



**HAL**  
open science

# UN MATERIAU BIOSOURCE DE CHOIX : LES FIBRES NATURELLES. CARACTÉRISATIONS ET APPLICATIONS

Nicolas Dujardin

► **To cite this version:**

Nicolas Dujardin. UN MATERIAU BIOSOURCE DE CHOIX : LES FIBRES NATURELLES. CARACTÉRISATIONS ET APPLICATIONS. 25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - L'économie verte en question, Feb 2014, Créteil, France. hal-00978360

**HAL Id: hal-00978360**

**<https://hal.science/hal-00978360>**

Submitted on 28 Jan 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UN MATERIAU BIOSOURCE DE CHOIX : LES FIBRES NATURELLES. CARACTÉRISATIONS ET APPLICATIONS

Nicolas DUJARDIN, CERTES - Themacs, EA 3481,

Université Paris-Est-Créteil, 61 avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil  
Cedex

Courriel : [nicolas.dujardin@u-pec.fr](mailto:nicolas.dujardin@u-pec.fr)

## Résumé

*Les fibres naturelles sont de plus en plus employées pour le renforcement mécanique de matériaux polymères. Même si ces fibres possèdent généralement des propriétés mécaniques inférieures aux fibres inorganiques classiques, telles que les fibres de verre ou les fibres de carbone, elles possèdent en revanche plusieurs avantages dont un coût de revient beaucoup plus faible. Cependant, ces fibres étant d'origine naturelle, il existe une grande variabilité de propriétés pour une même espèce.*

*L'utilisation de fibres naturelles est en expansion dans le domaine du bâtiment afin de remplacer les matériaux d'isolation classiques par des matériaux naturels. Dans ce cas, ces fibres s'utilisent seules, soit en combinaison avec d'autres matériaux, afin de créer des matériaux de gros œuvre ou de finition possédant une résistance thermique plus élevée. Dans d'autres secteurs, les fibres naturelles sont associées à des polymères afin de former des matériaux composites dont les applications sont croissantes que ce soit dans le domaine de l'électronique, de l'automobile ou du bâtiment. Le but premier de l'utilisation de fibres naturelles est dans ce cas le renforcement mécanique du polymère. Cependant, le comportement thermique de ces matériaux doit également dans certains cas être pris en compte, soit parce que l'on souhaite que le matériau puisse évacuer de la chaleur ou bien au contraire parce que l'on souhaite que celui-ci possède de bonnes propriétés isolantes.*

*Dans cet article, nous présenterons les résultats d'études effectuées au CERTES. Dans un premier temps, nous aborderons la caractérisation thermophysique (conductivité et diffusivité thermiques) de composites renforcés par des fibres de sisal, banane, feuille d'ananas. Nous mettrons ainsi en évidence un certains nombres de facteurs influents (taux de fibres, hybridation, traitement chimique...) sur les propriétés thermophysiques de ces matériaux. Dans un second temps, nous détaillerons les résultats concernant une étude menée sur du bois de palmier dattier, utilisé comme isolant naturel de substitution dans le bâtiment. Enfin, nous concluons par une étude originale, actuellement en cours, permettant de relier les propriétés thermophysiques de composites renforcés par des fibres de lin à leur porosité.*

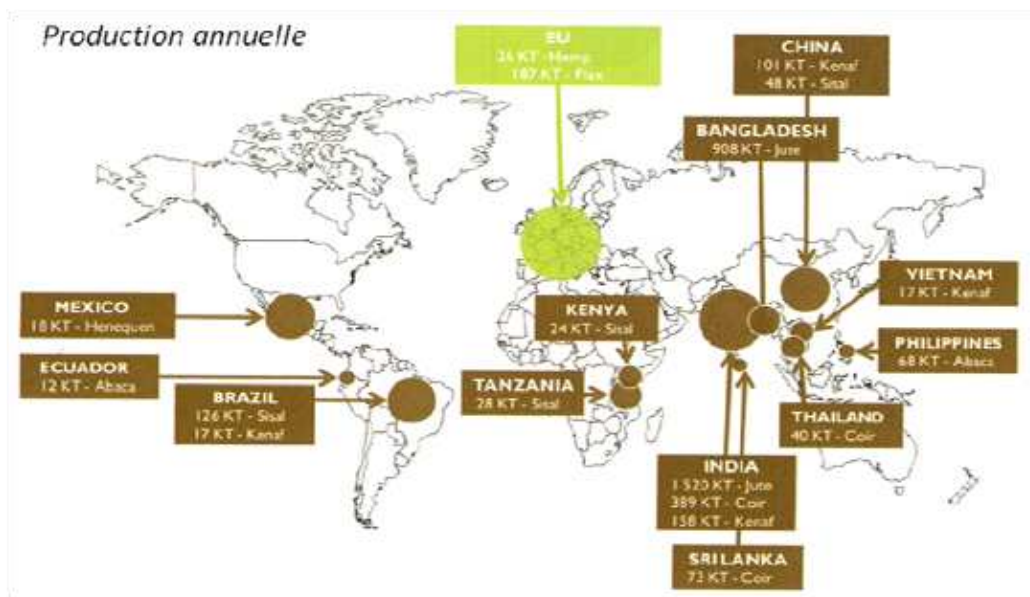
**Mots-Clés :** éco-matériaux, éco-conception, habitat, transport, fibres végétales.

