

# Caractérisation des bio-composites Jute/polyester par l'utilisation de la méthode Statistique de Weibull et l'analyse de variance ANOVA

Aziz SAAIDIA<sup>1</sup>, Abderrezak BEZAZI<sup>1</sup>, Ahmed BELBEH<sup>1</sup>, Hafida BOUCHELAGHEM<sup>2,1</sup>, Naziha ZANACHE<sup>3</sup>, Fabrizio SCARPA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM), Département de génie mécanique, Université 8 Mai 1945 Guelma, B.P.401 Guelma 24000 Algérie.

E-mail: saidia\_aziz@yahoo.fr ar\_bezazi@yahoo.com ahmedbelbah@gmail.com

<sup>2</sup>Université des frères Mantouri Constantine, département de Génie mécanique, route de Ain El Bey Constantine 25000, Algérie. Email : bouchelghem\_h@yahoo.fr

<sup>3</sup>Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique (LGCH), Université 8 Mai 1945 Guelma, B.P.401 Guelma 24000 Algérie. Email : zanachenaziha@yahoo.fr

<sup>4</sup>Department of Aerospace Engineering, University of Bristol, Queens Building, University Walk BS8 1TR Bristol UK. Email: f.scarpa@bris.ac.uk

## Résumé :

*Les composites à renfort en fibres naturelles sont d'un intérêt particulier pour les industriels tels que les constructeurs d'automobile et d'emballages qui cherchent à intégrer des nouveaux matériaux écologiques et biodégradables, dus à leurs propriétés mécaniques intéressantes, recyclage et faible coût de production. Dans ce contexte ce travail décrit le comportement en flexion trois points quasi statique des composites renforcés par un tissu en fibres de jute. Les valeurs de la contrainte et de la déformation à la rupture et du module d'élasticité des différents échantillons testés en flexion 3-points avec trois vitesses de chargement. Les résultats expérimentaux obtenus sont analysés statistiquement par Weibull à 2 paramètres et par l'analyse de variance, à un facteur, ANOVA.*

## Abstract :

*Natural fiber-reinforced composites are of particular interest for industrial such as automotive and packaging manufacturers looking to integrate new ecological and biodegradable materials, due to their interesting mechanical properties, recycling and low production cost. In this context this paper describes the behavior of the quasi-static of composites reinforced by woven jute fibers subjected to three points bending loading tests. The values of the stress and the strain at failure and the modulus of elasticity of the various samples tested under flexural loading with three loads speeds. The experimental results were statistically analyzed by two Weibull parameters, and by the analysis of variance ANOVA.*

**Mots clefs : Fibre naturelle, jute, flexion 3-points, Weibull, ANOVA.**

## 1 Introduction

Ces dernières années, la demande des marchés pour des produits plus respectueux de l'environnement sont de plus en plus demandés. Le développement de matériaux composites à base de fibres naturelles présente de nombreux avantages du fait de leur biodégradabilité, faible coût, faible masse volumique

et qu'elles sont dérivées d'une ressource naturelle renouvelable. Différents types de fibres végétales sont utilisées comme renfort dans des matériaux composites, telles que le sisal [1, 2], le lin [3], le jute [4- 6], le chanvre [7], le alfa [8] et d'autres fibres naturelles [9-13]. Ces fibres constituent par ailleurs une alternative intéressante pour remplacer les fibres synthétiques notamment les fibres de verre. En revanche, ces fibres présentent une non-uniformité dans leurs caractéristiques liée à leur origine (diamètre non constant de la fibre, longueur variable, angle micro-fibrillaire et son taux de cellulose), entraînant le plus souvent une dispersion de leurs propriétés mécaniques [14-15].

