



HAL
open science

Caractérisation mécanique et thermomécanique d'un stratifié Jute/époxy = Mechanical and thermomechanical characterization of jute/epoxy laminate

Abdallah Mir, Redouane Zitoune, Francis Collombet, Boudjema Bezzazi

► **To cite this version:**

Abdallah Mir, Redouane Zitoune, Francis Collombet, Boudjema Bezzazi. Caractérisation mécanique et thermomécanique d'un stratifié Jute/époxy = Mechanical and thermomechanical characterization of jute/epoxy laminate. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 10 p. hal-00389086

HAL Id: hal-00389086

<https://hal.science/hal-00389086>

Submitted on 11 Jun 2009

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.

Caractérisation mécanique et thermomécanique d'un stratifié Jute/époxy

Mechanical and thermomechanical characterization of jute/epoxy laminate

Abdallah MIR^{1,2}, Redouane ZITOUNE¹, Francis COLLOMBET¹, Boudjema BEZZAZI²

1 : LGMT (Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse), Université de Toulouse ; INSA, UPS ;
133c, avenue de Rangueil, F-31077 Toulouse, France.

abdellah.mir@iut-tlse3.fr, redouane.zitoune@iut-tlse3.fr, francis.collombet@iut-tlse3.fr

2 : LMMC (Laboratoire des Matériaux Minéraux et Composites), Université M'hamed Bougara ;
Avenue de l'Indépendance, 35000 Boumerdes, Algérie.

bbezzazi@yahoo.fr

Résumé

Nous proposons dans ce papier l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériau composite (stratifié) à base de renfort en fibres naturelles de type jute. Une première caractérisation d'ordre thermique concernant le renfort naturel (tissu sec) montre l'influence de la température sur le comportement mécanique du tissu, à 180°C le jute perd 50% de ses caractéristiques mécaniques. Le stratifié obtenu par infusion est polymérisé à une température inférieure à celle qui affecte les propriétés mécaniques du tissu sec. Les essais de mesure de champ par stéréocorrélation d'image numérique effectués sur des éprouvettes stratifiées jute/époxy (sens chaîne et trame) sollicitées en traction, montrent la présence d'un gradient de déformation non négligeable. Ce gradient s'explique par la variabilité liée au taux volumique local des fibres de jute d'un endroit à l'autre. Les essais mécaniques de type flexion trois points effectués sur des échantillons jute/époxy dans les sens chaîne et trame mettent en évidence une augmentation de 10% de la contrainte de rupture dans le sens trame. Les essais thermomécaniques réalisés montrent que les coefficients de dilatation thermique sens long et sens travers sont influencés par cette variabilité. Les essais de type thermogravimétriques, montrent que ce stratifié absorbe jusqu'à 4% d'eau après 8h dans une enceinte climatique avec un taux d'humidité de 70%.

Abstract

In this paper, development and characterization of new laminated composite material containing natural fibre reinforcement (jute) is proposed. Thermal characterization of natural jute fabric reinforcement shows the influence of the temperature on the mechanical behaviour, at 180°C the jute fabric loses 50% of its mechanical characteristics. The laminate prepared by infusion process is polymerized at a temperature lower than that which affects the mechanical properties of dry fabric. The field measurements using digital image correlation carried out on laminated jute/epoxy specimens (in weft and warp direction) obtained in tension; show the presence of considerable gradient of deformation. This gradient is explained by the variability related to the local voluminal rate of jute fibres from one place to another. The three point bending test carried out on jute/epoxy samples in the warp and weft directions and screen highlight an increase of 10% of the breaking stress in the direction of weaves. The thermomechanical tests carried out show that the coefficients of thermal expansion in longitudinal and transverse directions are influenced by this variability. Thermogravimetric test shows that the laminate absorbs 4% water during 8 hours of test in a climatic chamber with 70% of moisture.

Mots Clés : stratifié, jute, fibres naturelles.

Keywords : laminate, jute, natural fiber.

1. Introduction

Les matériaux eux-mêmes nous affectent peu, c'est la façon dont nous les utilisons qui influence notre vie, en effet, le développement et les changements rapides des produits, des pratiques technologiques et industrielles sont accompagnés par de nouvelles générations de matériaux. Parmi ces matériaux, les composites ne cessent d'évoluer vers des produits qui sont, soit le moins coûteux possible, soit le plus performant ou bien les deux à la fois. De plus, dans un souci de protection de l'environnement et de santé publique, les composites tendent à intégrer un caractère écologique. L'utilisation des matériaux naturels disponibles en Algérie pour le développement de l'industrie des composites est un élément clef, notamment pour répondre aux besoins de l'habitat. Notre étude porte sur l'utilisation d'une fibre naturelle (le jute) pour la réalisation d'un stratifié. 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 [1]. De plus, le jute importé à l'état brut est traité, filé et tissé en Algérie, il est disponible et à faible coût.

