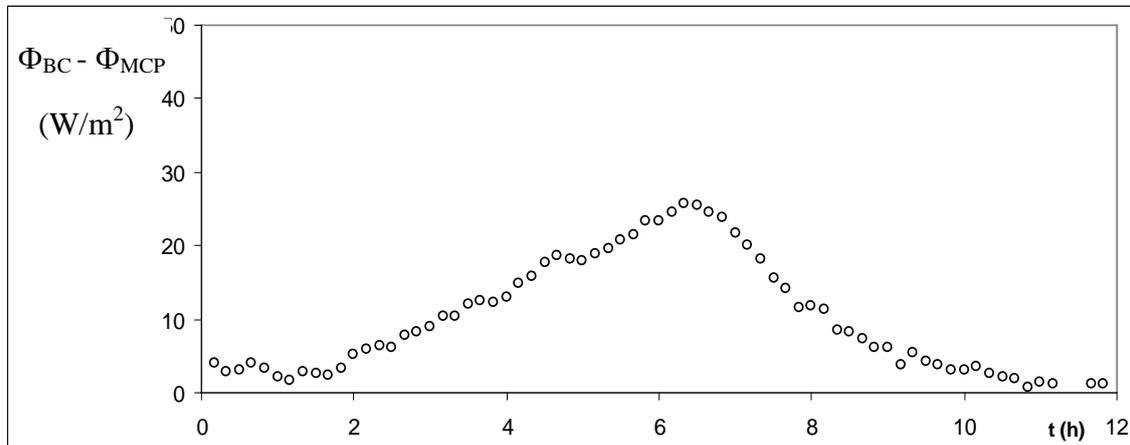


Figure 8 : Évolution de la différence des densités de flux de sortie entre brique creuse et brique avec MCP.

Conclusions

Un matériau composé de 80% de paraffine est proposé pour des applications visant à améliorer l'inertie thermique dans le bâtiment. Une première étude expérimentale a été menée sur une brique creuse remplie de MCP et les résultats confirment que la présence de ce matériau permet de jouer un rôle notable dans le confort d'été notamment en stabilisant la température du milieu dans lequel il est inséré. Une modélisation est en cours pour évaluer les performances de ce type de briques avec d'autres conditions aux limites. Ce type de MCP présente de bonnes dispositions pour constituer une solution prometteuse dans le cadre de la politique environnementale liée à la réduction énergétique des bâtiments.

Références

- [1] M.Ahmad, A.Bontemps, H. Sallée, D. Quenard Experimental investigation and computer simulation of thermal behaviour of wallboards containing a Phase Change Material (PCM) for the light envelope of buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 38, N°4, (2006), 357-366.
- [2] K. Peippo, P. Kauranen et P.D. Lund, A multi component PCM wall optimized for solar heating. *Energy and Building*, Vol. 17, (1991), 259-270.
- [3] A.M. Khudair et M.M. Farid, A review on energy conservation in building. Applications with thermal energy storage by latent heat using Phase Change Materials, *Energy Conservation and Management*, Vol. 45 (2004), 263-275.
- [4] L. Royon, A. Bontemps, H. Sallée, K. Joannes, Propriétés thermophysiques et comportement thermique d'un composite polymère - matériau à changement de phase. Application aux parois de l'enveloppe légère des bâtiments, *SFT 2009*, Vannes, 835-840.
- [5] F. Kuznik, J. Virgone, Experimental assessment of a phase change material for wall building use, *Applied Energy*, Vol. 86, (2009), 2038 – 2046.