

Étude de l'influence des matériaux à changement de phase sur l'évolution de la température des cellules

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

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

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

* (auteur correspondant : lotfi.derradji @yahoo.fr)

Résumé - Ce travail présente une étude expérimentale d'une nouvelle utilisation des matériaux à changement de phase comme enduit avec des parois en béton et en briques creuses pour étudier l'influence de l'intégration des MCP sur le comportement thermique des enceintes fermées et sur l'amélioration du confort thermique dans le climat algérien. Des mesures in-situ ont été réalisées en période d'hiver pour déterminer les températures de l'air et de parois de trois cellules ; l'une construite avec des matériaux classiques et les deux autres avec un matériau composite plâtre/MCP. Les cellules sont implantées dans la région d'Alger. Les résultats des mesures montrent que l'utilisation d'un enduit en plâtre intégrant 30 % MCP a permis d'améliorer le confort thermique et d'augmenter la température maximale des cellules de 2 °C en période d'hiver.

1. Introduction

L'utilisation des matériaux à changement de phase (MCP) est une solution pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, les MCP permettent de stocker la chaleur pour pallier l'inadaptation horaire entre l'offre et la demande thermique dans un bâtiment, par exemple le stockage de l'énergie thermique solaire pour un chauffage des locaux pendant la soirée [1-6].

Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés pour étudier le comportement thermique des cellules avec des parois incorporant des matériaux à changement de phase [7-11]. Parmi ces études, Maha et al. [7], [8] ont réalisé et expérimenté des cellules de test en France en incorporant des MCP couplés à l'utilisation d'un super isolant VIP (Vacuum Insulation Panel) dans des parois en profilés PVC. Il a été constaté que les parois contenant le MCP jouaient convenablement leur rôle d'amortisseur thermique et que les fluctuations des températures intérieures étaient considérablement réduites.

Entrop et al. [9] ont présenté un travail expérimental sur l'utilisation des matériaux à changement de phase (MCP) dans les planchers pour emmagasiner l'énergie fournie par le soleil. Quatre cellules de test ont été réalisées en Netherlands pour étudier l'influence de MCP sur le comportement thermique des parois. L'application de MCP dans les planchers en béton a entraîné une diminution des températures maximales de plancher jusqu'à $16 \pm 2\%$ et une augmentation des températures minimales allant jusqu'à $7 \pm 3\%$.

Les performances thermiques d'un panneau composite constitué de MCP et de polymère ont été étudiées expérimentalement dans une cellule prototype à l'échelle réelle par Kuznik et al. [10]. L'effet du MCP est étudié en comparant les résultats obtenus de la température de l'air et des parois avec et sans MCP pour trois cas : une journée d'été, une journée d'hiver et une journée mi-saison. Les résultats montrent que la présence du MCP réduit la température de l'air de la cellule de 4,2 °C. Le facteur de diminution observée pour les cas des panneaux avec MCP et le cas des panneaux ordinaire est d'environ 0.7 pour toute la saison testé.

Cet article consiste à faire une étude expérimentale sur l'influence de l'intégration des matériaux à changement de phase avec le plâtre comme enduit sur le comportement thermique des cellules qui sont des enceintes fermées soumises à différentes conditions aux limites et qui permettent de représenter le comportement de locaux d'habitation. Trois cellules ont été réalisées avec des parois du type classique en Algérie en utilisant un enduit intérieur en plâtre / MCP. Les cellules sont implantées dans la région d'Alger, plus précisément dans le village de Souidania. Des instruments de mesures ont été mis en place pour déterminer l'influence du MCP sur le comportement thermique des cellules en Algérie en période d'hiver avec chauffage. Des thermocouples ont été installés à l'intérieur des cellules pour mesurer la température de la face interne des parois et la température de l'air. Il a été mesuré à l'extérieur la température de l'air extérieur.

2. Description des cellules étudiées

Afin d'étudier l'influence des matériaux à changement de phase sur l'efficacité énergétique des bâtiments en Algérie, trois 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 climat méditerranéen, un hiver frais et un été chaud et humide.



Figure 1 : Cellule de test de 1 mètre cube

2.1 La cellule C1

La première cellule C1 constitue un élément de référence. Elle est réalisée avec des parois du type 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.

