

Étude expérimentale du comportement thermique des cellules à parois incorporant des matériaux à changement de phase

Lotfi DERRADJI^{1,2*}, Abdelkader HAMID², Mohamed AMARA¹, Yassine MAOUDJ¹, Farid BOUDALI ERREBAI¹

¹Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment, CNERIB, Souidania, Alger, Algérie.

²Université Saad Dahleb, département génie mécanique, Blida, Algérie.

*Email : lotfi.derradji@yahoo.fr

Résumé : Ce travail s'intéresse à l'étude expérimentale du comportement thermique des cellules à l'échelle réduite dont les parois contiennent des matériaux à changement de phase. Deux cellules de 1 mètre cube ont été réalisées de la même manière sauf que la composition de l'enduit intérieur (plâtre / MCP) est différente. Les cellules sont implantées dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania. Cette région est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide. Des instruments de mesures ont été mis en places pour mesurer les températures à l'intérieur des maquettes ainsi que la température de l'air extérieur et le rayonnement solaire. Les résultats des mesures montrent que la présence de 30 % de matériau MCP avec le plâtre permet de réduire l'amplitude (diurne/nocturne) de la température de l'air de 4 °C.

1. Introduction :

L'inertie thermique des parois est une solution efficace pour l'amélioration du confort thermique et la réduction des consommations énergétiques, sur le chauffage et la climatisation, dans le secteur du bâtiment. Les techniques utilisées pour l'inertie thermique ont pour objectif de conserver le plus long temps possible la chaleur en période d'hiver et la fraîcheur en période d'été, ce qui permet d'assurer, un meilleur confort thermique avec un minimum de consommation d'énergie [1], [2].

Les matériaux à changement de phase peuvent être incorporés avec des matériaux de constructions afin d'améliorer l'inertie thermiques des parois (Meshgin et al [3] ; Kuznik et al [4] ; Castellón et al [5] ; Ahmad et al [6], [7]).

De nombreuses études se sont intéressées à l'effet des matériaux MCP sur les propriétés thermiques des parois. Parmi ces études, Meshgin et al [3] ont étudié le comportement d'un mortier isolant intégrant des matériaux à changement de phase (PCM) et des particules en caoutchouc des pneus réutilisés. Des essais mécaniques et thermiques ont été effectués à 7 jours et à 28 jours. Les résultats expérimentaux ont prouvé que les propriétés mécaniques peuvent être améliorées en ajoutant des additifs. Les résultats montrent également que les particules en caoutchouc peuvent réduire la conductivité thermique du mortier de manière significative, alors que le PCM peut améliorer la chaleur spécifique du mortier.

Lai et al [8] ont effectués des expériences afin d'analyser les effets sur les caractéristiques thermiques de l'ajout de PCM à des briques creuses classiques. Les résultats expérimentaux confirment que les briques intégrant des matériaux à changement de phase PCM ont un meilleur effet d'isolation thermique que les briques creuses ordinaires. Lorsque la température extérieure maximale est de 35,5°C, la température maximale de la face inférieure des briques traitées au PCM atteint les 31,7°C, soit 4,9°C de moins que la température des briques ordinaires. De plus, les briques traitées avec PCM peuvent assurer une conservation de la chaleur intérieure plus efficace la nuit lorsque les températures chutent à l'extérieur.

Maha et al [6], [7] ont réalisé et expérimenté des cellules de test en incorporant des MCP couplés à l'utilisation d'un super isolant VIP (Vacuum Insulation Panel) dans des parois en profilés PVC. Le concept de couplage MCP à un super isolant s'avère être une solution prometteuse pour des enveloppes légères de faible épaisseur ayant une bonne isolation et une inertie significative. La détermination avec le logiciel CODYMUR de l'épaisseur optimale d'une plaque de plâtre dans laquelle est incorporée un MCP a montré qu'une épaisseur d'un cm permet de doubler l'inertie thermique de cette plaque [4].

Dans le cadre de cette étude, nous avons effectué une étude expérimentale du comportement thermique des cellules à parois incorporant des matériaux à changement de phase, deux cellules d'une conception classique en Algérie en utilisant un enduit intérieur en plâtre / MCP. Des instruments de mesures ont été mis en place pour déterminer l'influence de matériau MCP sur le comportement thermique des cellules en Algérie.

