HAL open science

Comportement en statique et à l'impact de composites à base de fibres nontissées de lin et de polypropylène

Thuy Quynh Truong Hoang, Fabienne Touchard

To cite this version:

Thuy Quynh Truong Hoang, Fabienne Touchard. Comportement en statique et à l'impact de composites à base de fibres nontissées de lin et de polypropylène. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.36. hal-00597899

HAL Id: hal-00597899

https://hal.science/hal-00597899

Submitted on 2 Jun 2011

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.

Comportement en statique et à l'impact de composites à base de fibres non-tissées de lin et de polypropylène

Static and impact behaviors of non-woven flax fiber reinforced polypropylene

Thuy Quynh TRUONG HOANG[1], Fabienne TOUCHARD[2]
1 : Laboratoire Structures et Matériaux, ESTACA - Campus Ouest, Rue Georges Charpak, BP 76121,
53061 Laval Cedex 9
2 : Institut P'- Physique et Mécanique des Matériaux, UPR CNRS 3346, ENSMA, 1 Av Clément Ader, BP 40109, 86961 Futuroscope
e-mail : thuy-quynh.truong-hoang@estaca.fr
fabienne.touchard@lmpm.ensma.fr

Résumé

Les non-tissés à base de fibres végétales sont en forte croissance dans diverses applications telles que: l'automobile et le bâtiment, grâce à leurs propriétés mécanique et acoustique, et à leur caractère biodégradable. Cependant, ces produits industrialisés sont limités à des applications semi structurelles. L'objectif de cette étude est d'apporter une connaissance plus approfondie en terme de tenue mécanique en statique et en impact sur des produits à base de non-tissés élaborés selon un procédé industriel. Une attention particulière est portée à l'évolution du module sécant due au chargement cyclique.
Les produits initiaux pour fabriquer ces composites sont des préformes constituées de fibres de lin (écru ou blanchi) et de fibres de polypropylène (neuf ou recyclé). Celles-ci ont été réalisées selon les techniques de transformation utilisées dans l'industrie du textile (cardage, nappage et aiguilletage). Les résultats ont permis de mettre en évidence le comportement orthotrope des composites réalisés par ce procédé et un taux d'absorption d'énergie quasi-constant pour les faibles énergies d'impact.

Abstract

The use of non-woven natural fibers is growing considerably in various applications such as: automotive and building industries, thanks to their mechanical, acoustical and biodegradable properties. However, these industrialized products are limited to semi-structural applications. The objective of this study is to explore the mechanical behavior in statics and impact test of non-woven composites which were elaborated according to an industrial process. A special attention is given to secant modulus evolution due to cyclic loading. The initial products were multi-layered mats of chopped strand mat flax fibers (unbleached or whitened) and polypropylene (new or recycled). These multi-layered materials were manufactured according to the transformation technique used in textile industry (carding, batt and needle-punching). The results highlight the orthotropic behavior of the obtained composites and a constant ratio of absorption energy to impact energy.

Mots Clés : fibre végétale, comportement mécanique, endommagement, impact
Keywords: natural fibers, mechanical behaviour, damage, impact

1. Introduction

Cela fait déjà bien longtemps que l'on entend parler de l'utilisation des fibres naturelles dans l'industrie automobile. Ces applications sont nombreuses et les constructeurs s'intéressent de plus en plus à augmenter la part de ces biomatériaux pour répondre à la réduction de masse et au développement durable. Cependant, il est clair que l'utilisation de ce nouveau matériau pour les parties structurantes nécessite une compréhension du comportement mécanique plus poussée. C'est dans cette direction que nous nous sommes donc intéressés à exploiter les caractéristiques mécaniques des biocomposites à base d'une matrice thermoplastique de large consommation, le polypropylène, associée à des fibres de lin non-tissées. Le procédé de fabrication des préformes est déjà industrialisé en France. On trouve un large panel d'applications pour ces préformes non-tissées dans l'automobile, le bâtiment ou encore dans l'horticulture.

2. Matériaux étudiés et procédé expérimental

2.1 Mise en forme des composites

La matière première se présente sous forme de couches nappées de plusieurs plis constitués d'un mélange de fibres de lin et de polypropylène. Ces nappes sont liées entre elles par aiguilletage. Nous avons réalisé des plaques de composite par le procédé de thermo-compression. Cette méthode consiste à chauffer et à compresser un sandwich formé de plusieurs nappes de préforme [1]. Les préformes ont été chauffées dans un four à infrarouge à 200°C pendant quatre minutes avant d'être compressées sous presse à une pression de 32 bar. Les plaques composites ont un taux de renfort variable en fonction du grammage. Au total, quatre types de composites contenant des fibres de lin écrus ou blanchis et de matrice polypropylène neuve ou recyclée ont été étudiés.

