

" Analyse des mécanismes d'endommagement par émission acoustique d'un composite en fibres de lin"

" Daoud Hajer" ^{1,2}, "El Mahi Abderrahim"¹, "Rebiere Jean-Luc"¹, "Taktak Mohamed"², "Haddar Mohamed"²

¹" Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM) UMR CNRS 6613, Université du Maine, Av. O. Messiaen, 72085 Le Mans cedex 9, France "

²" Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Production (LA2MP), Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), Université de Sfax, Route de Soukra 3038, Sfax, Tunisie "

Résumé :

Cette étude présente une analyse du comportement mécanique d'un éco-composite renforcé par des fibres naturelles de lin. Une analyse des essais de traction uniaxiale ont été réalisés sur des éprouvettes unidirectionnelles et croisées $[0]_8$ et $[0_2/90_2]_s$. Le comportement mécanique et l'activité acoustique de ces composites étudiés ont été ainsi suivis par émission acoustique (EA). L'analyse des signaux obtenus au cours des différents essais ont permis d'identifier les principaux signaux acoustiques pour les différents mécanismes d'endommagement dans les deux types de composites.

Mots clés : éco-composite, traction, mécanismes d'endommagements, émission acoustique

1. Introduction

Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans divers types de systèmes d'ingénierie. L'intérêt des préoccupations environnementales et écologiques ces dernières années a entraîné le développement de composites biosourcés qui ont des performances mécaniques comparables à celles des composites classiques à fibres synthétiques [1]. Plusieurs études sur des fibres naturelles [2], [3] et [4] ont été étudiées. Ils ont montré que les composites issus de la biomasse présentent de nombreux avantages tels que leur faible densité, leur biodégradabilité et leurs propriétés mécaniques spécifiques relativement élevées.

Dans ce cadre, ce travail présente une étude sur le comportement mécanique en traction uni axiale d'un éco-composite renforcé par des fibres naturelles de lin, et ceci sur des stratifié unidirectionnels $[0]_8$, ainsi que sur des stratifiés croisés $[0_2/90_2]_s$. Une analyse par émission acoustique (EA) a été également effectuée au cours des essais de traction. Cette étude a été souvent utilisée pour l'identification et la caractérisation des modes d'endommagements sur des composites classiques [5] ainsi que sur des composites à fibres naturelles [6] et [7]. Les données obtenues ont été traitées et classées avec le logiciel NOESIS [8]. Cinq paramètres temporels des signaux acoustiques ont été choisis pour effectuer la classification de l'ensemble des données : l'amplitude, le temps, la durée, l'énergie absolue et le nombre de coups cumulés. L'algorithme de 'K-moyens' a été utilisé pour la reconnaissance du modèle non supervisé. Cette étude a permis d'identifier et de caractériser les différents mécanismes d'endommagements qui ont eu lieu lors de la sollicitation des éprouvettes.

2. Mise en œuvre du composite

2.1 Matériaux utilisés

Les matériaux considérés dans cette étude sont des matériaux stratifiés constitués de fibres naturelles longues de lin fabriquées et traitées par la société LINEO [2] renforçant une résine greenpoxy SR GreenPox 56 produite par la société Sicomin. Cette résine est partiellement biosourcée dont 56% de sa structure moléculaire est d'origine végétale. Ce pourcentage est en fonction de l'origine du carbone contenu dans la molécule d'époxy.

2.2 Procédé de mise en œuvre du composite

Dans cette étude, différentes plaques de composites stratifiés de fibres naturelles de lin et de résine greenpoxy ont été fabriquées par un moulage sous vide connu par la technique dite « du sac ». Les couches ont été stratifiées manuellement à température ambiante (fig1). La procédure consiste à réaliser des stratifiés en déposant, alternativement, des couches de fibres longues de lin et des couches de résine liquide. Différents tissus de démoulage sont interposés de part et d'autre entre les moules et le composite : un tissu d'arrachage suivi d'un film plastique perforé. Ceci permet de faciliter le démoulage du composite, d'assurer l'homogénéité de l'absorption de la résine ainsi d'obtenir une surface bien plane du composite. La structure obtenue est introduite dans un sac sous vide sous dépression de 0.6 bar pendant au moins 6 heures jusqu'à la polymérisation totale de la résine. Les plaques stratifiées obtenues ont été démoulées après 24 heures. Ensuite, elles ont été découpées pour obtenir des éprouvettes d'essais bien dimensionnées pour les différents tests expérimentaux. Les plaques stratifiées ont été fabriquées avec 8 couches de manière à obtenir une épaisseur nominale totale de 4 mm. La fraction volumique a été estimée entre 38% et 45% pour toutes les éprouvettes. La porosité ou le vide dans le matériau a été calculée en comparant la densité mesurée du composite et sa densité théorique calculée à partir de la fraction volumique des fibres et celle de la matrice. Elle a été estimée entre 3 et 10%.

