



Modélisation de l'Effet Energétique de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur l'Ambiance Intérieure

HAMI Khelifa ^{#1}, DRAOUI Belkacem ^{#2}, HAMI Omar ^{#3}, IMINE Omar ^{*4}

[#] *Laboratoire d'énergétique en zones arides (ENRGARID)*

Faculté des sciences et technologie, Université de Béchar

¹hamikhelifa@yahoo.fr

²bdraoui@yahoo.com

³hami_omar@yahoo.fr

^{*} *Faculté de génie mécanique, Université des sciences et de la technologie d'Oran, USTO*

⁴imine_omar@yahoo.fr

Résumé — Le présent travail consiste à la modélisation du transfert de chaleur dans un mur soumis à une condition de rayonnement solaire en hiver sur le côté extérieur. Une proposition optimale est dégagée de cette étude en fonction des objectifs recherchés. On a analysé également, l'influence du transfert de chaleur, sur le choix du matériau et l'optimisation de leur épaisseur pour une telle enveloppe du bâtiment au sud ouest Algérien. L'exploitation du code numérique est développée sur des cas relatifs au problème posé dans l'habitat. Les résultats de simulation sont présentés sur des exemples de bâtiment dans des conditions réelles de fonctionnement (apport solaire, températures, chaleur accumulée, etc...).

Abstract — This work involves the study and the modeling of heat transfer in a wall subjected to a condition of solar radiation in winter on the outside. An optimal proposal is cleared from this study based on the searched objectives. We also analyzed the influence of heat transfer on materials selection and optimization of the thickness of such a building envelope in southwest Algeria. The operation of the numerical code developed on cases related to the problem in the home. The simulation results are presented examples of building in real operating conditions (solar input, temperature, accumulated heat, etc. ...).

Mots clés — Climat saharien, Energétique du bâtiment, Inertie thermique, chauffage passif, Modélisation numérique.

I. INTRODUCTION

Le sud-ouest de l'Algérie, zone retenue dans cette étude, est caractérisé par un climat saharien (zone D). Avec une forte insolation, dépassant les 3500 h/an, et un intense rayonnement solaire direct qui peut atteindre 1100 W/m² sur un plan horizontal, le climat présente un régime thermique très contrasté. En été, la température dépasse facilement les 45°C à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 27 %. Par ailleurs, en hiver la température extérieure peut descendre à -5 °C la nuit avec des précipitations rares et irrégulières.

Étant donné que le problème étudié est toujours d'actualité et vu les travaux présentés par [1], ceux réalisés par [2], [5], [6], [7] et ainsi que l'étude faite par [3]-[4] pour le cas d'un mur Trombe soumis à un flux solaire hivernal, nous nous sommes proposés de mettre au point un code qui nous a permis d'étudier le transfert thermique à travers le mur extérieur d'une habitation. On a analysé également, l'influence du transfert de chaleur, sur le choix de matériau et l'optimisation de leur épaisseur. L'exploitation du code numérique est développée sur des cas relatifs au problème posé dans l'habitat. Les résultats de simulation sont présentés sur des exemples de bâtiment dans des conditions réelles de fonctionnement (apport solaire, températures, chaleur accumulée, etc...).

II. POSITIONNEMENT DU PROBLEME

Considérons un mur plan exposé en plein sud constitué d'un matériau homogène et isotrope dont les dimensions latérales sont grandes devant son épaisseur e (cf. Fig. 2). La distribution initiale des températures est supposée uniforme ; sa face $x = 0$ est brusquement mise en contact avec une variation du flux de chaleur (1) dû à l'ensoleillement hivernal (Moi de janvier) de la zone sud-ouest Algérien Fig. 1, le ciel est considéré comme serein c.-à-d. l'insolation directe relative est comprise entre 80 et 100 %, la face $x = e$ est supposée maintenue à une température T_{in} .

$$\varphi_s(t) = 550. \sin(\pi.t / 36000) = \text{flux solaire (W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Le temps (t) : étant exprimé en (s).