# 1. Présentation des fibres naturelles

## 1.1 Présentation et Ressources

Le terme « fibre naturelle » regroupe plusieurs types de fibres qui se différencient en fonction de l'origine de la fibre. Ainsi, une fibre naturelle peut-être d'origine végétale comme le lin, animale comme la soie ou encore minérale comme l'amiante. Dans cet article, nous nous focaliserons sur les fibres végétales. Ce type de fibres se segmente encore en fonction de la zone de prélèvement de la fibre au sein de la plante. Celle-ci peut-être prélevée des graines (coton, kapok), de la tige (lin, ramie), des feuilles (sisal, abaca) ou encore des fruits (noix de coco).

Un aspect particulièrement important concernant les fibres végétales est qu'elles sont disponibles dans presque tous les pays du monde, comme l'illustre la figure 1.



*Figure 1 : Répartition mondiale annuelle de la production de fibres (JECComposites)*

Elles varient évidemment d'un pays à l'autre en fonction du climat. On retrouve par exemple le sisal en Amérique du Sud, le jute en Inde, le kénaf en Chine, et le lin et le chanvre en Europe. Le France est le premier pays producteur de lin. Elle représente plus de 80% de la production européenne, suivie de loin par la Belgique et les Pays-Bas. La région normande, par son climat tempéré favorable au développement du lin, est le premier bassin producteur de cette plante.

## 1.2 Avantages et Inconvénients

Les fibres végétales combinent plusieurs avantages. Elles constituent tout d'abord une ressource biodégradable locale. Elles présentent un faible coût : jusqu'à neuf fois moins chères que les fibres de verre et jusqu'à cinq cent fois moins chères que les fibres de carbone (Li, 2000). Elles sont issues des parties renouvelables des plantes. Elles présentent un faible impact environnemental (six fois moins énergivore que les fibres de verre et douze fois moins que les fibres de carbone). Enfin, elles possèdent une faible densité ce qui leur confère des

propriétés spécifiques (grandeurs physiques ramenées à la densité) comparables à celles des fibres de verre dont elles constituent une alternative. Les fibres végétales présentent aussi un certain nombre d'inconvénients qui découlent principalement du caractère naturel de ces fibres. Par conséquent, elles présentent une forte variabilité des propriétés pour une même espèce en fonction de plusieurs facteurs comme le climat, la densité de semis, l'âge de la plante, etc. A titre d'exemple, la teneur en cellulose – principal composant d'une fibre végétale dont la quantité influe sur les propriétés de la fibre – varie en fonction de l'âge de la plante.

### **1.3 Applications**

L'utilisation des fibres végétales est croissante de les secteurs du bâtiment, des transports et des loisirs. Elles peuvent être utilisées seules comme la ouate de cellulose ou la laine de chanvre qui servent d'isolants dans le bâtiment. Ou alors, elles peuvent être utilisées en association avec un matériau polymère formant ainsi un matériau composite à base de fibres végétales. Dans ce cas, le but premier recherché n'est plus le caractère isolant de la fibre mais les propriétés mécaniques spécifiques liées au renfort (les fibres). Ce type d'utilisation se généralise dans les transports. La consommation d'un véhicule étant directement reliée à sa masse, il est particulièrement intéressant de réduire la masse d'un véhicule afin de réduire les dégagements de polluants dans l'environnement et de diminuer le coût pour le consommateur. Pour ce type particulier d'application, lorsque les fibres (matériaux hydrophiles) sont associées à un matériau polymère (souvent hydrophobes), elles subissent généralement un traitement en vue d'améliorer la compatibilité entre les deux.