2.2 La cellule C2

Afin d'augmenter l'inertie thermique des parois, 30 % d'un matériau à changement de phase (MCP), sous forme de poudre, a été introduit à l'enduit plâtre dans la deuxième cellule C2. Le produit MCP utilisé dans la cellule C2 est de type paraffine encapsulée. Il est fourni par la société BASF sous le nom de Micronal DS 5001. La température de changement de phase du produit MCP est 26°C. Selon la description du produit, le Micronal DS 5001 a une chaleur latente de fusion de 110 kJ/kg.

	Composition	Épaisseur (m)	λ (W/m.K)	C (J/kg.K)
Cellue 1				
Plancher haut	Béton lourd	0,05	1,75	1080
	Enduit plâtre	0,02	0,35	936
Mur extérieur	Mortier de ciment	0,02	1,4	1080
	Brique	0,10	0,48	936
	Enduit plâtre	0,02	0,35	936
Plancher Bas	Béton lourd	0,10	0,13	1080
Cellue 2				
Plancher haut	Béton lourd	0,05	1,75	1080
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds5001)	0,02	–	–
Mur extérieur	Mortier de ciment	0,02	1,4	1080
	Brique	0,10	0,48	936
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds5001)	0,02	–	–
Plancher Bas	Béton lourd	0,10	0,13	1080
Cellue 3				
Plancher haut	Béton lourd	0,05	1,75	1080
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds5008)	0,02	–	–
Mur extérieur	Mortier de ciment	0,02	1,4	1080
	Brique	0,10	0,48	936
	Enduit (70 % plâtre / 30 % MCP Ds 5008)	0,02	–	–
Plancher bas	Béton lourd	0,10	1,75	1080

Tableau 1 : *Caractéristiques thermiques des différentes parois des cellules*

2.3 La cellule C3

Pour la cellule C3, le plancher haut et les murs sont enduits à la face intérieure par un enduit composé de 70 % de plâtre et 30 % de matériau à changement de phase (MCP, DS 5008). La température de changement de phase du produit utilisé pour la cellule C3 est 23°C. Le Micronal DS 5008 a une chaleur latente de fusion de 100 kJ/kg. Le tableau 1 présente les détails de compositions et les caractéristiques thermiques des différents matériaux utilisés dans les éléments des cellules.

3. Description des mesures thermiques

Afin d'étudier le comportement thermique des cellules qui sont des enceintes fermées à parois incorporant des matériaux à changement de phase, deux thermocouples de type T sont installés à l'intérieur de chaque cellule pour mesurer la température du plafond et de la face interne de la paroi Sud (figure 2). Un thermocouple est installé à l'extérieur pour déterminer la température de l'ambiance extérieure. Les différents thermocouples sont reliés à l'appareil d'acquisition de données à 40 voies de mesure. Les mesures sont enregistrées toutes les demi-heures. Les thermocouples ont été étalonnés à l'aide d'un four d'étalonnage, pour vérifier la réponse de chaque thermocouple et détecter d'éventuelles anomalies dans les mesures.

Les mesures de la température de l'air des cellules sont effectuées à l'aide des thermo-hygromètres enregistreur disposés à l'intérieur des cellules. En période d'hiver les cellules ont été chauffées par des lampes de 200 W pendant la journée du 9h à 15h, les fenêtres ont été couvert par un film d'aluminium pour empêcher le flux lumineux de se propager à travers le vitrage et l'utilisé pour chauffer les cellules.