2. Description des cellules

Afin d'étudier l'influence des matériaux à changement de phase sur l'efficacité énergétique des bâtiments en Algérie, deux cellules de 1 mètre cube ont été réalisées de la même manière sauf que le mortier intérieur est différent (figure 1). Les cellules sont implantées dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania. Cette région fait partie de la zone climatique A (Latitude 36,70 N, Longitude 03,20 E) qui est caractérisée par un hiver frais et un été chaud et humide.



Figure 1 : Les deux Cellules de 1 mètre cube

2.1 La cellule de référence C1

La première cellule constitue un élément de référence. Il s'agit d'une conception classique en Algérie. Les planchers sont réalisés en béton armé et les murs sont construits en une seule paroi en briques creuses. Le plancher haut et les murs sont enduits à la face intérieure en plâtre pur. Une fenêtre en PVC double vitrage (60x60) est installée dans le côté sud de la cellule.

Le tableau 1 donne les détails de compositions et les caractéristiques thermiques des différents matériaux utilisés dans les éléments de la cellule 1.

Tableau 1 : Caractéristiques thermiques des différentes parois de la cellule 1

	Composition	Épaisseur (m)	(kg/m ³)	(W/m.K)	C (J/kg.°C)
Plancher haut	Béton lourd	0,05	2200	1,75	1080
	Enduit plâtre	0,02	1000	0,35	936
Mur extérieur	Mortier de ciment	0,02	2200	1,4	1080
	Brique	0,10	900	0,48	936
	Enduit plâtre	0,02	1000	0,35	936
Plancher Bas	Béton lourd	0,10	1,75	0,13	0,34

2.2 La cellule C2

Afin d'augmenter l'inertie thermique des parois, 30 % d'un matériau à changement de phase (MCP), sous forme poudre, a été introduit à l'enduit plâtre dans cette cellule. Le produit MCP (produit DS 5001) est acheté auprès de la société BASF Algérie. Il s'agit de produits de type paraffine encapsulée. La température de changement de phase du produit utilisé pour la cellule C2 est 26°C,

Le tableau 2 présente les détails de compositions et les caractéristiques thermiques des différents matériaux utilisés dans les éléments de la cellule 2.

Tableau 2 : Caractéristiques thermiques des différentes parois de la cellule 2

	Composition	Épaisseur (m)	(kg/m ³)	(W/m.k)	C (J/kg.°C)
Plancher haut	Béton lourd	0,05	2200	1,75	1080
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds5001)	0,02	1000	–	–
Mur extérieur	Mortier de ciment	0,02	2200	1,4	1080
	Brique	0,10	900	0,48	936
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds5001)	0,02	1000	–	–
Plancher Bas	Béton lourd	0,10	1,75	0,13	0,34

3. Système d'acquisition

Afin d'étudier le comportement thermique des cellules à parois incorporant des matériaux à changement de phase, six thermocouples de type T sont installés à l'intérieur des cellules pour mesurer la température de l'air et des parois. Un thermocouple est installé à l'extérieur pour déterminer la température de l'ambiance extérieure. Les différents thermocouples sont reliés à l'appareil KEITHLEY 2700, qui est un système d'acquisition de données à 40 voies de mesure (figure 2). Les mesures sont enregistrées toutes les demi-heures.



Figure 2 : Système d'acquisition KEITHLEY 2700 (40 voies de mesures)

La mesure du rayonnement solaire direct est effectuée à l'aide d'un pyranomètre (CM3 KIPP&ZONEN). Le capteur est relié à un enregistreur et à un système d'acquisition CC 48 DATALOGGER KIPP&ZONEN (voir figure 3).



Figure 3 : (a) Pyranomètre (b) Système d'acquisition du Pyranomètre CC 48 KIPP&ZONEN

4. Résultats des mesures thermiques sur les cellules

4.1 Rayonnement solaire

La figure (4) représente le profil du rayonnement solaire direct sur une surface horizontale dans la période du 07 au 09 Septembre 2012. Les résultats montrent que la valeur maximale à atteindre du rayonnement solaire est 750 w/m^2 . Le rayonnement de la première journée est instable à cause des perturbations du climat durant la journée.