Ceci explique la nature des paramètres que nous avons choisi d'étudier dans cette recherche : variété des fibres, zone de prélèvement, traitement des fibres, procédé de mise en œuvre, fraction volumique de fibres, porosité. Dans un premier temps, nous étudierons les propriétés thermophysiques de composites constitués de polymères renforcés par des fibres exotiques. Dans une deuxième partie nous étudierons les propriétés thermophysiques de fibres seules et enfin, dans un troisième temps, nous étudierons la porosité par une approche thermique de polymères renforcés par des fibres de lin.

## **2. Etude des propriétés thermophysiques de composites renforcés par des fibres exotiques**

### **2.1 Technique de caractérisation des propriétés thermophysiques : la méthode DICO**

La technique de caractérisation thermique utilisée a été développée au sein du laboratoire. Contrairement à la plupart des techniques conventionnelles, cette technique permet la mesure simultanée de la conductivité thermique et de la diffusivité thermique. Cette méthode, appelée DICO pour Diffusivité-Conductivité, est détaillée dans la littérature (Boudenne, 2004). Le dispositif expérimental est schématisé sur la figure 2. Le principe de la mesure consiste à placer l'échantillon étudié entre deux plaques métalliques. Une modulation de température est ensuite appliquée sur la plaque inférieure. La température de chacune des plaques est mesurée et permet le calcul de la fonction de transfert expérimentale. La fonction de transfert théorique est établie par la méthode des quadripôles thermiques (Maillet, 2000). La conductivité et la diffusivité thermiques sont simultanément identifiées à partir de la partie réelle et de la partie

imaginaire des fonctions de transfert. Cette méthode fournit également les incertitudes statistiques de ces deux grandeurs (Boudenne, 2006).

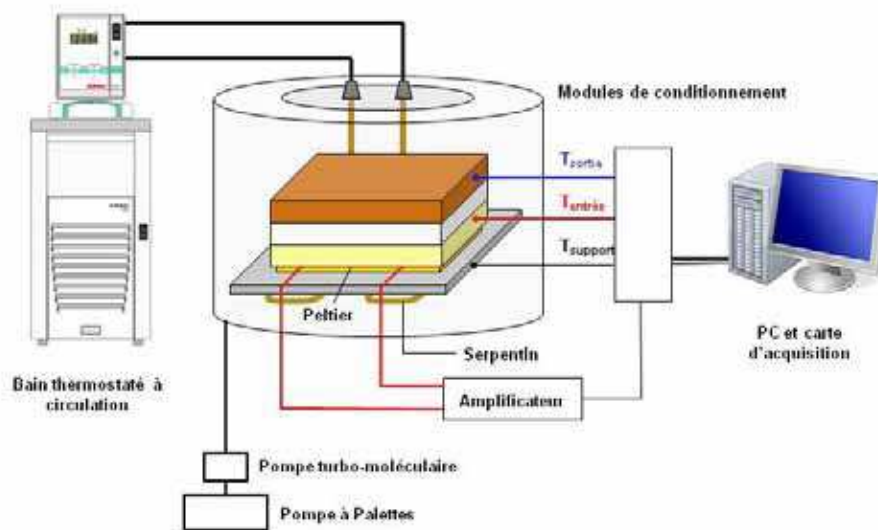


Figure 2 : Dispositif expérimental de la méthode DICO permettant la mesure simultanée de la conductivité et de la diffusivité thermique d'un matériau (Tlili, 2010)

## 2.2 Présentation des systèmes étudiés

Dans cette étude, deux types de matrice polymère ont été utilisés : une résine polyester et du polypropylène. Deux types de fibres exotiques ont été utilisés : des fibres sisal et de banane. Les fibres de sisal et de banane ont aussi été mélangées pour obtenir un mélange de fibres dit hybrides, avec un ratio entre les fibres de banane et de sisal de 1:1. L'ensemble des composites étudiés sont reportés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Compositions des différents matériaux composites étudiés en fonction du type de fibre, de la matrice et de la fraction volumique de fibres.

Fibres	Matrice	$\phi_{\text{vol}}$ (%)	Références
Banane / Sisal	Résine Polyester	20, 40	(Idicula, 2006)
Hybrides ratio 1:1			
Banane	Polypropylène	10, 50	(Annie Paul, 2008)
Sisal	Résine Polyester	20, 30, 40	(Sreekumar, 2012)

## 2.3 Identification des facteurs d'influence

Dans cette partie, nous mettons en évidence plusieurs facteurs d'influence sur les propriétés thermophysiques des matériaux composites : la quantité de fibres, l'hybridation des fibres, la traitement chimique des fibres.

