



Étude du comportement thermique d'un MCP, placé sur le toit d'un local, vis-à-vis de la température extérieure pendant la période estivale

Amina MOURID¹, Yassine BOUZLOU¹, Mustapha EL ALAMI¹, Mostafa NAJAM¹ et Mustapha FARAJI¹

¹Laboratoire de Physique des Matériaux, Microélectronique, Automatique et Thermique (LPMMAT),
Département de Physique, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca, Maroc
mouridamina@gmail.com

Résumé : La consommation énergétique est appelée à augmenter rapidement dans les années futures à cause de l'évolution importante du parc de bâtiment ainsi que l'augmentation sensible du taux d'équipement des ménages en appareils électroménagers. Ce qui rend ce secteur la première préoccupation de plusieurs études qui visent à réduire la consommation d'énergie et l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels. D'où la nécessité d'économie d'énergie thermique en termes d'usages de chauffage / refroidissement.

Dans cette étude expérimentale, nous nous intéressons au comportement thermique d'une cellule, type pièce d'habitation, incorporant un matériau à changement de phase (MCP) à base de paraffine, sur le toit. La cellule est construite au sein de la Faculté des sciences Ain chock Casablanca. Ce travail est fait sur la base des données météorologique mesurées par notre station météorologique installée sur la toiture de l'université pour deux périodes estivales. La cellule est équipée avec des thermocouples de Type K dans chaque mur. Nous les avons répartie sur chaque paroi afin d'avoir accès aux températures moyennes de tous les murs, ainsi que la température ambiante de l'intérieur de la cavité.

Les résultats montrent que l'amplitude des oscillations thermiques des différents murs diminue significativement avec l'augmentation de la température extérieure. Donc nous pouvons conclure le matériau à changement de phase utilisé, est plus performant pour les climats, relativement, chauds.

Mots clés :

Matériau à changement de phase (MCP), efficacité énergétique, température, Casablanca, étude expérimentale

1. Introduction

L'utilisation des matériaux à changement de phase (MCP) dans les bâtiments peut réduire efficacement les charges de refroidissement ou de chauffage, en raison de leur forte chaleur latente à basse température. Pendant le processus de fusion et de solidification du MCP, une grande quantité d'énergie peut être absorbée ou libérée sur une très faible plage de température, ce qui permet au MCP d'agir comme un réservoir presque isotherme de chaleur. La sélection de MCP concerne essentiellement sa température de fusion, sa capacité de chaleur latente, ces propriétés chimiques ainsi que le coût. Les MCP à base de paraffine sont couramment utilisés dans les bâtiments à cause de leur température de fusion appropriée, de leur grande capacité de chaleur latente, leur caractéristiques chimiques stables, leur faible coût et ils sont non toxicité. Dans un souci d'économie d'énergie, l'utilisation des matériaux à changement de phase dans les bâtiments a été étudiée en 1975 par Barkmann et Wessling [1]. Plusieurs articles de synthèse ont été publiés sur le concept de l'utilisation du MCP dans l'enveloppe du bâtiment [2], [3] et [4]. Le MCP peut être intégré dans les murs, les plafonds, les fenêtres et les planchers. Pour les murs, la couche de MCP peut être prise en sandwich entre les murs internes et externes [5] et [6], absorbés dans les bétons poreux [7], ou imprégnés en plaque de plâtre [8] et [9].

L'objectif de cette étude est d'évaluer la performance thermique des murs de bâtiments résidentiels équipés par un matériau à changement de phase à la toiture. Les essais sur le terrain ont été effectués avec une cellule construite à la Faculté des sciences Ain chock de Casablanca pendant deux périodes d'été. Les plaques du MCP sont installées sur le toit.

Les performances thermiques des murs sud et ouest sont comparées pour deux périodes en mesurant leurs températures internes et externes.

