

Etude de l'effet de l'intervalle de fusion des Matériaux à Changement de Phase sur le comportement thermique d'une paroi séparant deux locaux adjacents

N. HANCHI¹, H. HAMZA², J. LAHJOMRI³, A. OUBARRA⁴

Laboratoire de Mécanique, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II de Casablanca, BP 5366 Maarif, Casablanca, Maroc

¹. nh.hanchi@gmail.com

². hamza.hamidd@gmail.com

³. Lahjomri@hotmail.com

⁴. aoubarra@gmail.com

Résumé

Le but de ce travail est d'étudier l'effet d'insertion des Matériaux à Changement de Phase (MCP) au sein d'une paroi de construction séparant un local conditionné d'un local adjacent sous activité thermique périodique. Cela est réalisé par une étude comparative avec une paroi de référence sous les mêmes conditions thermiques. Le critère de comparaison retenu est la densité d'énergie journalière transmise au local conditionné en fonction du niveau thermique de fusion ainsi que de l'intervalle de changement de phase.

Mots clefs : *Local conditionné, Matériaux à changement de Phase, Paroi, Densité d'énergie journalière.*

1. Introduction

Le confort thermique dans un local dépend à la fois de l'activité interne, ainsi que des conditions thermiques des locaux adjacents. L'impact de ces derniers a pour support les parois de séparation. Les matériaux de construction usuels utilisés au sein des parois internes des locaux ne permettent pas de réduire l'effet thermique des locaux adjacents. De plus et pour réduire les coûts de construction, les épaisseurs actuelles des parois pénalisent le confort thermique et ne permettent pas une inertie thermique suffisante. Il en résulte une grande consommation d'énergie pour les besoins du chauffage ou de climatisation. Pour pallier à ce problème, il existe plusieurs approches, parmi elles : la technique qui consiste à insérer des dispositifs de stockage d'énergie dans les structures de construction [1]. Ceci permet l'atténuation des fluctuations de température. Cette technique utilise les matériaux à changement de phase (MCP). Ces matériaux sont largement utilisés dans les accumulateurs à chaleur latente [2,3], les systèmes de chauffage solaire [4] ainsi que pour la conservation de l'énergie du bâtiment et la récupération de la chaleur résiduelle [1, 5, 6].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet d'insertion de Matériaux à Changement de Phase (MCP) au sein d'une

paroi de construction séparant deux locaux adjacents. Le premier local étant conditionné alors que le deuxième est soumis à une activité thermique périodique. L'effet du matériau à changement de phase est simulé selon son niveau thermique de fusion ainsi que l'intervalle de changement de phase.

2. Position du problème

L'effet d'insertion des matériaux à changement de phase est réalisé par une étude comparative entre deux parois de construction. La première de référence est constituée de béton (figure 1) alors qu'au sein de la deuxième est inséré un matériau à changement de phase (figure 2). Les deux parois de même épaisseur ($L = 30$ cm) sont étudiées sous les mêmes conditions thermiques. Un local conditionné à deux températures de confort ($T_{int} = 18^\circ\text{C}$ et 20°C), alors que le local adjacent est le siège d'activité thermique générant une évolution de la température sinusoïdale, de niveaux thermiques extrêmes (20°C et 40°C).

Figure.1.Paroi référentielle

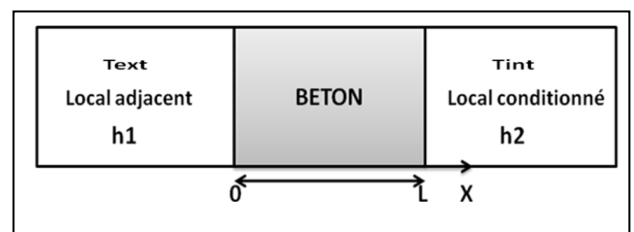
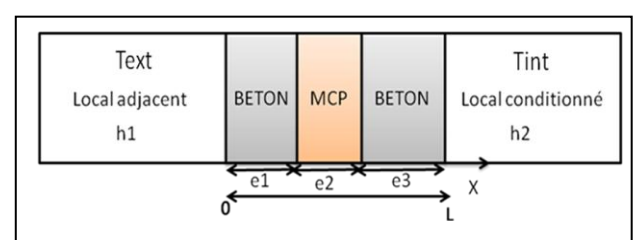


Figure.2.Paroi avec MCP



Le critère de comparaison entre la paroi de référence et celle munie de matériaux à changement de phase est la densité d'énergie journalière $\Phi_{journalière}$ (kwh/m^2)

transmise au local conditionné, calculée selon :

$$\phi_{journalière} = \int_{journalière} h_{int} (T_{X=L} - T_{int}) dt \quad (1)$$

Cette grandeur est calculée pour les deux températures de confort (18 et 20°C), pour différents matériaux à changement de phase selon leurs niveaux thermiques de fusion et l'intervalle de changement de phase. Les différents matériaux sont de même épaisseur ($e_2 = \frac{L}{10}$),

et de même emplacement ($e_1 = \frac{L}{10}$) au sein de la paroi.

Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux à changement de phase retenus pour cette étude ainsi que celle du béton sont reportées dans le tableau 1.

Tableau.1. Propriétés physiques des matériaux.

Matériaux	Température de fusion T_f (°C)	Chaleur Latente L_f (kJ/kg)	Conductivité thermique K (W/m K)	Chaleur spécifique c (kJ/kg K)	Densité ρ (kg/m ³)	Diffusivité thermique α (m ² /s) $\times 10^{-7}$
Béton	-	-	1.730	840	2400	8.58
MCP	19 [8]	160	0.43	1.90	1520	1.49
	21 [8]	144	0.7 (l) 0.5 (s)	3.6	1380	1.41 (l) 1.01 (s)
	26.6 [9]	232	0.18 (l) 0.19 (s)	1.8 (l) 1.41 (s)	749 (l) 785 (s)	1.34 (l) 1.72 (s)
	29.9 [9]	187	0.53 (l) 1.09 (s)	2.2 (l) 1.4 (s)	1530 (l) 1710 (s)	1.57 (l) 4.55 (s)

Pour les quatre MCP, l'intervalle de fusion est représenté par :

$$T_{f1} = T_f - (\varepsilon * 0.01 * T_f) \quad (2)$$

$$T_{f2} = T_f + (\varepsilon * 0.01 * T_f)$$

Tel que ε caractérise le domaine de fusion du MCP variant de 1 à 5%.

L'équation régissant le problème, pour les différents milieux est donnée par (3) : Sachant que l'indice (i) correspond soit au béton ou bien au MCP.

$$\rho_i C_i \frac{\partial T_i}{\partial t} + \varepsilon_i \times \rho_i L_f \frac{\partial f}{\partial t} = k_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} \quad (3)$$

Avec :

- $\varepsilon_i = 0$: Dans le cas du béton ou du MCP (Phase solide et liquide).

- $\varepsilon_i = 1$: Pour le MCP en fusion à $T = T_f$.

Le système d'équations précédent est associé aux conditions aux limites et aux interfaces, traduisant l'égalité des températures et la conservation des flux. Il a été résolu par un schéma aux différences finies implicites.

3. Résultats et discussion

Le code numérique a été validé par comparaison avec la solution analytique relative au problème de Neumann [7]. Ce code numérique nous a permis de simuler le comportement thermique de la paroi composite (figure 2) munie des différents matériaux à changement de phase, pour les deux températures de confort (18 et 20°C) et pour les différentes valeurs de ε caractérisant l'intervalle de fusion. Le comportement de la paroi composite (figure 2) est confronté à celui de la paroi de référence (figure 1) au moyen de densité d'énergie journalière interne $\Phi_{journalière}$ (kwh/m^2) définie par l'équation (1).

Les résultats obtenus par cette étude sont représentés sur les figures 3 et 4 respectivement pour les températures de confort 18 et 20°C. Ces deux figures donnent la densité d'énergie journalière transmise au local conditionné dans le cas de la paroi de référence et celle munie de matériau à changement de phase pour les différentes valeurs du paramètre ε .

Figure.3. Densité d'énergie journalière pour $T_{int} = 18^\circ C$.

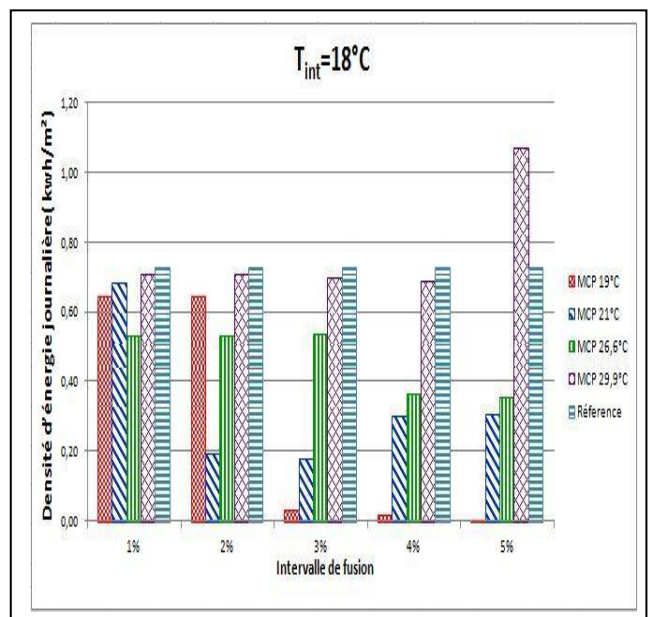
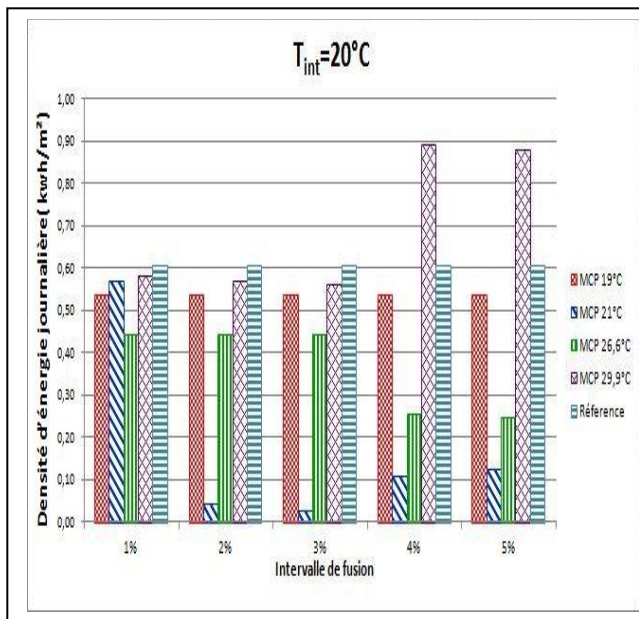