Une série de composites, de fraction volumique de fibres variable, ont été caractérisés thermiquement par la méthode DICO. Les résultats de caractérisation thermique de ces composites à fibres végétales sont présentés sur la figure 3.

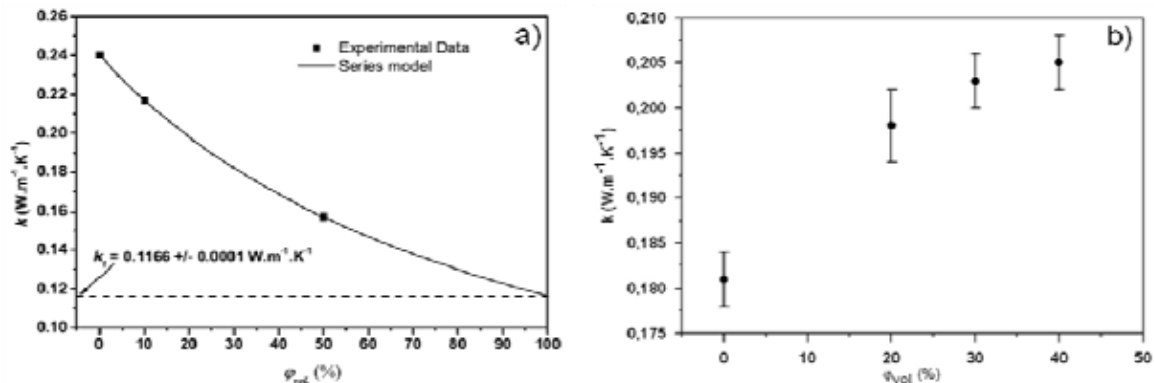


Figure 3 : Evolution de la conductivité thermique en fonction de la fraction volumique de fibres pour le système banane/polypropylène (a) et pour le système sisal/polyester (b). (Annie Paul, 2008 ; Sreekumar, 2012)

Deux comportements opposés sont observés : d'une part, l'introduction de fibres de banane dans une matrice polypropylène induit une diminution de la conductivité et de la diffusivité thermique au fur et à mesure que la concentration en fibres augmente, d'autre part l'emploi de fibres de sisal en renforcement d'une résine polyester permet d'observer une augmentation de conductivité et diffusivité thermiques lorsque le taux volumique de fibres augmente. Il semble donc que les fibres de bananes soient plus isolantes ( $k < 0.24 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) que la matrice propylène utilisée et que les fibres de sisal soient plus conductrices ( $k > 0.18 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) que la résine polyester utilisée. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature pour les fibres de sisal (Kalaprasad, 2000). En revanche, aucune donnée n'était disponible sur la conductivité thermique des fibres de bananes. Un ajustement des données expérimentales de conductivité thermique en utilisant un modèle de premier ordre a été réalisé. Un bon accord entre le modèle et les données mesurées est observé notamment en raison du faible rapport de conductivité thermique entre les fibres et la matrice. La valeur obtenue pour la conductivité thermique des fibres de banane est égale à environ  $0,117 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Les résultats de caractérisation thermophysiques des composites incluant des fibres hybrides (sisal/banane 1:1) sont présentés sur la figure 4. L'utilisation de fibres hybrides de banane et de sisal (en quantités égales) en renforcement d'une résine polyester montre une diminution de la conductivité thermique au fur et à mesure que la quantité de fibres augmente. Les résultats précédents ont montré une augmentation de la conductivité thermique en utilisant des fibres de sisal et une diminution en utilisant des fibres de banane, par rapport à une matrice polymère. Il semble donc dans le cas des fibres hybrides banane/sisal que les propriétés thermophysiques du composite soient fixées par les fibres les plus isolantes, c'est-à-dire les fibres de banane.

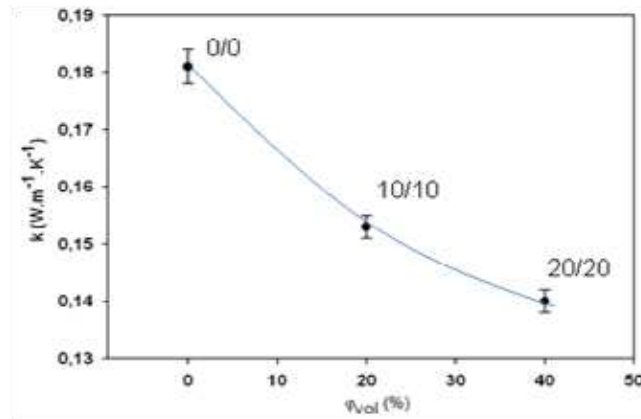


Figure 4 : Evolution de la conductivité thermique en fonction de la fraction volumique de fibres pour à matrice polypropylène renforcé par des fibres hybrides banane/sisal dans les mêmes proportions relatives. (Idicula, 2006)