Les matériaux composites à base de jute font l'objet d'un certain nombre de travaux, Behera *et al* [16] ont étudié la biodégradabilité de deux bio-composites en jute tissé et non tissé avec une résine de soja par immersion dans de l'eau à température ambiante ainsi qu'à température d'ébullition. Les propriétés mécaniques ont été testées en traction et en flexion statique ensuite les échantillons ont été enterrés dans le sol pour évaluer leur biodégradabilité. Leur étude a montré une augmentation au niveau de la résistance et du module de traction du composite en jute non tissé. La perte de poids, l'analyse FTIR et la micrographie du composite après dégradation par le sol ont révélé que le composite dans sa nature est biodégradable. Cet avantage assure l'élimination sûre des déchets et permet donc la préservation de l'environnement.

L'influence des séquences d'empilement sur les propriétés mécaniques (traction, flexion et de cisaillement inter laminaire) des composites hybrides tissés non traités de jute/polyester a été étudiée expérimentalement par Sabeel *et al* [17]. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques du stratifié peuvent être améliorées par l'incorporation de la fibre de verre.

Récemment une série d'essais de choc à faible vitesse ont été effectuées par Dhakal, *et al* [18] en utilisant trois températures différentes (30, 50 et 75° C) et deux vitesses d'impact (1,5 et 2 m/s). Les résultats montrent que les composites en jute/UP présente la résistance la plus élevée lors des tests à 30° C. Les composites ont ensuite été soumis à des essais de flexion trois points, les résultats trouvés montrent que les propriétés mécaniques diminuent avec l'augmentation de la température de l'essai.

Ce travail concerne la caractérisation mécanique d'un matériau composite Jute/Polyester en flexion trois points avec trois vitesses d'essai différentes. Pour ce faire, les éprouvettes sont organisées en 3 séries de 6 échantillons chacune donc au total 18 échantillons bio-composites. Il est à noter que les résultats obtenus se caractérisent par une dispersion assez importante ce qui nécessite une étude statistique dont la méthode de Weibull à deux paramètres et l'analyse de variance Anova à un facteur ont été adoptées.

## 2 Techniques expérimentales

### 2.1 Elaboration des éprouvettes

Le composite étudié est un stratifié constitué d'un tissu bidirectionnel ayant une masse surfacique de 400g/m<sup>2</sup> et une résine polyester. Les stratifiés élaborés constitués par 3plis sont élaborés sous forme de plaques de dimensions 330 x 330 mm par la technique du moulage en sac (**Figure 1a**). Les bio-composites sont imprégnés à température ambiante, la résine est catalysée et durcie dans des proportions comprises entre 1 et 1,5 % en masse. L'ensemble reste dans le moule pendant 24 heures afin d'avoir une solidification totale de la résine. Ensuite les plaques stratifiées obtenues sont laissées à l'air libre pendant 7 jours (**Figure 1b**). Les plaques sont découpées en éprouvettes, dans le sens chaîne du tissu bidirectionnel, selon la norme ASTM D790- 03, à l'aide d'une tronçonneuse ayant un disque en diamant (**Figure 2a**). Les éprouvettes sont ensuite séchées à une température de 70°C dans une étuve pendant une durée de 4 heures.

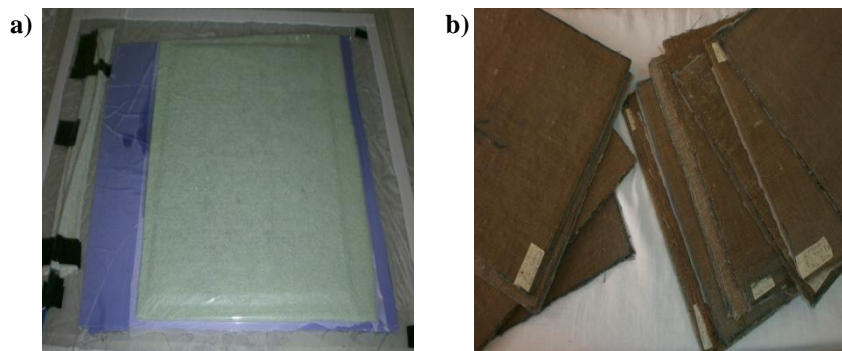


Figure 1: a) Préparation des plaques composite stratifiées par la technique du sac ;  
b) Plaques composites stratifiées obtenues après séchage.