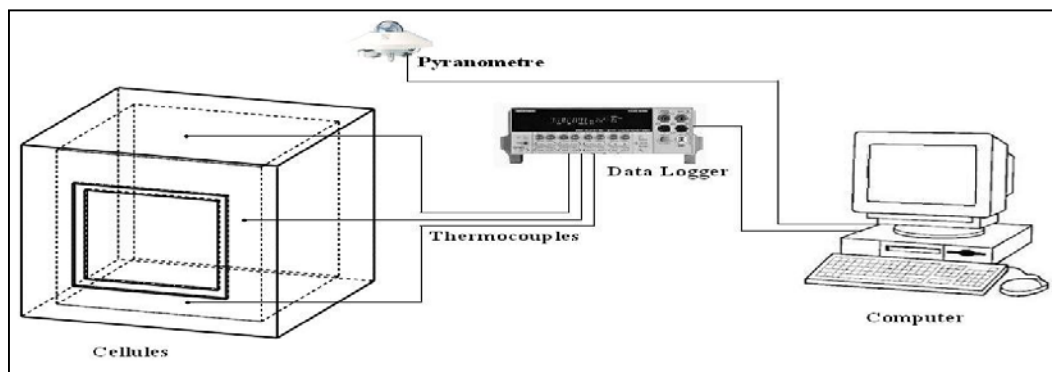


Figure 2 : Schéma du système d'acquisition

4. Résultats et analyse

La figure 3 illustre l'évolution de la température de l'air extérieur et celle de l'air intérieur des cellules ((C1 sans MCP, C2 avec MCP (26 °C) et C3 avec MCP (23 °C)) pour la période du 01 au 06/01/2013. Les cellules n'ont pas été chauffées. Les résultats montrent que la température des cellules varie de la même façon, elle est comprise la plus part du temps entre 8 °C et 16 °C. La température de la cellule C1 est légèrement supérieure de celle des cellules C2 et C3 durant les deux premières journées. L'effet du MCP sur le comportement thermique des cellules C2 et C3 est insignifiant, car la température à l'intérieur des cellules n'a pas dépassée la température de changement de phase des MCP utilisée (MCP 23°C et MCP 26°C).

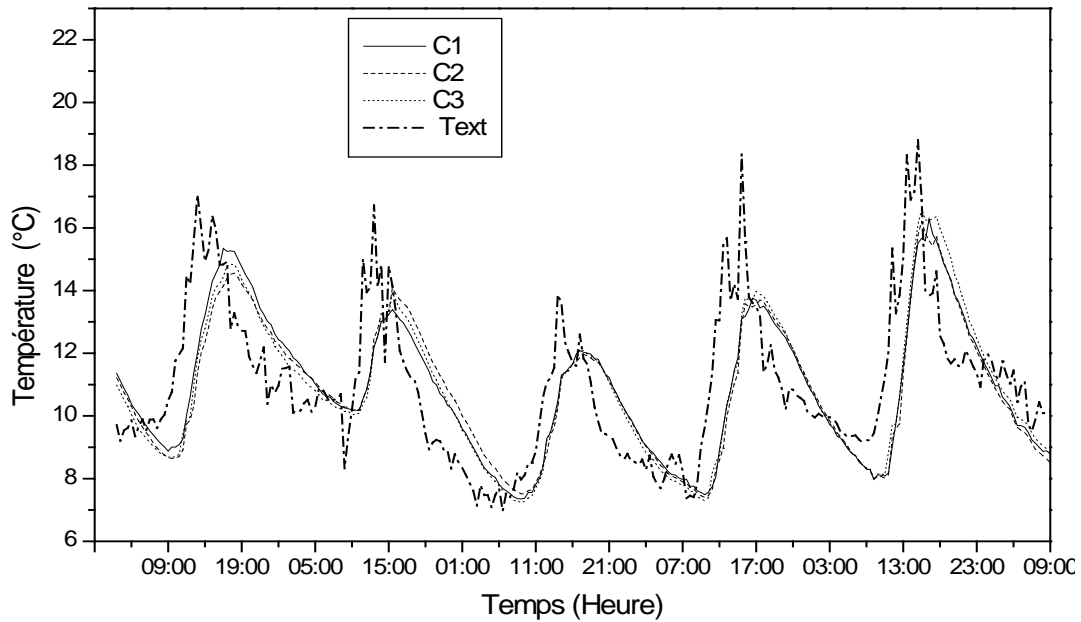


Figure 3 : Évolution de la température ambiante des cellules sans chauffage (1-6 Janvier 2013)

