

# Caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l'habitat

Boudjemaa AGOUDJIL<sup>1</sup>, Adel BENCHABANE<sup>2</sup>, Abderrahim BOUDENNE<sup>3</sup>, Laurent IBOS<sup>3,\*</sup>, Magali FOIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique, Energétique Appliquée (LPEA), Université El-Hadj-Lakhdar, 1 rue Chahid Boukhrouf Mohamed El-Hadi, 05000 Batna, Algeria

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie Mécanique, Université Mohamed Khider Biskra, B.P. 145 R.P. 07000 Biskra, Algeria

<sup>3</sup>Université Paris-Est / CERTES, 61 Avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil Cedex, France

\* (auteur correspondant : [ibos@u-pec.fr](mailto:ibos@u-pec.fr))

**Résumé** - Ce travail porte sur l'étude expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier en vue de sa possible utilisation pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants. L'étude est consacrée à la caractérisation de différents échantillons de parties renouvelables de bois de palmier provenant de l'oasis de Biskra (Algérie). L'objectif est de mettre en évidence l'effet de l'orientation des fibres, de la pression, de la variété de palmier et du type de bois sur les propriétés thermophysiques.

## Nomenclature

$a$  diffusivité thermique,  $m^2.s^{-1}$   
 $e$  épaisseur échantillon,  $mm$   
 $k$  conductivité thermique,  $W.m^{-1}.K^{-1}$   
 $P$  pression,  $mbar$   
 $T$  température,  $^{\circ}C$

## Symboles grecs

$\rho$  masse volumique,  $kg.m^{-3}$   
 $\epsilon_r$  permittivité diélectrique relative

## Indices et exposants

//,  $\perp$  orientation des fibres (parallèle, transverse)

## 1. Introduction

L'exploitation des palmiers dattiers produit annuellement une quantité importante de bois, estimée à environ 250000 tonnes pour l'Algérie seulement et presque 2 millions de tonnes mondialement [1]. Ces parties renouvelables de l'arbre sont actuellement très peu exploitées. Ce type de matériau est ainsi actuellement envisagé comme matériau d'isolation pouvant être utilisé dans le domaine du bâtiment. Néanmoins, les propriétés thermophysiques de ce type de bois restent mal connues à ce jour.

Ce travail porte donc sur l'étude expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier. Il fait suite à une étude préliminaire concernant la caractérisation thermophysique d'échantillons de tronc de palmiers dattiers [2]. Cette nouvelle étude s'est focalisée sur deux parties renouvelables (annuellement) du bois de palmier dattier : la grappe et le pétiole. L'objectif est ici d'obtenir une première comparaison des propriétés de ce type de bois à d'autres matériaux naturels ou non actuellement utilisés pour leurs propriétés isolantes. Une étude des propriétés thermiques en fonction de la variété de palmier dattier, de l'orientation des fibres et de la pression a par ailleurs été réalisée [1].

Les caractérisations de propriétés thermophysiques sont complétées par des mesures de masse volumique, de permittivité diélectrique et des observations structurales par microscopie électronique [1].

## 2. Echantillons et méthodes de caractérisation

### 2.1. Echantillons étudiés

Différents échantillons ont été prélevés dans du bois de palmiers dattiers de différentes variétés (Deglet-Nour, Mech-Degla, Elghers) issu d'une oasis de la province de Biskra en Algérie [1]. La figure 1 présente une image d'un palmier dattier sur laquelle sont indiquées les positions des parties renouvelables de l'arbre (grappe, pétiole, mesh, feuilles). La figure 2 présente une image des échantillons de pétiole utilisés pour les caractérisations. La liste des échantillons avec leur masse volumique, épaisseur et la nomenclature utilisée par la suite dans cette communication est présentée dans le tableau 1. Pour les échantillons de pétiole de la variété Deglet-Nour, des échantillons ont été découpés dans deux directions perpendiculaires afin d'observer l'éventuel effet de l'orientation des fibres (Cf. figures 2(b) et 2(c)).