2. Dispositif expérimental

2.1. Matériau à changement de phase

Le matériau à changement de phase (MCP) utilisé est constitué de 60% de paraffine. Il est encapsulé en panneaux de ($1 \times 1,2 \times 0,0056 \text{ m}^3$), à l'aide d'une couverture d'aluminium. La forme du MCP est une feuille souple de 5,26 mm d'épaisseur avec une température de fusion de $21,7^\circ\text{C}$, une enthalpie de fusion de 70 kJ/kg . La conductivité thermique est de $0,18 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ en phase solide et d'environ $0,14 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ en phase liquide Figure 1. Le choix de ce MCP est dicté principalement par sa température de fusion qui est voisine de celle du confort humain et par sa disponibilité sur le marché. Il faut ajouter à cela, son encapsulation en panneaux bien adaptés aux fixations sur des parois de dimensions importantes, en particulier celles du bâtiment.

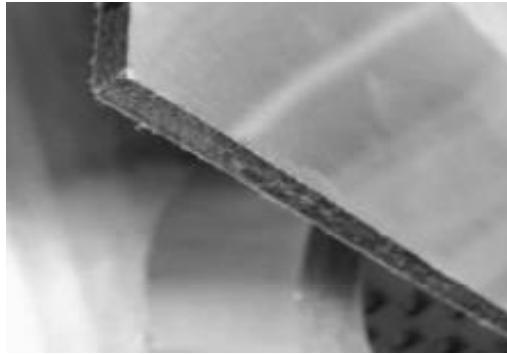


Figure 1: Plaque de MCP

2.2 Description des deux cellules

Le dispositif expérimental est composé d'une cavité de dimension de 9 m^3 , le mur nord est équipé d'une fenêtre (1 m^2) et d'une porte (2 m^2). Les murs d'enveloppe (ou murs extérieurs) ont une épaisseur de $30,62 \text{ cm}$ et ils se composent de sept couches (1cm de mortier de ciment, 7cm de brique rouge, 14 cm de lame d'air, 7cm de brique rouge, 1cm de mortier de ciment, 1,2 cm de lame d'air et $0,7 \text{ cm}$ de plaque de MCP). La face supérieure de la toiture est recouverte des panneaux de MCP.

2.3. Instrumentation et mesures

La cellule est instrumentée avec des thermocouples de type K dans chaque mur. Nous les avons soigneusement répartie sur chaque paroi afin d'avoir accès aux températures moyennes de tous les murs, ainsi que la température ambiante de l'intérieur des deux cavités.

2.4. Données météorologiques

La cavité est construite à la faculté des sciences à Casablanca FSAC ($33^\circ 32' \text{ N}$ en latitude et $7^\circ 39' \text{ O}$ en longitude et 57 m d'altitude). Les données météorologiques utilisées dans la présente étude sont celles relatives au 8 juillet et au 26 août 2014, mesurées dans la station météorologique installée sur la toiture de la FSAC. Ces données ont été mesurées avec un pas de temps d'une heure et concernent : la température, l'humidité relative, le rayonnement solaire global, la vitesse et la direction du vent. Tous les dispositifs de l'instrumentation sont connectés à un enregistreur de données qui est reliée, également, à un ordinateur.

3. Equations

Les équations utilisées pour le calcul de la résistance thermique pour les différents murs sont comme suit :

$$r = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

La résistance totale au flux thermique :

$$R_t = r_1 + r_2 + r_3 + \dots \quad (2)$$

Le tableau (1) résume le calcul des résistances thermiques des différents murs en tenant compte de leur composition.

Tableau1 : Résistance thermique des différentes couches des murs

<i>Matériau</i>	<i>e</i> (mm)	<i>R</i> (m ² . °C.W ⁻¹)
<i>Mortier</i>	20	0.017
<i>Béton Lourde</i>	120	0.085
<i>MCP</i>	5.26	0.029
<i>Brique</i>	70	0.061
<i>Lame d'air</i>	140	1.555
<i>Mortier</i>	10	0.008

4. Résultats

Dans le but de minimiser les apports de chaleur pendant l'été, nous avons placé le MCP sur la toiture de la cellule test. En effet, nous allons comparer les températures internes des murs avec leurs températures externes pour deux périodes d'été. Les résultats préliminaires présentés dans ce document, ont été obtenus le 08 juillet et le 26 aout 2014.