La figure 4 illustre l'évolution de la température de l'air extérieur et celle de l'air intérieur des cellules pour la période du 24 au 28/02/2013. Les cellules ont été chauffées par des lampes de 200 W pendant la journée du 9h à 15h. Les résultats montrent qu'avec la même puissance de chauffage, la température maximale de l'air des cellules (C2 avec MCP (26 °C) et C3 avec MCP (23 °C)) sont plus élevées par rapport à celle de la cellule (C1) sans MCP. Il est constaté que, dans les trois premières journées, le MCP a permis d'améliorer le confort thermique et d'augmenter la température maximale de 2 °C. Dans la dernière journée, la température des cellules augmente et elle se rapproche, elle atteint les 26 °C. Après éteindre le chauffage des cellules, il est remarqué que le refroidissement de la cellule C2 et C3 est moins rapide comparant avec celui de la cellule C1, ceci est dû à la restitution de la chaleur par le MCP. Pendant la nuit sans chauffage, la température des cellules est presque identique, car l'effet de MCP devient négligeable.

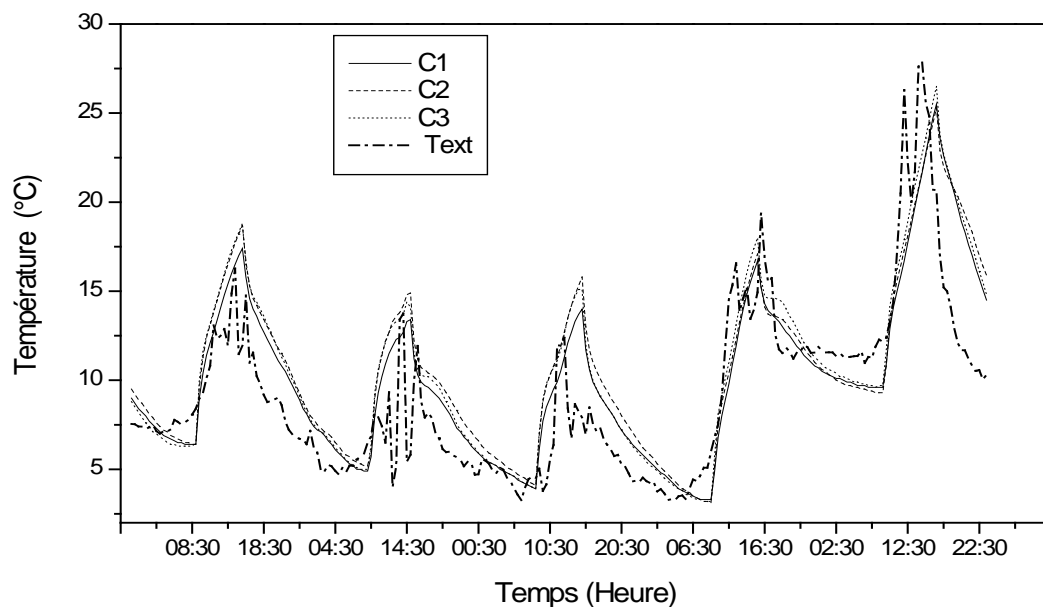


Figure 4 : Évolution de la température ambiante des cellules avec chauffage (24-28 Février 2013)

La figure 5 présente l'évolution au cours du temps de la température de la face interne de la paroi de la cellule C1 sans MCP et celle de la paroi des cellules (C2 avec MCP (26 °C) et C3 avec MCP (23 °C)) pour la période du 24 au 28/02/2013. Les résultats montrent que le chauffage des cellules avec une puissance de 200 W a engendré l'augmentation de la température des parois incorporant des MCP au dessus de 20 °C durant la journée. Il est remarqué que dans les quatre premières journées, les températures maximales des parois avec MCP de la cellule C2 et C3 varient entre 20 et 24 °C par contre la température maximale de la paroi sans MCP (cellule C1) varie entre 17 et 21 °C. La température de paroi avec MCP (23 °C) de la cellule C3 est légèrement supérieure à celle de paroi avec MCP (26 °C) de la cellule C2. La température maximale de la dernière journée de la paroi sans MCP est de 29 °C, alors que la température de la paroi avec MCP (26°C) atteint les 31 °C et celle de la paroi avec MCP (23°C) atteint les 33 °C. Les températures minimales des parois sans l'utilisation du chauffage varient de la même façon entre 6 °C et 3 °C durant les quatre premières journées, pour la dernière journée les températures minimales augmentent à 10 °C. Les résultats ont permis de constater que l'incorporation de matériau MCP comme enduit avec une paroi en brique creuse a permis d'améliorer le confort thermique et d'augmenter la température maximale des parois de 4 °C.