La figure 5 présente les résultats de caractérisation thermophysique concernant l'emploi de fibres naturelles traitées avec une comparaison aux résultats obtenus sans traitement des fibres à fraction volumique identique. L'effet de ces traitements est très variable sur les propriétés thermophysiques : on note en effet soit des augmentations significatives de la conductivité thermique par rapport à celle des fibres non traitées, soit des diminutions importantes, soit peu d'effet sur cette propriété. En revanche, tous ces traitements permettent d'améliorer le renforcement mécanique de ces composites (augmentation de module d'Young, de résistance à la traction) mais tendent à rendre le matériau plus fragile puisqu'on note systématiquement une diminution de la valeur de l'élongation à la rupture.

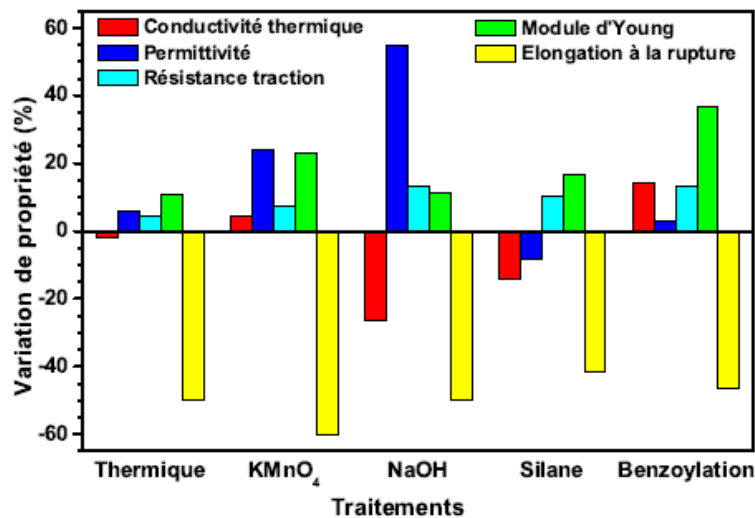


Figure 2 : Evolution de plusieurs grandeurs physiques d'un composite à base de résine polyester renforcé par 40% en volume de fibre, en fonction du traitement chimique de ces fibres. (Ibos, 2013)

### 3. Etude des propriétés thermophysiques du bois de palmier dattier en vue de sa possible utilisation pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants

#### 3.1 Contexte de cette étude

L'exploitation des palmiers dattiers produit annuellement une quantité importante de bois estimée à environ 250 000 tonnes pour l'Algérie seulement et presque deux millions de tonnes mondialement (Agoudjil, 2011). Ces parties renouvelables de l'arbre sont actuellement très peu exploitées. Ce type de matériau est ainsi actuellement envisagé comme matériau pour l'isolation pouvant être utilisé dans le domaine du bâtiment. Néanmoins, les propriétés thermophysiques de ce type de bois restent encore mal connues à ce jour. Ce travail porte donc sur l'étude expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier. Cette 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 et de la pression a par ailleurs été réalisée.

#### 3.2 Présentation des échantillons

Différents échantillons ont été prélevés dans du bois de palmier dattier de différentes variétés (voir tableau 2) issus d'une oasis de la province de Biskra en Algérie (Agoudjil, 2011).

*Tableau 2 : Liste et nomenclature des échantillons de bois de palmier dattier étudiés.*

Types de bois	Matrice	Sens des fibres	Nomenclature
Grappe « B »	Deglet-Nour	⊥	BDN
	Mech-Deglet	⊥	BMD
	Elghers	⊥	BEG
Pétiole « P »	Deglet-Nour	⊥	PDN
	Mech-Deglet	⊥	PMD
	Elghers	⊥	PEG
	Deglet-Nour	//	PDN //

La figure 6a présente une image d'un palmier dattier sur laquelle sont indiquées les positions des parties renouvelables de l'arbre (grappe, pétiole, feuilles). Les figures 6b et 6c permettent d'obtenir la structure interne des fibres naturelles. Chaque fibre est constituée d'un assemblage de fibres. La partie centrale de la fibre, appelée le lumen, est creuse. Ce type de bois présente donc une porosité importante.