## 2.2 Essai de flexion statique sur les bio-composites

Les essais de flexion 3-points sous un chargement monotone sont effectués sur une machine d'essai universelle type Zwick Z005 dotée d'un capteur de force de 5 kN et piloté par ordinateur doté d'un Logiciel appelé TestXpert V11.0. Les tests ont été effectués avec trois vitesses de chargement soit : 2, 5 et 8 mm/min.

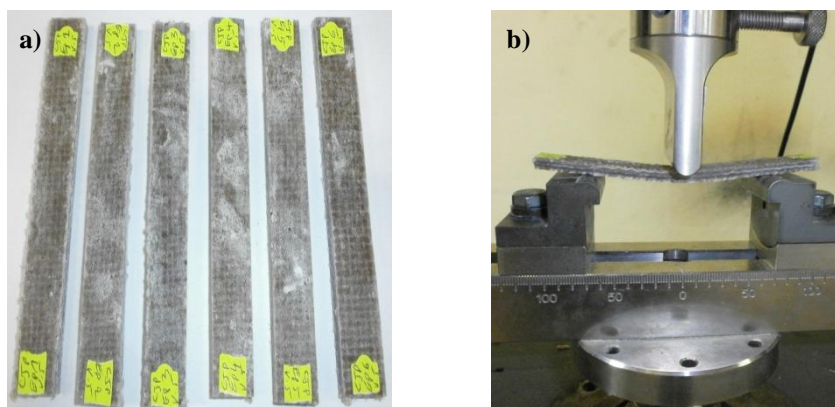


Figure 2 : a) Eprouvettes jute/polyester découpées ; b) Essais mécaniques : flexion 3-points.

## 3 Etude expérimentale

La figure 3 représente les courbes contrainte/déformation des essais de flexion 3-points du composite Jute/Polyester testé avec différentes vitesses de chargement (2, 5 et 8 mm/min). Il est à noter que l'allure des courbes est presque la même où la contrainte varie quasi linéairement avec l'augmentation de la déformation jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur maximale où la rupture est obtenue brutalement. L'analyse des résultats obtenus suite à la vitesse de chargement 2 mm/min (Figure 3b) a permis de signaler que la contrainte moyenne est égale à 54,79 MPa qui correspond à une déformation de 1,14 % (Tableau 1). La figure 3b illustre l'allure des courbes issues de la vitesse de chargement 5 mm/min, la contrainte moyenne est de l'ordre de 59,89 MPa avec une déformation correspondante de 1,26 %. Enfin, pour la vitesse de chargement de 8 mm/min, la contrainte moyenne notée est de 56,34 MPa équivalente à une déformation de 1,10% (Figure 3c).