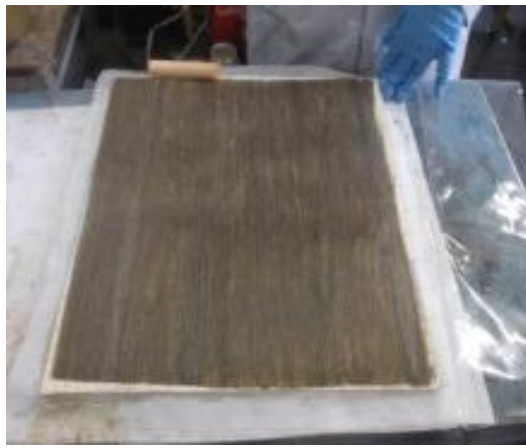


Figure1. Mise en œuvre des composites

3. Etude du comportement en traction du composite

3.1 Procédure expérimentale

Des essais de traction uni axiale ont été réalisés sur des éprouvettes unidirectionnelles $[0]_8$ avec des orientations de fibre de 0° par rapport à la direction de la traction ainsi que sur des stratifiés croisés $[0_2/90_2]_s$. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de dimensions $250 \times 25 \times 4 \text{ mm}^3$ selon la norme d'essai standard ASTM D3039 / D3039M, et ceci en utilisant une machine de traction hydraulique standard MTS de capacité de $\pm 100 \text{ KN}$. La machine est reliée à un ordinateur dédié pour le contrôle et l'acquisition de données.

3.2 Analyse des résultats

La figure 2 présente les résultats des courbes contrainte/déformation pour les deux stratifiés $[0]_8$ et $[0_2/90_2]_s$. Les résultats obtenus montrent que l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation se déroule en deux phases séparées par un coude. Ce point d'inflexion est bien visible sur les courbes contraintes/déformations, se produit pour un niveau de déformation très faible et entraîne une importante perte de rigidité. Il est caractérisé par une déformation très faible de l'ordre de 0.1%. La première zone linéaire permettant d'évaluer les caractéristiques élastiques du matériau, à la fin de laquelle une diminution importante de la rigidité est constatée. Ensuite commence une deuxième zone quasi linéaire jusqu'à la rupture qui est de type fragile. Ainsi, la non-linéarité observable à l'échelle du composite pourrait correspondre à celle mentionnée à l'échelle de la fibre. Ce comportement a été aussi observé dans l'étude effectuée au laboratoire par Monti et al. [9] pour des composites Lin/Hélium. En effet, ceci peut être attribué au comportement intrinsèque de la fibre naturelle de lin et plus précisément au comportement de la lignine et de la cellulose amorphe de la fibre à cause des contraintes de cisaillement dans les parois cellulaires [4].