φ_s : le flux solaire incident sur le mur en (W/m²)

36000 (s) = 10 (h) : le temps de l'ensoleillement. Ce qui correspond à la durée de jour en hiver de la zone sud-ouest



Algérien.

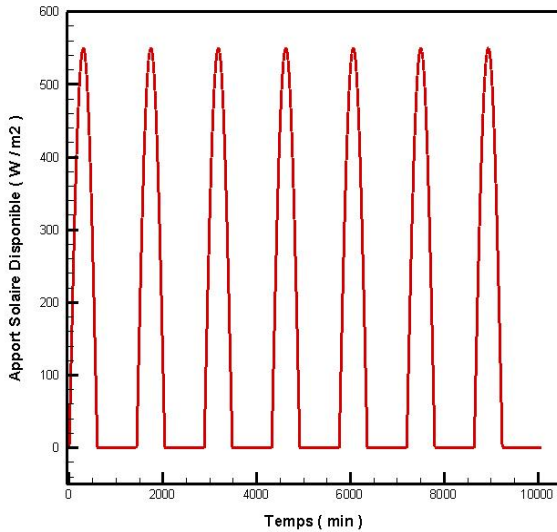


Fig. 1 Variation du flux solaire hivernal (cas de Béchar)

La distribution instantanée des températures, $T(x,y,t)$, est solution du système équations différentiels (2). (Σ étant le domaine d'étude, dans le cas général c 'est ($\forall x, y \in \Sigma$) :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \\ En \rightarrow x = 0 \rightarrow -k \cdot \frac{\partial T(0, H, t)}{\partial x} = \varphi_s \\ En \rightarrow x = e \rightarrow T(e, H, t) = T_{in} \\ A \rightarrow t = 0 \rightarrow T(x, y, 0) = 0^\circ C \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi_s = 550 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{36000}\right) ; \quad 0 < t < 36000 \quad (3)$$

$$\varphi_s = 0 ; \quad 36000 \leq t \leq 86400 \quad (4)$$

Où $a = \frac{k}{\rho \cdot C}$ est la diffusivité thermique ; ρ , C et k sont respectivement la masse volumique, la chaleur spécifique et la conductivité thermique du matériau.

La durée de la simulation est d'une semaine. La résolution du système d'équations (2) muni des conditions aux limites et initiales est discrétisée à l'aide de la méthode des volumes finis, selon le schéma numérique du 1^{er} ordre-implicite. Les équations du système algébrique obtenues, ont été résolues par la méthode itérative de gauss-seidel.

Afin de bien comprendre les phénomènes mis en jeu, nous allons, dans un premier temps, étudié les paramètres qui influent sur l'établissement du régime périodique, la deuxième

partie est consacré au calcul du champ des températures du système en fonction de types de construction (lourde, moyenne et légère), dans la troisième et dernière partie de ce travail, nous effectuons une étude comparative entre la chaleur instantanée transmise au travers le mur et la chaleur restituée au local.

