Caractérisation mécanique en fatigue d'un composite stratifie jute/polyester

C. BELKACEMI [1], B. BEZZAZI [1]

[1] *Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement (URMPE) cité Frantz fanon, 35000 Boumerdès.*
Email: belkacemicherifa@yahoo.fr
bbezzazi@yahoo.fr

Résumé :

Le comportement en fatigue des matériaux homogènes est souvent caractérisé par une fissure au début qui domine le développement de l'endommagement et conduit à la rupture finale. Par contre les matériaux non homogènes tels que les fibres, l'endommagement par fatigue à un stade précoce est souvent diffuse dans la nature, comme la fissure peut être initiée à partir de site multiple. Dans ce cas la fissure dominante peut ne pas être apparente jusqu'à ce qu'il soit très proche de la rupture finale. Pour ce type de matériau l'endommagement par fatigue est souvent quantifié par les propriétés résiduelles (tels que la résistance et la rigidité) en raison de la dégradation causée par le changement cyclique.

Notre travail s'intéresse à la caractérisation des propriétés mécaniques quasi-statiques et en fatigue d'un composite stratifié jute/polyester fabriqué sous vide avec des séquences d'empilement de 0/90°.

Les essais de traction sur le stratifié jute/polyester ont montré un comportement identique sur deux paliers : une partie linéaire jusqu'à 20 MPa et une partie non linéaire jusqu'à rupture à σ max de 47 MPa]), suivi par un allongement de 2.08 %.avec un allongement de rupture allant à 2.50%

On note une rupture nette du stratifié en traction. On note aussi l'influence de niveau de chargement sur le nombre de cycles car nous remarquant une évolution de nombre de cycles en fonction de seuil de niveau de chargement, plus en diminue le niveau de charge plus en augmente le nombre de cycles.

.

Mots clés :Fatigue ,jute, résine polyester, comportement mécanique, statique, dynamique.

1. Introduction:

Les fibres utilisées comme renfort dans les matériaux composites à matrice polymère sont principalement des fibres synthétiques comme les fibres de carbone ou de verre. Ces fibres présentent de très bonnes propriétés mécaniques et géométriques. Cependant d'autres fibres peuvent être utilisées comme les fibres végétales qui présentent des propriétés mécaniques, physiques et chimiques intéressantes ainsi que des avantages économiques et environnementaux certains [1]. Parmi les fibres végétales couramment utilisées, celles issues de la plante de jute présentent de bonnes propriétés mécaniques. Parmi toutes les fibres naturelles, le jute possède des caractéristiques mécaniques intéressantes en termes de résistance à la traction, avec des propriétés intéressantes en flexion [2]. De plus, le jute importé à l'état brut est traité, filé et tissé en Algérie, il est disponible et à faible coût.

Les matériaux composites renforcés par des fibres synthétiques, particulièrement, celles de verre, sont actuellement largement utilisées dans la production de pièces composites à grande diffusion. Cependant, leur utilisation soulève de plus en plus de questions tant du point de vue sanitaire qu'environnemental [3]. La consommation d'énergie pendant la production de ces fibres est élevée et est associée à l'émission de Composés Organiques Volatils (COV) nocifs lors de leur mise en œuvre.

Il n'existe actuellement aucune solution économiquement viable pour le retraitement des composites renforcés de fibres traditionnelles en fin de vie, sans transfert de pollution. Une alternative consiste alors à utiliser les fibres naturelles, qui sont issues de ressources renouvelables, biocomposites et stables en fin de vie, et donc plus respectueuses de l'environnement. Ainsi, en remplaçant les fibres synthétiques par des fibres végétales, il est possible de réduire l'impact environnemental des renforts.

Les fibres naturelles offrent des perspectives prometteuses grâce à leurs propriétés spécifiques intéressantes, en raison de leur faible densité, mais aussi à leur biodégradabilité [4].

Malgré l'intérêt croissant porté sur les matériaux biosourcés, il apparaît néanmoins, que peu de travaux se sont intéressés au comportement en fatigue des biocomposites renforcés de fibres de jute. Dans ce cadre, cette présente étude traite de la fatigue des composites en jute/polyester. Elle présente d'abord la caractérisation quasi-statique d'un stratifié en jute/polyester, avant de décrire l'aptitude du composite à subir des sollicitations de fatigue en traction .

