

# Comportement d'une lame d'air d'un mur à double parois contenant du MCP d'un local climatisé, soumis au rayonnement solaire et situé en climat subtropical

Zahra NAJAM\* Mustapha EL ALAMI, Mostafa NAJAM

LPMMAT, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca, Maroc

\*(auteur correspondant : [zahra.najam.2012@gmail.com](mailto:zahra.najam.2012@gmail.com))

**Résumé :** *L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité thermique des murs à doubles parois en briques rouges séparées par une lame d'air et soumis au rayonnement solaire. Une couche de matériaux à changement de phase (MCP) a été insérée dans la lame d'air et collée à la paroi du mur côté extérieur d'un local climatisé situé à Casablanca (Maroc). Nous avons étudié les champs expérimentaux de température au sein de la lame d'air afin de déterminer la nature d'éventuels écoulements d'air dans l'espace compris entre les doubles parois et puis nous avons calculé le coefficient d'échange convectif au niveau des parois verticales.*



**Fig.1 :** Configuration étudiée

**Mots clefs :** *Efficacité énergétique / murs à doubles parois / Lame d'air / Etude expérimentale / MCP/ convection naturelle.*

## 1. Introduction

Au Maroc la consommation annuelle en énergie est de 0,5 TEP/hab (Tonnes Équivalent Pétrole par habitant). Elle augmente de 4,3% chaque année. La politique d'efficacité énergétique vise la réduction de la consommation énergétique de 12% à l'horizon 2020 notamment dans les secteurs clés de développement à savoir le bâtiment, l'industrie et le transport (ADEREE) [1]. En effet, le bâtiment est parmi les secteurs les plus énergivores dans le monde, à lui seul utilise 40 % de l'énergie dépensée [2]. L'objectif est de réduire cette consommation d'énergie qui est devenu un véritable enjeu dans le contexte actuel du réchauffement climatique.

L'intégration des matériaux à changement de phase (MCP) dans le bâtiment est un concept relativement ancien, réalisé par une fabrication de panneaux contenant des MCP pour remplacer les murs ou les cloisons, classiques, soit par incorporation de capsules remplies de MCP dans les éléments de construction, ou par incorporation directe ou par imprégnation du matériau de construction.

Les études menées sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment sont multiples et relativement récentes. Laurie et al. [3] ont introduit une paraffine stabilisée par une matrice polymère (MCP) dans les cavités d'une dalle alvéolée pouvant être utilisée comme plancher/plafond. Une simulation numérique a été réalisée à l'aide du logiciel COMSOL. Les résultats numériques sont en accord avec les résultats expérimentaux validant ainsi le modèle. Plusieurs configurations de la répartition des alvéoles contenant du MCP ont été étudiées indiquant que les meilleurs résultats étaient obtenus lorsque toutes les alvéoles étaient remplies de MCP. Faraji [4] a adapté un modèle mathématique unidimensionnel afin d'optimiser la paroi de stockage de chaleur latente par intégration de deux couches de matériau à changement de phase en sandwich dans un mur en béton. Il a constaté que, lorsque la couche du MCP est placée plus près de la face interne de la paroi, les conditions de confort thermique sont considérablement améliorées par rapport à une paroi en béton sans MCP. Mourid et al. [5] ont étudié l'influence de l'adjonction d'une plaque de MCP aux faces internes du mur d'un local soumis au rayonnement solaire sur l'isolation des murs. Les résultats montrent que les oscillations de température interne diminuent remarquablement dans la cavité avec MCP avec une température minimale de 3 °C supérieure au cas sans MCP. Ainsi l'intégration de MCP sur le plafond du bâtiment réduit les températures intérieures des cellules de 1,5 °C et celles des parois internes de 2,53 °C. Il est impératif d'isoler les plafonds des locaux résidentiels contre le rayonnement solaire car l'écart entre les deux flux transmis à travers deux plafonds avec et sans MCP atteint 11,2 W / m<sup>2</sup>. Bouzlou et al. [6] ont étudié le stockage de la chaleur dans l'MCP en plaques posées sur le plafond du local et soumis au rayonnement solaire. Leurs résultats expérimentaux ont montré une nette amélioration de l'isolation du plafond par l'effet de stockage de la chaleur dans celui-ci. Bekkouche et al. [7] ont traité les principaux paramètres qui influent sur la résistance thermique d'un mur à doubles parois séparées par une d'air. La résistance thermique de la lame d'air peut être équivalente à une couche d'isolation thermique conventionnelle.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'impact, de l'intégration d'un matériau à changement de phase (MCP) dans la lame d'air d'un mur à doubles parois, orienté Ouest, sur la consommation énergétique et le confort thermique du local étudié. La couche d'MCP est placée sur la face interne de la paroi du côté extérieur. L'écoulement de convection de l'air au sein de la lame d'air est discuté et la détermination du coefficient d'échange convectif dans un cas particulier a été faite.

