

# Modélisation de l'effet des fibres d'alfa sur le comportement thermique d'un matériau à base d'argile

O.BOUTAHIR, R. SAADANI, M. BENYASSI, M. RAHMOUNE, A. ZOUBIR, K. SBAI

Laboratoire d'Etude des Matériaux Avancés et Applications (LEM2A), Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail  
BP 11201, Avenue Zitoune, Meknes, Maroc.

Auteur correspondant : boutahiroussama@gmail.com

## Résumé

Au Maroc, comme dans le reste de l'Afrique du Nord, le climat intérieur des maisons laisse à désirer. En été, il y fait trop chaud et en hiver trop froid. C'est pourquoi de nombreux foyers installent des équipements de chauffage et de climatisation, grands consommateurs d'énergie, avec les frais élevés que cela entraîne pour eux. Il serait toutefois possible d'arriver à une amélioration notable du climat intérieur en utilisant des matériaux thermiquement isolants. Le Maroc manque de matériaux locaux thermiquement isolants adaptables aux techniques de construction marocaine.

L'objectif de ce travail est de modéliser le transfert de la chaleur dans un nouveau matériau thermiquement isolant, pouvant être produits avec des matières premières locales à de faibles coûts d'investissement. Le matériau étudié est l'argile renforcé par des fibres d'alfa, un matériau facile à produire et parfaits pour l'isolation thermique des toitures, souvent la partie la plus importante d'un bâtiment à isoler, mais également pour l'isolation d'autres parties du bâtiment.

**Mots clefs :** Isolation Thermique, Fibres d'Alfa, Modélisation Numérique, Efficacité Energétique.

## 1. Introduction

Au Maroc la consommation annuelle en énergie (toutes sources confondues) est de 0,5 tonnes équivalent pétrole par habitant, elle augmente de 4,3% chaque année. En ce qui concerne l'électricité, un Marocain consomme 781KWh annuellement, et augmentera de 7,8% annuellement. La politique d'Efficacité Energétique visant 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[1].

Ainsi, l'efficacité énergétique dans les bâtiments et l'isolation thermique des enveloppes constituent un domaine de recherche très important et ont connu un grand développement ces dernières années [2]. Au Maroc, il est actuellement difficile de se procurer des produits isolants de bonne qualité et à des coûts abordables, d'où la nécessité de développer des matériaux thermiquement isolants à base de matériaux localement disponibles faisant appel à des techniques de production et de mise en œuvre simples.

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment

dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence [3].

Par ailleurs, c'est l'une des espèces xérophiles qui caractérise le mieux les milieux arides méditerranéens à l'exclusion des secteurs désertiques. Sa terre d'élection est l'Afrique du Nord, et tout particulièrement les hauts plateaux du Maroc et de l'Algérie [4].

L'objectif de ce travail est de modéliser le transfert de la chaleur dans un nouveau matériau thermiquement isolant, pouvant être produits avec des matières premières locales à de faibles coûts d'investissement. Le matériau étudié est l'argile renforcé par des fibres d'alfa, un matériau facile à produire et parfaits pour l'isolation thermique des toitures, souvent la partie la plus importante d'un bâtiment à isoler, mais également pour l'isolation d'autres parties du bâtiment, afin d'évaluer l'effet de l'isolation thermique sur la consommation énergétique du bâtiment.

## 2. Problème 2D

La présente étude porte sur un problème transitoire 2-D de transfert de chaleur dans une paroi homogène en argile (sans alfa et avec 4% d'alfa) de forme rectangulaire avec des coefficients thermo-physiques constants. Les quatre faces sont soumises à des conditions aux limites en termes de flux. Sous ces hypothèses, le système d'équations peut s'écrire sous la forme générale suivante:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

## 3. Résolution numérique

### 3.1 Méthode A.D.I

On découpe un pas de temps en demi-pas et on résout successivement un groupe de problèmes monodimensionnels dans la direction de x au temps n + 1/2 puis un groupe de problèmes monodimensionnel dans la direction des y au temps n + 1.