Les travaux menés par [2], montrent que les propriétés des fibres naturelles changent considérablement, cette variabilité prend naissance à partir de leurs récoltes par l'identification de l'aspect physiologique et biochimique sur les espèces de récoltes de la tige de jute [3]. Khöler et al [4] montrent que la variabilité génétique de la fibre de jute est liée à la nature même du jute. Un des principaux problèmes dans la fabrication du tissu de jute réside dans l'optimisation du filé à utiliser, en effet, l'optimisation du processus d'ouverture de fibre est importante pour obtenir des fibres de bonnes propriétés mécaniques [5,6]. Le comportement de la fibre de jute est gouverné par deux paramètres la réorientation suivant l'axe de sollicitation des fibrilles et le glissement de celles-ci les unes par rapport aux autres [7-9]. Hearle et al [10] montrent que l'angle microfibrillaire caractérisant le jute est influencé par le pourcentage de cellulose dans le jute (61% à 71%). Les travaux de [5] montrent que cet angle microfibrillaire généralement de l'ordre de 8° influe sur le comportement mécanique du jute, plus l'angle microfibrillaire est faible et plus la rigidité et la résistance de la fibre sont élevées ; plus l'angle microfibrillaire est important et plus l'allongement à rupture est important. Pour l'amélioration des caractéristiques mécaniques du jute, ainsi que son comportement en milieu humide, plusieurs travaux se sont intéressés aux traitements de surface du jute [11-20]. Ces traitements qui modifient l'interphase produisent également les changements morphologiques en fonction de celle-ci [12, 21]. Ils sont réalisés à base d'alcaline, de silane ou d'alcaline et de silane [12-18], l'hémicellulose et la lignine contenues dans la fibre de jute sont solubles dans une solution alcaline, elles vont se dissoudre pendant le processus de traitement alcalin ce qui va provoquer une diminution de la masse des fibres. D'autres traitements se font sous rayonnement UV présentent une augmentation de 58% à la résistance à la flexion [19, 20, 22]. Le mode rupture du renfort dans le stratifié diffère grâce aux traitements des fibres, la rupture des fibres non traitées est nette, par contre, celle des fibres traitées au silane est moins nette grâce à la cohésion des fibrilles [41].

Les plaques stratifiées à base de jute font l'objet d'un certain nombre de travaux. Les matrices les plus utilisées sont les thermoplastiques tels que le polyéthylène (PE) [23,24], le polypropylène (PP) [25, 26], le polystyrène (PS) [27,28], le polychlorure de vinyle (PVC) [29,30] et le polyester [31, 32, 36] pour des raisons économiques. Le choix d'une résine polymère structurale ne pose pas de problème d'approvisionnement mais constitue un frein à la recyclabilité de l'ensemble. Cependant, les résines labellisées écologiques ou naturelles ne répondent pas au cahier des charges du produit final de la raison des faibles propriétés mécaniques qui les caractérisent. De plus, elles sont rigides et cassantes comme la polylactone, PLA avec le jute [33], se dissolvent dans l'eau comme le polysaccharose naturel, TPS [34]. De plus, la migration de l'eau dans la résine peut mener à une perturbation de l'interface fibre/matrice [35]. L'influence des séquences d'empilement sur les propriétés mécaniques (traction, flexion et de cisaillement interlaminaire) des composites hybrides tissés non traités de jute/polyester a été étudiée expérimentalement par Sabeel et al [31]. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques du stratifié peuvent être améliorées par l'incorporation de fibre de verre. Les essais d'absorption d'eau réalisés sur un matériau composite à base de renfort en jute-fibre de verre et d'une résine polyester isophthalique par Sabeel [32] montrent que l'absorption d'eau diminue avec l'augmentation du taux massique des fibres de verre dans le matériau. Ceci s'explique par le fait, que les fibres de verre imperméables agissent en tant que barrières et empêchent le contact direct entre le jute et l'eau [32, 28]. Les travaux d'Alvarez et al [36] montrent que les études relatives à la dégradation thermique du composite de type jute/vinylester sont encore limitées pour ces matériaux, et ceci, en dépit de leur développement dans le domaine de l'automobile.

Dans l'attente d'une résine écologique plus performante, notre choix s'est porté sur une résine therm durcissable de type époxy. 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. Le comportement mécanique du jute sec est important dans la mesure où la température de polymérisation des résines risque de se faire à des valeurs qui peuvent altérer les caractéristiques mécaniques du jute. Pour cela, des essais de traction sont réalisés sur des

échantillons de tissu de jute sec portés à différents niveaux de températures. Le but ici est de voir l'influence de la température de chauffage sur la contrainte à la rupture du tissu de jute sec. Dans le deuxième volet, nous avons effectué une identification des propriétés mécaniques et thermomécaniques du stratifié jute/époxy. Dans un premier temps, nous avons identifié les propriétés mécaniques du stratifié jute/époxy. Des essais mécaniques de type traction, cisaillement et flexion sont réalisés sur des éprouvettes normalisées. Pour les essais de traction, les éprouvettes sont instrumentées en surface par des jauges d'extensométrie et un mouchetis aléatoire utilisé pour la mesure du champ de déformation par stéréocorrélation d'image numérique. Une comparaison entre ces deux méthodes de mesures est effectuée. Ensuite une analyse dilatométrique (TMA) est effectuée pour l'identification des coefficients de dilatation thermique dans les sens chaîne et trame. L'analyse des échantillons en thermogravimétrie (TGA) est effectuée en atmosphère contrôlée, elle nous montre une variation importante de masse du jute/époxy due au pouvoir d'absorption du stratifié.

2. Procédure expérimentale

2.1. Essais mécaniques

Les essais de traction menés sur les échantillons de jute tissé et sur les stratifiés jute/époxy sont réalisés sur une machine d'essais de type Instron dotée d'un capteur de 10 kN avec une vitesse d'essai de 2 mm/min. Dans le sens chaîne comme dans le sens trame, les échantillons sont découpés de deux manières différentes, certains échantillons sont découpés cote à cote (1, 2, 3 ...) d'autres sont découpés suivant le prolongement des fils (1, 7, 13,...) figure 1.