2.2 Analyse microstructurale et thermodynamique

2.2.1 Analyse enthalpique différentielle (DSC)

Les essais de DSC ont été effectués sur les échantillons prélevés dans des plaques moulées. Le protocole de l'essai DSC est le suivant :

- Chauffage de -30°C à 200°C à une vitesse de 5°C/min
- Refroidissement de 200°C à 30°C à une vitesse de 20°C/min
- 2ème chauffage de 30°C à 200°C à une vitesse de 5°C/min

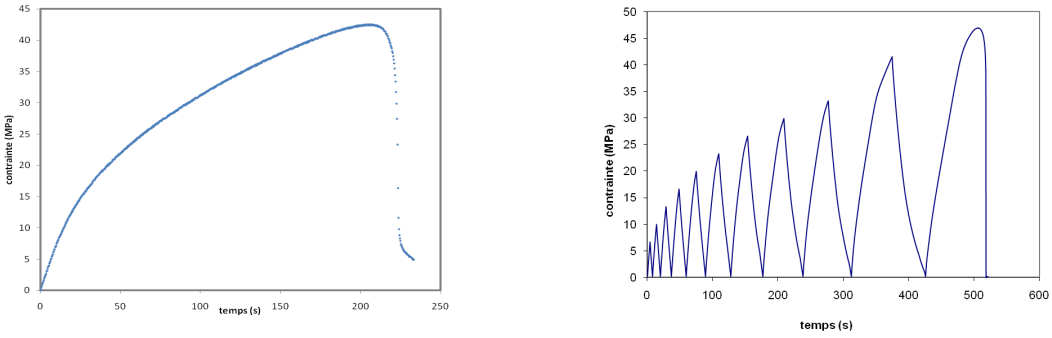
Ces analyses serviront à comprendre la morphologie des polymères et l'influence de la présence des fibres naturelles dans ces matrices polymères.

2.2.2 Analyse Mécanique Dynamique (DMA)

Des échantillons rectangulaires sont sollicités en mode de flexion à encastrement simple. Les éprouvettes sont soumises à des sollicitations sinusoïdales à des fréquences variant entre 10^{-1} Hz et 100 Hz pour différents paliers de température compris entre -30°C à 170°C à une vitesse de 2°C/min. Ces essais permettent de comprendre le comportement thermo-dynamique de ces composites.

2.3 Protocole expérimental des essais mécaniques

Afin de caractériser le comportement mécanique et la déformation des différents composites, nous avons mené des essais statiques de traction et de flexion trois points sur des éprouvettes découpées dans les deux directions orthogonales de la plaque. Un suivi de champs de déformation a été effectué par une technique de corrélation d'images numériques réalisée sur les éprouvettes de traction monotone. Des essais de traction cyclique ont été également réalisés afin de comprendre l'évolution des endommagements au cours du chargement.



(a) *(b)*

Fig.1. Protocole d'un essai de traction monotone (a) et de traction cyclique (b).

Par ailleurs, le phénomène d'impact s'avère important afin de comprendre la capacité d'absorption d'énergie dans le but d'utiliser ces matériaux pour les applications automobiles. L'un des objectifs

de ce travail est d'étudier le mécanisme d'absorption d'énergie de ces composites. Pour cela, nous avons réalisé des essais d'impact à faible d'énergie via la tour de chute [2]. Le principe est ici d'impacter une plaque clampée à l'aide d'un outil de masse prédéfinie tombant d'une certaine hauteur définissant ainsi l'énergie d'impact. La masse d'impact est composée d'un chariot qui permet de réaliser le guidage vertical et d'un impacteur. Les mesures de la force d'impact et du déplacement de l'impacteur sont effectuées par les capteurs de force piézoélectrique et le capteur de déplacement laser. Le paramètre de référence sera l'énergie d'impact qui varie de 12J à 40J. Un exemple de mesure de l'effort d'impacteur en fonction de l'énergie d'impact est présenté sur la figure 2. On constate que la force de contact est une superposition de la réponse principale et des vibrations du système d'impacteur et du bâti.