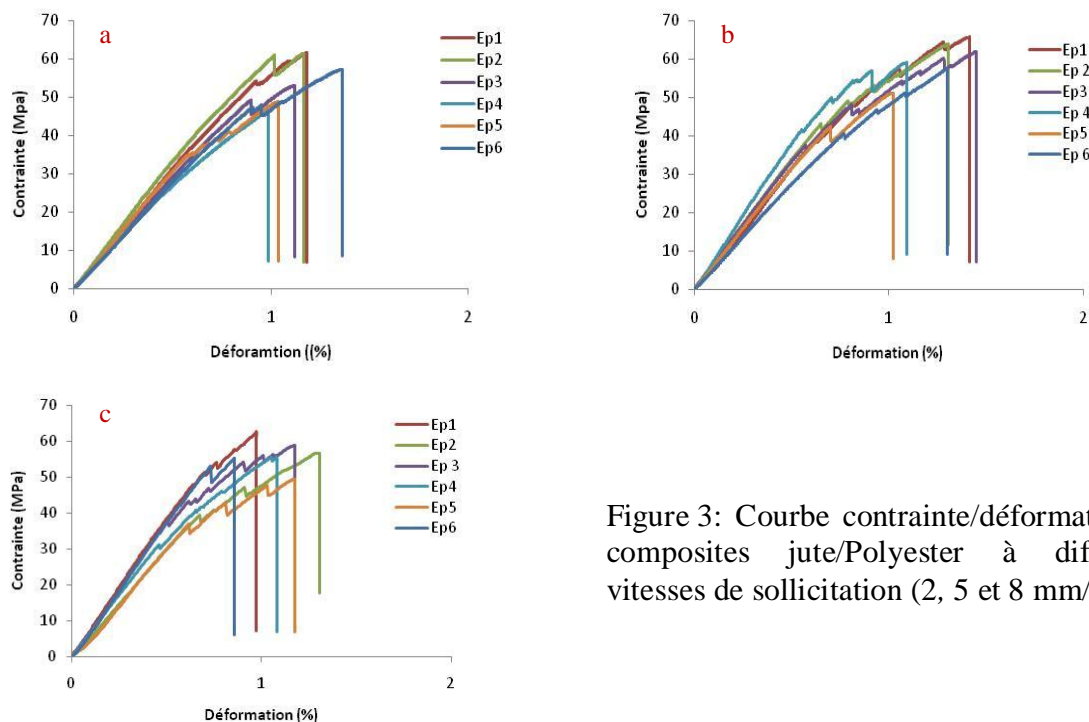


Figure 3: Courbe contrainte/déformation des composites jute/Polyester à différentes vitesses de sollicitation (2, 5 et 8 mm/min).

Le tableau 1, montre les variations des valeurs moyennes des propriétés mécaniques (Contraite, déformation et module d'élasticité) en fonction de l'augmentation de la vitesse de chargement. Les caractéristiques mécaniques (contraite, déformation et module de Young) les plus élevées sont obtenues dans le cas d'une vitesse de chargement de 5 mm/min. En augmentant la vitesse de à 8 mm/min ces dernières ont diminué de 13 % pour le cas de la déformation, de 6 % pour le cas de la contraite et de 49 % pour le cas du module d'élasticité.

**Tableau 1** : Valeurs moyennes des propriétés mécaniques des composites sollicités avec différentes vitesses de chargement.

Résultats expérimentaux			
Vitesse	Contraite $\sigma$ (MPa)	Déformation $\varepsilon$ (%)	Module E (MPa)
2 mm/min	54,79 $\pm$ 6,36	1,14 $\pm$ 0,13	5293,07 $\pm$ 368
5 mm/min	59,89 $\pm$ 5,22	1,26 $\pm$ 0,17	5788,50 $\pm$ 581
8 mm/min	56,34 $\pm$ 4,37	1,10 $\pm$ 0,16	2835,17 $\pm$ 436

## 4 Etude statistique

### 4.1 Weibull à deux paramètres ( $m$ , $\sigma_0$ ).

La caractérisation expérimentale du composite jute/Polyester montre une dispersion au niveau des propriétés mécaniques à savoir la contraite et la déformation à la rupture et le module d'élasticité qui peut se traduire par une mauvaise évaluation des ces propriétés. Cette dispersion nécessite donc une analyse statistique, d'où l'application de la théorie de Weibull à 2-paramètres traitée par le logiciel Minitab version 16.

La distribution de Weibull est utilisée dans plusieurs domaines d'analyse de données statistiques, grâce à sa flexibilité. La figure 4 illustre la distribution de Weibull à 2 paramètres des propriétés mécaniques issues des résultats expérimentaux. On remarque que les points des résultats expérimentaux ne sont pas éloignés de la droite de Weibull. Le module ( $m$ ) et la contraite caractéristique ( $\sigma_0$ ) de Weibull à

deux paramètres pour la vitesse de chargement 2 mm/min sont respectivement de 10,52 et 57,3 MPa, alors que pour la vitesse de charge 5 mm/min, on trouve  $m$  égal à 13,39 et  $\sigma_0 = 62,12$  MPa. Enfin, pour la vitesse de chargement de 8 mm/min, elles sont respectivement 15,59 et 58,15 MPa. Il est à noter que la distribution de Weibull à deux paramètres a permis de donner des valeurs des propriétés mécaniques proches aux valeurs moyennes obtenues expérimentalement. Les valeurs de différents paramètres obtenus sont présentées dans le tableau 2.