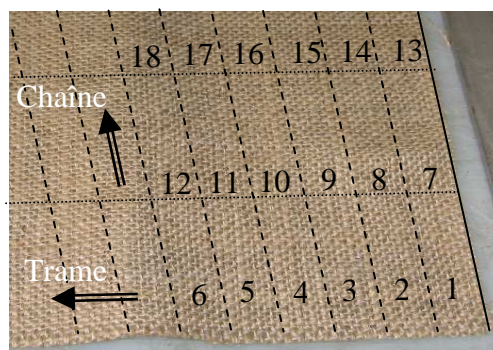


Fig. 1. Découpe de jute dans le sens chaîne.

L'élaboration du stratifié jute/époxy est réalisée par la méthode dite 'par infusion', le tissu est préparé et découpé aux dimensions 300x300 mm, les séquences d'empilements étudiées sont de type $[0^{\circ}]_S$, $[90^{\circ}]_S$, $[+45^{\circ}/-45^{\circ}]_S$. Les plaques de stratifié jute/époxy sont découpées avec une scie en diamant suivant la norme NF EN ISO 527-1.

Pour l'identification des propriétés mécaniques (modules d'Young, coefficients de Poisson et contraintes de rupture dans les sens chaîne et trame), des essais de traction et de cisaillement sont réalisés suivant la norme EN ISO 527-5. Ces essais sont réalisés en utilisant des mors hydrauliques avec une pression de 4 bars et une vitesse d'essai de 2 mm/mn.

Pour la mesure de la déformation, les éprouvettes sont instrumentées en surface par jauges électriques de longueur 25 mm. Les jauges d'extensomètre, sont connectées sur un pont de jauges de type Strainsmart de Vishay. Les échantillons soumis aux essais de traction dans les deux sens et munis de jauges électriques disposent d'un mouchetis aléatoire pour réaliser des mesures de champ par stéréocorrélation d'images numériques. Deux caméras numériques sont disposées pour l'acquisition des images et un logiciel d'analyse de type VIC3D permet le calcul des déformations (figure 2 (a)).

Les essais de flexion trois points sont effectués selon la norme NF EN ISO 14125 sur des stratifiés orientés dans la direction chaîne et trame (figure 2 (b)). La contrainte maximale en flexion trois points est donnée par (eq. 1) avec F_{max} la force maximale de rupture (N), L la distance entre appuis (mm), b et h sont respectivement la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette (mm). Cinq échantillons sont testés dans les deux sens (chaîne et trame). Le module de flexion est donné par (eq. 2) avec λ flèche (mm).

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \times F_{\max} \times L}{bh^2} \quad (\text{eq. 1})$$

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3 \lambda} \quad (\text{eq. 2})$$

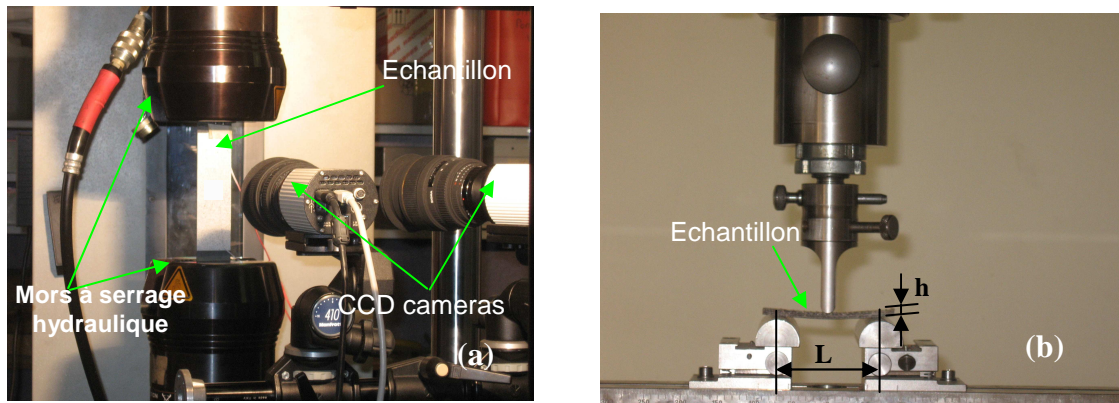


Fig. 2. Essais mécaniques : (a) Traction, (b) Flexion 3 points.

2.3 Analyse thermomécanique (TMA)

Les analyses thermiques sont effectuées sur deux types d'échantillons de dimensions 4 x 2.5 x 8 mm qui sont débités respectivement suivant le sens chaîne et le sens trame. Ces essais sont réalisés grâce à un appareil d'analyse thermique de type TMA7. Le cycle thermique imposé démarre de 20°C jusqu'à 100°C avec un palier de 10 minutes à 100°C, ensuite une descente jusqu'à la température ambiante. La vitesse de montée et de descente est fixée à 5°C /min.

2.4 Analyse thermogravimétrique (TGA)

Les analyses thermogravimétriques effectuées en atmosphère contrôlée sont réalisées sur 3 échantillons débités dans la direction chaîne de dimensions 3x2.5x6mm. Avant l'analyse thermogravimétrique, les échantillons sont placés dans une enceinte climatique pour des durées différentes avec un taux d'humidité contrôlé à 70%. Le premier échantillon reste 2 heures dans l'enceinte climatique, le deuxième 8 heures et le troisième 24 heures. Le cycle thermique imposé aux échantillons à leur sortie de l'enceinte climatique est le suivant : une montée de 20°C à 100°C puis un palier à 100°C pendant 100 min, ensuite une descente à la température ambiante. La vitesse de montée et de descente est de 5°C /min.