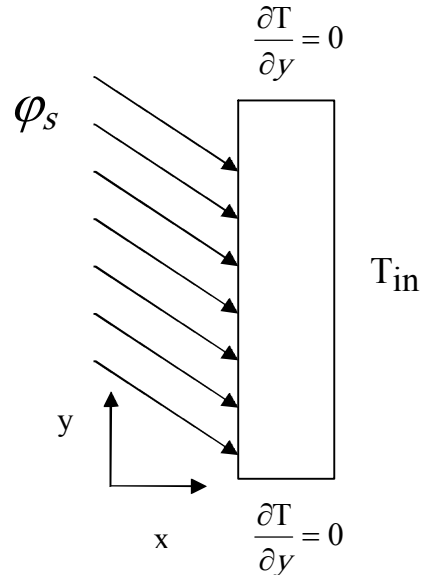


Fig. 2 Modèle physique

TABLE I
PROPRIETES PHYSIQUES DU MATERIAU CHOISI POUR LA
SIMULATION

Béton plein		
ρ (kg/m ³)	k (w/m.k)	C (j/kg.k)
2150	1.65	1008

III. RESULTATS ET DISCUTIONS

A. Etablissement du régime périodique

L'évolution du champ des températures pour un type de construction lourde (cf. $e \geq 40$ cm) représentés dans Fig. 3, comporte deux phases successives, la phase transitoire qui dépend fortement de l'état initial du système et la phase de régime périodique établi, indépendante de l'état initial du système. La durée du régime transitoire dépend de la constante de temps τ qui est par définition la constante fondamentale du système thermique. Elle permet de prédire la durée des phénomènes transitoires dont le système peut être le siège (on a montré que τ ne dépend que des caractéristiques physique du système (k , ρ , C), de sa configuration et de ses liaisons thermique (internes ou externes). En effet, on



considère généralement qu'à partir de $t \geq 3\tau$ (cf. Fig. 3) les caractéristiques du champ thermique (amplitude et phase) n'évoluent plus et sont indépendantes de l'état initial. L'importance relative de ces deux phases dépend de la période P , si $P \gg \tau$ comme dans le cas d'une construction légère (cf. $e \leq 10$ cm) Fig. 4, le régime périodique s'établit presque immédiatement et on peut négliger la phase transitoire, au contraire si $P < \tau$ cette dernière s'étend sur plusieurs périodes.

B. Calcul du champ des températures

Les résultats de simulation représentée dans Fig. 5, Fig. 6 et Fig. 7 montrent l'influence de l'ensoleillement sur les trois types de la construction (lourde, moyenne et légère), la température de la face extérieure augmente par l'augmentation de l'épaisseur. La température initiale de la paroi est de 0°C . La durée de la simulation est d'une semaine. Lorsque le régime devient établi, la variation de cette température est aussi périodique, amortie (stockée) et déphasée (retardée). La température de la face extérieure de la paroi lourde est plus élevée et plus amortie que les autres parois (moyenne et légère). Par exemple pour la paroi lourde, dans le régime périodique établi, la température de la face extérieure varie de 21.23°C à 56.01°C , la température au milieu de la paroi varie de 14.96°C à 22.02°C . Donc, l'amplitude du régime quasi stationnaire est de 17.39°C , (l'amplitude de la température de la face extérieure du régime quasi stationnaire est calculée suivant: $(T_{\text{moy}} = (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) / 2)$). Pour le déphasage (retard), sa valeur est de 7h10min par rapport aux apports solaires disponibles.

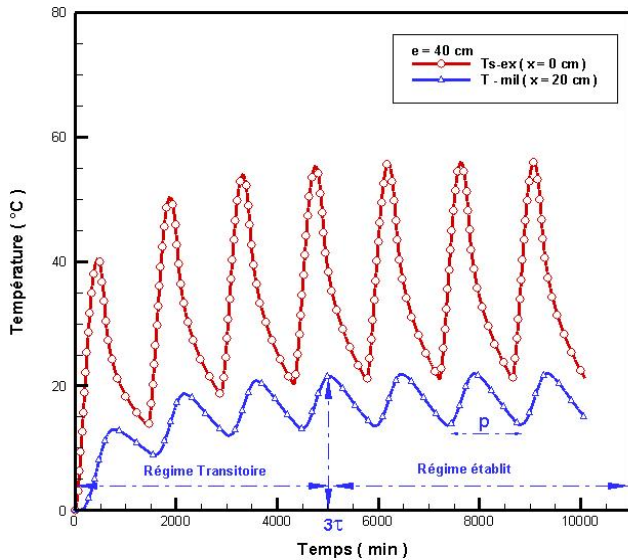


Fig. 3 Evolution du champ des températures – (cas $e = 40$ cm)
(Etablissement du régime périodique)