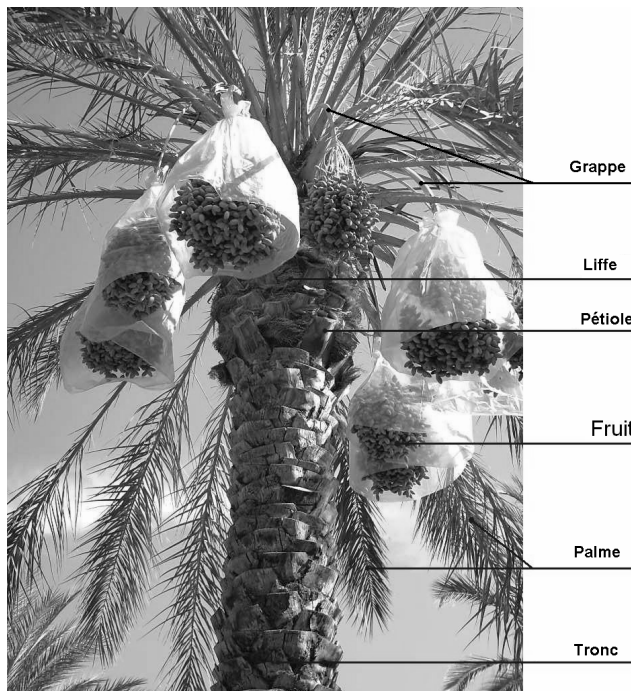


Figure 1 : Différentes parties d'un palmier dattier ; d'après [1]

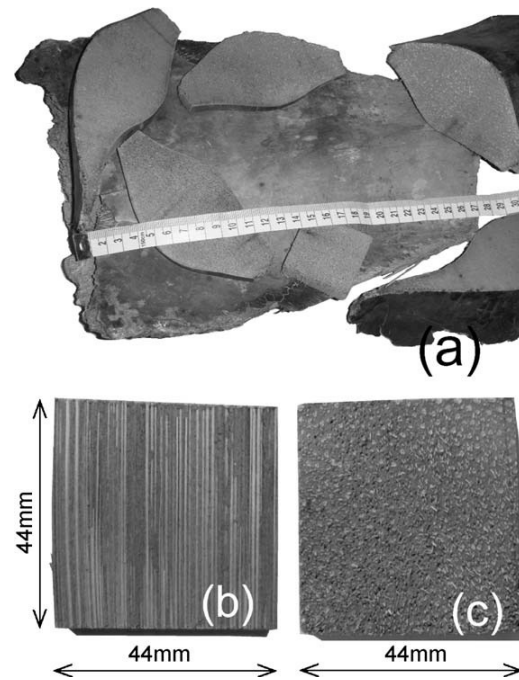


Figure 2 : pétioles utilisés (a) ; échantillon avec fibres transverses  $\perp$  (b) et longitudinales  $\parallel$  (c)

Type de bois	Variété de palmier dattier	Sens des fibres	Nomenclature	e	$\rho$
				mm	$kg.m^{-3}$
Grappe 'B'	Deglet-Nour	$\perp$	BDN	4.35	$389 \pm 4$
	Mech-deglet	$\perp$	BMD	5	$388 \pm 3$
	Elghers	$\perp$	BEG	5	$341 \pm 3$
Pétiole 'P'	Deglet-Nour	$\perp$	PDN	4.5	$276 \pm 2$
	Mech-deglet	$\perp$	PMD	4.4	$187 \pm 1$
	Elghers	$\perp$	PEG	4.2	$206 \pm 1$
	Deglet-Nour	$\parallel$	PDN $\parallel$	4.6	$276 \pm 2$

Tableau 1 : Liste et nomenclature des échantillons étudiés

## 2.2. Méthodes de caractérisation

Les observations par microscopie électronique à balayage ont été réalisées en utilisant un microscope électronique JEOL JSM-6301F. Les observations ont été complétées par des mesures spectroscopiques (EDS) afin de déterminer la composition en éléments chimiques des fibres de ce type de bois. La composition obtenue est proche de celle obtenue lors d'études antérieures indépendantes [1].