Dans l'attente d'une résine écologique plus performante, notre choix s'est porté sur une résine thermodurcissable de type polyester. La méthode d'élaboration du stratifié dite par infusion présente beaucoup d'avantages, elle est simple de conception, économique et peu onéreuse, elle permet aussi de manufacturer des plaques (stratifiés) de grandes dimensions.

2. Matériaux et méthodes d'essais:

Présentation des matériaux

Matériaux constituant le stratifié polyester :

Les matériaux d'étude sont des matériaux composites à base d'une résine thermodurcissable, (Polyester) et de renfort en fibre tissée de jute.

2.1 Les résines

Les résines thermodurcissables de type polyester sont les plus anciennes et les moins chères. Elles sont les plus répandues dans la fabrication de pièces en matériaux composites et rentrent dans la fabrication de 95% des composites thermodurcissables renforcés. Lors de leur fabrication, elles sont généralement additionnées de 30% à 40% de solvant pour écarter les chaines du pré polymère.

Cette opération leurs permet de durer longtemps dans un état liquide et les entreposer pour une période de temps déterminée.

C'est au moment de son emploi que l'on ajoute un accélérateur et catalyseur suivant une séquence bien déterminée. Elles sont souvent associées au verre dans les pièces composites. Il s'agit en général de composites à faible coût (Coût matière de l'ordre de 400-500 Dinars le kilo.

Ces résines sont dites insaturées, c'est à dire que leurs chaînes moléculaires laissent apparaître des doubles liaisons susceptibles de permettre par la suite d'autres assemblages.

Les composites à matrice polyester sont utilisés principalement pour des applications grand public : Fabrication de piscines, de bateaux, de cuves...

2.2 Le Jute.

Le jute est une plante des régions tropicales (genre Corchorus) appartenant à la famille Tiliacées. La tige atteint une hauteur de 4 à 6m avec un diamètre d'environ 3 cm. Le jute pousse essentiellement au Bangladesh qui détient un quasi-monopole de son commerce. Il en existe deux variétés (une blanche et une rouge), ce qui exige un triage préalable avant l'utilisation. La fibre ultime est très courte et très lignifiée. L'extraction de la fibre est obtenue par rouissage et décorticage. Après le rouissage, on détache la fibre, on nettoie la filasse et on rince à l'eau [5], [6].



*Fig.1**: De la plante au tissu de jute***

3. Essai de traction

3.1. Fabrication des éprouvettes:

Les essais de traction des échantillons de tissu de jute sont effectués sur une machine universelle Zwick de type Z250/SN5A dotée d'un capteur de force de 2,5 kN. Elle est pilotée par ordinateur (Logiciel TestXpert V12.0).

Les éprouvettes utilisées pour la traction ont des dimensions conformes à la norme AFNOR NF T 57-105 équivalent à la norme ASTM D 790-84a.

Les dimensions moyennes des éprouvettes sont données dans le tableau 3.

Tableau 3. : Dimensions des éprouvettes en (mm).

Longueur totale L	Longueur entre mâchoires l	Epaisseur h	Largeur b
250	**150**	**0.87-0.97**	**50**

La figure 3. montre la géométrie des éprouvettes utilisées.



Figure 3. : Eprouvettes de traction de renfort en jute tissé.

3.2. Dispositif d'essai

Ces essais sont effectués sur une machine universelle de type Zwick 10 kN piloté par ordinateur (logiciel testXpert V 9.0) avec une vitesse d'essai de 2 mm/min et équipé d'un capteur de force de 2.5 kN (figure 4).



Figure 4. Essai de traction du renfort tissu de jute.

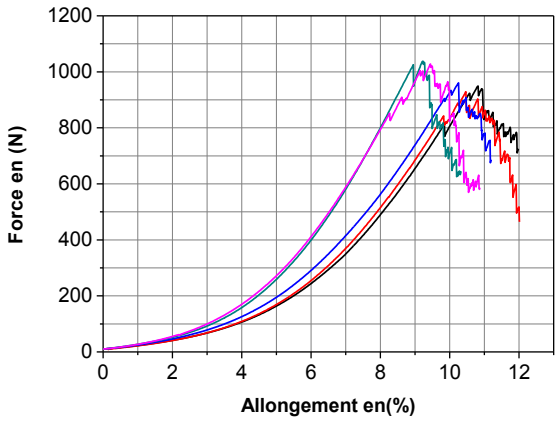


Figure 5: Evolution de la force en fonction du déplacement pour la fibre de jute à 0°.