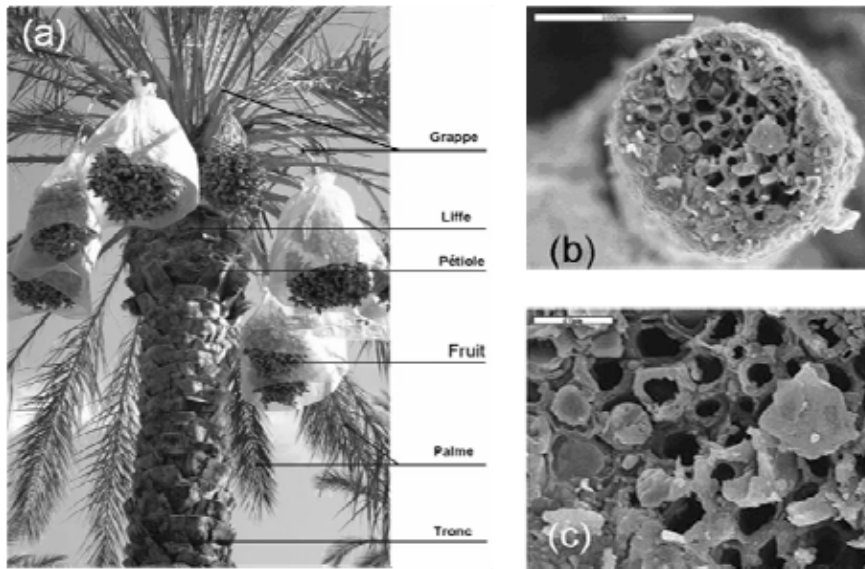


Figure 3 : a) Visualisation des différentes parties du bois de palmier dattier. b) Observation par microscopie électronique à balayage d'une fibre de pétiole, échelle 100  $\mu\text{m}$ . c) Même fibre de pétiole, échelle 20  $\mu\text{m}$  (Agoudjil, 2011).

La figure 7a présente une comparaison de la conductivité thermique des différentes variétés de bois. On note peu de différences entre les valeurs de conductivité thermique du pétiole et de la grappe quelle que soit la variété de palmier dattier. La figure 7b présente une comparaison des valeurs mesurées de la conductivité 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 de la fibrille 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. Pourtant, aucune variation significative n'est observée. L'orientation des fibres est donc ici négligeable. Lorsque les mesures sont réalisées à basse pression ( $P = 10^{-4}$  mbar), la conductivité thermique des fibres chutent d'un facteur deux. Ce résultat est classiquement observé pour des matériaux très poreux. En effet, à pression atmosphérique, un transfert de chaleur lié à la présence de l'air dans les pores du matériau s'ajoute au phénomène de conduction pure et d'échanges par rayonnement.

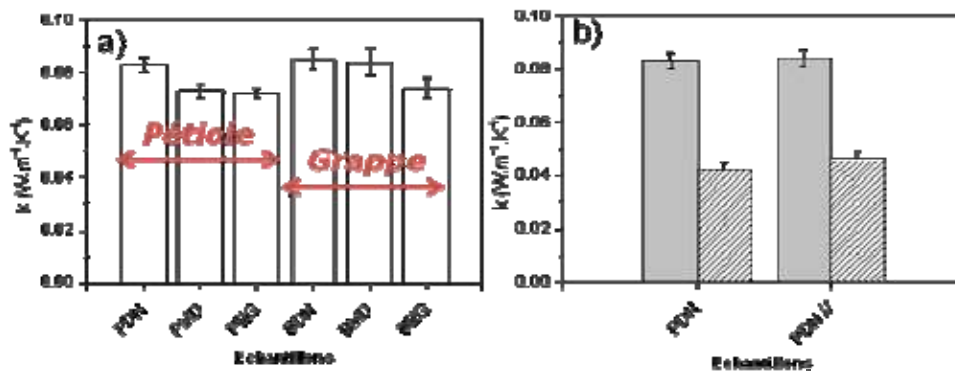


Figure 4 : a) Effet de la variété de bois de palmier dattier et de la zone de prélèvement sur la conductivité thermique b) Effet de l'orientation des fibres et de la pression sur la conductivité thermique (Agoudjil, 2011).

## 4. Étude de la porosité dans des composites lin/epoxy par méthode thermique

### 4.1 Problématique de la porosité

La porosité des matériaux influe grandement sur les propriétés physiques notamment mécaniques. Dans les composites à base de fibres végétales, la porosité est présente à plusieurs échelles, comme l'illustre la figure 8. Chaque taille de porosité possède une origine propre. Par exemple, la plus petite taille de porosité correspond au lumen, partie creuse et centrale de la fibre.