La conductivité thermique  $k$  et la diffusivité thermique  $a$  ont été mesurées en utilisant le dispositif de mesure DICO [3]. Ce dispositif est basé sur une excitation thermique en régime périodique. L'échantillon, de section carrée (44mm de côté) et de quelques mm d'épaisseur (Cf. tableau 1), est inséré entre deux plaques métalliques et soumis sur une de ses faces à un flux thermique modulé à différentes fréquences. La mesure des températures de part et d'autre de l'échantillon permet le calcul de la fonction de transfert thermique expérimentale. La fonction de transfert thermique théorique, écrite à partir d'un modèle 1D en utilisant la méthode des quadripôles [4], possède deux paramètres inconnus ( $k$  et  $a$ ). Ces propriétés sont identifiées par minimisation de l'écart quadratique entre les deux fonctions de transfert thermique en utilisant la méthode de Levenberg-Marquardt. Les incertitudes statistiques sont obtenues à partir du calcul de la matrice de variance-covariance. Ce dispositif est décrit en détail dans la référence [3]. Une analyse détaillée des sources d'incertitudes est présentée dans les références [5,6].

Les valeurs expérimentales de la permittivité diélectrique  $\epsilon_r$  ont été obtenues à partir des mesures de la capacité des échantillons à température ambiante et dans une plage de fréquence allant de  $10^3$  Hz jusqu'à  $10^6$  Hz, en considérant que l'échantillon forme un condensateur plan. Les échantillons de forme parallélépipédiques utilisés sont les mêmes que ceux utilisés pour les mesures de propriétés thermophysiques. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un pont d'impédances et d'un montage 4 fils permettant de minimiser l'influence de l'impédance du câblage. La dépendance en fréquence de  $\epsilon_r$  étant faible pour tous les échantillons, les valeurs retenues correspondent à la valeur moyenne (sur 10 mesures) mesurée à  $10^4$  Hz. La méthode de mesure est décrite plus en détail dans la référence [7].

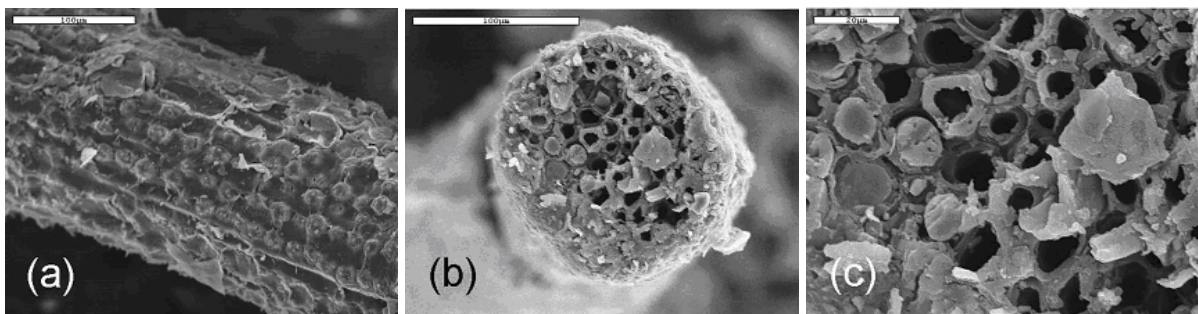


Figure 3 : Images MEB d'une fibre de pétiole (variété Deglet-Nour) ; échelles : 100  $\mu\text{m}$  (a), 100  $\mu\text{m}$  (b) et 20  $\mu\text{m}$  (c)

## 3. Résultats et discussion

La figure 3 présente trois images MEB d'une fibre d'un échantillon de pétiole de la variété Deglet-Nour. La figure 3(a) permet d'observer la surface rugueuse essentiellement constituée de lignine, surface typique pour la plupart des fibres naturelles. Le diamètre de cette fibre est d'environ 200  $\mu\text{m}$ . Les figures 3(b) et 3(c) permettent d'observer la structure interne de ces fibres naturelles. Chaque fibre est constituée d'un assemblage de fibrilles. La partie centrale de chaque fibrille, appelée le lumen, est creuse. Ce type de bois présente donc une porosité

importante qui explique les valeurs faibles de masse volumique des échantillons étudiés. On notera toutefois que la masse volumique des échantillons prélevés dans la grappe est légèrement supérieure à celle des échantillons prélevés dans le pétiole. Les résultats de caractérisation thermophysique et diélectrique sont présentés dans le tableau 2. Les incertitudes obtenues pour la conductivité thermique sont faibles. On note des incertitudes beaucoup plus importantes, inhérentes au principe de mesure [5,6], pour la diffusivité thermique.