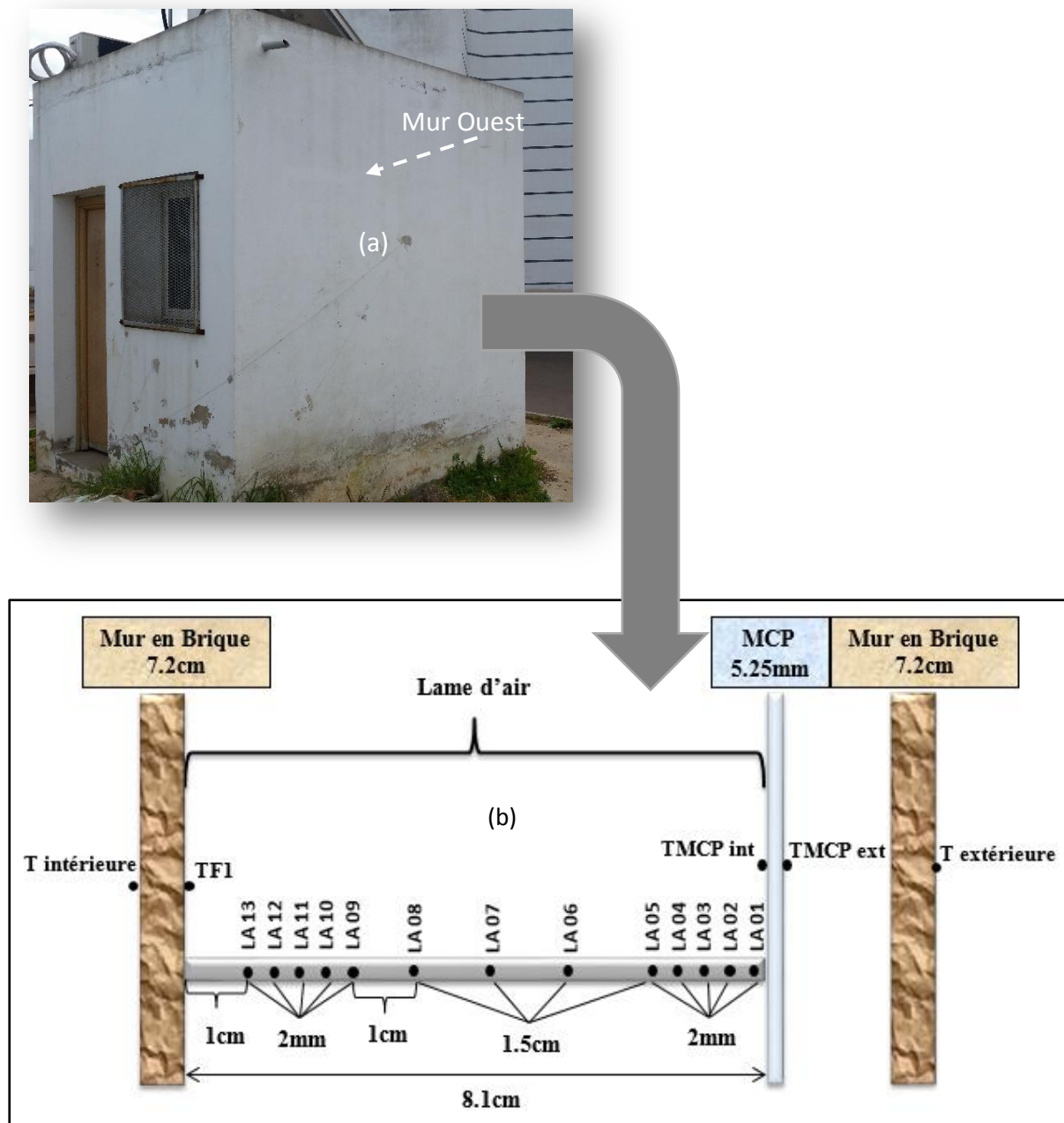
## **2. Procédure expérimentale**

### **2.1 Configuration étudiée**

Les deux locaux étudiés se situent à Casablanca (33°34' ; 7°36') au sein de la Faculté des Sciences Ain Chock. Un local est pris comme référence avec des murs sans MCP, tandis que l'autre local est équipé de matériau à changement de phase (MCP). Les parois verticales (Est- Ouest-Nord-Sud) ont été peintes en blanc, avec une dimension de 3m×3m×3m. Le mur nord comprend une fenêtre en aluminium de 1m×1m, et une porte en bois de 1m×2m.

Les façades des murs Est, Sud, Ouest et Nord ont une construction identique, les parois sont en briques rouges de 7,2 cm d'épaisseur séparées par une lame d'air de 13,6 cm d'épaisseur. Les faces des murs, côté extérieur et intérieur du local ont été recouvert chacune

d'une couche de mortier de ciment de 1 cm d'épaisseur. L'épaisseur globale de ces murs est de 30 cm. Le mur ouest du deuxième local, figure 2, de même épaisseur que les autres murs, contient une couche de matériaux à changement de phase (MCP) de 5,25 mm d'épaisseur fixée au mur externe par des planches en bois, du côté de la lame d'air. Le plafond du local est composé de cinq couches de l'intérieur du local vers l'extérieur: mortier de ciment de 3,5 cm d'épaisseur, bitume de 0.5 cm