Figure.4. Densité d'énergie journalière pour $T_{int} = 20^{\circ}C$ 

Les résultats de ces figures montrent que l'effet d'insertion du matériau à changement de phase dépend de l'intervalle de fusion. Dans le cas d'un confort à $18^{\circ}C$, le paramètre du domaine de fusion a un effet favorable pour le cas des MCP de température de fusion 19, 21 et $26.6^{\circ}C$, tandis que l'effet est opposé pour le MCP de niveau thermique de fusion égale à $29.9^{\circ}C$. Pour le cas d'un confort à $20^{\circ}C$, on note un effet nul pour le MCP ($19^{\circ}C$), un effet favorable pour les MCP (21 et $26.6^{\circ}C$) et un effet inverse pour le MCP de température de fusion $29.9^{\circ}C$.

D'après ces histogrammes, on remarque que pour la température de confort $T_{int} = 18^{\circ}C$, le MCP de température de fusion $T_f = 19^{\circ}C$ est le plus approprié en termes de réduction de l'énergie journalière, avec un ε de 5%. Alors que pour la température de confort $T_{int} = 20^{\circ}C$, le MCP le plus convenable est celui de température de fusion égale à $T_f = 21^{\circ}C$ avec ε de 3%.

4. Conclusion

Dans cette étude, l'effet d'insertion des matériaux à changement de phase au sein de la paroi de construction est analysé par comparaison des comportements thermiques de la paroi composite avec celle de référence soumise aux mêmes conditions thermiques.

Cette étude a été menée pour différents MCP avec comme paramètre le niveau thermique de fusion et l'intervalle de changement de phase. D'après les résultats obtenus, il s'est avéré que le MCP optimal; en terme de réduction de la densité d'énergie journalière; est celui de température de fusion légèrement supérieure à la

température de confort du local avec un facteur de fusion adéquat.

Références

- [1] M. Amir, M. Lacroix and N. Galanis, *Comportement Thermique de Dalles Chauffantes Electriques pour le Stockage Quotidien*, International Journal of Thermal Sciences, 38, N°2 (1999) 121-131.
- [2] B. Abouelkhatrat, J. Lahjomri and A. Oubarra, *Study of Latent Accumulator Storage by Heat Transfer Fluid (HTF) and External Heat Source (EHS)*, Physical and Chemical News, 66 (2012) 56-68.
- [3] E. M. Alawadhi, *Temperature Regulator Unit for Fluid Flow in a Channel Using Phase Change Material*, Applied Thermal Engineering, 25, N°2-3 (2005) 435-449.
- [4] J. Košny, K. Biswas, W. Miller and S. Kriner, *Field Thermal Performance of Naturally Ventilated Solar Roof with PCM Heat Sink*, Solar Energy, 86, N°9 (2012) 2504-2514.
- [5] A. Pasupathy, L. Athanasius, R. Velraj and R. V. Seeniraj, *Experimental Investigation and Numerical Simulation Analysis on the Thermal Performance of a Building Roof Incorporating Phase Change Material (PCM) for Thermal Management*, Applied Thermal Engineering, 28, N°5-6 (2008) 556-565.
- [6] P. Brousseau and M. Lacroix, *Study of the Thermal Performance of a Multi-Layer PCM Storage Unit*, Energy Conversion Management, 37, N°5 (1996) 599-609.
- [7] V. Alexiades, A.D. Solomon, "Mathematical modeling of melting and freezing processes." Hemisphere Publishing Corporation, Washington, USA, 1993.
- [8] Tatsidjodoung, P., Pierres, N. L., and Luo, L., "A Review of Potential Materials for Thermal Energy Storage in Building Applications," Renewable Sustainable Energy Rev., 2013, 18, pp. 327-349.
- [9] Agyenim, F., Hewitt, N., Eames, P., and Smyth, M., "A Review of Materials, Heat Transfer and Phase Change Problem Formulation for Latent Heat Thermal Energy Storage Systems (LHTESS)," Renewable Sustainable Energy Rev., 2010, 14(2), pp. 615-628.