3. Résultats et discussions

3.1 Jute

Le comportement mécanique des renforts tissés utilisés dans les composites est fortement influencé par le tissage des mèches chaîne et trame. Sous tension, la mèche tend à devenir droite, ce qui modifie l'ondulation dans la direction de la traction, mais également dans la direction transverse, ce phénomène biaxial est amplifié par l'écrasement des mèches compte tenu du tissage [6], ce comportement en traction est non linéaire en raison des liaisons et des ondulations entre les deux réseaux qui conduisent à des non linéarités géométriques locales [26]. Dans un premier temps, nous mettons en évidence deux facteurs qui gouvernent le comportement mécanique du tissu jute : la manière de découper les échantillons (influence des fils constituant la chaîne sur le comportement du jute), et l'influence de la température sur le jute. En ce qui concerne la découpe, les échantillons découpés côte à côte dans le sens trame (1, 2,...,6) figure 4 ont une certaine variabilité dans le comportement mécanique en traction bien qu'ils ont la même largeur et par conséquent le même nombre de fils, cette variabilité propre au jute et à son mode de tissage est déjà traitée en introduction. Par contre, les échantillons découpés dans le prolongement du sens chaîne (1, 7, 13,...) se

comportent mieux, en fait nous sommes en présence des mêmes fils (en prolongement) dans les échantillons (figure 1).

Les essais de traction effectués sur les échantillons de jute montrent l'influence de la température sur le comportement mécanique du jute (figure 3). Deux zones distinctes se présentent : une zone de stabilité thermique allant de la température ambiante (20°C) jusqu'à 150°C avec une variation de la contrainte max de 10.8 à 12.2 MPa, et une zone de dégradation thermique à partir de 150°C jusqu'à la température de carbonisation du jute. A la température de 180°C, la contrainte de rupture chute de 63% de sa valeur initiale pour atteindre 5.3 MPa, le jute alors change de couleur (de marron clair à marron foncé) et les fils constituant le tissu sont figés entre eux. Cette contrainte thermique est déterminante dans le choix de la résine à utiliser, certaines résines se polymérisent à des températures élevées. Notre choix est porté sur une résine époxy de type LY 5052 avec durcisseur DY 5052.

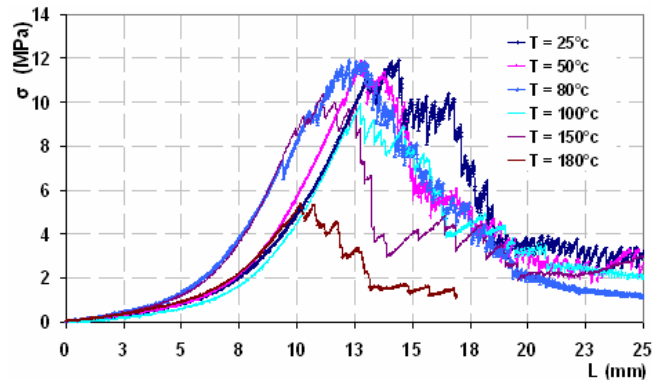


Fig. 3 Influence de la température sur la contrainte maxi du tissu jute

3.2 Stratifié

3.2.1 Essais mécaniques

Les essais de traction effectués sur les éprouvettes montrent un comportement élastique sur une bonne partie de la courbe avant l'apparition d'une rupture nette, nous sommes en présence d'un comportement rigide, ce comportement se manifeste aussi bien dans le sens chaîne que dans le sens trame, la seule différence demeure la valeur à laquelle la rupture se fait, cette valeur est de 5400 N dans le sens chaîne et 7800 N dans le sens trame (figure 4). La différence de valeurs de la contrainte de rupture enregistrée dans les deux sens est due essentiellement à deux facteurs importants : la variation du diamètre du fils constituant le tissu du renfort et le mode de tissage du tissu, nous avons plus de fils dans le sens trame que dans le sens chaîne (figure 5).

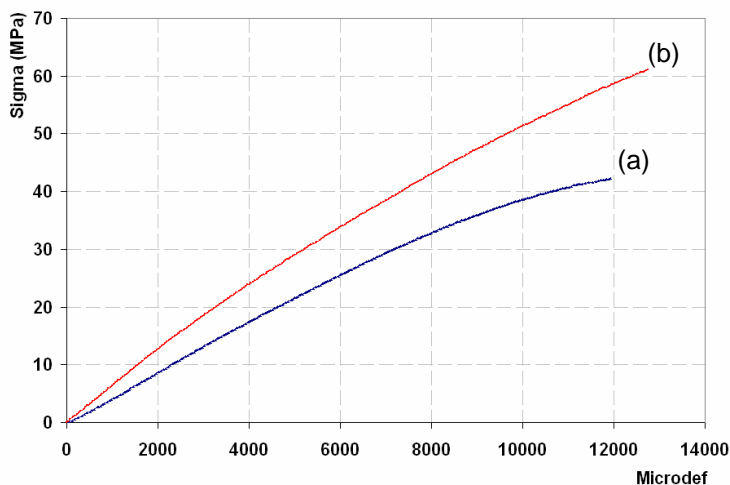


Fig. 4. Courbes de traction sens chaîne (a) sens trame (b)

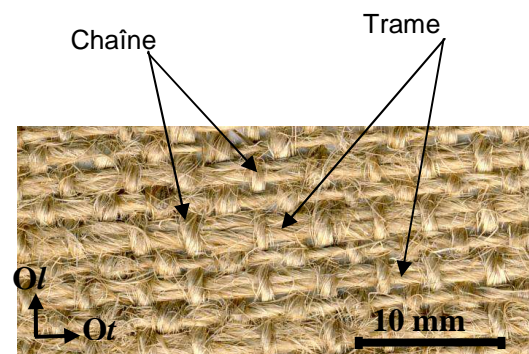


Fig. 5. Vue de la structure du tissu jute.