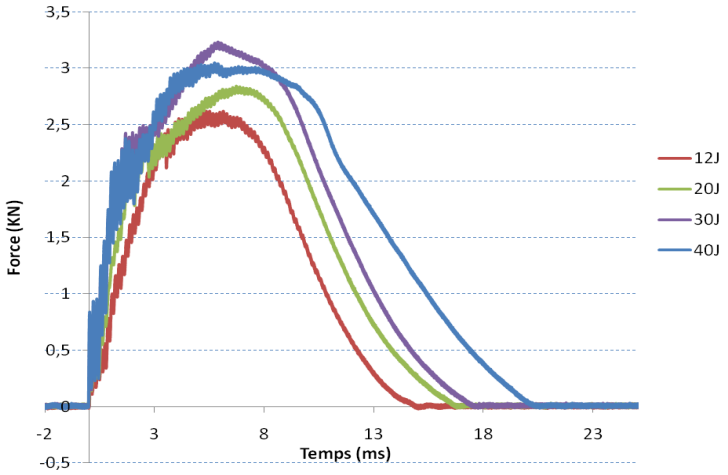


Fig. 2. Evolution de la force d'impact sur le lin blanchi/PP neuf_1600g/m²

On observe sur la figure 2 que plus l'énergie d'impact est importante, plus la courbe est perturbée avant d'atteindre le pic d'effort.

3 Discussion des résultats

3.1 Comportement microstructural et thermodynamique

Les résultats de DSC ont montré que le pic endothermique a la même forme pour tous les composites. Sur la figure 3, les courbes de 1ère et de 2ème fusion d'un échantillon en lin blanchi/PP neuf_1600g/m² sont superposées. On observe la présence d'un pic endothermique à 165°C qui correspond à la température de fusion du polypropylène. Par ailleurs, il est à noter la présence d'un deuxième pic de faible amplitude situé à 150°C sur le thermogramme de la 1ère montée. Il est probable que ce pic corresponde à la fusion de la phase cristalline β qui apparaît lorsqu'on ajoute les fibres végétales dans le polypropylène [3]. Le pic de fusion observé sur la première courbe est beaucoup plus perturbé que celui sur la 2ème. Ce phénomène peut avoir plusieurs origines, telle que la présence de cristallites de tailles différentes dans l'échantillon, et/ou la présence éventuelle de cristallites de type β. Enfin, la présence d'un pic étalé à 60°C sur la 1ère courbe témoigne de la présence d'eau dans l'échantillon.

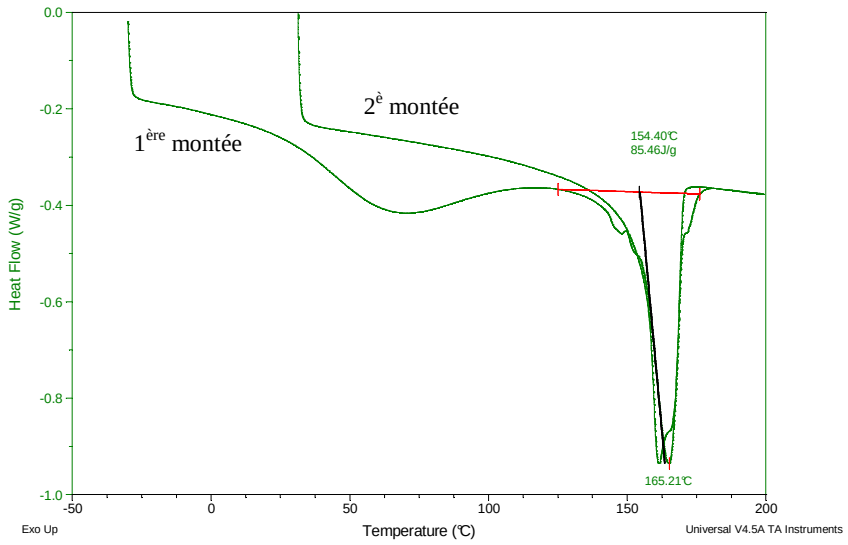


Fig.3. Analyse DSC sur le composite de lin blanchi/PP neuf_1600g/m²

Sur la figure 4 la courbe obtenue par DMA a été présentée pour un échantillon de lin blanchi/PP neuf_1600g/m² pour une gamme de fréquence s'étendant de 0.1Hz à 100 Hz et à des températures variant de -30°C à 170°C. On constate une chute du module de conservation avec l'augmentation de la température. De plus, l'amplitude de ce module augmente avec l'augmentation de la fréquence à une température donnée.