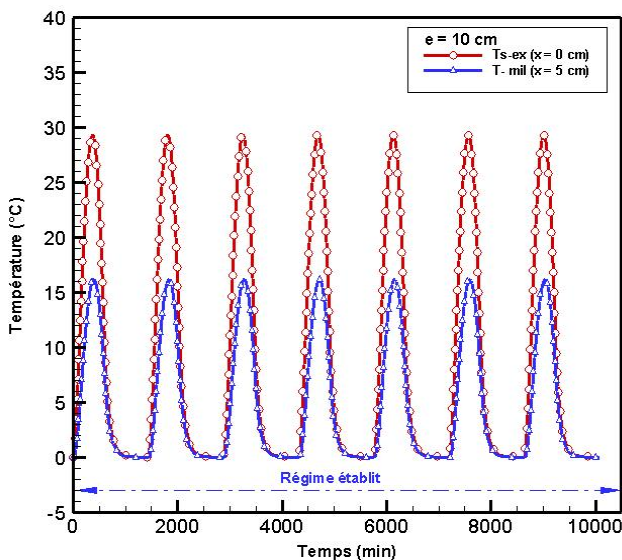


Fig. 4 Evolution du champ des températures – (cas $e = 10$ cm)
(Etablissement du régime périodique)

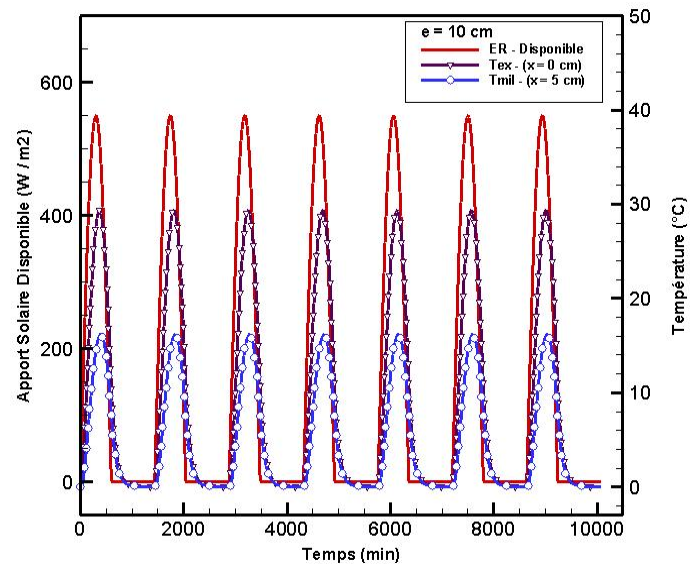


Fig. 5 Variation temporelle de la température de surface extérieure
et au milieu de la paroi, (cas - $e = 10$ cm)

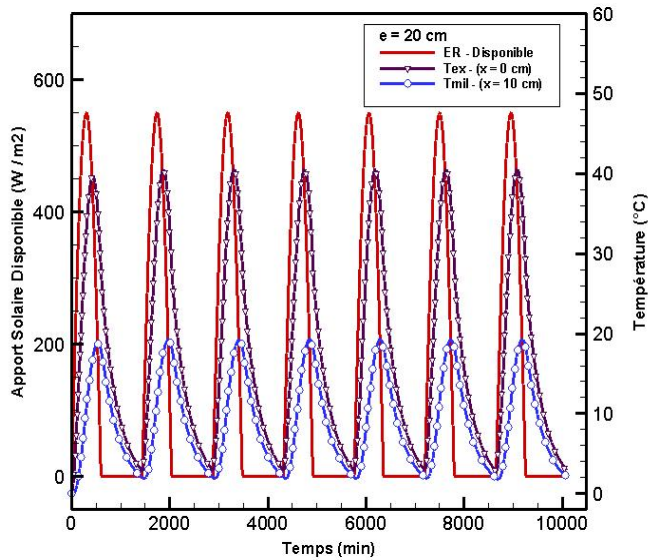


Fig. 6 Variation temporelle de la température de surface extérieure et au milieu de la paroi, (cas - $e = 20$ cm)