Le potentiel des mesures de champ stéréo corrélation d'images numériques (DIC) dans l'analyse du comportement structural des matériaux composites n'est plus à prouver [27]. Dans notre cas, les résultats obtenus par mesure de champ et par jauges montrent une certaine cohérence des valeurs à travers ces deux modes d'essais, en effet, jusqu'à la contrainte maxi nous avons pratiquement des valeurs très rapprochées des valeurs obtenues par jauges et mesure de champ (figure 6).

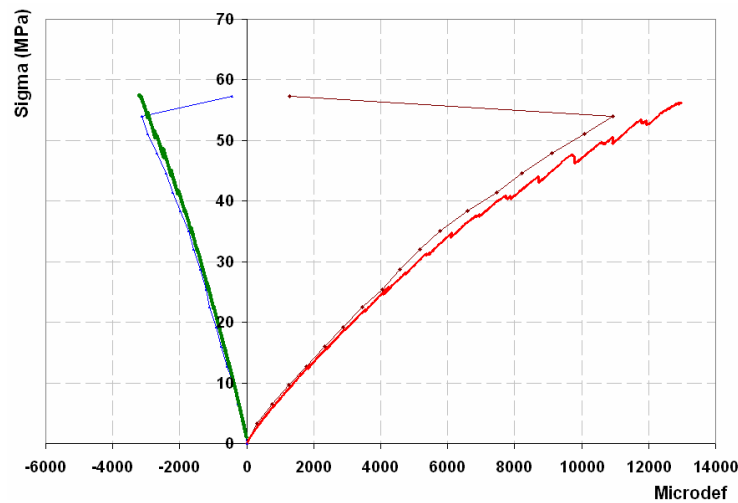


Fig. 6. Comparaison entre résultats obtenus par mesure de champ et jauges électriques.

A l'échelle mésoscopique, la cartographie des déformations longitudinales révèle la présence d'un fort gradient lié essentiellement à la variabilité géométrique du tissu et à celle du taux volumique du renfort en tout point. Dans le sens chaîne la figure 7 (a) montre une que les déformations calculées varient de 6781 microdef à 12427 microdef (un gradient de l'ordre de 6000 microdef). Dans le sens trame, on note que la déformation est moins prononcée, elle est de l'ordre de 200 microdef figure 7 (b).

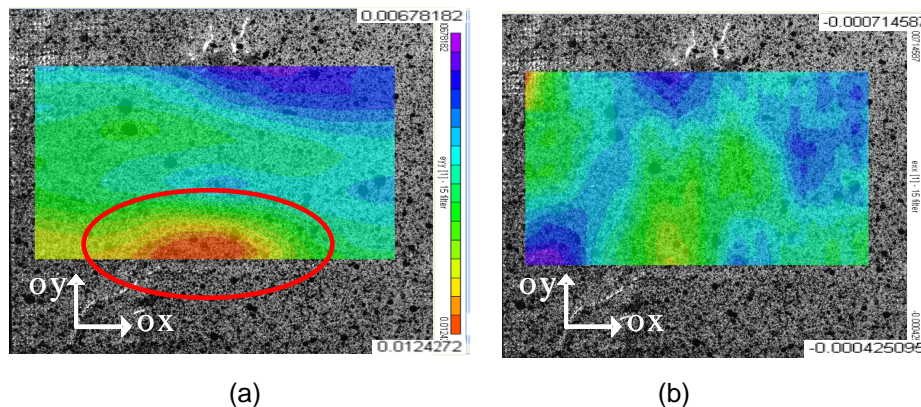


Fig. 7. Cartographies de mesures de champ (a) sens chaîne (oy), (b) sens trame (ox).

La figure 8 représente l'évolution de la charge en fonction du déplacement lors de l'essai de flexion trois points sur des stratifiés jute/époxy sens chaîne et trame. On constate que toutes les éprouvettes testées (chaîne et rame) présentent un comportement mécanique non linéaire. La valeur moyenne de la contrainte à la rupture des éprouvettes testées est de $80,5 \pm 8,78$ MPa dans le sens chaîne, et de $83,9 \pm 5,25$ MPa dans le sens trame. Le calcul des modules de flexion sens chaîne est trame (§2.1) montre des résultats similaires : $3,24 \pm 0,2$ GPa (sens chaîne) et $3,24 \pm 0,3$ GPa (sens trame).

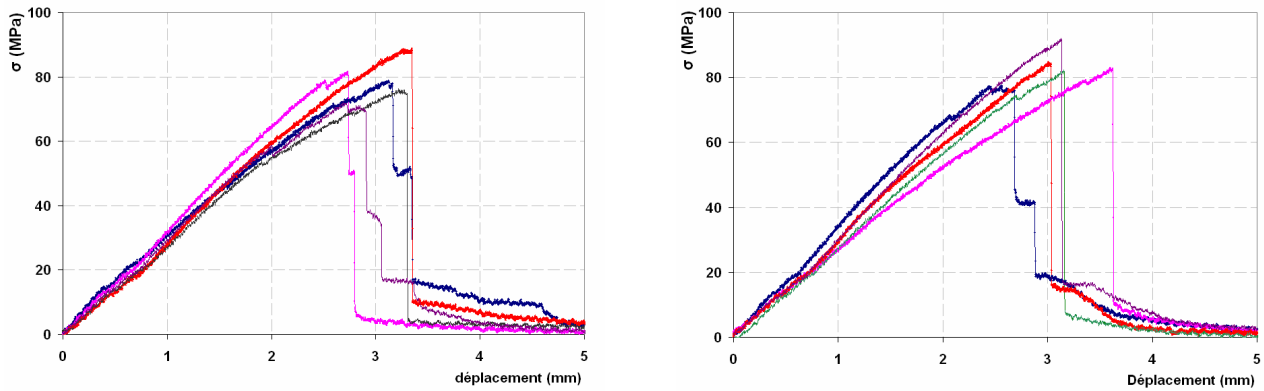


Fig. 8 : Courbes essais de flexion 3 points sur stratifié jute/époxy (a) sens chaîne, (b) sens trame.