Echantillon	P	k	a	$\epsilon_r$
	mbar	$W.m^{-1}.K^{-1}$	$\times 10^{-7} m^2.s^{-1}$	-
PDN//	$10^{-4}$	$0.046 \pm 0.003$	$1.65 \pm 0.10$	-
PDN	$10^{-4}$	$0.042 \pm 0.003$	$2.16 \pm 0.15$	-
PDN//	1000	$0.084 \pm 0.003$	$3.31 \pm 0.31$	$10.38 \pm 0.52$
PDN	1000	$0.083 \pm 0.003$	$2.29 \pm 0.20$	$8.09 \pm 0.26$
PMD	1000	$0.073 \pm 0.003$	$3.13 \pm 0.49$	$24.70 \pm 1.61$
PEG	1000	$0.072 \pm 0.002$	$2.76 \pm 0.24$	$2.58 \pm 0.02$
BDN	1000	$0.085 \pm 0.004$	$1.91 \pm 0.21$	$5.81 \pm 0.08$
BMD	1000	$0.084 \pm 0.005$	$2.07 \pm 0.30$	$5.70 \pm 0.10$
BEG	1000	$0.074 \pm 0.004$	$2.29 \pm 0.30$	$5.13 \pm 0.09$

Tableau 2 : Valeurs mesurées de la conductivité thermique  $k$ , de la diffusivité thermique  $a$  et de la permittivité diélectrique relative  $\epsilon_r$

La figure 4 présente une comparaison des valeurs mesurées de la conductivité et de la diffusivité thermique en fonction de l'orientation des fibres et de la pression. On pourrait s'attendre à observer une conductivité thermique bien plus faible dans le cas où les fibres sont orientées dans le plan de l'échantillon (cas de l'échantillon PDN), c'est-à-dire perpendiculairement au flux thermique imposé. En effet, dans ce cas, la structure creuse des fibrilles devrait constituer une barrière au transfert de chaleur plus importante que dans le cas où les fibres sont orientées perpendiculairement au plan de l'échantillon (cas de l'échantillon PDN//), c'est-à-dire dans le sens du flux thermique. Ce type de résultat a été préalablement observé lors de la caractérisation d'échantillons prélevés dans le tronc de palmiers dattiers [2], mais possédant une masse volumique plus élevée, donc une porosité plus faible. Bien au contraire, l'orientation des fibres semble avoir peu d'influence sur la conductivité thermique du bois de palmier que ce soit à pression atmosphérique ou bien à faible pression. Ce résultat est toutefois en accord avec des études précédentes de la littérature [8]. L'effet de l'orientation des fibres sur la permittivité diélectrique est également négligeable. Lorsque la porosité devient importante, l'orientation des fibres semble avoir un effet négligeable.

Les mesures réalisées à basse pression ( $P = 10^{-4}$  mbar) permettent d'observer que la conductivité thermique est divisée approximativement d'un facteur 2 sous vide secondaire. Ce résultat est classiquement observé pour des matériaux isolants très poreux. En effet, à pression atmosphérique un transfert de chaleur lié à la présence d'air dans les pores du matériau s'ajoute au phénomène de conduction pure et d'échanges par rayonnement.

La figure 5 présente une comparaison de la conductivité thermique et de la permittivité diélectrique relative des différentes variétés de bois. On note peu de différences entre les valeurs de conductivité thermique du pétiole et de la grappe et ceci quelle que soit la variété de palmier dattier. Des différences plus importantes de valeurs de permittivité diélectrique sont notées pour les échantillons de pétiole prélevés dans les différentes variétés de bois. Ceci peut être dû à des différences de microstructure du matériau ou bien à un état d'hydratation différent des échantillons, la permittivité diélectrique étant très sensible à ce paramètre. Il est

à noter que les échantillons ont subi un séchage naturel à l'air libre. Une étude est en cours afin de mesurer les propriétés de ce type de bois à différents stades de séchage.