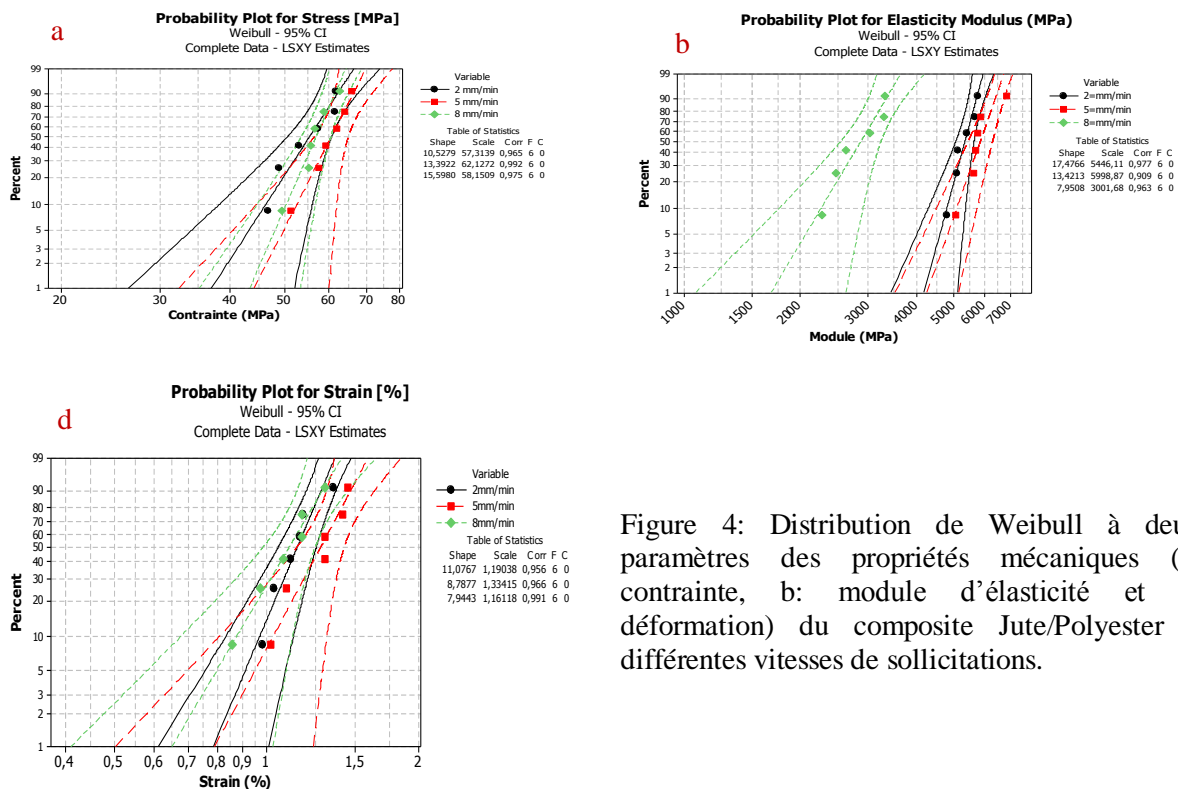


Figure 4: Distribution de Weibull à deux paramètres des propriétés mécaniques (a: contrainte, b: module d'élasticité et c: déformation) du composite Jute/Polyester à différentes vitesses de sollicitations.

**Tableau 2** : Valeurs moyennes de Weibull des propriétés mécaniques à différentes vitesses de chargement

Weibull à 2 paramètres (Contrainte, module d'élasticité et déformation)					
$m$	$\sigma_0$	$m$	$E_0$	$m$	$\varepsilon_0$
10,52	57,31	17,47	5446,11	11,07	1,19
13,39	62,12	13,42	5998,87	8,78	1,33
15,59	58,15	7,95	3001,68	7,94	1,16

## 4.2 Analyse de variance ANOVA

L'analyse de variance ANOVA à un facteur pour les modules d'élasticités issus des tests mécaniques à différentes vitesses de chargement a donné une valeur de  $p$  égale à 0,000 qui est largement inférieure au niveau de signification (0,05) et aussi le module de Fisher  $F = 67,78$  est supérieur à  $F_{cr} = 3,68$  donc l'hypothèse nulle est rejetée. Dans le tableau 3 de l'ANOVA, la valeur de  $p$  fournit suffisamment de preuves indiquant que la variation des vitesses de chargement influe énormément sur les propriétés mécaniques.