3.3 Interprétation

Tableau 4. :Valeurs moyennes de la force maximale, module d'élasticité et de la déformation.

jute	F max (N)	E (MPA)	ε (%)
Valeur moyenne	**958.68**	**32**	**8.39**

Les courbes obtenues montrent une variation force allongement qui se déroule en trois étapes : linéaire puis non linéaire passant par la force maximale suivi d'une légère diminution de la force et enfin la rupture totale et obtenue suite a une chute très rapide de celle-ci.

4. Stratifiés

4.1. Procédé d'élaboration des stratifiés :

L'élaboration du stratifié jute/polyester est réalisée par la méthode sous vide (Fig.6). le tissu est préparé et découpé déjà aux dimensions 300x300mm.

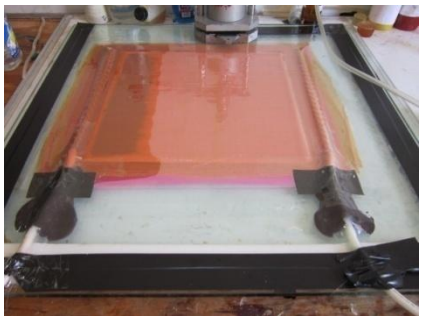
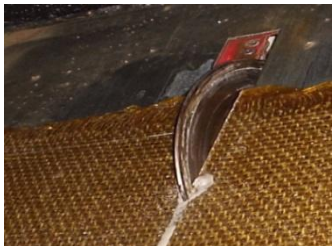


Fig.6. plaque préparée pour le pressage

Les plaques obtenues, de dimensions de 300 x300 mm, sont séchées dans l'étuve à 80° C pendant 4 heures les éprouvettes sont découpées selon la norme AFNOR NF T 57-105 pour faire les essais mécanique.

4.2. Elaboration des éprouvettes de stratifiés

Les plaques sont coupées à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté et lubrifié. [7]. [8]. [9].



a.

Figure 7. : a. vue de découpage dune plaquette de stratifié



b.

b. éprouvettes en composite stratifié (jute/polyester).

Les dimensions moyennes des éprouvettes sont données dans le tableau 5.

Tableau 5. : Dimensions des éprouvettes en (mm).

jute	Longueur totale	Longueur entre outillage	Largeur	Epaisseur
Traction	250 ± 1	150 ± 1	25 ± 0,5	2-4

4.3. Essais de traction

Pour l'identification des propriétés mécaniques du stratifié jute/époxy (modules d'Young, contraintes maximale et contraintes de rupture), des essais de traction sont réalisés suivant la norme EN ISO 527-5. Les essais de traction sont effectués sur des éprouvettes de dimensions 250 x 50 x 2.5 mm munies de talons.

Dispositif expérimental

Les essais de traction sont effectués sur la même machine universelle Zwick de type Z250/SN5A que par avant.

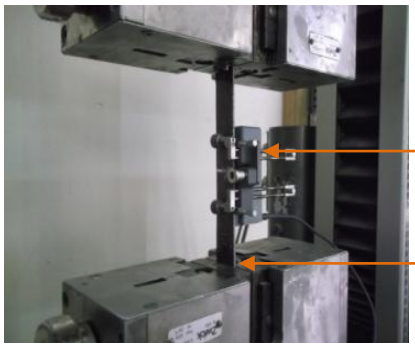


Figure 08. Essai de traction

4. 4. Résultats et discussions

La figure (fig.09) suivante représente l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation longitudinale pour le stratifiée jute/polyester, laquelle montre une faible fluctuation entre les différentes éprouvettes ce qui traduit l'homogénéité du matériau élaboré. Nous constatons que la contrainte varie de manière linéaire (zone élastique) jusqu'à une valeur autour de 3885 MPa avec un allongement de 2.08 %

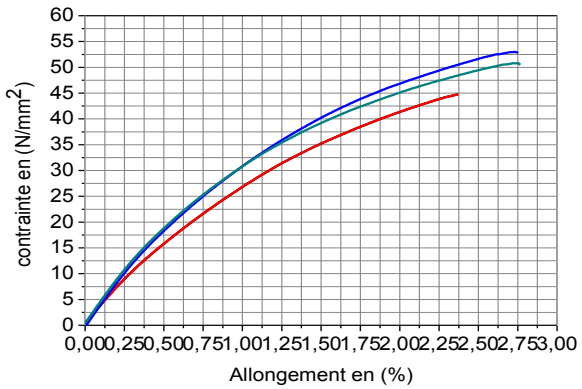


Figure 09.traction des stratifiées.

