

Valorisation énergétique du matériau Liège

Nor-Edine KELLATI, Abdelmajid El BOUARDI, Taib AJZOU, Mohammed TYOURI
et Hassan EZBAKHE

*Laboratoire d'Énergétique, Équipe de Thermique Énergie solaire et Environnement, Faculté des Sciences,
Université Abdelmalek Essaâdi Tétouan, Maroc*

* Correspondance, courriel : n_kellati@hotmail.com

Résumé

L'augmentation progressive du coût énergétique de certains matériaux de construction et d'isolation, impose le retour à l'utilisation des matériaux locaux. Connu par son abondance, le liège a une part très importante parmi ces matériaux et surtout les matériaux d'isolation. Dans cette étude, nous nous intéressons à la mesure de la conductivité et de la diffusivité thermique de ce matériau à l'état compact et granulaire par la méthode des boîtes.

Mots-clés : *matériau liège, conductivité et diffusivité thermique, méthode des quadripôles thermiques, méthode d'identification paramétrique.*

Abstract

Energy valorisation of Cork material

The progressive increase of the energetic cost of certain materials of construction and insulation, impose the return to the local material use. Known by its abundance, the cork has a very important part among these materials and especially materials of insulation. In this survey, we are interested worthy of the conductivity and of the thermal diffusivity of this material to the compact and granular state by the method of boxes.

Keywords : *cork, the thermal conductivity and thermal diffusivity, the thermal quadripoles method, parametric identification method.*

1. Introduction

À fin de donner une valorisation énergétique du matériau liège, plusieurs programmes de recherches ont été lancés sur l'étude du comportement thermique de ce matériau. Pour cela nous avons développer une modélisation de transfert de chaleur basé sur le principe de l'analogie électrique, appliquée à un système passif monocouche et multicouche de propriétés thermophysiques différentes et aussi à un échantillon granulaire limité par deux plaques métalliques assimilé à un sandwich métal matériau granulaire métal. Le liège est un produit naturel, provenant de l'écorce du chêne liège. C'est un matériau résistant à la compression, indéformable et difficilement inflammable. Le liège est également un bon isolant

phoniquement. Il provient de l'écorce renouvelable de chêne-liège qui pousse dans diverses régions du bassin méditerranéen. Le liège, matériau poreux passif, possède d'importantes caractéristiques qui le rendent à la fois utile et nécessaire dans plusieurs branches d'activité industrielle.



Figure 1 : Démascage du liège

Le prélèvement appelé démasclage (*Figure 1*) de l'écorce des chênes liège s'effectue tous les huit à dix ans. Cela n'affecte nullement la vie de l'arbre. La particularité du liège réside dans sa structure cellulaire très légère (son volume apparent est occupé par 95 % d'air). Les écorces de liège récoltées sont de forme irrégulière. Pour pouvoir être utilisées, elles sont réduites en grains agglomérés. Le liège est utilisé sous forme de granulés expansés.

Après le démasclage ou l'écorçage, Les planches de liège sont alors empilées en lisières de forêt et vont sécher pendant trois mois environ. Une fois sèches, elles subiront un premier tri sur place, les lièges marchands allant directement dans les usines de préparation [1-2].

2. Méthode des quadripôles thermiques

Pour un échantillon d'un matériau passif d'épaisseur ($x=e$), le transfert de chaleur instationnaire, unidirectionnel [3-4] à travers cet échantillon a pour équation :

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Sa transformée de Laplace est :

$$\frac{d^2 T(x,p)}{dx^2} = -\frac{p}{a} T(x,p) \quad (2)$$

En introduisant la transformée de Laplace du flux $Q(x, p)$:

$$Q(x, p) = -\lambda S \frac{dT(x, p)}{dx} \quad (3)$$

Ces deux équations définissent l'équation d'état de l'échantillon dont la solution est :

$$\begin{bmatrix} T(0, p) \\ Q(0, p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(e, p) \\ Q(e, p) \end{bmatrix}$$

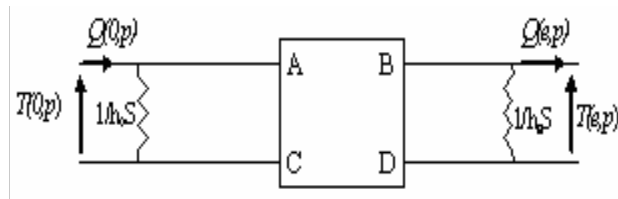
$$A = ch(Kx) = D; \quad B = \frac{sh(Kx)}{\lambda SK} \quad K = \sqrt{\frac{P}{a}}; \quad C = \lambda SK sh(Kx)$$