**Tableau 3:** Analyse de variance du module d'élasticité (MPa) en fonction de la Vitesse (mm/min)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité
Entre groupes	30017834,1	2	15008917,1	67,7814236	0,00000003
A l'intérieur des groupes	3321466,92	15	221431,128		
Total	33339301	17			

Les diagrammes des valeurs individuelles (figures 5) indiquent que les valeurs moyennes des contraintes, des déformations et des modules d'élasticité sont différentes pour les différentes vitesses de chargement. Par comparaison des trois vitesses de chargement, la vitesse 5 mm/min a donné les caractéristiques mécaniques (contrainte, la déformation et le module d'élasticité) les plus élevées (59,89 MPa, 1,26 % et 5788,51 MPa) et ceci est en bonne concordance avec les résultats obtenus expérimentalement.

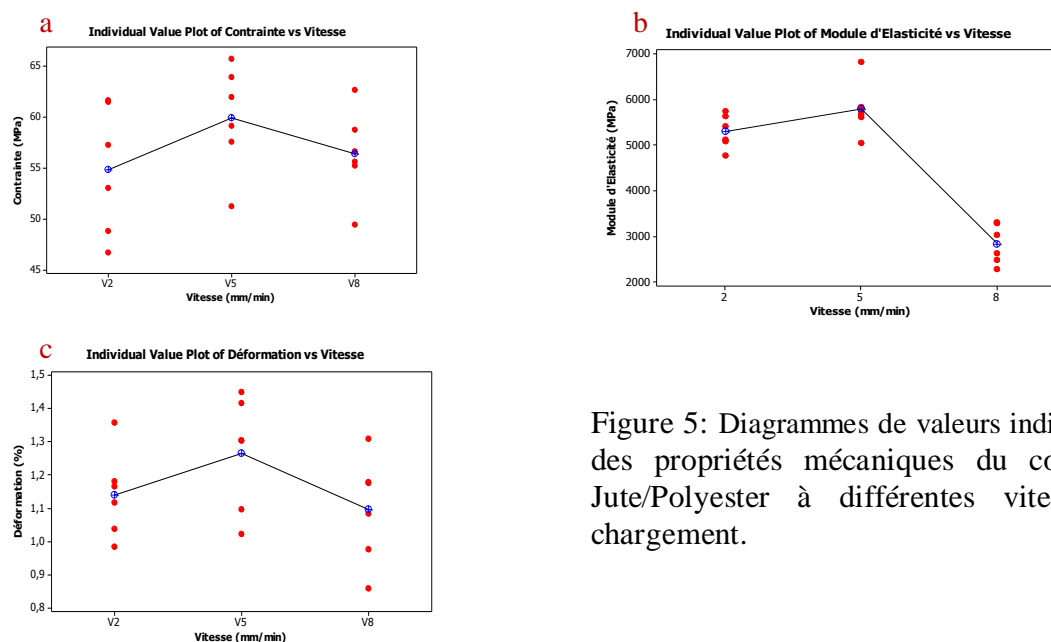


Figure 5: Diagrammes de valeurs individuelles des propriétés mécaniques du composite Jute/Polyester à différentes vitesses de chargement.

Les diagrammes de valeurs résiduelles (Figure 6) sont destinés à vérifier les hypothèses statistiques. Le diagramme de la non-normalité (figure 6a) montre une ligne à peu près droite (droite de Henry) signifie que les valeurs résiduelles sont réparties normalement.