Soit la solution calculée au demi-pas de temps n + 1/2, On cherche à résoudre les deux groupes de problèmes suivants : dans un but de réduire le problème en un système tri-diagonal [6.7]

$$\frac{T^{n+1/2} - T^n}{\delta t} = \frac{1}{2} \alpha \left( \nabla_x^2 T^{n+1/2} + \nabla_y^2 T^n \right) \quad (2)$$

$$\frac{T^{n+1} - T^{n+1/2}}{\delta t} = \frac{1}{2} \alpha (\nabla_x^2 T^{n+1/2} + \nabla_y^2 T^{n+1}) \quad (3)$$

Les problèmes (2) sont des problèmes d'inconnues  $T(x, y)^{n+1/2}$  fixé. On cherche à résoudre les systèmes suivants :

$$\left( I - \frac{\delta t}{2} \alpha \cdot P_x \right) T_j^{n+1/2} = B_1^n \quad \forall j \in [1, n_y] \quad (4)$$

$$\left( I - \frac{\delta t}{2} \alpha \cdot P_y \right) T_i^{n+1} = B_2^{n+1/2} \quad \forall i \in [1, n_x] \quad (5)$$

Les problèmes (3) sont des problèmes d'inconnues  $T(x, \cdot)^{n+1}$ ,  $x$  fixé. Où  $P_x(P_y)$  représente la matrice du laplacien discrétisé en dimension un dans la direction des  $x$  (dans la direction des  $y$ ) et  $T_j(T_i)$  le vecteur d'inconnues  $i(j)$  du maillage pour une ligne  $j$  fixée (pour une colonne  $i$  fixée). Il y a donc  $n_y$  problèmes indépendants à résoudre suivant (4) et  $n_x$  problèmes indépendants suivant (5).

On applique la méthode des A.D.I. au problème de transfert de la chaleur. La résolution des systèmes tri-diagonaux résultants sera faite par une méthode de gradient conjugué classique (sur un maillage uniforme). Pour la composante  $T(x, y, t)$  on obtient (pour chaque  $j$ ) :

$$\begin{aligned} & \left( 1 + \alpha \frac{\Delta t}{h_x^2} \right) T_{i,j}^{n+1/2} - \left( \alpha \frac{\Delta t}{h_x^2} \right) (T_{i+1,j}^{n+1/2} + T_{i-1,j}^{n+1/2}) \\ & = \left( 1 - \alpha \frac{\Delta t}{h_y^2} \right) T_{i,j}^n + \left( \alpha \frac{\Delta t}{h_y^2} \right) (T_{i,j+1}^n + T_{i,j-1}^n) \end{aligned} \quad (6)$$

Puis on résout au second demi-pas (pour chaque  $i$ ) :

$$\begin{aligned} & \left( 1 + \alpha \frac{\Delta t}{h_y^2} \right) T_{i,j}^{n+1} - \left( \alpha \frac{\Delta t}{h_y^2} \right) (T_{i,j+1}^{n+1} + T_{i,j-1}^{n+1}) \\ & = \left( 1 - \alpha \frac{\Delta t}{h_x^2} \right) T_{i,j}^{n+1/2} + \left( \alpha \frac{\Delta t}{h_x^2} \right) (T_{i+1,j}^{n+1/2} + T_{i-1,j}^{n+1/2}) \end{aligned} \quad (7)$$

Le système des équations est résolu en deux dimensions linéaires dans le cas d'une surface d'argile de section rectangulaire soumise aux conditions aux limites suivantes :

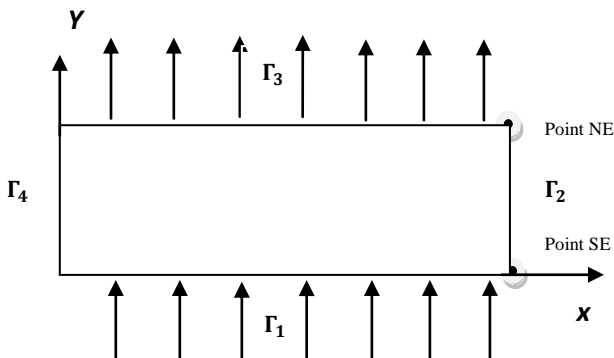


Figure 1 : Géométrie de l'élément bidimensionnel

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0 & \text{sur } \Gamma_2 \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0 & \text{sur } \Gamma_4 \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = q_2 & \text{sur } \Gamma_1 \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} = q_1 & \text{sur } \Gamma_3 \end{cases}$$

Et à la condition initiale:

$$T(x, y, 0) = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nous considérons le problème de conduction dans l'argile avec et sans ajout des fibres d'alfa, de longueur  $L$ , d'épaisseur  $e$ , de conductivité thermique  $\lambda$ , de masse volumique  $\rho$ , de capacité calorifique  $C_p$  et de diffusivité thermique  $D$  [5].