d'épaisseur, mortier de 4 cm de ciment, béton lourd de 15 cm d'épaisseur et mortier de ciment de 2 cm d'épaisseur en contact avec l'extérieur. Le plancher est composé de cinq couches : 5 cm de mortier de ciment, 3 cm d'argile, 2 cm de polystyrène, 4 cm de béton et 10 cm de pierre calcaire.



**Fig. 2 :** (a) Local étudié (b) Position des thermocouples au sein de la lame d'air du mur ouest

Afin d'étudier leurs comportements thermiques, chaque cellule a été équipée de 24 thermocouples (type K, diamètre 2/10):

- 3 thermocouples sur la face interne de chaque paroi,
- 1 sur la face externe de chaque paroi,
- 3 thermocouples sont placés à l'intérieur du local sur l'axe vertical qui passe par le centre,

Dans le deuxième local, dont la paroi Ouest contient du MCP, on a installé 17 thermocouples de plus, figure 2:

- 13 thermocouples dans la lame d'air (fixés sur une tige très fine pour ne pas perturber d'éventuels écoulements de convection naturelle)
- 2 thermocouples de chaque côté du MCP,
- 2 thermocouples collés au mur en brique rouge, du côté de la lame d'air.

Les différents thermocouples sont reliés à une chaîne d'acquisition de données. Le temps lecture des températures est de 10 minutes.

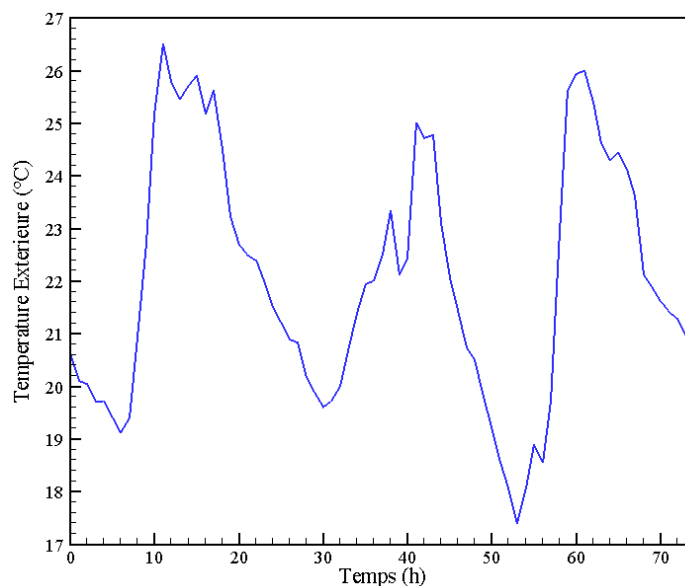
## **2.2 Matériau à changement de phase (MCP)**