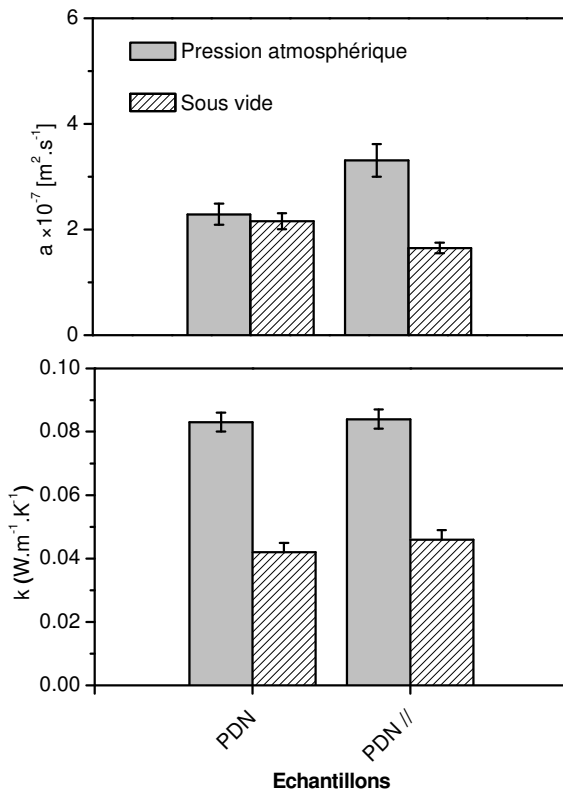


Figure 4 : Effet de la pression et de l'orientation des fibres sur la conductivité et la diffusivité thermique

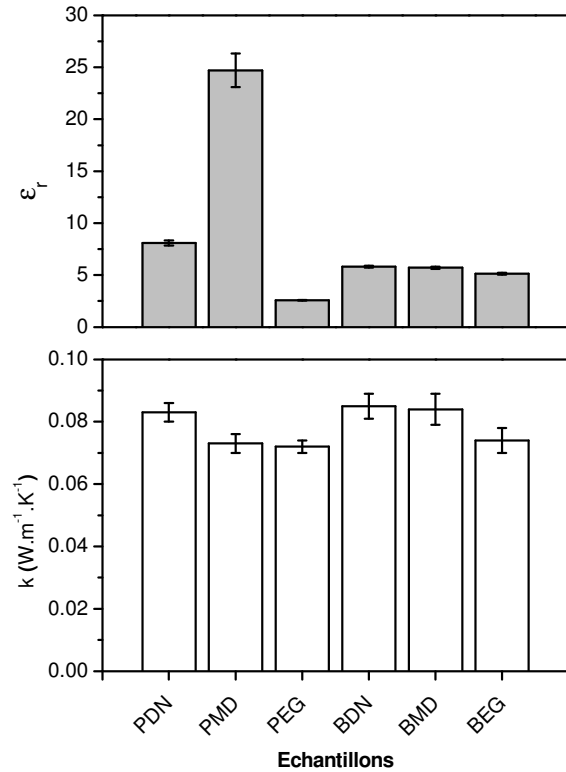


Figure 5 : Comparaison de la conductivité thermique et de la permittivité diélectrique relative de différentes variétés de bois de palmier dattier (pétioles et grappes)

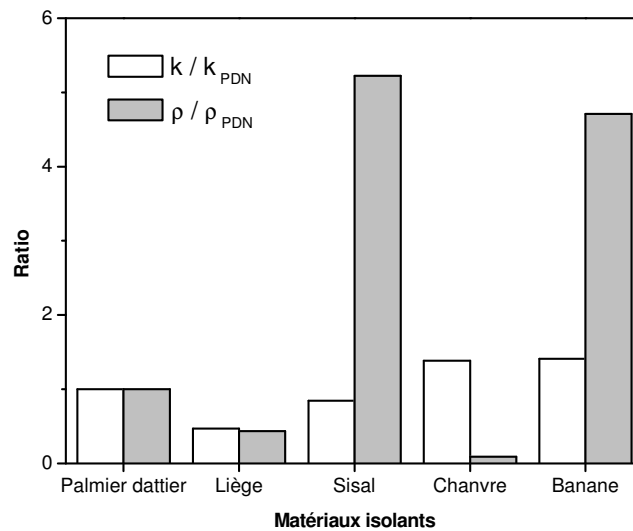


Figure 6 : Comparaison de la masse volumique et de la conductivité thermique du bois de palmier dattier à d'autres matériaux naturels