Le tableau 1 représente les valeurs obtenues par jauges électriques des modules d'élasticité, du module de cisaillement, des contraintes à la rupture et des coefficients de Poisson.

	E (GPa)		G (GPa)	Coef. Poisson		σ rupture (MPa)	
	Warp	Weft		ν_{lt}	ν_{tl}	Warp	Weft
Traction	4.5 ± 0.6	5 ± 0.8	-	0.24	0.27	38 ± 6	51 ± 4
Flexion	3.2 ± 0.2	3.2 ± 0.3	-	-	-	80 ± 8	83 ± 5
Cisaillement	-	-	1.45	-	-	23	

Tableau 1 : Caractéristiques mécaniques obtenues par jauges.

3.2.2 Analyse thermomécanique TMA

La figure 9 (a) et (b) montre l'analyse thermomécanique du comportement du coefficient de dilatation thermique respectivement dans les sens chaîne et trame du stratifié jute/époxy suivant trois cycles thermiques successifs. Dans le palier isotherme du premier cycle, on note une variation de longueur de l'échantillon, cette variation est significative, chose qui n'est pas vraie pour les deux autres paliers isothermes. Cette variation de longueur peut s'expliquer par la présence de l'humidité dans l'échantillon. En effet, à la température de 100 °C (qui caractérise le palier isotherme) nous avons le phénomène d'évaporation d'eau dans le matériau. Le même phénomène est remarqué lors d'étude des échantillons débités suivant le sens trame. Pour confirmer cette analyse, des essais de thermogravimétrie sont effectués. Pour le calcul des coefficients de dilatation thermique, nous avons exclu le premier cycle pour des raisons de présence d'eau dans le matériau. Les coefficients de dilatation thermique obtenus dans le sens chaîne et trame montrent une variation de 66 % du comportement thermomécanique du stratifié en faveur du sens trame, le tableau 2 montre la valeur moyenne du coefficient de dilatation thermique suivant les deux sens (chaîne et trame) ainsi que son écart type.

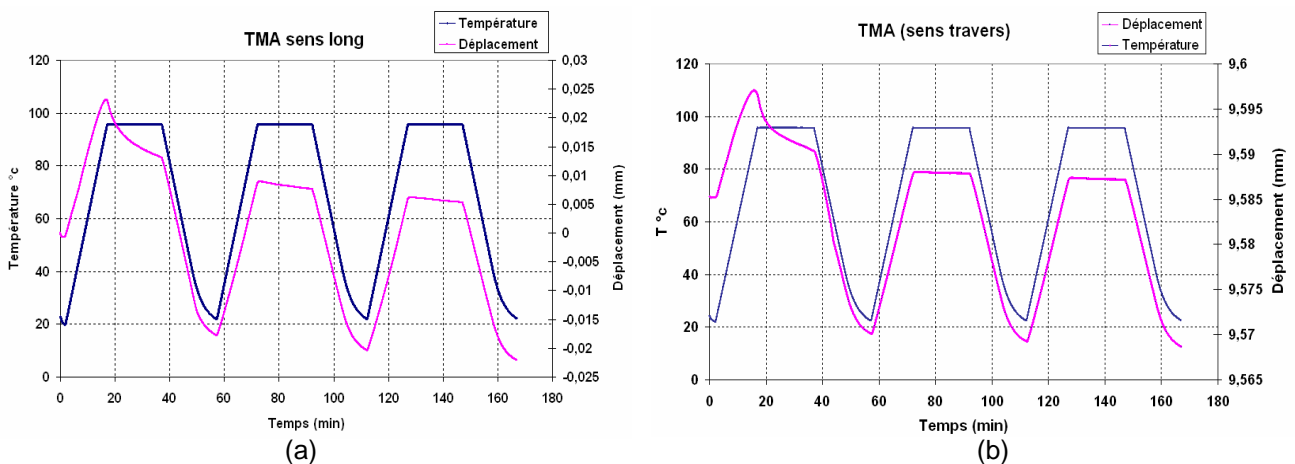


Fig. 9. Evolution de la température et de la longueur de l'échantillon en fonction du temps, (a) sens chaîne, (b) sens trame.

Coefficient de dilatation α : (sens chaîne)	Coefficient de dilatation α : (sens trame)
$40 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 1$	$27 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C} \pm 0,4$

Tableau 2 : Coefficients de dilatation thermique α .

3.2.3 Analyse thermogravimétrique TGA

Les analyses thermogravimétriques (TGA) effectuées en atmosphère contrôlée à partir d'échantillons avec un taux d'humidité de 70% en enceinte climatique et pour des durées différentes montrent une variation importante de masse (Δm) du jute/époxy, cette variation est causée par le pouvoir d'absorption du jute [28]. Durant l'analyse de thermogravimétriques, les échantillons étudiés subissent un cycle thermique qui se caractérise par un palier à 100°C (courbe a sur la figure 10). Les courbes b et c de la figure 10 représentent la perte en masse des échantillons ayant passé respectivement deux heures et huit heures en enceinte climatique. On constate que la variation de masse de l'échantillon c est plus importante que celle de l'échantillon b, on note un écart entre les deux de l'ordre de 1.5 %. Ceci peut s'expliquer du fait que le premier échantillon ayant moins absorbé d'humidité perd moins de masse, tandis que le deuxième échantillon ayant absorbé beaucoup plus d'humidité perd une masse plus importante. Pour des essais effectués sur une durée de 8 heures, la variation de masse est de 4%, il est évident que la variation la plus importante se situe durant les 70 premières minutes (figure 10).