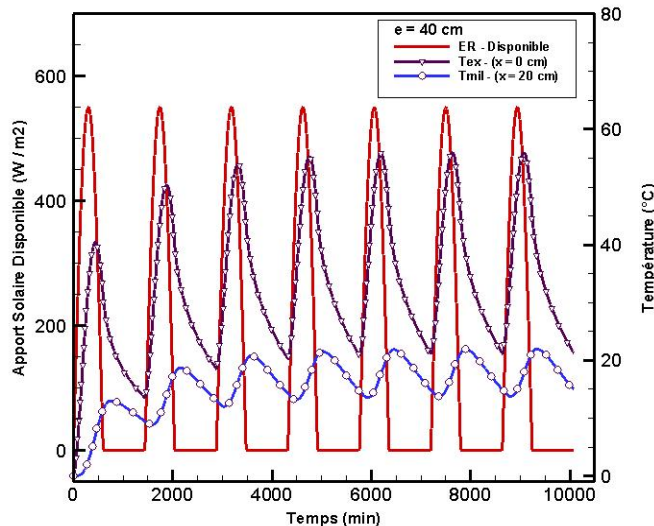


Fig. 7 Variation temporelle de la température de surface extérieure et au milieu de la paroi, (cas - $e = 40$ cm)

C. Influence des apports solaires sur l'ambiance intérieure

Fig. 8 représente l'évolution dans le temps de l'apport de chaleur dû à l'ensoleillement dans le local avec ou sans inertie thermique : comparaison entre la chaleur instantanée transmise au travers le mur et la chaleur restituée au local. Lorsque le régime devient établi, la variation de cette chaleur (emmagasinée / restituée) est aussi périodique, amortie (stockée) et déphasée (retardée). Par exemple pour la paroi lourde, dans le régime périodique établi, la chaleur emmagasinée et restituée à l'intérieur du locale varie de 136.61 W/m^2 à 177.73 W/m^2 , l'amplitude du régime quasi

stationnaire est de 20.56 W/m^2 , (l'amplitude de la chaleur (emmagasinée / restituée) du régime quasi stationnaire est calculée suivant: $(\Phi_{\text{moy}} = (\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}) / 2)$). Pour le déphasage (retard) de la chaleur (emmagasinée / restituée) par rapports aux apports solaires, sa valeur est de 14h 28min pour la construction lourde, 9h 25min pour la construction moyenne et 6h 46min pour la construction légère.

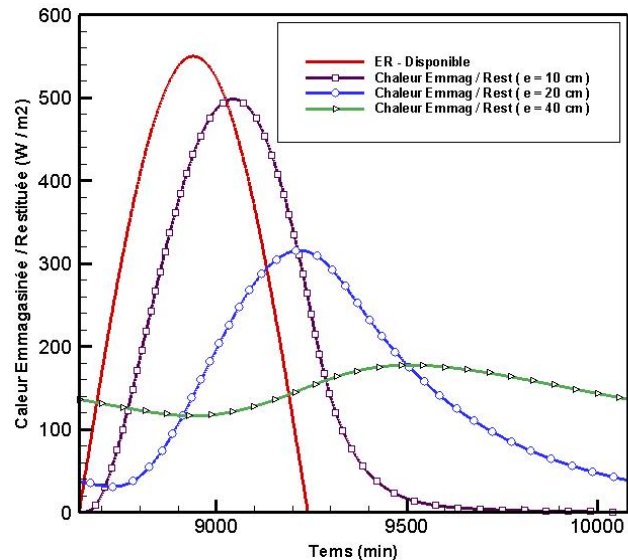


Fig. 8 Evolution dans le temps de la chaleur (emmagasinée / restituée) en fonction des apports solaires hivernaux pour les trois types de construction