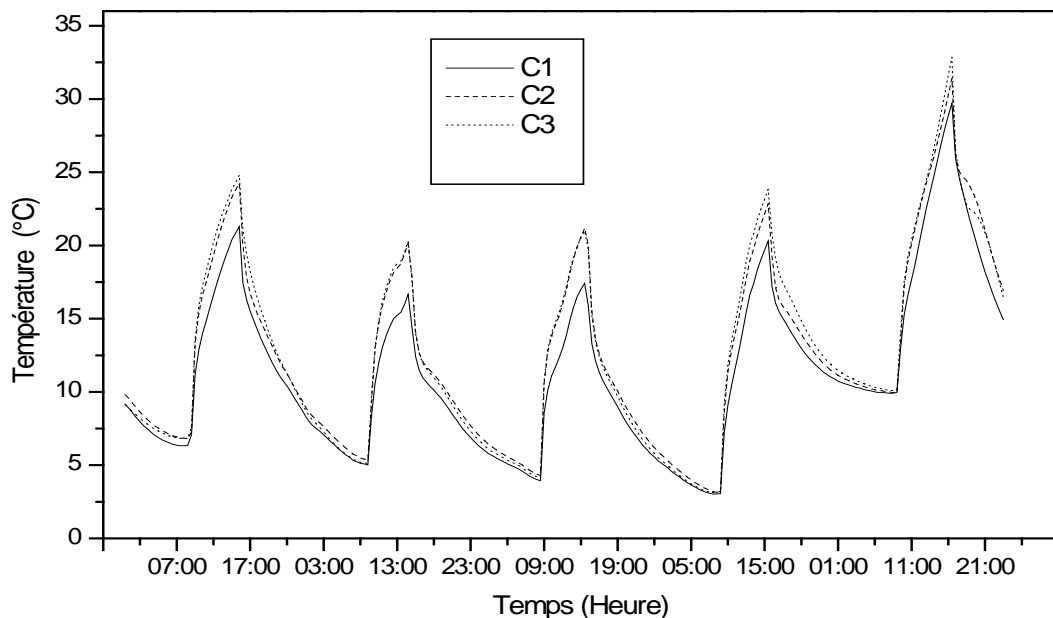


Figure 5 : Évolution de la température de paroi avec chauffage (24-28 Février 2013)

La figure 6 présente l'évolution au cours du temps de la température de la face interne de la dalle de la cellule C1 sans MCP et celle de la dalle de la cellule C2 et C3 avec MCP. Les résultats montrent, qu'avec un apport d'énergie de 200 W fournies aux cellules de 9h à 15h, que les températures maximales des quatre premières journées de la face interne de la dalle de la cellule C1 sans MCP varie entre 15 et 20 °C, alors que la température de la dalle de la cellule C2 et C3 avec MCP varie entre 20 et 25 °C. Pour la dernière journée, la température de la dalle sans MCP est de 29 °C, par contre celle de la dalle avec MCP atteint les 34 °C. Les résultats expérimentaux montrent que l'utilisation de l'enduit plâtre/MCP avec une dalle du béton a permis d'augmenter la température maximale de la surface interne des dalles durant la journée de 5 °C.