2-1. Cas des matériaux consolidés

Pour un échantillon parallélépipédique d'un matériau compact d'épaisseur e , irradiée par un flux de chaleur $Q(\theta, t)$. Le quadripôle thermique associé à ce matériau s'écrit :

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

Le schéma équivalent du système avec pertes est :



La matrice de transfert associée au système est :

$$\begin{bmatrix} A_s & B_s \\ C_s & D_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ h_0 S & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ h_c S & 1 \end{bmatrix}$$

$$T(e, p) = \frac{Q(0, p)}{C_s} \quad \text{car} \quad Q(e, p) = 0$$

h_0 et h_c sont respectivement les coefficients d'échanges de la face avant et arrière de l'échantillon. Par la méthode d'inversion numérique on obtient l'expression suivante :

$$T(e, t) = L^{-1} [T(e, p)] \tag{4}$$

L^{-1} : l'opérateur transformé inverse de Laplace.

2-2. Cas d'un multicouche en contact parfait

La matrice de Transfert associé à ce système s'écrit :

$$[M] = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix}$$

2-3. Multicouche passif en contact imparfait

La matrice de Transfert associé à ce système s'écrit :

$$[M] = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{1,2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{2,3} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_{n-1} & B_{n-1} \\ C_{n-1} & D_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{n-1,n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix}$$

2-4. Cas des matériaux granulaires

L'échantillon homogène d'épaisseur e est placé entre deux plaques métalliques d'épaisseur e_1 , (**Figure 2**).

Diffusivité thermique du milieu granulaire est : $a = \lambda/\rho c$.

Diffusivité thermique des plaques en cuivre : $a_1 = \lambda_1/\rho_1 c_1$.

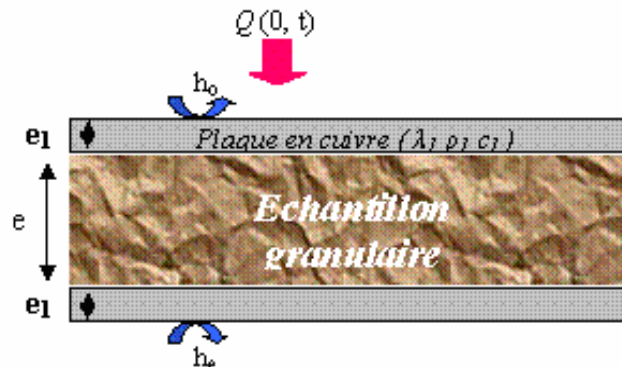


Figure 2 : Échantillon granulaire placé entre deux plaques métalliques (cuivre)

La matrice de transfert du système $[M]$ s'écrit :

$$\begin{bmatrix} A_s & B_s \\ C_s & D_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ h_o S & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_l & B_l \\ C_l & D_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_r & B_r \\ C_r & D_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ h_e S & 1 \end{bmatrix}$$

3. Techniques de mesure

Les techniques de mesure expérimentales utilisées sont basées sur la méthode dite des "Boîtes" [4]. Il s'agit d'une technique de mesure simple qui permet d'atteindre en régimes permanent et dynamique les propriétés thermophysiques de tous les matériaux. Elle permet la mesure simultanée de la conductivité et de la diffusivité thermique d'un ou de deux échantillons.

La conductivité thermique est donnée par :

$$\lambda = \frac{e}{S \cdot \Delta T} (q + C \cdot \Delta T') \quad (5)$$

ΔT : Écart de température entre les faces chaude et froide de l'échantillon.

$\Delta T'$: Écart de température entre les ambiances extérieure et intérieure de la boîte.

