

ANALYSE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX COMPOSITES RENFORCÉS PAR DES FIBRES VÉGÉTALES

Djamel Zelmati¹, Oualid Guelloudj², Mohamed Hassani³, Khouloud Bedoud⁴, Nadjette Sehab⁵, Radouane Graine⁶

¹Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
zelmati_djamel@yahoo.fr

²Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
ghelloudj23@gmail.com

³Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
moha82.hassani@hotmail.fr

⁴Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
k.bedoud@crti.dz

⁵Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
sehab_nadjette@yahoo.fr

⁶Research Center in Industrial Technologies (CRTI), P.O. Box 64, Cheraga 16014 Algiers, Algeria,
graine_radouane@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'analyser l'influence de l'orientation des fibres végétales, qui ont connus un intérêt particulier dans l'industrie, sur le comportement mécanique des Bio-composites. L'orientation des fibres est un paramètre significatif pour l'amélioration des propriétés mécaniques et l'amplification des contraintes induites dans le matériau et par conséquent sur la sécurité de la structure. En se basant sur la théorie classique des stratifiés, un code en Matlab a été développé, afin d'estimer les appropriés élastiques, les contraintes et les déformations induites dans le matériau composite renforcé par des fibres de Lin.

Mots Clés: *Bio-composite, Fibre Végétale, Contrainte Induites, Déformation Induite.*

NOMENCLATURE

Symboles :	Lettres grecques :
E_1 module d'élasticité axiale, GPa	σ contrainte, MPa
E_2 module d'élasticité transverse, GPa	ε déformation
G_{12} module de cisaillement, GPa	γ contrainte de cisaillement, MPa
u, v et w déplacement, mm	ν coefficient de poisson
M_f moment de flexion	Indices / Exposants :
A matrice de membrane	m membrane
B matrice de flexion	f flexion
D matrice de couplage	n nombre de plies

1. INTRODUCTION

Les composites renforcés par des fibres végétales ont connus un intérêt particuliers dans l'industrie dans un large domaine d'applications, dont l'industrie d'automobile et le bâtiment représente la plus grande part de marché à 25% et 30% respectivement [1].

Parmi les fibres végétales les plus utilisés dans l'industrie on trouve : Le chanvre, le sisal, le jute, le cactus et le lin. Cette dernière est considérés la meilleure alternative des fibres de verre de grande diffusion suite au rapport de leurs propriétés mécaniques ramené à leur densité, est proche à celles des fibres de verres. Les caractéristiques des matériaux composites renforcés par des fibres naturelles, ont fait attirer l'attention des constructeurs d'automobile et des gouvernements, que ce soit sur le plan économique ou écologique.

L'orientation des fibres est un paramètre significatif pour l'amélioration des propriétés mécaniques des matériaux composites. Pour les composites en polymère renforcés, l'orientation des fibres dépend des paramètres des facteurs de moulage et du matériau entre autre : le diamètre, la longueur de la fibre et la teneur en fibre du matériau renforcé...etc. Due à l'orientation des fibres, le produit moulé par compression devient inhomogène et anisotrope ce qui va influencer dramatiquement sur les propriétés mécaniques [2-4].

2. MODELE MATHEMATIQUE/METHODE EXPERIMENTALE

Le champ des déformations en un point M du stratifié de coordonnées (x, y, z) est la somme des déformations en membrane ε_m et des déformations en flexion ε_f tel que :

$$\varepsilon_m(M) = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_0}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0}{\partial y} + \frac{\partial v_0}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\varepsilon_f(M) = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^f \\ \varepsilon_y^f \\ \gamma_{xy}^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \\ -z \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \\ -2z \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\varepsilon_f(M) = zK(x, y) \quad (3)$$

$$K(x, y) = \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \\ -2\frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\varepsilon(M) = \varepsilon_m(x, y) + zK(x, y) \quad (5)$$

Selon la théorie classique des stratifiés, l'expression de l'effort en membrane peut être exprimée par l'équation (6) [5]

$$N(x, y) = A\varepsilon_m(x, y) + BK(x, y) \quad (6)$$

Avec

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k - h_{k-1}) \quad (7)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \quad (8)$$

A : Matrice de membrane

B : Matrice de couplage

Le vecteur des moments de flexion et de torsion peut être exprimé par l'équation (9) :

$$M_f(x, y) = B_{ij} \varepsilon_m(x, y) + D_{ij} K(x, y) \quad (9)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\overline{Q_{ij}})_k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \quad (10)$$

D : Matrice de courbure

La configuration géométrique du modèle étudié est une plaque constituée de quatre plis d'un composite unidirectionnel. Chaque couche du stratifié est composée d'une résine Epoxyde renforcée par des fibres de Lin, dont leur angle d'orientation varie de 0° à 90° avec un incrément de 15°. L'épaisseur de chaque couche est égale à 100µm. L'objectif est de faire une analyse du comportement du matériau composite renforcé par des fibres gétales en fonction de l'angle de l'orientation des fibres de Lin.