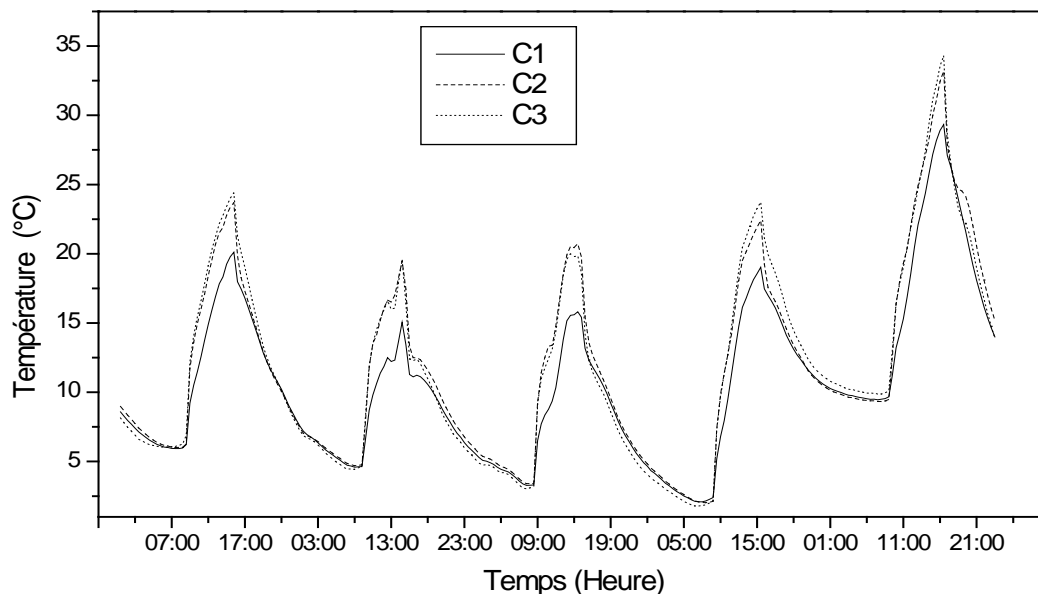


Figure 6 : Évolution de la température de dalle avec chauffage (24-28 Février 2013)

5. Conclusion

Un travail expérimental a été réalisé pour étudier l'influence de l'intégration des MCP sur le comportement thermique de trois cellules et sur l'amélioration du confort thermique en période d'hiver dans le climat algérien. La cellule C1 est composée des matériaux classiques en Algérie, la cellule C2 est réalisée avec des parois intégrant un MCP (23 °C) et la cellule C3 est réalisée avec des parois intégrant un MCP (26 °C).

Les résultats des mesures en période d'hiver montrent que le MCP a permis d'améliorer le confort thermique et d'augmenter la température maximale des cellules de 2 °C en période d'hiver. Les résultats ont permis de constater que l'utilisation d'un enduit en plâtre/MCP avec une paroi en brique creuse améliore le confort thermique et augmente la température maximale des parois de 4 °C. Ces résultats démontrent que l'incorporation de MCP avec le plâtre comme enduit donne une réelle opportunité de réaliser des économies d'énergie pour les bâtiments en Algérie.

Références

- [1] L.F. Cabeza, C. Castello, M. Nogue's, M. Medrano, O. Zubillaga, Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. *Energy and Buildings.*, 39 (2007), 113–119.
- [2] B. Zalba, J.M. Marin, L.F. Cabeza, H. Mehling. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering.*, 23 (2003), 251–283.
- [3] V.V. Tyagi, D. Buddhi, PCM thermal storage in buildings: A state of art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 11 (2007), 1146–1166.
- [4] A.M. Khudhair, M.M. Farid., A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 45 (2004), 263–275.
- [5] D.W. Hawes, D. Feldman, D. Banu, Latent heat storage in building materials. *Energy and Buildings.*, 20 (1993), 77-86.

- [6] D. Feldman, D. Banu, D. Hawes, E. Ghanbari, Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard. *Solar Energy Materials.*, 22 (1991), 231-242.
- [7] M. Ahmad, A. Bontemps, H. Salle, D. Quenard, Experimental investigation and computer simulation of thermal behaviour of wallboards containing a phase change material. *Energy and Buildings.*, 38 (2006), 357-366.
- [8] M. Ahmad, A. Bontemps, H. Salle, D. Quenard, Thermal testing and numerical simulation of a prototype cell using light wallboards coupling vacuumisolation panels and phase change material. *Energy and Buildings*, 38 (2006), 673-681.
- [9] A.G. Entrop, et al. Experimental research on the use of micro-encapsulated Phase Change Materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in Dutch houses. *Solar Energy*, 85 (2011) , 1007-1020.
- [10] F. Kuznik, J. Virgone, Experimental investigation of wallboard containing phase change material: Data for validation of numerical modeling. *Energy and Buildings.*, 41(2009), 561–570.
- [11] Z. Guobing, Performance of a hybrid heating system with thermal storage using shape-stabilized phase change material plates. *Applied Energy.*, 84 (2007) , 1068-1077.