4.2 Évolution de la température ambiante

La figure 5 illustre l'évolution des températures de l'air extérieur et celle de l'air intérieur des deux cellules (cellule C1 sans MCP et cellule C2 avec MCP), les résultats montrent que pendant la journée, la température maximale de l'ambiance intérieure de la cellule C2 avec MCP atteint les $32,5 \text{ °C}$ alors que celle de la cellule C1 sans MCP dépasse les 35 °C . Pendant la nuit, la température de la cellule C2 avec MCP s'abaisse à 22 °C , alors que celle de la cellule C1 sans MCP diminue jusqu'à 21 °C .

Les résultats montrent également que la présence de 30 % de matériau MCP avec le plâtre permet de réduire l'amplitude (diurne/nocturne) de la température de l'air de 4 °C .

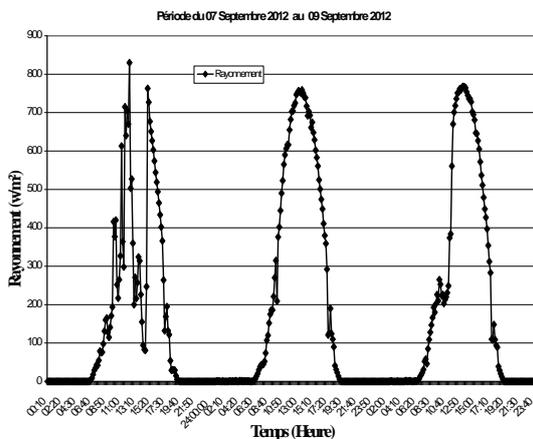


Figure 4: Rayonnement solaire

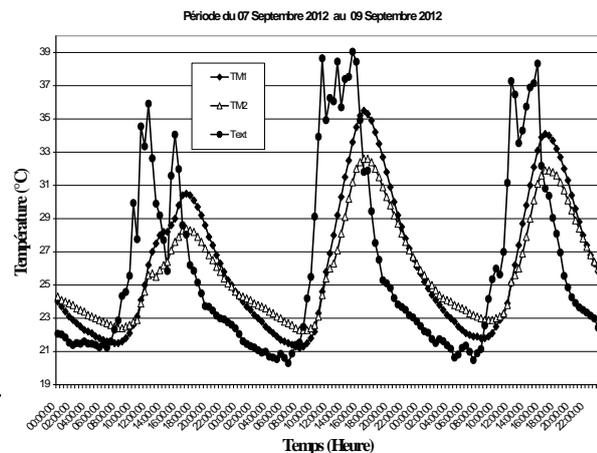


Figure 5 : Évolution de la température ambiante

4.3 Évolution de la température de paroi

La figure 6 présente l'évolution de la température de la paroi de la cellule C1 sans MCP et celle de la paroi de la cellule C2 avec MCP. L'analyse des résultats expérimentaux, nous montrent clairement que la température de la cellule C1 sans MCP varie de $20 \text{ à } 38 \text{ °C}$ avec une amplitude de 18 °C . Tandis que la température de la cellule C2 avec MCP est comprise entre $23 \text{ et } 34 \text{ °C}$ avec une amplitude de 11 °C . Les résultats ont permis de constater que l'incorporation de matériau MCP avec le plâtre engendre une réduction de l'amplitude de la température des parois de 7 °C .

4.4 Évolution de la température de dalle

La figure 7 illustre l'évolution de la température de la dalle de la cellule C1 sans MCP et celle de la dalle de la cellule C2 avec MCP. La température de la dalle sans MCP varie de $19 \text{ à } 40 \text{ °C}$ avec une amplitude de 21 °C . Par contre la température de la dalle avec MCP, présente une amplitude un peu moindre d'environ 17 °C , variant de $21 \text{ à } 38 \text{ °C}$. Ce phénomène est expliqué par l'amélioration de l'inertie thermique de dalle en intégrant des matériaux MCP.