La figure 10 représente l'évolution de la contrainte en cisaillement en fonction de la déformation d'un stratifié jute/polyester [+45°/-45°]4. On note un comportement non linéaire dela courbe.

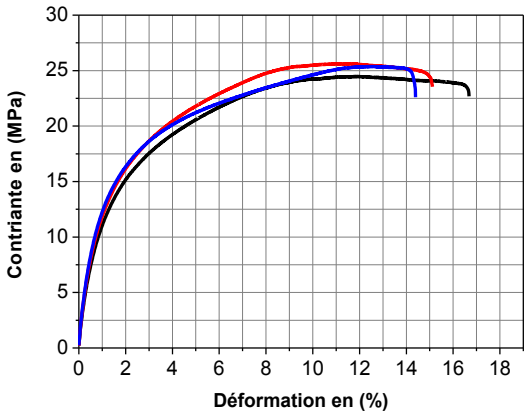


Figure 10 : Essai de traction sur jute/polyester [+45/-45]4.

Les caractéristiques mécaniques du matériau composite stratifiée jute/polyester sont regroupées dans le tableau (Chargement en traction) :

Tableau 6. Caractéristiques mécaniques moyennes du stratifie élaboré..

E [MPa]	32
σ max [MPa]	47
ε max [%]	2.08
σ rup [MPa]	3500
ε rup [%]	2.50

On observe que les courbes de traction se composent de deux parties linéaires. Le module d'Young est calculé sur la première partie de la réponse.

Cependant la deuxième linéarité représente le comportement jusqu'à rupture. On observe une rupture nette en traction.

Cette étude sur le comportement statique des ces matériaux se poursuit par une étude du comportement en fatigue.

5. Etude du comportement fatigue

5.1. Méthodologie expérimentale

Le comportement en fatigue d'un matériau est généralement défini par la relation entre le niveau de chargement appliqué et le nombre de cycles de chargement provoquant la rupture du matériau.

Les essais de fatigue sur les échantillons [0/90°]4 sont effectués sur une machine Zwick de type vibrophore (figure 12).

Les essais de fatigue sont pilotés en charge à une fréquence de 30 Hz et un rapport R=0.5.

Tous les essais de fatigue sont menés à l'ambiante [12],les éprouvettes ont subit différents niveaux de chargement par rapport à la charge maximale en

traction : 50%, 55%, 60%, 70%, et 80%. Pour chaque niveau de charge, un minimum de trois éprouvettes a été testé.



Figure 11 : Essai de fatigue du stratifié.

5.2. Exploitation des essais de fatigue

Les premiers résultats ont permis la construction de la courbe de Wöhler pour notre matériaux (rapport des contraintes maximales en fonction de nombre de cycles à la rupture) (figure 12) .En remarque que les éprouvettes ne rompent pas en dessous d'un niveau de charge égal à 50%.

Aucun délaminage n'a été observé lors des essais de fatigue.

lors des essais de fatigue on a observer aussi une augmentation de température des éprouvettes de 5 à 7°C qui reste dans la norme ISO 13003 , qui impose une élévation de température inférieure à 10 °C.

Dans le cas de la courbe de W¨ohler on constate une augmentation du nombre de cycles à rupture lorsque __ diminue. ´Eventuellement, en dessous d'un certain seuil la rupture est ´evit´ee. Pour les applications industrielles usuelles, on d´efinit la limite de fatigue

_
, _f comme l'amplitude de contrainte en dessous de laquelle la rupture n'a pas lieu pour N = 106. Pour un niveau de contrainte tel que la rupture n'a pas lieu pour N = 106, on peut toutefois observer une rupture pour un nombre plus important de cycles (jusqu'`a 109).