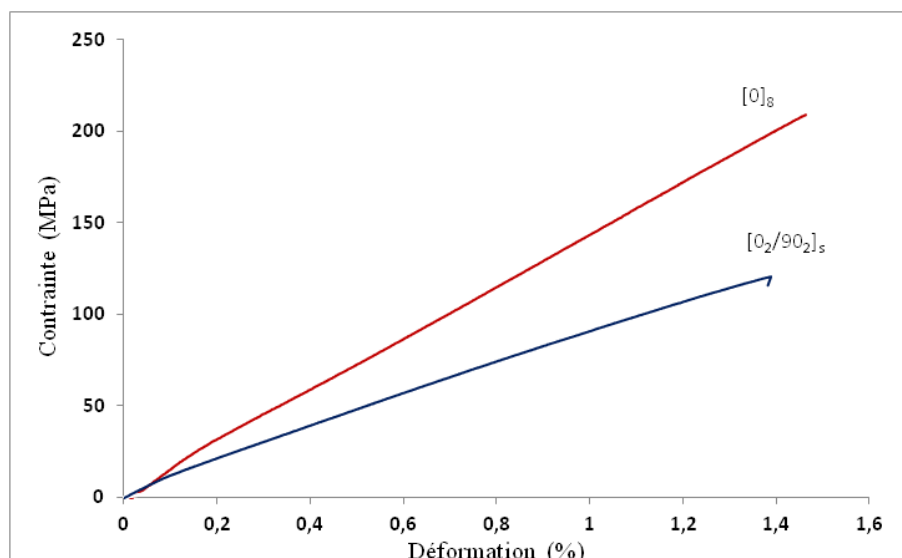


Figure 2. Courbes contrainte/déformation d'un composite lin greenpoxy

4. Analyse des mécanismes d'endommagement par émission acoustique

Afin de mettre en évidence les mécanismes d'endommagement qui apparaissent lors des essais de traction, les différents tests décrits précédemment ont été répétés, et le suivi de l'endommagement a été réalisé par émission acoustique. Les résultats trouvés ont été décrits en analysant la superposition des amplitudes des classes d'EA en fonction du temps avec l'évolution de la charge appliquée. Puis, la chronologie et l'apparition des événements des différentes classes ont été étudiées en suivant le nombre de coups cumulés en fonction du temps. Enfin, et afin de mettre en évidence la séparation ou le chevauchement entre les différentes classes, les signaux acoustiques ont été projetés dans le plan de deux composantes principales (ACP). Dans un premier temps, l'analyse a été effectuée sur des éprouvettes à fibres unidirectionnelles. La figure 3 présente les résultats de la classification pour une éprouvette du type $[0]_8$. Quatre classes (A, B, C et D) ont été obtenues. Les classes A, B et C apparaissent simultanément au cours de l'essai. Leurs apparitions coïncident avec le début de la deuxième phase (quasi-élastique) de la courbe de contrainte/temps, alors que les événements de la classe D apparaissent plus tard. Les classes A et B, qui possèdent des faibles amplitudes comprises entre 40 et 60 dB peuvent être attribuées respectivement à la décohésion fibre/matrice et à la fissuration matricielle. Les amplitudes de la classe C varient entre 55 et 75 dB. Cette classe correspond soit à un délaminage soit au déchaussement des fibres. La rupture de l'éprouvette a eu lieu après l'apparition des événements de la classe D. Ces événements présentent des amplitudes plus élevées que les trois autres qui varient entre 70 et 95 dB. Ainsi la classe D pourrait être attribuée à la rupture des fibres. Dans un second temps, l'analyse a été effectuée dans une configuration croisée $[0_2/90_2]_8$. La figure 4 présente les résultats obtenus de la classification des signaux acoustiques. On constate l'existence de quatre classes dans ce cas aussi. Les signaux de la classe A apparaissent très tôt. Leurs apparitions coïncident avec l'apparition du coude de la courbe contrainte/temps indiquant la fin de la première partie élastique. Elle possède les amplitudes les plus faibles, comprises entre 45 et 50 dB. Cette classe correspond donc à la fissuration matricielle. Les classes B et C apparaissent simultanément au cours de l'essai. Leur apparition a été détectée au début de la deuxième phase (quasi-élastique) de la courbe contrainte/temps. Les amplitudes des signaux de la classe B sont comprises entre 50 et 60 dB alors que celles de la classe C sont comprises entre 55 et 70 dB. D'après les travaux de Monti et al. [7], la classe B correspond à la décohésion fibre/matrice et la classe C correspond à un déchaussement des fibres. Les événements de la classe D apparaissent à la fin d'essai. Les amplitudes des signaux de cette classe possèdent les valeurs les plus élevées, comprises entre 70 et 95 dB. Ainsi cette classe est associée à la rupture des fibres.