Le Matériau à changement de phase étudié est développé par DuPont Energain, sous forme de panneau de construction rigide. Le mélange, composé de polymère à base d'éthylène (40%) et de paraffine (60%), a été encapsulé. L'ensemble constitue un panneau de dimension 1m \* 1,198m \* 0,00526m, laminé de chaque côté par deux feuilles d'aluminium de 130 µm. Les bords sont recouverts de ruban adhésif en aluminium de 75 µm, la masse surfacique du panneau est de 4,5 Kg/m<sup>2</sup>. Le panneau MCP a une température de fusion qui varie de 21,7 °C à 33 °C, la conductivité du panneau à l'état solide est de l'ordre de 0,18 W/m. K et chute jusqu'à 0,14 W/m. K à l'état liquide. La transition de l'état solide à l'état liquide permet d'augmenter l'inertie thermique du mur auquel il est collé.

## **2.3 Données météorologiques**

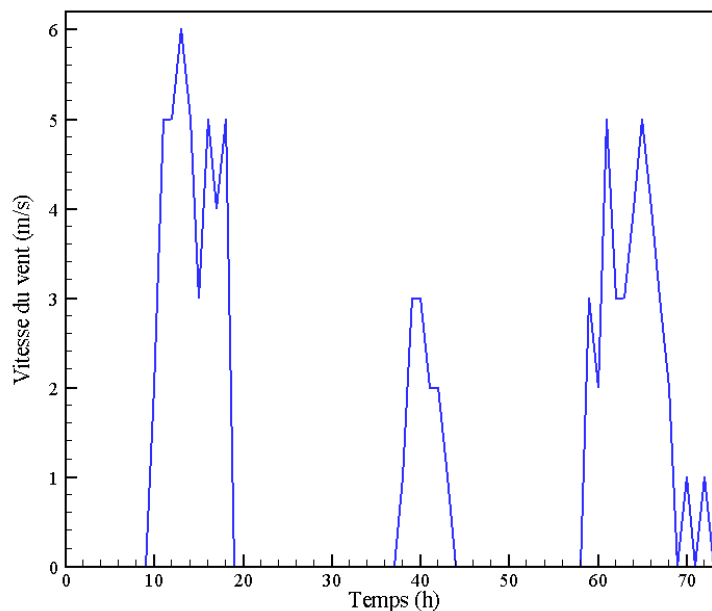
Les données météorologiques utilisées sont issues des conditions climatiques réelles mesurées sur le site, par une station météo installée sur le plafond du local étudié, durant la période du 18 au 20 Septembre 2016. Les mesures ont été faites avec un pas de temps d'une heure. Ils concernent: la température, l'humidité relative, le rayonnement solaire global, la vitesse et la direction du vent.

La variation de la température extérieure est donnée, figure 3, pendant les trois jours, considérés. Elle varie entre 17,4°C et 26,6°C.



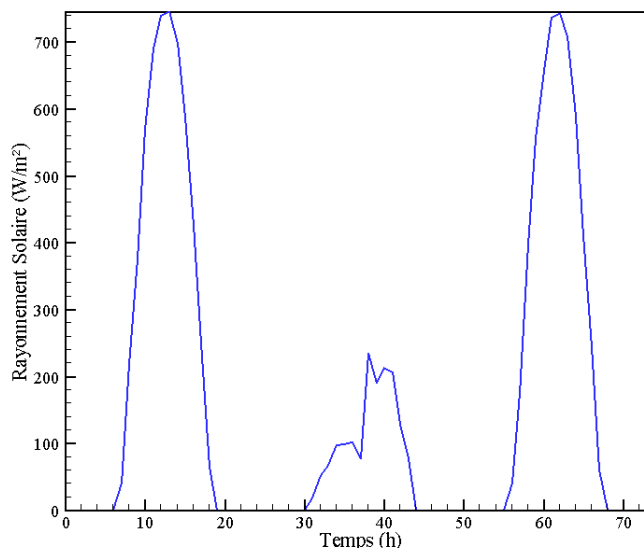
**Fig.3 :** *Température extérieure (°C), du 18 au 20 Septembre 2016*

La vitesse du vent est présentée dans la figure 4: le premier jour, elle est de l'ordre de 5m/s entre 10h et 18h puis devient très faible (autour de zéro) en dehors de cette période. Par contre, le deuxième jour est pratiquement calme sauf une légère variation qui ne dépasse pas les 3 m/s entre 14h et 19h. Contrairement pour le 3<sup>ème</sup> jour, il y a une variation de 11h du matin jusqu'à minuit avec une légère perturbation au-delà.