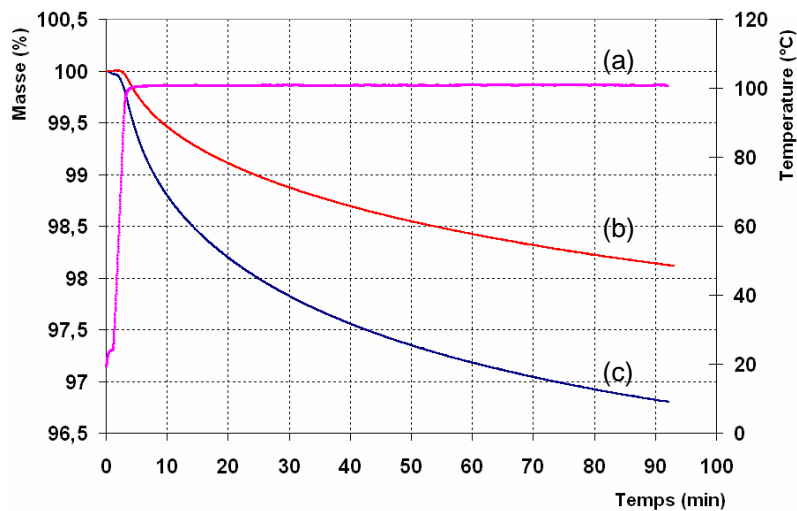


Fig. 10. (a) Cycle de température, échantillon (b) : 2 h dans l'enceinte climatique à 70% d'humidité, échantillon (c): 8 h dans l'enceinte climatique à 70% d'humidité.

4. CONCLUSION

Partant d'une approche d'actualité basée sur une logique d'éco-conception et de mise en valeur de la gestion des ressources renouvelables, l'étude du renfort naturel jute nous a permis dans un premier temps d'identifier l'influence de la température sur le comportement en traction du tissu jute sec. La contrainte à la rupture de traction du tissu sec chauffé à une température supérieure à 150°C chute de 54 % comparée à celle d'un tissu sec à température ambiante. Dans un deuxième temps, grâce aux essais mécaniques (traction, flexion et cisaillement) réalisés sur des stratifiés de type jute/époxy, de montrer certaines variabilité liée en grande partie à la nature du tissu et à son mode de tissage. Les essais de mesure de champ par stéréocorrélation d'images numériques mettent en évidence cette variabilité. Sur les cartographies de déformations sens chaîne et trame, on a observé un gradient de déformation de l'ordre de 6000 micros déformation. Les essais de TMA ont montré que le coefficient de dilatation sens trame est 48 % plus grand que celui de sens chaîne. Nous avons enregistré une variation de la masse du stratifié en présence d'humidité due au pouvoir d'absorption de la fibre de jute. Cette absorption est plus significative dans la première heure de l'essai (TGA).