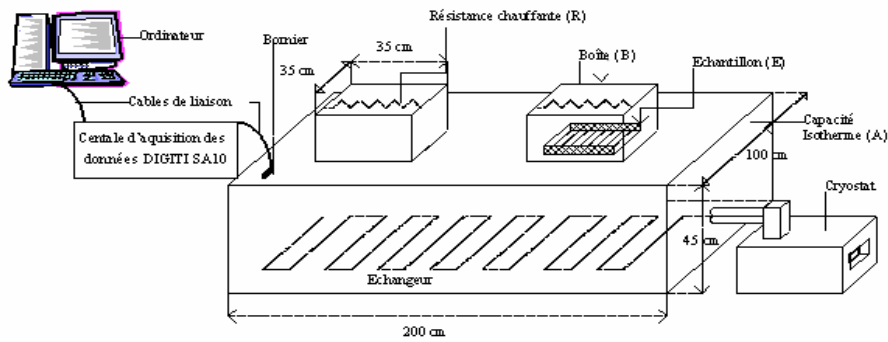


Figure 3 : Dispositif expérimental de la méthode des boîtes

Pour la validité du modèle utilisé, nous avons utilisé la méthode générale d'identification [5]. Cette méthode repose sur une comparaison du comportement des deux systèmes physique et mathématique (**Figure 4**), assurant le minimum du critère d'optimisation $J(\vec{V}_p)$ défini par l'expression suivante :

$$J(\vec{V}_p) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\text{exp}}(x, t_i) - T(x, t_i)}{T_{\text{exp}}(x, t_i)} \right)^2 \quad (6)$$

- n : Nombre de points choisis sur le thermogramme
- T_{exp} : Profil expérimental
- T : Profil de simulation

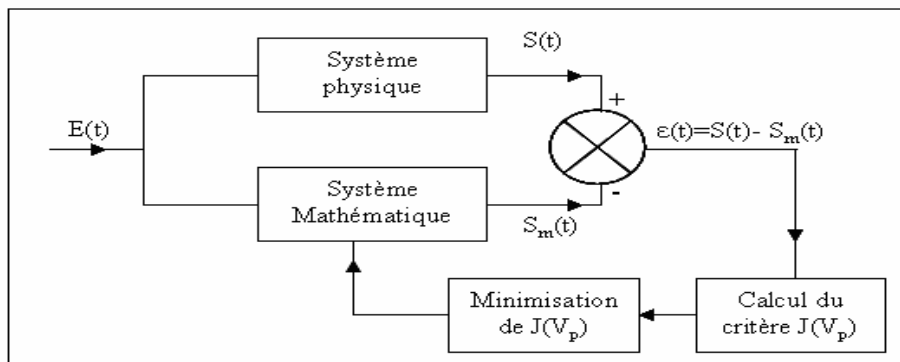


Figure 4 : Organigramme du principe de la méthode d'identification

3. Interprétation des résultats

Les résultats de mesure de la conductivité sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 1 : Conductivité thermique du matériau liège compact et granulaire

Échantillon	ρ (kg/m ³)	λ (w/m ^{°c})
Liège compact Multicouche	209,20	0,026
Liège compact Monocouche	117	0,030
Liège granulaire	48	0,032

Tableau 2 : Résultats de dépouillement selon les trois modèles

a_p 10 ⁻⁷ (m ² /s)	a_D 10 ⁻⁷ (m ² /s)	a_Y 10 ⁻⁷ (m ² /s)
1,97	1,43	1,51

Tableau 3 : Résultats d'identification des paramètres du liège compact

a_Y 10 ⁻⁷ (m ² /s)	Paramètres à Identifier	a_{ld} 10 ⁻⁷ (m ² /s)	J	$\Delta a/a$ (%)
1,51	α	0,80	2,83	47
	α et h_e	1,30	0,20	13
	α , h_e et h_o	1,33	0,19	12

Tableau 4 : Résultats d'identification des paramètres du liège granulaire

a_Y 10 ⁻⁷ (m ² /s)	Paramètres à Identifier	a_{ld} 10 ⁻⁷ (m ² /s)	$\Delta a/a$ (%)
1,47	α	0,75	48,8
	α et h_e	1,36	7,48
	α , h_e et h_o	1,40	4,76

L'écart, entre les valeurs de la conductivité thermique de la monocouche et multicouche, est dû essentiellement à l'influence des résistances thermiques qui existent aux interfaces des couches. La masse volumique du matériau influe sur la conductivité et la diffusivité thermique. En effet, plus le matériau est dense, plus sa porosité est faible, ce qui favorise les échanges thermiques dans la matrice solide (**Tableau 1**).