Les valeurs résiduelles en fonction des valeurs ajustées (Figure 6b) ont montré des répartitions de manière aléatoire autour de zéro. L'histogramme des valeurs résiduelles de la figure 6c a permis de repérer les pics multiples ainsi que les valeurs aberrantes et la non-normalité.

Les valeurs résiduelles en fonction de l'ordre d'observation permettant de repérer la dépendance chronologique des valeurs résiduelles, ont présenté une structure aléatoire (Figure 6d).

Les graphiques des valeurs résiduelles n'indiquent aucune contradiction des hypothèses statistiques. Le modèle ANOVA à un facteur contrôlé s'ajuste aux données.

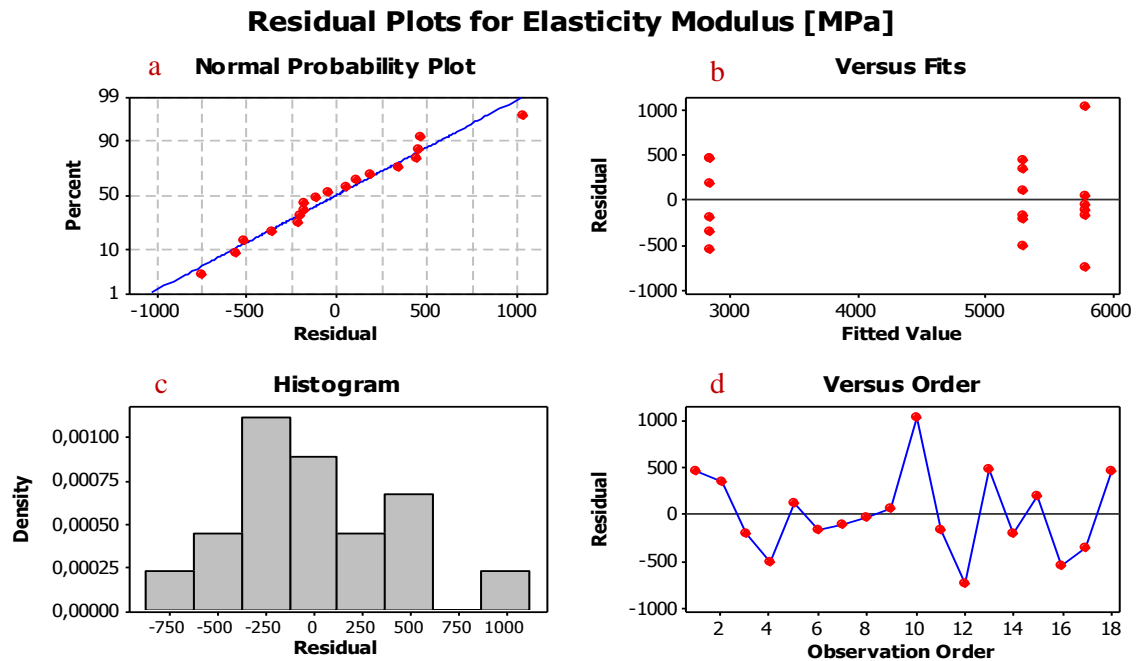


Figure 6 : Courbes des valeurs résiduelles du module d'élasticité.

## V. Conclusions

L'objectif de ce travail était la caractérisation d'un matériau composite jute/polyester. Le comportement mécanique du composite a été testé en flexion 3-points à différentes vitesses de chargement (2, 5 et 8 mm/min). Cette étude a permis de conclure les points suivants :

- Les propriétés mécaniques (contraintes et déformation à la rupture et le module d'élasticité) du matériau varient en fonction de la vitesse de chargement ;
- Le meilleur résultat des propriétés mécaniques a été observé où la vitesse de chargement est égale à 5 mm/min ;
- Une diminution considérable d'environ 46 % du module d'élasticité est noté pour la vitesse de chargement 8 mm/min ;
- La loi de Weibull à 2 paramètres a permis de donner des valeurs de la contrainte et de la déformation à la rupture et du module d'élasticité, proches de ceux obtenus expérimentalement ;
- L'analyse de variance, ANOVA a donné le meilleur comportement mécanique notamment la contrainte, la déformation et le module d'élasticité pour la vitesse 5 mm/min de chargement et ceci est en bonne concordance avec les résultats obtenus expérimentalement.