Références

- [1] W. P. Schmidt, H. M. Beyer, SAE Technical Paper 982195, Dec. (1998).
- [2] Baley C.: Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites 33A*, 939–948 (2002).
- [3] Spatz H.CH., Köhler L. et Niklas K.J. : Mechanical behaviour of plant tissue : composite materials or structures ? *The Journal of Experimental Biology*, 202, p. 3269-3272 (1999).
- [4] Köhler L. et Spatz H.C. : Micromechanics of plant tissues beyond the linear-elastic range. *Planta*, 215, p. 33-40 (2002).
- [5] Broutman L. J. , Sahu S. : *Composites Materials, testing and design*, ASTM STP , pp. 170-188, (1972).
- [6] Ph. Boisse, B. Zouari, A. Gasser. : A mesoscopic approach for the simulation of woven fibre composite forming. *Composites Science and Technology* 65 (2005) 429–436.
- [7] Kawabata S., Niwa M., and Kawai H. : The Finite Deformation Theory of Plain Weave Fabrics Part I: The Biaxial Deformation Theory. *J. Textile Inst.*, 64, 1, 1973, p. 21-46.
- [8] J. Gassan, I. Mildner, and A. K. Bledzki : Influence of fiber structure modification on the mechanical properties of Flax Fiber-Epoxy composites. *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 35, No. 5, 1999.
- [9] K. Chaudhuri, M.A. Chaudhuri : Effects of short-term NaCl stress on water relations and gas exchange of two jute species. *Biologia plantarum* 40 (3) 373-380 1998.
- [10] HEARLE (J.W.S.) : The fine structure of fibers and crystalline polymers. III. Interpretation of the mechanical properties of fibers. *Journal of Applied Polymers Science*, 7, p. 1207-1223 (1963).
- [11] Rao, R. M. V. G. K., Balasubramaniam, N. And Chanda, Manas, J. *App. Poly. Sci. Engg.*, 26, p. 9069 (1981)
- [12] Garkhail, S.K., Heijenrath, R.W.H, T. Peijs : Mechanical properties of natural-fibre-mat reinforced thermoplastics based on flax fibres and polypropylene. *Appl. Compos. Mater.* 7, 351–372 (2000).
- [13] Ray D, Sarkar BK, Das S, Rana AK. Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester–resin–matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibres. *Compos Sci Technol* 2002; 62:911–7.
- [14] Mwaikambo LY, Ansell MP. Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites. *Compos Sci Technol* 2003; 63:1297–305.
- [15] Khan MA, Mina F, Drzal LT. Influence of silane coupling agents of different functionalities on the performance of jute–polycarbonate composites. In: 3rd international wood and natural fibre composite symposium, September; 2000 [in Kassel].
- [16] Gassan J, Bledzki AK. Effect of cyclic moisture absorption desorption on the mechanical properties of silanized jute–epoxy composites. *Polym Comp* 1999;20(4):604–11.
- [17] Pothan LA, Thomas S. Polarity parameters and dynamic mechanical behaviour of chemically modified banana fiber reinforced polyester composites. *Compos Sci Technol* 2003;63:1231–40.
- [18] Herrera-Franco PJ, Valadez-Gonzales A. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Composites Part A* 2004;35:339–45.
- [19] Khan MA, Rahman MM, Akhuzada KS. Grafting of different monomers onto jute yarn by in situ UV-radiation method: effect of additives. *Polym Plast Tech Eng* 2002;41(4):677–89.
- [20] Masudul Hassan M, Islam MR, Khan MA. Improvement of physicomechanical properties of jute yarn by photografting with 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate. *J Adhes Sci Technol* 2003;17(5):737–50.
- [21] D. Plackett and A. Vázquez, *Green Composites: polymer composites and the environment*, Woodhead Publishers, Cambridge 2004, p. 123.
- [22] Khan M. A. (1) ; Haque N. (2) ; Al-Kafi A (2) ; Alam M. N. (2) ; Abedin M. Z. (2) ; Jute reinforced polymer composite by gamma radiation : Effect of surface treatment with UV radiation. *Polymer-plastics technology and engineering* ISSN 0360-2559 CODEN PPTTEC7 . 2006, vol. 45, no4-6, pp. 607-613
- [23] R. G. Raj, B. V. Kokta and C. Daneault, Wood flour as a low-cost reinforcing filler for polyethylene: studies on mechanical properties *Journal of Materials Science*, (1990), 25, 1851-1855.
- [24] David Harper and Michael Wolcott, Interaction between coupling agent and lubricants in wood–polypropylene composites *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), (2004), 385-394.
- [25] I. bon Aranberri-Askargorta, Thomas Lampke and Alexander Bismarck, Wetting behavior of flax fibers as (reinforcement for polypropylene *Journal of Colloid and Interface Science*, (2003), 263 (2), 580-589.
- [26] Ajay Karmarkar, S.S. Chauhan, Jayant M. Modak and Manas Chanda , Mechanical properties of wood–fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, (2007), 38 (2), 227-233.
- [27] J. B. Naik; S. Mishra, Esterification Effect of Maleic Anhydride on Surface and Volume Resistivity of Natural Fiber/Polystyrene Composites *Polymer-Plastics Technology and engineering* 46(5), (2007), 537 – 540.
- [28] Sy Trek Sean, *Composites from Newsprint Fiber and Polystyrene Polymer-Plastics Technology and engineering* (2007), 46(4), 421 – 425.

- [29] T. J. Keener, R. K. Stuart and T. K. Brown, Maleated coupling agents for natural fibre composites *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, (2004), 35 (3), 357-363.
- [30] H. Jiang, D. P. Kamdem, Development of poly(vinyl chloride)/wood composites. A literature review *Journal of Vinyl and Additive Technology*, (2004), 10 (2), 59-69.
- [31] K. Sabeel Ahmed, S. Viyayarangan. Tensile, flexural and interlaminar shear properties of woven jute and jute-glass fabric reinforced polyester composites, *Journal of materials processing technology* 207 (2008) pp.330-335.
- [32] K. Sabeel A, S. Viyayarangan and C. Rajput : Mechanical behavior of isothalic polyester-based untreated woven Jute and glass fabric hybrid composites”, *Journal of reinforced plastics and composites*. In press
- [33] D. Placketta, T. Løgstrup Andersenb, W. Batsberg Pedersenc, L. Nielsenc, Biodegradable composites based on l-poly lactide and jute fibres *Composites Science and Technology* 63 (2003) 1287–1296.
- [34] Martina Wollerdorfer, Herbert Bader, Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers, *Industrial Crops and Products* 8 (1998) 105–112
- [35] K. Van de Velde, P. Kiekens , *Biopolymers : overview of several properties and consequences on their applications*. *Polymer Testing* 21 (2002) 433–442.
- [36] V. Alvarez, E. Rodriguez and A. Vázquez : Thermal degradation and decomposition of Jute/Vinylester composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 85 (2006) 2, 383–389.
- [37] Huntsman, 2003 technical notice resin ly 5052.
- [38] Kawabata S., Niwa M., and Kawai H. : The Finite Deformation Theory of Plain Weave Fabrics Part I: The Biaxial Deformation Theory. *J. Textile Inst.*, 64, 1, 1973, p. 21-46.
- [39] Roux S., Hild F. Fokwa D., Breysse D., Geymonat G., Pijaudier-Cabot G. Current-conductance and stress-elastic modulus correlations. *Journal de Physique II* 1 3 (1991) 265-272.
- [40] Rengarajan Mohan, Kishore. Jute-glass sandwich composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. Vol. 4- April 1985.
- [41] Hong C.K., I. Hwang, N. Kim, D.H. Park, B.S. Hwang, C. Nah. Mechanical properties of silanized jute-polypropylene composites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 14 (2008) 71-76.