Les caractéristiques mécaniques du matériau Bio-composite [7] sont présentées dans la littérature, Tableau 1. La configuration symétrique du stratifié est représentée sur la FIGURE 1.

Description	Symbole	Valeur moyenne	Unité
Module d'élasticité axiale	E ₁	26.5	GPa
Module d'élasticité transversale	E ₂	2.6	GPa
Module de cisaillement	G ₁₂	1.3	MPa
Coefficient de poisson	ν ₁₂	0.35	

TABLEAU 1. Propriétés mécaniques du Bio-composite Lin/Epoxyde [6]

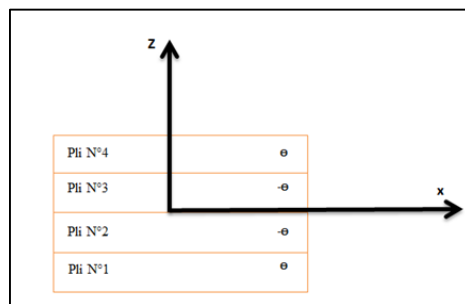


FIGURE 1. Configuration géométrique du stratifié à modéliser

3. RESULTATS

3.1 PROPRIETES ELASTIQUES DU BIO-COMPOSITE LIN/EPOXYDE

La FIGURE 2 illustre l'évolution du rapport du module d'élasticité axial divisé par le module d'élasticité transversal du matériau composite renforcé par des fibres de Lin. Une chute dramatique de ce ratio est observée pour une orientation des fibres variant de 0° à 45° .

La valeur maximale du ratio est enregistrée pour un angle de 0° , tandis que la valeur minimale est enregistrée pour une orientation de 90° . Des valeurs modérées du ratio sont observées pour un angle d'orientation variant entre 15° et 30° . Cette information est très intéressante pour l'élaboration des matériaux composites à base de fibres végétale, après l'analyse des différentes sollicitations que la structure va subir.

La valeur unité du ratio (E_x/E_y) qui correspond à des modules d'élasticités équivalent dans les deux sens du Bio-composite est enregistrée pour un angle d'orientation de 45° . Au-delà de cet angle d'orientation, la rigidité du bio-composite dans le sens axiale est plus faible que celle du sens transverse.

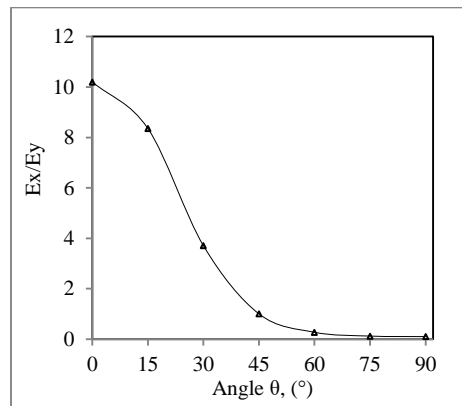


FIGURE 2. Effet de l'angle d'orientation des fibres de Lin sur le ratio de la rigidité axiale à la rigidité transversale du Bio-composite Lin/Epoxyde

3.2. DEFORMATIONS ET CONTRAINTES INDUITES DANS LE BIO-COMPOSITE LIN/EPOXYDE

La FIGURE 3 illustre l'évolution des déformations dans le sens axial et transverse du Bio-composite. Les déformations dans le sens axial, sont plus importantes que celles du sens transverse. Les déformations axiales sont des déformations de traction (FIGURE 3a) tandis que celles du sens transverse sont des déformations de contraction (FIGURE 3b).

L'ampleur des déformations générées dans les direction axiale et transversale, dépend fortement de l'angle d'orientation des fibres de Lin avec un rapport maximal de 10.

Dans les deux directions, un angle de 0° génère la déformation la plus faible. Pour un angle d'orientation des fibres de Lin égale à 90° , la déformation maximale générée est observée dans le sens axial, alors qu'elle est faible dans l'autre sens.