Les figures 2 et 3, illustrent l'évolution des températures extérieure et intérieure de la face ouest et sud pour la première période de 08/07/2014. La figure 2 indique que la température maximale à l'extérieur dépasse 31°C alors que la température interne du mur ouest ne dépasse pas 28,4°C, inversement pendant la nuit la température extérieure chute jusqu'au 18 °C tandis que la température intérieure atteint 23,6°C. Pendant la période nocturne, la température du mur est supérieure à celle de l'extérieur. Cette différence est due à la restitution de l'énergie stockée lors du jour.

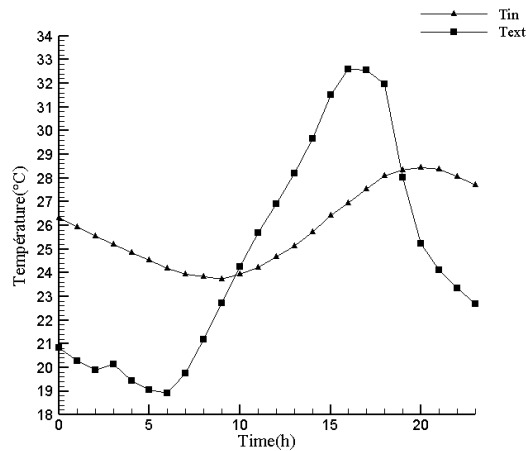


Figure 2: Evolution des températures extérieure et intérieure de la face ouest pour le 08/07/2014

D'après la figure3, La température extérieure fluctue de 18,23°C jusqu'à 31,78°C, tandis que la température interne du mur sud varie de 23,69°C à 28,49°C. Il s'avère que l'intégration de MCP dans la toiture peut réduire la température interne du mur sud de 7,75°C.

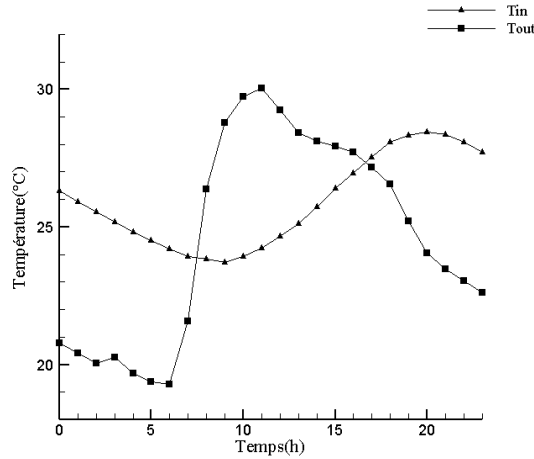


Figure 3 : Evolution des températures extérieure et intérieure du mur sud pour le 08/07/2014

Les figures 4 et 5 présentent l'évolution des températures extérieure et intérieure des murs ouest et sud pour le 28/08/2014. La température de la face interne du mur ouest atteint sa valeur maximale après 4h Figure 4 et celle de la face interne du mur sud est obtenue après 7h, ce retard est dû à la forte inertie thermique des plaques de MCP Figure 5.