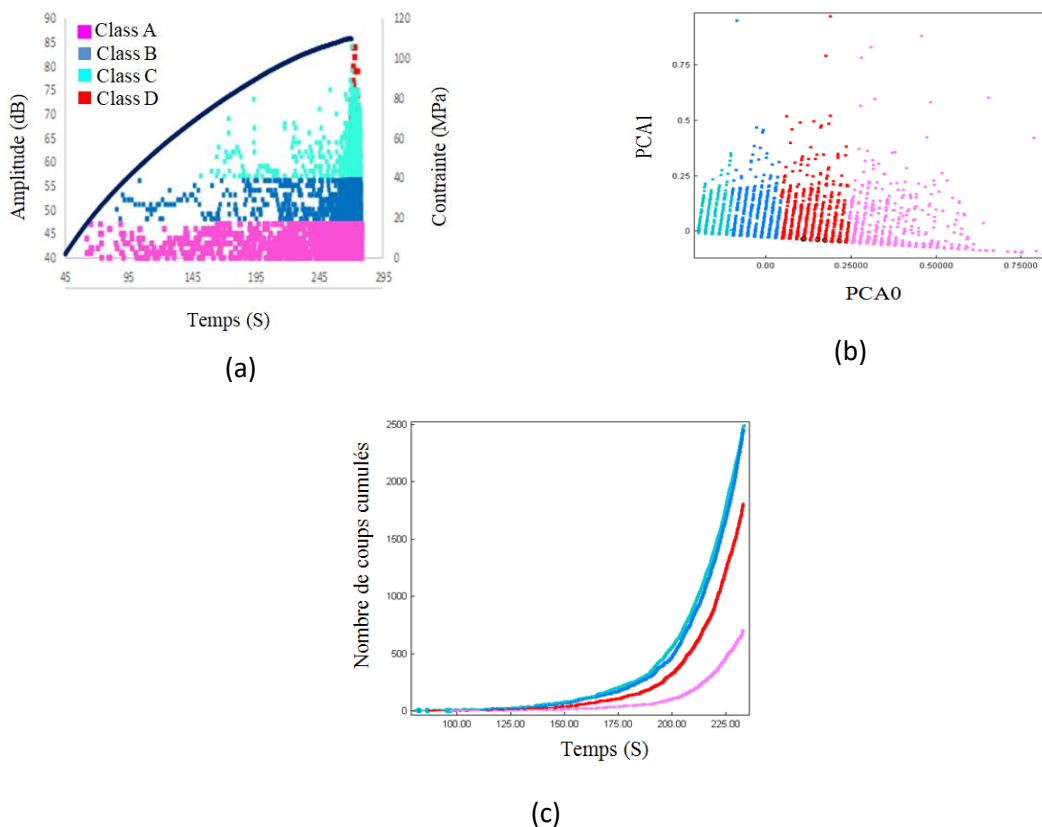


Figure 3. Analyse des données d'émission acoustique pour une éprouvette $[0]_8$: a) Amplitude/temps, b) Analyse en Composantes Principales et c) Chronologie d'apparition de différentes classes.