Les deux modèles de dépouillement de Yezou et Degiovanni sont plus proches de nos résultats expérimentaux que le modèle de Parker (**Figure 5**). Dans le cas des matériaux compacts et granulaires (**Figures 6, 10**), on remarque qu'au fur et à mesure qu'on augmente le nombre de paramètres à identifier, la courbe de simulation s'approche de la courbe expérimentale. De même, le critère d'optimisation (J) et l'erreur relative ($\Delta a/a$) subissent une diminution en augmentant le nombre de paramètres à identifier (**Tableaux 3 et 4**).

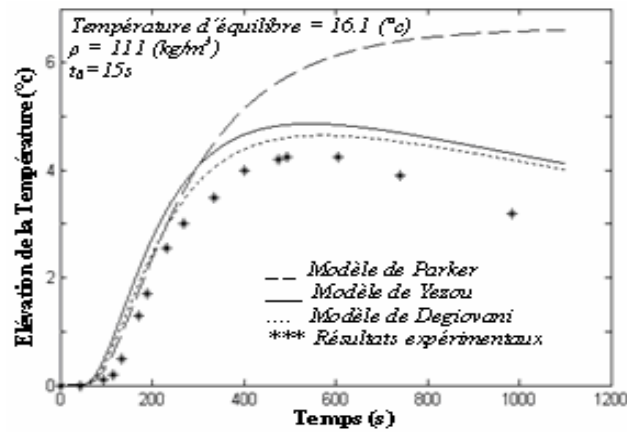


Figure 5 : Évolution de la température sur la face non irradiée de l'échantillon de liège compact selon Parker, Degiovani et Yezou

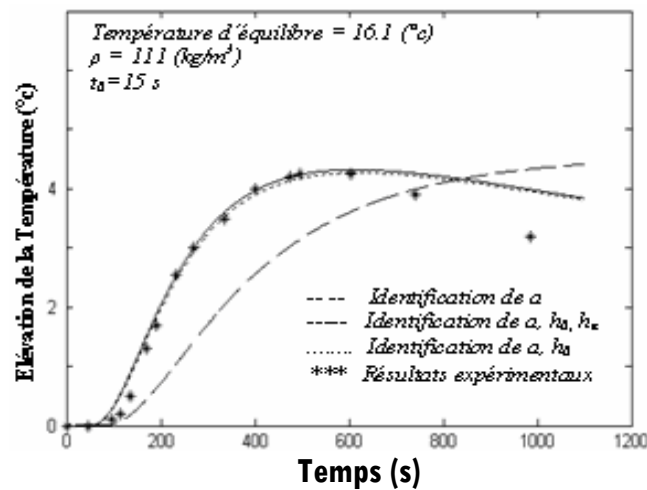


Figure 6 : Évolution de la température de la face non irradiée du liège compact les trois modèles d'identification

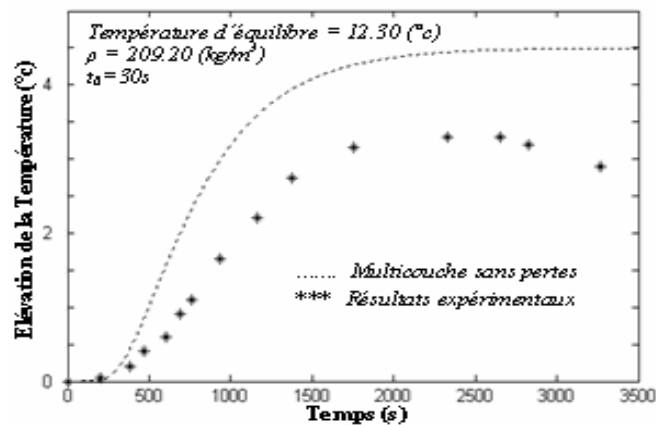


Figure 7 : Évolution de la température sur la face non irradiée d'un multicouche de liège compact Modèles sans pertes

On notera également une influence notable, des conditions aux limites (*Figures 7, 8*). En prenant en considération les pertes sur les deux faces, on remarque que la courbe de simulation s'approche de la courbe expérimentale. De même, il existe une influence des résistances de contact sur l'évolution de la température de la face non irradiée du multicouche. Cette influence est essentiellement due au contact imparfait entre les couches (*Figure 9 et 10*).