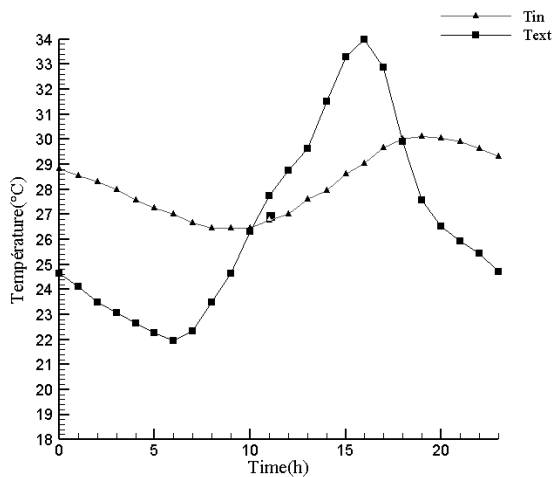


Figure 4: Evolution des températures extérieure et intérieure du mur ouest pour le 26/08/2014

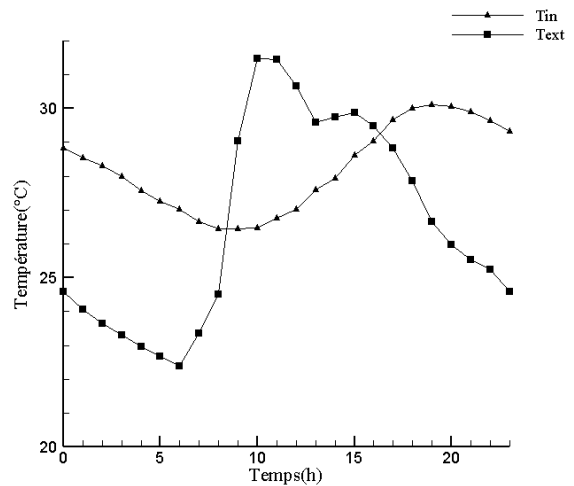


Figure 5 : Evolution des températures extérieure et intérieure du mur sud pour le 26/08/2014

Les figure 6 et 7, expriment l'allure de la température interne du mur est et sud ainsi que le rayonnement solaire pour deux périodes estivales (08/07/2014 et 26/08/2014). L'amplitude des oscillations de la température interne du mur ouest est de $4,8^{\circ}\text{C}$ et de $3,37^{\circ}\text{C}$ respectivement pour la première et la deuxième période et le rayonnement solaire atteint une valeur maximale de 737 W/m^2 et de 881 W/m^2 respectivement pour la première et la deuxième période Figure 6. L'amplitude des oscillations est réduite de $1,43^{\circ}\text{C}$ dans la seconde période est cela est due à l'augmentation du rayonnement solaire.

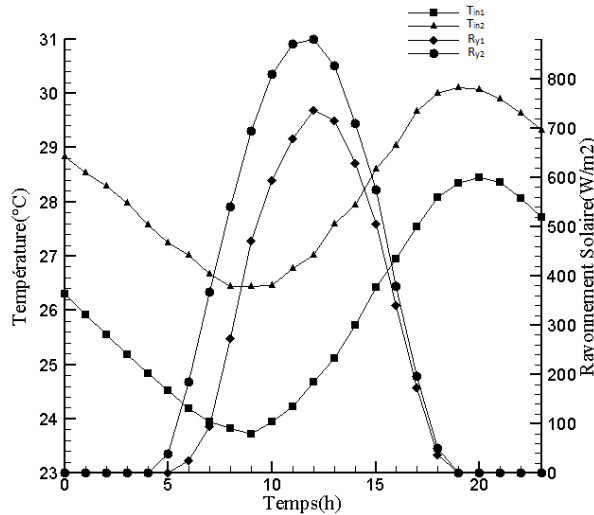


Figure 6: Evolution des températures intérieure et du rayonnement solaire pour le mur ouest pour les deux périodes

La figure 7 présente la température interne du mur sud ainsi le rayonnement solaire pour les deux périodes. Pour la première période la température fluctue de 23,69°C jusqu'à 28,49°C et de 26,51°C à 30,11°C pour la seconde période. La valeur maximale du rayonnement solaire atteint 737 W/m² et de 881 W/m² respectivement pour la première et la deuxième période.