IV. CONCLUSION

Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de voir l'influence des différents paramètres sur la température de la surface extérieure et au milieu de la paroi étudiée pour les trois types de construction (légère, moyenne et lourde) et de voir ainsi l'évolution dans le temps de la chaleur restituée dans le local avec ou sans inertie thermique. Pour que ce phénomène d'accumulation / restitution de chaleur soit possible, il faut d'une part, favoriser l'utilisation des matériaux de construction lourds pour assurer l'accumulation et d'autre part, garantir le contact entre ceux-ci et l'air frais de ventilation pour évacuer la chaleur accumulée. Donc le but de la ventilation nocturne est de décharger au maximum, durant la nuit, la chaleur accumulée dans le matériau du bâtiment et de permettre une forte absorption de chaleur durant la journée. La construction légère est mal adapté au climat de la zone étudiée par contre on assiste à une bon adaptation au climat pour la construction lourde. Les résultats obtenus pour la zone du sud-ouest Algérien utilisant un matériau lourd (inertie thermique) orienté en plein sud pour assuré un chauffage passif du bâtiment, semblent intéressants d'appliquer un tel système.



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012**



NOMENCLATURE

a	diffusivité thermique (m^2/s)
C	chaleur spécifique ($J/kg.K$)
e	épaisseur du mur (m)
H	hauteur du mur (m)
k	conductivité thermique ($W/m.K$)
P	la période (s)
t	temps (s)
T_{ex}	température extérieure ($^{\circ}C$)
T_{in}	température intérieur ($^{\circ}C$)
T_{moy}	température moyenne ($^{\circ}C$)

Symboles grecs

ρ	masse volumique (kg/m^3)
φ_s	flux solaire (W/m^2)
τ	la constante de temps (s)
Φ	la chaleur accumulée (W/m^2)

Indices / Exposants

ER	énergie renouvelable
moy	moyenne
max	maximale
min	minimale
mil	milieu
in	intérieur
ex	extérieur
s	solaire

REFERENCES

- [1] S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan and S.A. Al-Ajlan, "Effect of Electricity Tariff on the Optimum Insulation Thickness in Building Walls as Determined by Dynamic Heat Transfer Model", Applied Energy, Vol. 82, N°4, pp. 313 – 330, 2005.
- [2] E. Wurtz, L. Mora, K.C. Mendonca et C. Maalouf, "Modélisation des Transferts de Chaleur et de Masse dans l'Environnement de Simulation Simspark", Journée INES-LAMA, 2004.
- [3] B. Draoui, K. Hami et O. Hami, "Système de chauffage passif par la technique d'un mur Trombe", Actes de 1^{er} Congrès de l'Association Marocaine de Thermique, Settat (MAROC), pp. 434 – 440, 2010.
- [4] K. Hami, B. Draoui et O. Hami, "Modélisation d'un système de chauffage passif dans la région de Béchar", Revue des Energies Renouvelables, Vol. 13, N°2, pp. 355 – 368, 2010.
- [5] Y. Tamenel, S. Abboudi et C. Bougriou, "Simulation des transferts thermiques transitoires à travers un mur multicouche soumis à des conditions de flux solaire et de convection", Revue des Energies Renouvelables Vol. 12, N°1, pp. 117 – 124, 2009.
- [6] C. Maalouf, L. Chahwane, A.D. Tran Le, T.H. Mai, E. Wurtz, "Optimisation de l'enveloppe d'un bâtiment à travers l'étude de l'inertie thermique", 14èmes Journées Internationales de Thermique, JITH2009, Djerba, Tunisie, pp. 2009.
- [7] Prabal Talukdar, Stephen O. Olutmayin, Olalekan F. Osanyintola and Carey J. Simonson, "An Experimental Data Set for Benchmarking 1-D, Transient Heat and Moisture Transfer Models of Hygroscopic Building Materials", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 50, N°25, pp. 4527 – 4539, 2007.