	$\lambda$ W/m.K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$C_p$ J/Kg.K	$D$ m <sup>2</sup> /s
<b>Argile sans Alfa</b>	0.938	2213.19	745.62	5.68 10 <sup>-7</sup>
<b>Argile avec 4% d'Alfa</b>	0.372	1583.25	803.68	2.92 10 <sup>-7</sup>

Table 1 : Caractéristiques thermophysiques des matériaux

### 3.2 Résultats et discussion

Le système des équations est résolu en 2D linéaires dans le cas d'une surface d'argile avec et sans ajout d'alfa, assujettie aux conditions aux limites en termes de flux de chaleur.

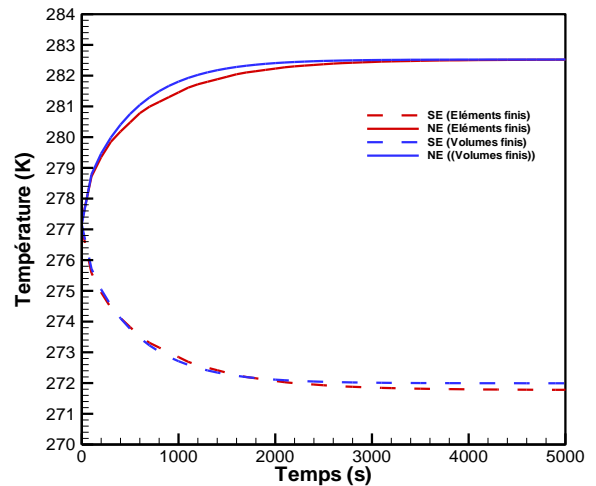


Figure 2 : Evolution de la température aux points (NE et SE)

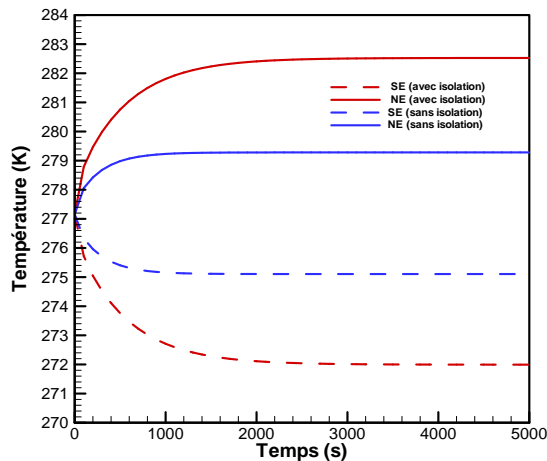


Figure 3 : Evolution de la température aux points (NE et SE) avec et sans ajout d'alfa

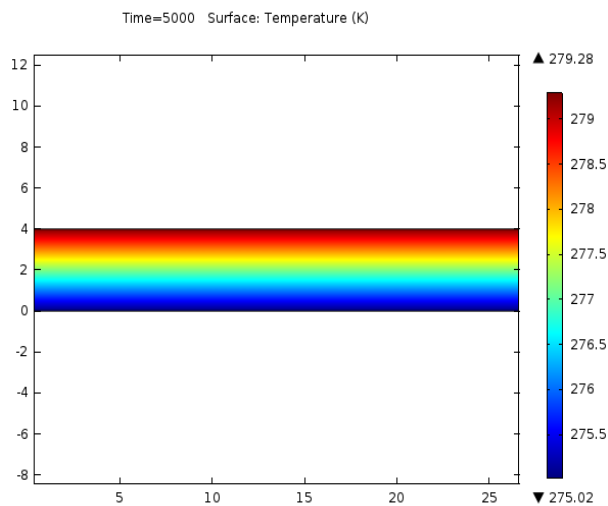


Figure 4 : Distribution de la température dans la paroi poreuse (Argile)