Durant la seconde période le rayonnement solaire reçu est très important, ce qui entrainera la fusion d'une grande partie de MCP par rapport à la première période.

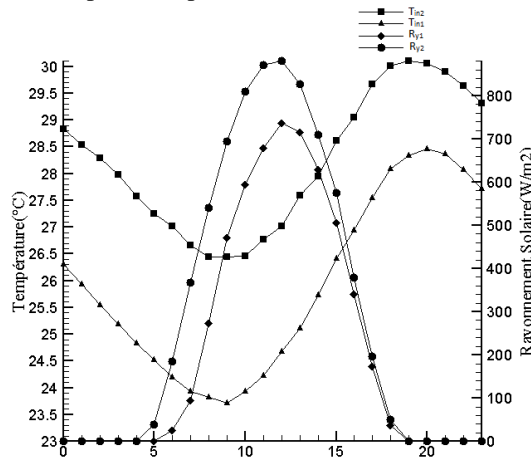


Figure 7 : Evolution des températures intérieure et du rayonnement solaire pour le mur sud pour les deux périodes

Conclusion

La performance thermique des murs Sud et Ouest a été évaluée avec une cellule d'essais construite au sein de la Faculté des sciences Ain Chock Casablanca, équipée d'un matériau à changement de phase sur le toit. Les résultats montrent que l'intégration des matériaux à changement de phase sur la toiture du bâtiment réduit la température des murs interne comme il présente une bonne inertie thermique. On constate aussi que l'amplitude des oscillations thermiques des murs sud et ouest diminuent significativement avec l'augmentation du l'intensité du flux solaire global incident sur les deux murs. Donc on peut déduire que le matériau à changement de phase utilisé, est plus performant pour les climats, relativement, chauds.

Nomenclature

e : Epaisseur, cm

r : Résistance thermique, $m^2/(W \cdot ^\circ C)$

R_t : Résistance thermique totale $m^2/(W \cdot ^\circ C)$

T_{in} : Température interne, $^\circ C$

R_y : rayonnement solaire, W/m^2

MCP : Matériau à changement de phase.

Symboles grecs

λ : Conductivité thermique, $W/(m \cdot ^\circ C)$

Exposant, Indices

$_1$ la première période

$_2$ la deuxième période

Remerciement

Ce travail est supporté financièrement par l'Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN) à travers le projet Innoterm II.

Référence

[1] H.G. Barkmann, F.C. Wessling, Use of building structure components for thermal storage, Processing of the Workshop on Solar Energy Storage Subsystems for Heating and Cooling of Building, Charlottesville, VA, USA, 1975.

[2] N. Soares, J.J. Costa, A.R. Gaspar, P. Santos, Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency, Energy and Buildings, 59 (2013) 82-103.

[3] Michal Pomianowski, Per Heiselberg, Yinping Zhang, Review of thermal energy storage technologies based on PCM application in buildings, Energy and Buildings, 67 (2013) 56-69.

[4] L.F. Cabeza, A. Castell, C. Barreneche, A. de Gracia, A.I. Fernández, Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011) 1675-1695.

[5] K. Ismail, J. Castro, PCM thermal insulation in buildings, International Journal of Energy Research, 21 (1997) 1281-1296.

[6] D. Zhou, C.Y. Zhao, Y. Tian, Review on thermal energy storage with Phase Change Materials (PCMs) in building applications, Applied Energy, 92 (2012) 593- 605.

[7] M. Hadjiena, R. Stoyker, T. Filipara, Composite salt hydrate concrete system for building storage, Renewable Energy, 19 (2000) 111-115.

[8] A. Athienitis, C. Liu, D. Hawas, D. Banu, D. Feldman, Investigation of the thermal performance of a passive solar test-room with wall latent heat storage, Building and Environment, 32 (1997) 405-410.

[9] J. Kim, K. Darkwa, Simulation of an integrated PCM wallboard system, Energy Research, 27 (2003) 213-223