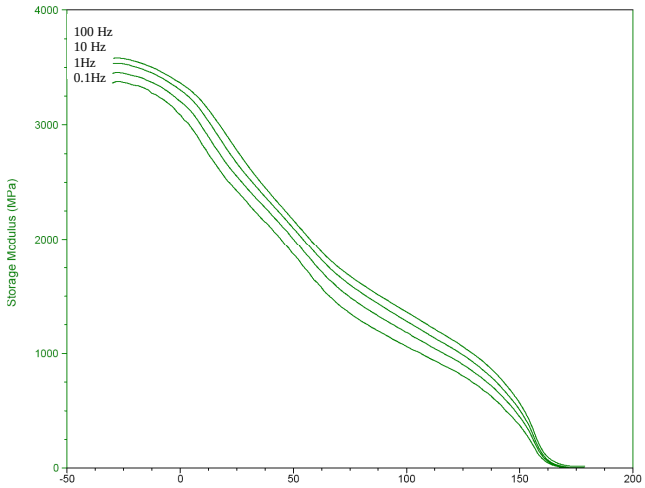


Fig.4 . Evolution du module de conservation mesurée par DMA pour le composite lin blanchi/PP neuf_1600g/m²

Nous avons déterminé les valeurs du module de conservation E' à partir des courbes expérimentales de DMA pour tous les composites. Ce module E' a été mesuré à une fréquence de 1Hz et à une température de 20°C afin de mener une analyse comparative entre les différents matériaux. Il est intéressant de noter que l'évolution du module de conservation (cf fig.5.) est identique à celle du module d'Young (cf fig.6.) et que ce module augmente avec le grammage.

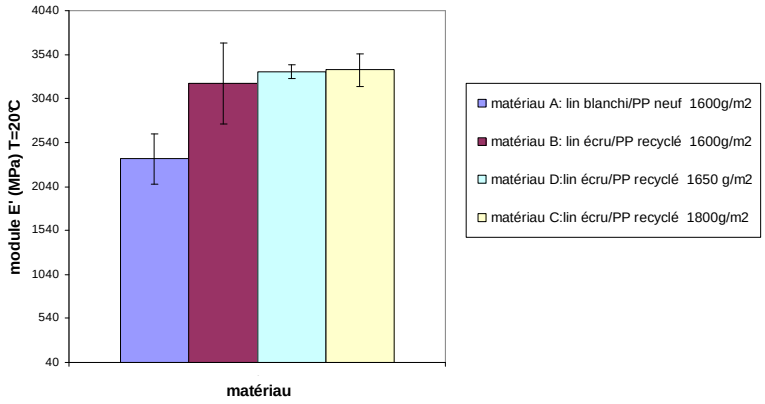


Fig.5. Evolution du module de conservation E' obtenue par des essais de DMA

3.2 Comportement statique

Les essais de traction sur des éprouvettes haltères ont permis de mettre en évidence l'effet d'anisotropie du comportement lié au procédé de fabrication des préformes. On constate que les composites ayant un grammage plus élevé présentent un module et une contrainte à rupture plus importants (tab.1).

Matériau	E_L (MPa)	E_T(MPa)	$\sigma_L$max(MPa)	$\sigma_T$max (MPa)
lin blanchi/PP neuf-1600g/m^2	$5744^{\pm70}$	$3587^{\pm251}$	$46^{\pm1}$	$32^{\pm2}$
lin écru/PP recyclé-1600g/m^2	$6437^{\pm773}$	$4142^{\pm616}$	$48^{\pm3}$	$30^{\pm3}$
lin écru/PP recyclé-1650g/m^2	$6504^{\pm241}$	$4341^{\pm137}$	$49^{\pm1}$	$32^{\pm1}$
lin écru/PP recyclé-1800g/m^2	$6787^{\pm300}$	$4223^{\pm317}$	$51^{\pm4}$	$32^{\pm1}$

Tab. 1. Caractéristiques en traction des composites dans les directions L et T

On observe sur la figure 6 que le taux de renfort a une influence directe sur le comportement en traction dans la direction longitudinale alors que dans la direction transversale le comportement mécanique varie très peu avec le grammage. Cette remarque est intéressante afin de comprendre l'influence du process de fabrication sur les propriétés mécaniques et permet d'adapter le matériau en fonction des contraintes mécaniques des pièces.

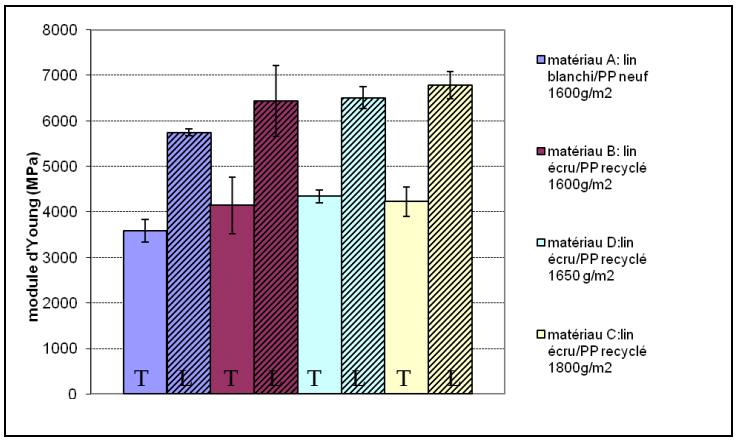


Fig .6. Evolution du module d'Young en traction simple (V=2mm/min) dans les directions L et T.