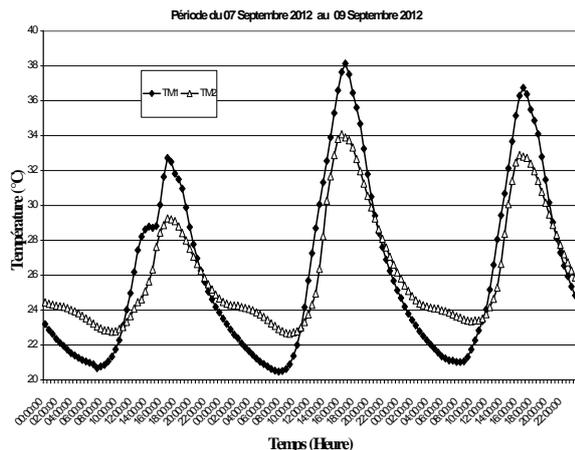


Figure 6 : Évolution de la température de paroi

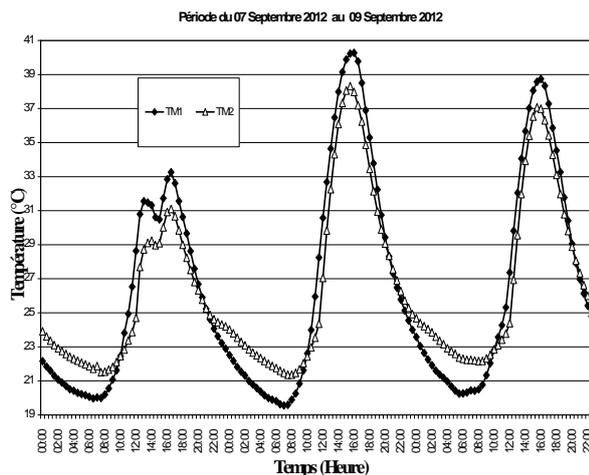


Figure 7 : Évolution de la température de dalle

Conclusion :

Cet article a permis d'étudier le comportement thermique des cellules à parois incorporant des matériaux à changement de phase, deux cellules de 1 mètre cube ont été réalisées de la même manière sauf que l'enduit intérieur est différent (cellule 1 avec un enduit intérieur en plâtre pur et cellule 2 avec un enduit intérieur en 70 % plâtre / 30 % MCP). Des instruments de mesures ont été mis en place pour déterminer l'influence de matériau MCP sur le comportement thermique des cellules soumises à des conditions climatiques en Algérie.

Les résultats des mesures in situ montrent que pendant la journée, la température maximale de l'ambiance intérieure de la cellule C2 avec MCP atteint les 32,5 °C alors que celle de la cellule C1 sans MCP dépasse les 35 °C. Pendant la nuit, la température de la cellule C2 avec MCP s'abaisse à 22 °C, alors que celle de la cellule C1 sans MCP diminue jusqu'à 21 °C.

Les résultats de cette étude montrent que l'incorporation de 30 % de matériau MCP avec le plâtre permet de réduire l'amplitude (diurne/nocturne) de la température de l'air de la cellule de 4 °C.

Références :

- [1] A. Ferrantea, M.T. Cascellab, Zero energy balance and zero on-site CO2 emission housing development Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, Vol.43, p.2002-2010, 2011.
- [2] C.A. BALARAS, The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods, *Energy and Buildings*, Vol.24, p.1-10, 1996.
- [3] Meshgin et al (2012), Utilization of phase change materials and rubber particles to improve thermal and mechanical properties of mortar, *construction and building materials*, vol. 28,n° 1, p. 713-721, 2012.
- [4] Kuznik F, Virgone J, Noel J. Optimization of a phase change material wallboard for building use. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28,n° 12, p. 1291-1298, 2008.
- [5] Castellón C, Medrano M, Roca J, Cabeza F, Navarro M.E, Fernández A I, Lázaro A , Zalba B., Effect of microencapsulated phase change material in sandwich panels, *Renewable Energy*, Vol. 35, p. 2370-2374, 2010.
- [6] Ahmad M, Bontemps A, Salle H, Quenard D. Experimental investigation and computer simulation of thermal behaviour of wallboards containing a phase change material. *Energy and Buildings*, Vol. 38,n° 4, p. 357-366, 2006.
- [7] Ahmad M, Bontemps A, Salle H, Quenard D. Thermal testing and numerical simulation of a prototype cell using light wallboards coupling vacuumisolation panels and phase change material. *Energy and Buildings*, Vol. 38,n° 6, p. 673-681, 2006.
- [8] Lai C, Chiang C., How phase change materials affect thermal performance: hollow bricks, *Building Research & Information*, Vol. 34,n° 2, p. 118-130, 2006.