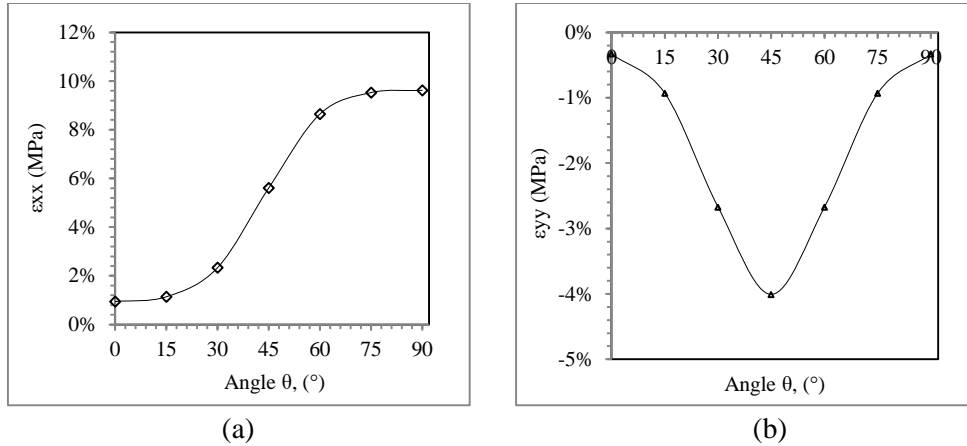


FIGURE 3. Développement des déformations en fonction de l’angle d’orientation des fibres dans le Bio-composite Lin/Epoxyde, (a) Déformation axiale et (b) Déformation transverse

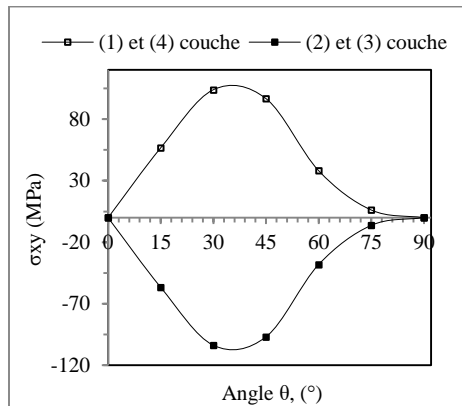


FIGURE 4. Effet de l’angle d’orientation des fibres sur la contrainte de cisaillement générées au niveau du plan médiane de chaque plie du Bio-composite Lin/Epoxyde

La déformation de contraction maximale dans le sens transverse est illustrée pour un angle d’orientation des fibres de Lin de 45°. Cette dernière restera toujours inférieure à la déformation dans le sens axial avec un rapport de 2/3.

La FIGURE 4. Illustre Effet de l’angle d’orientation des fibres de Lin sur la contrainte de cisaillement au niveau du plan médiane de chaque plie du Bio-composite Lin/Epoxyde. Les contraintes de cisaillement générées dans les couches superficielles N°1 et N°4 sont des contraintes de traction alors que celles générées au niveau des couches internes N°2 et N°3 sont des contraintes de compression. Ce comportement se diffère du comportement des matériaux composites de haute performance qui exhibent des contraintes de cisaillement nulles si les fibres sont orientées à un angle θ égale à 0°, 58° et 90° [8].

4. CONCLUSIONS

- ✓ Une chute dramatique du ratio du module d'élasticité axiale divisé par le module d'élasticité transversale, est enregistrée pour une orientation des fibres variant de 0° à 45°
- ✓ La valeur maximale du ratio est enregistrée pour un angle de 0° , tandis que la valeur minimale est enregistrée pour une orientation de 90° .
- ✓ Les modules d'élasticités axiale et transverse du Bio-composite sont équivalents pour un angle d'orientation de 45° .
- ✓ L'ampleur des déformations générées dans le Bio-composite, dépend fortement de l'angle d'orientation des fibres de Lin.

REFERENCES

- [1] J.M. Berthelot, Matériaux composites. Edition TEC et DOC, Paris, 1999
- [2] I.F. Obraztsov, and V. V. Vasilev, Mechanics of composites, Moscow, Mir Publishers, 1982, 280, 1982
- [3] J. Willis, Mechanics of composites, Ecole polytechnique, Département de mécanique, 2002
- [4] R.M. Jones, Mechanics of composite materials (Vol. 193). Washington, DC: Scripta Book Company, 1975
- [5] C.T. Herakovich, Mechanics of composites: a historical review, Mechanics Research Communications, 41, 1-20, 2012.
- [6] H.T. Hahn, and S.W. Tsai, Introduction to composite materials. CRC Press, 1980.
- [7] J.W. Kim, and H.S. Kim, Study on fiber orientation and fiber content of glass fiber reinforced polymer, Materials Research Innovations, 18:sup2, S2-482-S2-487, 2014.
- [8] D. ZELMATI et al, Effet de la configuration géométrique sur le comportement mécanique d'un matériau composite stratifié unidirectionnel, 4th International Conférence on Maintenance and Industrial Safety CIMSI'2017, 20 - 21 Novembre 2017.