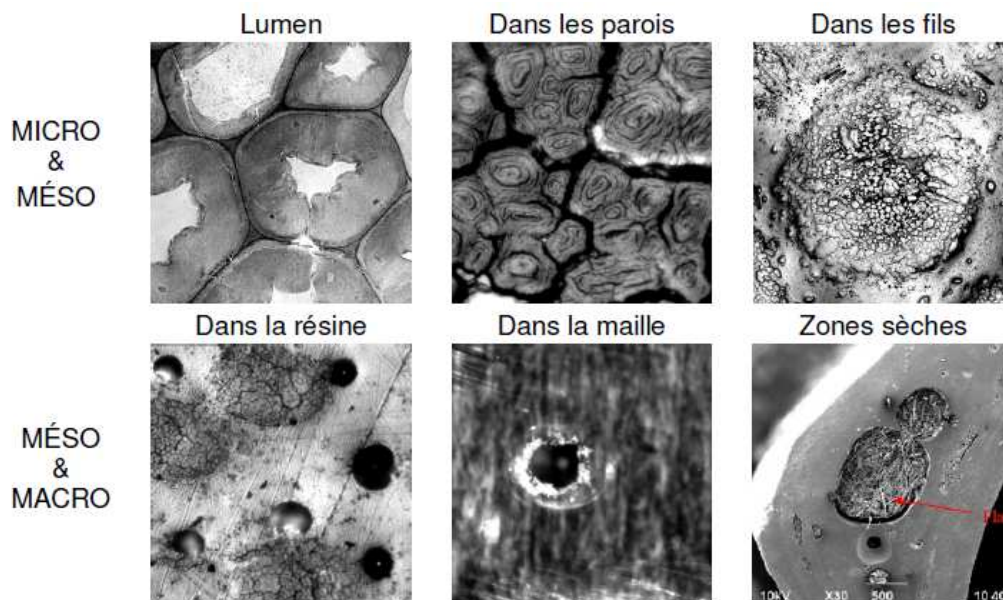


Figure 5 : Illustration des différents types de porosité présents dans les matériaux composites à base de fibres végétales. La porosité est présente à tous les niveaux, de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique (Poilâne, 2011).

C'est pour cette raison que nous nous intéressons dans cette étude à la distribution de taille de pores au sein de ces matériaux. L'approche consiste à étudier les variations de la conductivité thermique en fonction de la pression. Cette variation est liée à l'effet Knudsen qui relie la conductivité thermique à la taille de pores :

$$\lambda_{air} = \frac{\lambda_{air,atm}}{1 + C\left(\frac{T}{Pd}\right)} \quad \text{équation 1}$$

Où  $\lambda_{air}$  est la conductivité thermique de l'air,  $C$  une constante qui dépend du type de gaz dans la porosité,  $T$  la température,  $P$  la pression et  $d$  la taille des pores. Les mesures ont été effectuées par la méthode DICO (voir paragraphe 2.1) à différentes pressions entre le vide secondaire et la pression atmosphérique. Les résultats sont présentés sur la figure 9.

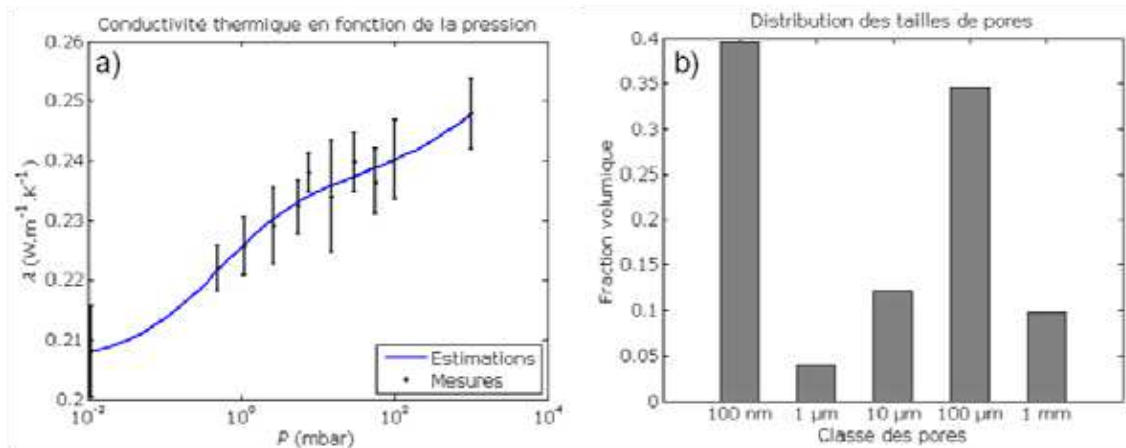


Figure 6 : a) Variation de la conductivité thermique des composites à base de fibres de lin en fonction de la pression ; b) Distribution de la taille de pores au sein de ces échantillons déduite de la figure a).