## Références

- [1] A. Belaadi, A. Bezazi, M. Bouchak, F. Scarpa, Tensile static and fatigue behaviour of sisal fiber, *Mater Desig*, 46 (2013) 76–83.
- [2] O S David-West, W M Banks, and R A Pethrick, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Materials Design and Applications*, 225 (2011) 3: pp. 133-148.
- [3] C. BALEY, Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase, *Applied Science and Manufacturing*, 33 (2002) 939-948.
- [4] A. Roy, S. Chakraborty, S. Prasad Kundu, R. Kumar Basak, S. Basu Majumder, B. Adhikari, Improvement in mechanical properties of jute fibres through mild alkali treatment as demonstrated by utilisation of the Weibull distribution model, *Bioresource Technology* 107 (2012) 222-228.



- [5] A. Memon, A. Nakai, Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Tubular Braided Composite by Pultrusion Molding, *Energy Procedia* 34 ( 2013 ) 818 - 829.
- [6] A. MIR., R. Zitoune, F.Collombet, & B.Bezzazi, Study of mechanical and thermomechanical properties of jute/epoxy composite laminate, *Journal of Reinforced plastics and composites*, 29 (2010), 1669-1680.
- [7] G.W. Beckermann, K.L. Pickering, Engineering and evaluation of hemp fibre reinforced polypropylene composites: Micro-mechanics and strength prediction modelling *Composites: Part A* 40 (2009) 210-217.
- [8] A.Benyahia, & A.Merrouche, Effect of Chemical Surface Modifications on the Properties of Alfa Fiber-Polyester Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53 (2014) 403-410.
- [9] A. Elsaid, M. Dawood , R. Seracino , C. Bobko, Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 1991-2001.
- [10] A.N. Benítez , M.D. Monzón , I. Angulo , Z. Ortega , P.M. Hernández , M.D. Marrero, Treatment of banana fiber for use in the reinforcement of polymeric matrices *Measurement* 46 (2013) 1065-1073.
- [11] R. Chollakup, W. Smitthipong, W. Kongtud, R. Tantatherdtam, Polyethylene green composites reinforced with cellulose fibers (coir and palm fibers): effect of fiber surface treatment and fiber content *Journal of Adhesion Science and Technology* (2012) 1-11.
- [12] S. Amroune, A. Bezazi, A. Belaadi, C. Zhu, F. Scarpa, S. Rahatekar, & A.Imad,. Tensile mechanical properties and surface chemical sensitivity of technical fibres from date palm fruit branches (*Phoenix dactylifera* L.), *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 71 (2015) 95-106.
- [13] D. Rosa, I. M. Kenny, J. M. D.Puglia, C. Santulli, & F.Sarasini, Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites, *Composites Science and Technology*, 70 (2010) 116-122.
- [14] J. Lin, L. Yu, F. Tian, N. Zhao, X. Li, F. Bian, J. Wang, Cellulose nanofibrils aerogels generated from jute fibers, *Carbohydrate Polymers*, 109 (2014) 35-43
- [15] R. Codispoti, DV. Oliveira, RS. Olivito, PB. Lourenço, R. Fanguero, Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry, *Composites Part B* (2015).03.021.
- [16] A. K. Behera, S. Avancha, R. K. Basak, R. Sen, B. Adhikari, Fabrication and characterizations of biodegradable jute reinforced soy based green composites, *Carbohydrate Polymers* 88 (2012) 329-335
- [17] Ahmed, K. Sabeel, and S. Vijayarangan, Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites, *Journal of materials processing technology* 207.1 (2008) 330-335.
- [18] H. N.Dhokal, V.Arumugam, A.Aswinraj, C. Santulli, Z. Y.Zhang, & A. Lopez-Arraiza, Influence of temperature and impact velocity on the impact response of jute /UP composites. *Polymer Testing*, 35 (2014) 10-19.