**Fig. 4 :** *Vitesse du vent, du 18 au 20 Septembre 2016*

La figure 5 présente le rayonnement solaire global. Le profil du flux est identique pour le 18 et 20 Septembre, sa valeur maximale est de 745 W/m<sup>2</sup>. Par contre, pour le 19, il ne dépasse pas les 234W/m<sup>2</sup>. Ceci est dû, peut-être, à des passages nuageux.



**Fig. 5 :** Rayonnement Solaire, du 18 au 20 Septembre 2016

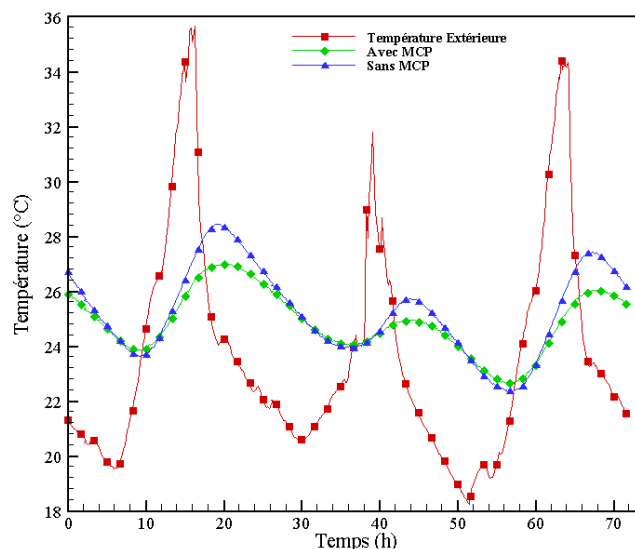
### 3 Résultats et discussions

#### 3.1 Profils thermiques

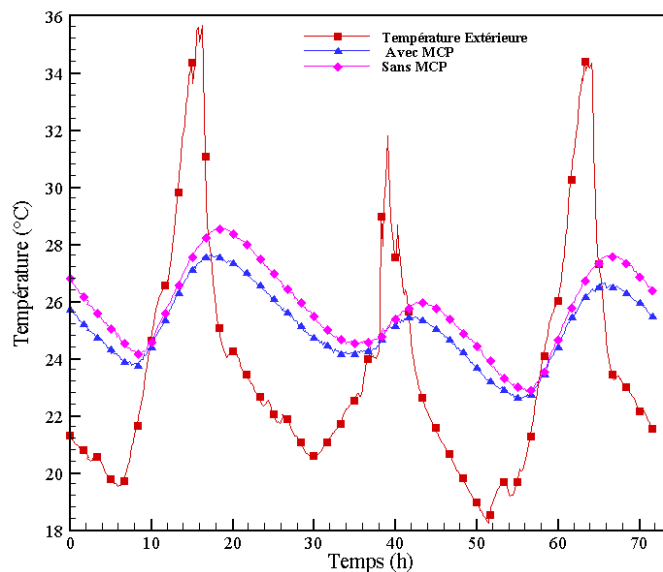
La figure 6 et la figure 7 illustrent les variations de la température de la face interne de la paroi ouest et la température intérieure des deux cavités, respectivement. Le mur Ouest soumis au rayonnement solaire atteint sa température maximale à 16h.

La température de la face interne du local sans MCP varie entre 23,6°C et 28,4°C, alors que celle du local avec MCP varie entre un minimum de 24°C et elle ne dépasse pas 27°C, Figure 6. Il s'avère que l'intégration de MCP dans la lame d'air du mur Ouest réduit les fluctuations de température de 1,16 °C pendant la période étudiée.