La figure 6 présente une comparaison de la conductivité thermique et de la masse volumique du bois de palmier dattier (valeurs obtenues pour le pétiole de la variété Deglet-Nour) à d'autres matériaux naturels utilisés actuellement pour la réalisation de composites ou

de matériaux isolants dans le domaine du bâtiment. Les propriétés des autres matériaux ont été choisies à partir de données de la littérature [9-12]. On peut constater que le bois de palmier dattier est un bon candidat pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants car il présente une conductivité thermique faible et une masse volumique faible. Seul le liège possède à la fois une conductivité et une masse volumique plus faibles.

#### 4. Conclusion

Les résultats de ce travail expérimental ont montré que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) constituent un bon isolant thermique présentant une faible masse volumique. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas significatif. Par ailleurs, l'effet de la porosité importante du matériau a été mis en évidence par des mesures sous vide. Il apparaît qu'une étude de l'influence de l'humidité sur les propriétés thermophysiques du bois de palmier est nécessaire.

#### Références

- [1] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois, Renewable materials to reduce heat loss : characterization of date palm wood, *Energy and Buildings*, 43 (2011), 491-497.
- [2] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, M. Tlijani, L. Ibos, R. Ben Younes, A. Mazioud, *Proceedings of the Global Conference on Global Warming-2009* (Istanbul, Turquie, 5-9 Juillet 2009), 216-221.
- [3] A. Boudenne, L. Ibos, E. Géhin, Y. Candau, A simultaneous characterization of thermal conductivity and diffusivity of polymer material by a periodic method, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 37 (2004), 132-139.
- [4] D. Maillet, A. Degiovanni, J.C. Batsale, C. Moyne, S. André, *Thermal Quadrupoles : Solving the Heat Equation through Integral Transforms*, John Wiley & Sons (2000).
- [5] A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, Analysis of uncertainties on thermophysical parameters of materials obtained from a periodic method, *Meas. Sci. Technol.*, 17 (2006), 1870-1876.
- [6] A. Boudenne, L. Ibos, E. Géhin, Y. Candau, Analyse des incertitudes liées à l'identification de propriétés thermophysiques de matériaux par une méthode de mesure périodique, *Actes du congrès annuel de la SFT* (Presqu'île de Giens, 25-28 mai 2004), 721-726.
- [7] B. Agoudjil, L. Ibos, Y. Candau, J. C. Majesté, A comparative analysis of dielectric, rheological and thermophysical behaviour of Ethylene Vinyl Acetate/BaTiO<sub>3</sub> composites, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41-5 (2008), 055407 (7 pages).
- [8] F. A. Al-Sulaiman, Date palm fibre reinforced composite as a new insulating material, *International Journal of Energy Research.*, 27-14 (2003), 1293-1297.
- [9] G. Kalaprasad, P. Pradeep, G. Mathew, C. Pavithran, S. Thomas, Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low density polyethylene composites reinforced with sisal and glass intimately mixed sisal/glass fibres, *Composite Science and Technology* 60 (2000), 2967-2977.
- [10] F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine, *Fundamentals of heat and mass transfer*, USA: John Wiley & Sons (2007).
- [11] T. Behzad, M. Sain, Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering and Science*, 47-7 (2007), 977-983.
- [12] S.A. Paul, A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, K. Joseph, S. Thomas, Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A*, 39 (2008), 1582-1588.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le Pr. Daniel Laffray et le Dr. Patrick Auset (Université Paris-Est Créteil) pour leur support scientifique et la famille Lakhdari (Bentious, Algérie) pour son assistance.