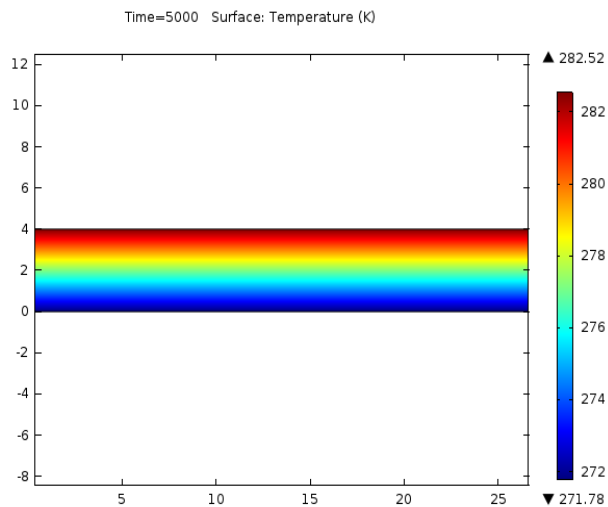


Figure 5 : Distribution de la température dans la paroi poreuse (Argile +Alfa)

L'évolution de la température a été suivie en deux positions symétriques *Sud-Est(SE)* ; $(x,y)=(Nx,1)$  et *Nord-Est(NE)* ; $(x,y)=(Nx,Ny-1)$ . La figure 2, représente l'évolution de la température calculée par les schémas classiques en volumes finies et les schémas en éléments finis dans le cas linéaire. Sur la figure 3, on a tracé le profil de la température dans l'argile avec et sans ajout des fibres d'alfa. Les figures 4 et 5, représentent la distribution de la température dans le matériau poreux.

La simulation numérique a permis de prévoir l'évolution des températures pour les deux cas: avec et sans ajout des fibres d'alfa à l'argile. Nous pouvons constater l'accord parfait entre les deux schémas numériques étudiés (figure 2). La figure 3 montre l'importance de l'isolation thermique puisque l'écart de température en régime permanent peut dépasser la valeur de 3 °C. Les figures 4 et 5, montrent clairement que la cinétique de diffusion est ralentie par l'existence d'un gradient thermique.

## 5. Conclusion

Ce travail représente l'étude de l'effet de la fibre alfa sur le comportement thermique d'un matériau à base d'argile. La conductivité et la diffusivité thermique contribuent à une meilleure compréhension du comportement thermique du matériau. Les résultats obtenus montrent que l'augmentation des pourcentages de fibre d'alfa est bénéfique pour l'amélioration des propriétés thermiques. Il rend l'échantillon moins effusif, et améliore son isolation thermique, et ceci en vue d'alléger la facture énergétique tout en augmentant le confort des habitants.

## Référence

- [1] A. Boharb and al. Auditing and analysis of energy consumption of an industrial site in Morocco, *Energy* Volume 101, 15 April 2016, pages 332-342
- [2] L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen and W. D'haeseleer, 'Thermal Comfort in Residential Buildings: Comfort Values and Scales for Building Energy Simulation', *Applied Energy*, Vol. 86, N°5, pp. 772 - 780, 2009.
- [3] G.G.Giménez « Aportaciones a la química de la parte española ». *Anales de l'Universidad de Murcia*. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55
- [4] M.Rhanem « L'alfa (Stipatenacissima L.) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) – Éléments de climatologie », *Physio-Géo* [En ligne], Vol 3 (janvier 2009)
- [5] Y. Elhamdounia, A. Khabbazia, C. Benayada, A. Dadib, O. I. Ahmid, Effect of fiber alfa on thermophysical characteristics of a material based on clay, *Energy Procedia* 74 ( 2015 ) 718 – 727.
- [6] AFSHEEN, ARIF, Alternating direction implicit method for two-dimensional heat transfer, *PROBLEM NATIONAL College of Business Administration & Economics. LAHORE:s.n*, 2009
- [7] Adérito, Araújo Cidália, Neves and Ercília, Sousa, An alternating direction implicit method for a second-order, *Applied Mathematics and Computation*, Vol.239, pp. 17-28.