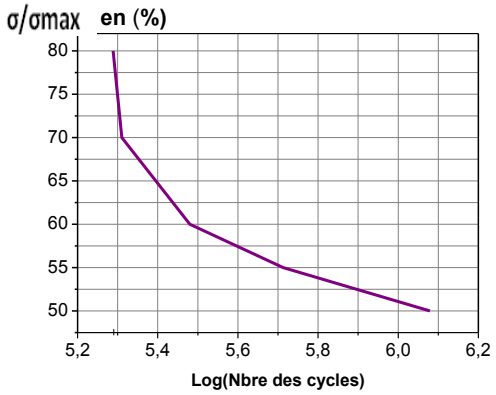


Figure 12 : la courbe de Wöhler de stratifie jute/polyester.

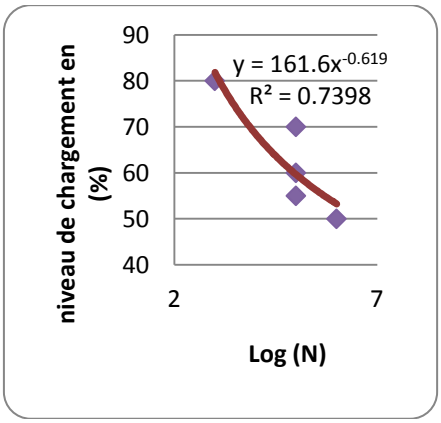


Figure 13 : la courbe de Wöhler de stratifie jute/polyester.

6. Conclusion

Dans cette étude, les comportements quasi-statiques et en fatigue de composites stratifiés en jute/polyester à [0/90]4S sont caractérisé a la température ambiante .le comportement en traction est bilinéaire et le mode de défaillance principal est la rupture des renforts.

Les essais de traction sur le stratifié jute/polyester ont montré un comportement identique sur deux paliers : une partie linéaire jusqu'à 20 MPa et une partie non linéaire jusqu'à rupture à σ max de 47 MPa]), suivi par un allongement de 2.08 %.avec un allongement de rupture allant à 2.50%

l'augmentation de la température des éprouvettes(5à 6°C) lors de l'essai de fatigue reste dans la norme ISO 13003, qui impose une élévation de température inférieure à 10 °C.

On note une rupture nette du stratifié en traction. On note aussi l'influence de niveau de chargement sur le nombre de cycles car nous remarquant une évolution de nombre de cycles en fonction de seuil de niveau de chargement, plus en diminue le niveau de charge plus en augmente le nombre de cycles.

en fin on peut dire qu'il n'existe pas de règle préétablie valable pour tout composite. La fatigue des matériau composites dépend de la nature des fibres et des résines, de la qualité des interfaces. Autant de paramètres susceptibles d'être optimises afin de répondre au mieux a l'application envisagée et améliorer la résistance a la fatigue.

Références.

[1] Le Duigou A, Davies P, Baley C. « Interfacial bonding of flax fiber/poly(L-lactide) bio-composites ». *Composites Science and Technology.* Vol. 70, pp. 231-239, 2010.

[2] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. « Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? ». *Composites Science and Technology*; Vol. 63, pp. 1259–1264, 2003.

[3] A Le Duigou, I Pillin, A Bourmaud, P Davies, C Baley. « Effect of recycling on mechanical behaviour of
biocompostable flax/poly(L-lactide) composites ». *Composites: Part A.* Vol. 39, pp. 1471–1478, 2008.Comptes Rendus des JNC 17 - Poitiers 2011

[5] A Bourmaud, C Baley. « Investigations on the recycling of hemp and sisal fibre reinforced polypropylene
composites ». *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 92, pp. 1034-1045, 2007.

[6] Placet v. « Characterization of the thermo-mechanical behaviour of Hemp fibres intended for the manufacturing of high performance composites ». *Composites: Part A* Vol. 40, pp. 1111–1118, 2009.

[7] FA Silva, N Chawla, RDT Filho. « An experimental investigation of the fatigue behavior of sisal fibers ».
Materials Science and Engineering A. Vol. 516, pp. 90–95, 2009.

[8] C Baley. « Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase » .
Composites: Part A. Vol. 33, pp. 939-948, 2002.

[9] K Chalet, JP Jernot, J Breard, M Gomina. « Scattering of morphological and mechanical properties of flax fibres ». *Industrial Crops and Products.* 2010.