On observe une augmentation progressive de la conductivité thermique avec la pression, ce qui est attendu dans le cas de matériaux poreux (Degiovanni, 2013). La modélisation de cette évolution (courbe bleue sur la figure 9a) permet de remonter à la distribution de taille de pores, représentée sur la figure 9b. Celle-ci semble indiquer une forte présence de pores de petites tailles relatifs aux lumens des fibres. Une deuxième classe de pores (autour de 100 $\mu\text{m}$ ) est également observée : elle pourrait correspondre à des vides entre fibres ou bien à l'interface fibres-matrice.

## 5. Conclusion

Les fibres végétales voient leurs applications se développer fortement ces dernières années aussi bien dans l'habitat que dans les transports et les loisirs. Les études effectuées au CERTES ont mis en évidence que les propriétés des fibres varient fortement en fonction de divers facteurs comme : le taux de fibres, l'hybridation des fibres, le traitement des fibres. Les études futures devraient à l'avenir privilégier l'utilisation de ressources locales, de résidus de végétaux actuellement non exploités en utilisant des matières naturelles pour le traitement des fibres. Sur ce dernier point, une étude récente de l'influence de la zéine – protéine extraite du grain de maïs - sur la fibre de lin a déjà porté quelques résultats (John, 2012).

## Bibliographie

- Agoudjil B., Benchabane A., Boudenne A., Ibos L. et Fois M. (2011). Renewable materials to reduce building heat loss : characterization of date palm wood, *Energy and buildings*, **43**, 491-497
- Annie Paul S., Boudenne A., Ibos L., Candau Y., Joseph K. et Thomas S. (2008). Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials, *Composites Part A*, **39**, 1582-1588
- Boudenne A., Ibos L., Géhin E. et Candau Y. (2004). A simultaneous characterisation of thermal conductivity and diffusivity of polymer materials by a periodic method », *Journal of Physics D : Applied Physics*, **37**(1), 132-139
- Boudenne A., Ibos L. et Candau Y. (2006). Analysis of uncertainties on thermophysical parameters of materials obtained from a periodic method, *Measurement Science and Technology*, **17**, 1870-1876

- Degiovanni A., Jannot Y. (2013). Porosimétrie thermique de milieux poreux légers, *Proc. 16èmes journées internationales de thermique, JITH 2013*, Marrakech, Maroc, 13-15 Novembre
- Ibos L. (2013). Métrologie thermique appliquée à la caractérisation thermophysique de composites et au contrôle de structures par thermographie, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Est, Créteil, France, 204 p.
- Idicula M., Boudenne A., Umadevi L., Ibos L., Candau Y. et Thomas S. (2006). Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites, *Composite Science and Technology*, **66**(15), 2719-2725
- JECCComposites, Technical book, Flax and Hemp fibres: a natural solution for the composite industry
- John M-J., Tlili R., Anandjiwala R-D., Boudenne A. et Ibos L. (2012). Effect of amphiphilic coupling agent on heat flow and dielectric properties of flax-polypropylene composites, *Composites Part B*, **43**(2), 526-532
- Kalaprasad G., Pradeep P., Mathew G., Pavithran S. et Thomas S. (2000). Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low-density polyethylene composites reinforced with sisal, glass and intimately mixed sisal/glass fibres, *Composites Science and Technology*, **60**, 2967-2977
- Li Y., Mai Y-W et Ye L. (2000). Sisal fibre and its composites: a review of recent developments, *Composites Science and Technology*, **60**, 2037-2055
- Maillet D., André S., Bastale J-C., Degiovanni A. et Moyne C. (2000), Thermal Quadrupoles: Solving the heat equation through integral transforms, Wiley-Blackwell, 388p.
- Poilâne C. (2011). Primaire Lin/Epoxy et porosités, *communication personnelle*
- Sreekumar P-A., Agoudjil B., Boudenne A., Unnikrishnan G., Ibos L., Fois M. et Thomas S. (2012). Transport properties of polyester composite reinforced with treated sisal fibers, *Journal of reinforced plastics and compounds*, **31**(2), 117-127
- Tlili R. (2010). Etudes des transferts dans les milieux hétérogènes. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, Créteil, France, 162 p et annexes.