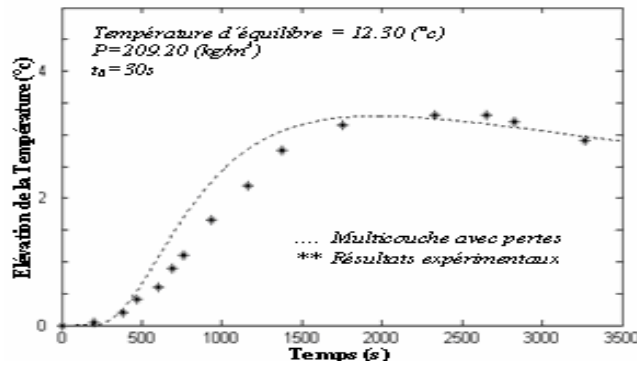


Figure 8 : *Évolution de la température sur la face non irradiée d'un multicouche de liège compact Modèles avec pertes*

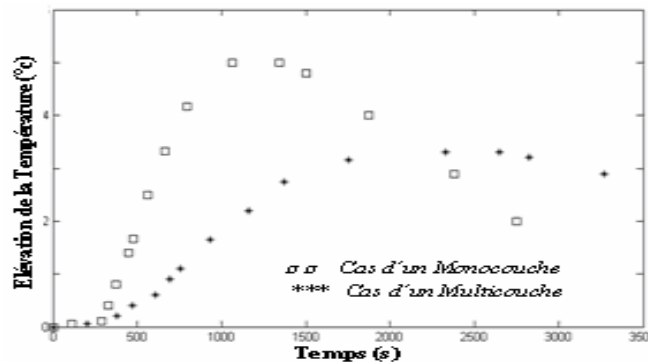


Figure 9 : *Évolution de la température sur la face non irradiée d'un multicouche monocouche de liège compact*

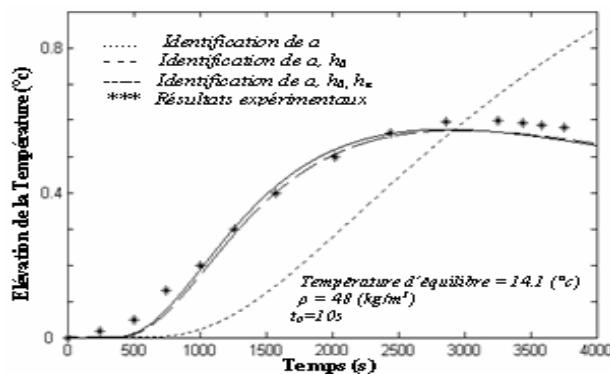


Figure 10 : *Évolution de la température sur la face non irradiée de l'échantillon de liège granulaire : les trois modèles d'identification*

4. Conclusion

Les résultats de mesures obtenus nous permettent de dégager certaines conclusions :

- Les modèles de dépouillement de Yezou et Degiovanni sont bien approchés par la méthode d'identification paramétrique et nos résultats expérimentaux sont comparables à ceux des modèles proposés.
- Les propriétés thermiques du liège sont représentatives d'un matériau isolant de haute performance thermique. De plus, ce matériau se comporte comme un bon isolant aussi bien à l'état compact qu'à l'état granulaire. Il peut ainsi servir pour assurer un confort intérieur incomparable et une inertie thermique globalement importante sans recours à un système de chauffage et à une climatisation pénalisants en termes de coûts.

Références

- [1] - A. EL BAKKOURI, Caractérisation hygroscopique, Thermophysique et mécanique des matériaux allégés : le plâtre, le liège, la brique creuse. Thèse de Doctorat en Sciences, Tétouan, Maroc (2004).
- [2] - A. EL BAKKOURI, S. BOUSSAID, H. EZBAKHE, T. AJZOU, A. EL BOUARDI, Méthode générale d'identification paramétrique : application à l'étude thermophysiques de quelques matériaux locaux utilisés dans la construction au Maroc (plâtre - liège - brique creuse), *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 27 (2000) p. 628-631.
- [3] - A. EL BAKKOURI, Caractérisation thermophysiques et mécanique de quelques matériaux locaux utilisés dans l'isolation et la construction au Maroc : le plâtre, le liège, la brique creuse. Thèse de Diplôme d'Études Supérieures de 3ème cycle, Tétouan (1996).
- [4] - A. EL BOUARDI, Étude en régime stationnaire et dynamique des propriétés thermophysiques de matériaux poreux humides non saturés utilisés en génie civil. Thèse de Doctorat d'État, Rabat, Maroc (1991).
- [5] - T. AJZOU, Analyse et commande d'un stockage thermique par chaleur sensible en milieu poreux, thèse de 3ème cycle, Perpignan, (1983).