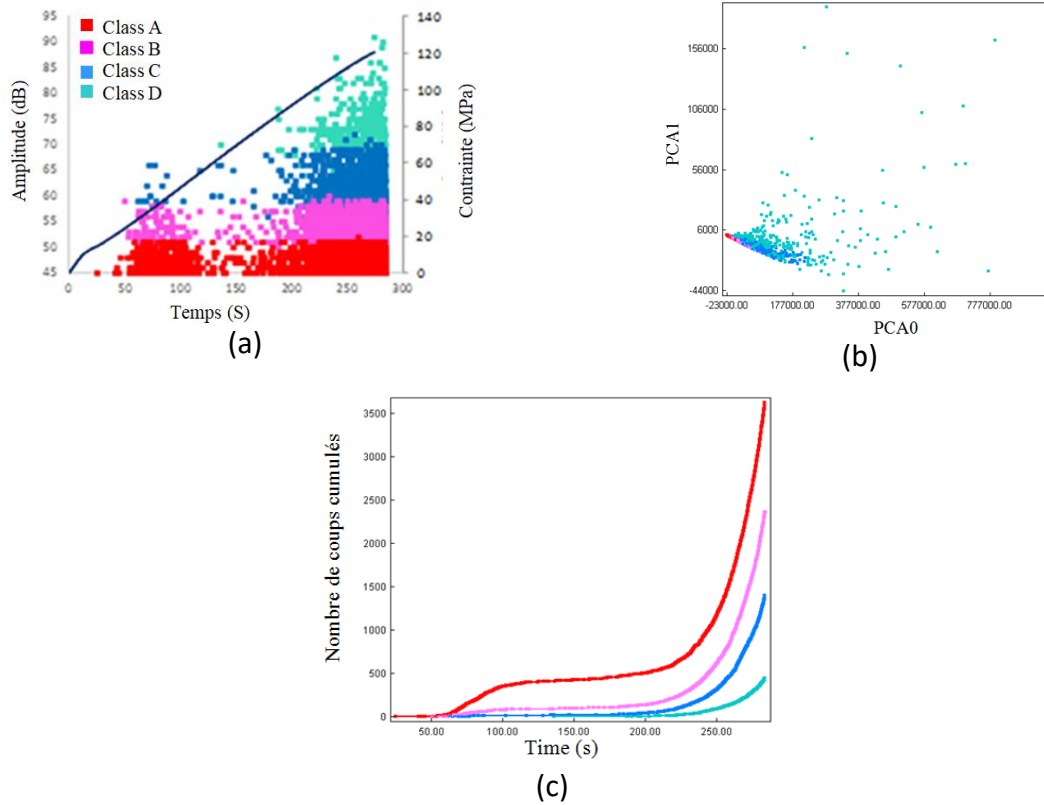


Figure 4. Analyse des données d'émission acoustique d'un composite croisé $[0_2/90_2]_s$: a) Amplitude/temps, b) Analyse en Composites Principales et c) Chronologie d'apparition de différentes classes

5. Conclusion

Le comportement mécanique en traction du composite lin/greenpoxy a été étudié. Des essais de traction uniaxiale ont été effectués sur des éprouvettes stratifiées unidirectionnelles et croisées. Ces essais ont été suivis par émission acoustique (EA) pour identifier et suivre l'évolution des différents mécanismes d'endommagement. Une approche de classification par la méthode des "k-moyens" a été utilisée. Quatre classes d'endommagement (fissuration matricielle, décohésion interfaciale fibre/matrice, déchaussement des fibres, et rupture des fibres) ont été observées pour les deux configurations. Les résultats ont montré que ces stratifiés possèdent des caractéristiques mécaniques élevées. Ils peuvent être utilisés en remplacement ou en complément dans le cas des applications utilisant des composites classiques renforcés par des fibres synthétiques comme les fibres de verre.

6. Bibliographie

- [1] O. Faruk, A. Bledzki, H. Fink et M. Sain, «Biocomposites reinforced with natural fibres: 2000-2010,» *Progress in polymer science*, vol. 37, pp. 1552-1596, 2012.
- [2] M. Aslan, «Investigation of damage mechanism of flax fibre LPET commingled composites by acoustic emission,» *Composites Part B*, vol. 54, pp. 289-297, 2013.
- [3] K. Charlet, C. Baley, C. Morvan, J. Jernot, M. Gomina et B. J., «Characteristics of Herme's flax fibres as a function of their location in the stem and properties of the derived unidirectional composites,» *Composites Part A*, vol. 38, pp. 1912-1921, 2007.
- [4] M. Khalfallah, B. Abbes, F. Abbes, Y. Guo, v. Marcel et A. Duval, «Innovative flax tapes reinforced Acrodur biocomposites: a new alternative for automotive applications,» *Mater Des*, vol. 64, pp. 116-126, 2014.
- [5] S. Masmoudi, «Comportement mécanique et caractérisation par implant piézoélectrique ultrasonore intégré d'un matériau composite,» Université de Maine, Le Mans, France, 2013.
- [6] A. El Mahi, I. Ben Salem, M. Assarar, R. Beraboui, C. Poilâne et R. El Guerjouma, «Analyse par émission acoustique de l'endommagement des matériaux composites,» chez CFA, France, 2010.
- [7] A. Monti, A. El Mahi, Z. Jendli et L. Guillaumat, «Mechanical behaviour and damage mechanisms analysis of a flax-fibre reinforced composite by acoustic emission,» *Composites, Part A*, vol. 90, pp. 100-110, 2016.
- [8] N. software, Advanced acoustic emission data analysis pattern recognition and neural networks software, 2004.
- [9] A. Monti, «Elaboration et caractérisation mécanique d'une structure sandwich à base de constituant naturels,» Université de Maine, Le Mans, France, 2017.