On constate que la température intérieure de la cellule avec MCP est réduite de 1,08 °C par rapport à celle sans MCP. Ceci s'explique par la bonne inertie thermique présentée par le matériau à changement de phase (MCP).



**Fig. 6 :** Variation de la température extérieure du local et la face interne du mur ouest avec et sans MCP

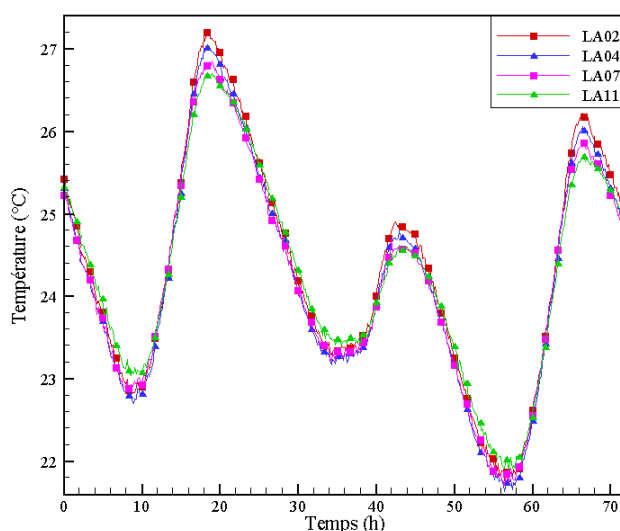


**Fig. 7 :** Variation de la température intérieure et extérieure du local avec et sans MCP

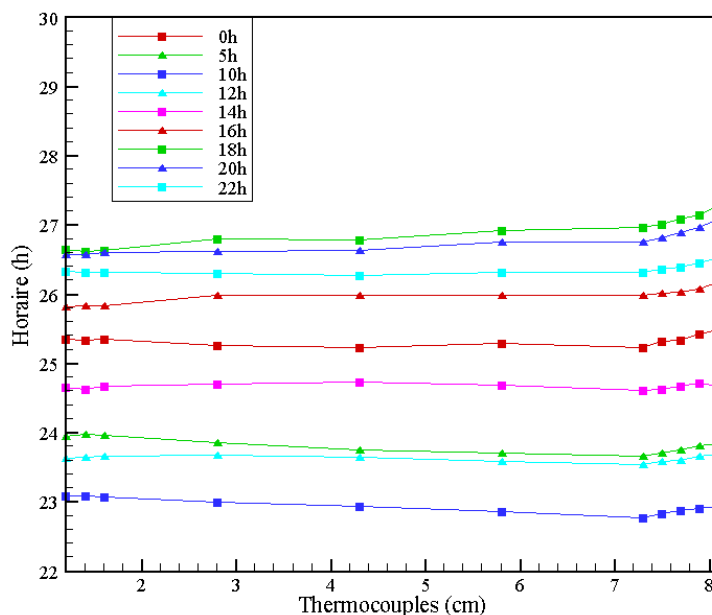
### 3.2 Comportement de la lame d'air du mur Ouest et calcul du coefficient d'échange convectif

La figure 8 présente l'évolution de la température de quelques thermocouples de la lame d'air qui se situe au sein du mur ouest du local étudié. La variation de ces températures de la partie médiane de la lame d'air, montre que la lame d'air évolue en fonction du flux solaire reçu par la paroi ouest (contenant le MCP). La partie de la courbe correspondante à une température constante dans la partie médiane s'étend de 12h00 à 16h00 (elle correspond à un segment de droite), la lame d'air est stratifié.

Le maximum de température  $T_{\max}=27,2^{\circ}\text{C}$  se situe vers 18h00, alors que la température extérieure maximal de la face ouest est de  $35,8^{\circ}\text{C}$  vers 16h00, en outre la température extérieure atteint son maximum de  $26,4^{\circ}\text{C}$  vers 10h30, ceci montre l'effet de l'inertie thermique conséquent de l'introduction du MCP au niveau de la lame d'air qui est important pour assurer une ambiance climatique confortable pour les occupants.



**Fig. 8 :** Profils thermique dans la lame d'air



**Fig. 9:** Variation horaire de la température de la lame d'air, le 18 Septembre 2016

En outre, dans la figure 9, à 14h00 le champ de température est presque constant, ceci s'explique par le fait que le maximum du flux solaire se situe à cette heure et par conséquent on assiste à une stratification de la lame d'air. Au-delà de cette date, à 16h00 par exemple, on assiste alors à un mouvement de convection de couche limite au voisinage de la paroi externe contenant le MCP d'une part et la paroi interne du côté de la lame d'air. Cependant la température du milieu de la lame d'air est constante. On peut dire que l'air à cet endroit est au repos. Cet écoulement continu d'exister jusqu'à 20h00. A 5h00 du matin, il y'a inversement de l'écoulement dans la couche limite. En effet durant la nuit la température externe descend jusqu'à 19,5 °C. La chaleur transite alors de l'intérieur du local vers l'extérieur. En effet, la face interne du local est plus chaude que sa face externe. Ce phénomène demeure jusqu'à 10h00 du matin.

Nous remarquons que la température de la face du mur contenant le MCP varie de 23 °C à 27,3 °C, dans cette gamme de température on peut considérer que le MCP est en transition de phase liquide-solide et vice versa.

Le coefficient de transfert thermique permet à calculer l'intensité d'énergie échangée par unité de surface. Pour cela, une corrélation empirique des transferts de chaleur par convection dans une cavité rectangulaire vide est utilisée pour calculer le nombre de Nusselt (Nu) [7].

$$Nu = 0.22 * \left( \frac{Pr * Ra}{0.2 + Pr} \right)^{0.28} \left( \frac{H}{L} \right)^{-0.25}$$

$$2 < H / L < 10$$

$$Pr < 10^5$$

$$10^3 < Ra < 10^{10}$$

Dans notre cas d'étude on a un régime laminaire ( $10^3 < Ra < 10^9$ ), le coefficient de transfert thermique convectif stationnaire à 16h le 18 Septembre 2016 est de 0.42 W/m<sup>2</sup>. K.

## 4 Conclusion



La présente étude, a pour objectif d'étudier la performance thermique et l'efficacité énergétique de deux locaux avec et sans matériau à changement de phase (MCP) intégré dans la lame d'air du mur Ouest. Les résultats ont montré que le confort thermique de l'environnement intérieur du local avec MCP a été amélioré par rapport au local sans MCP. La température intérieure est réduite par intégration du MCP de 1,08°C, et celle de la paroi interne du mur Ouest de 1,16°C, en outre, l'amplitude des oscillations thermiques du mur ouest et de l'ambiance du local ont diminué.

Selon la même étude, la température est constante dans la partie médiane de la lame d'air de 12h00 à 16h00. Elle correspond à un segment de droite et donc la lame d'air est stratifiée. L'intégration du MCP au sein de la lame d'air a augmenté l'inertie thermique du mur. Le coefficient d'échange convectif calculé dans la lame d'air est de l'ordre de 0.42 W/m<sup>2</sup>. K.

## Références

- [1] Efficacité Énergétique dans le bâtiment, Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique(ADEREE) ; [www.aderee.ma](http://www.aderee.ma).
- [2] Office National d'Electricité (ONE) ; "Statistiques énergétiques" ; [www.one.org.ma](http://www.one.org.ma),
- [3] L. Karim, A. Bontemps, A. Grados, L. Royon. Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase (MCP) dans les planchers/plafonds de bâtiment à structure légère. 16<sup>èmes</sup> Journées Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013.
- [4] M. Faraji, Numerical computation of solar heat storage in phase change material/concrete wall. International Journal of Energy and Environment, vol 5, (3).353- 360, 2014.
- [5] A. Mourid, M. Faraji, M. El Alami, M. Najam, F. Berroug. Solar thermal control of building integrated phase Change materials: an experimental survey, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol 5, (02). 2319-1163, 2016.
- [6] Y. Bouzlou, A. Mourid, M. El Alami, M. Najam and M. Faraji, Experimental study of heat storage in a MCP incorporated into a residential premises walls. Congrès IRSEC'2014, Ouarzazate (Maroc) du 17 au 19 Octobre 2014.
- [7] S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M.K. Cherier, M. Hamdani, M.R. Yaiche et N. Benamrane, L'apport de l'émissivité thermique, cas d'un mur type opaque muni de cavité d'air. Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa 29- 39, 2012.