Des essais de traction sous chargements répétés progressifs ont été également réalisés afin d'identifier le paramètre d'endommagement d lié à la baisse du module sécant. Le paramètre

d'endommagement d (Eq.1) est calculé à partir des modules sécants obtenus pour chaque cycle de chargement selon la formule suivante :

$$d = 1 - \frac{E}{E_0} \qquad \text{(Eq.1)}$$

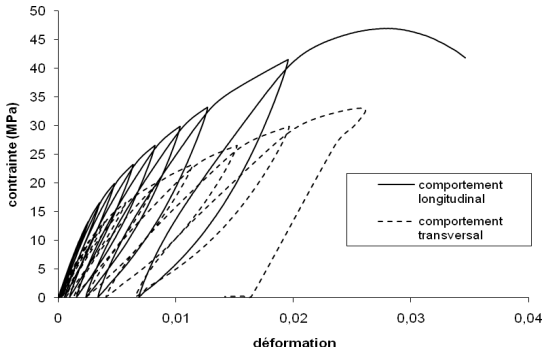


Fig .7. Comportement en traction cyclique du lin blanchi/PP neuf_1600g/m²

La figure 8 présente l'évolution du paramètre d'endommagement d en fonction du taux de déformation pour les différents composites étudiés. On constate que les composites ayant les grammages de 1650g/m² et de 1800g/m² s'endommagent moins et moins rapidement que celui à 1600g/m². De plus, pour un même grammage, le composite à base de PP neuf s'endommage plus tôt et plus vite que celui à base de PP recyclé.

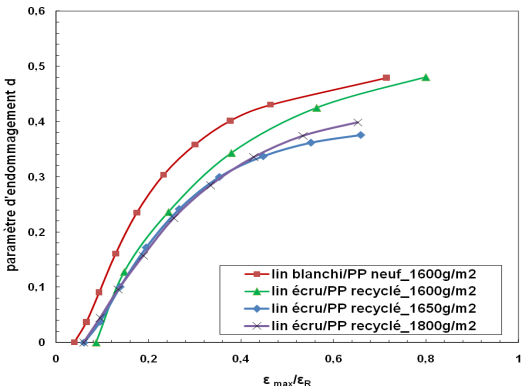


Fig.8. Evolution du paramètre d'endommagement d sous chargements répétés progressifs (V= 2mm/min)

3.3 Evolution des déformations

Les cartographies de déformation obtenues par corrélation d'images numériques avec Corréli [4] permettent de mettre en évidence l'évolution de la déformation au cours du chargement. Dans notre étude, un grandissement de 1 pixel=14µm et une taille ROI égale à 722*2300 pixels ont été utilisés. La taille de ZOI qui correspond à la fenêtre de corrélation couvrant une surface de 16*16 pixels. Un exemple de l'évolution du champ de déformation longitudinale au cours d'un essai de traction sur une éprouvette en lin écru/PP recyclé_1600g/m² est présenté sur la figure 10. On constate sur ces cartographies que la déformation à un chargement de 750N est répartie de manière homogène tout au long de l'éprouvette. Alors qu'à un niveau de chargement plus important, entre 750N et 1000N, cette déformation s'accentue nettement et atteint localement plus de 9% dans la partie inférieure de l'éprouvette. Cette zone de fort gradient de déformation correspond à l'endroit où la rupture finale s'est produite.

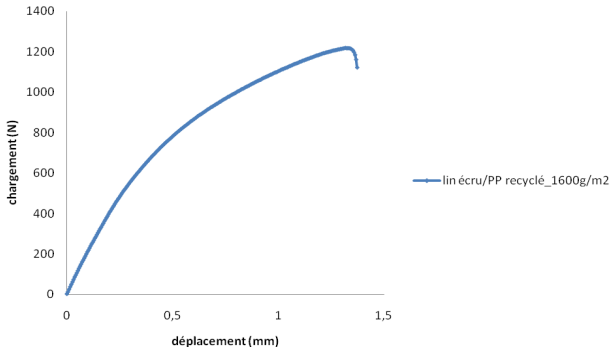


Fig.9. Comportement en traction de l'éprouvette lin écru/PP recyclé_1600g/m² avec la prise de photos de corrélation d'images

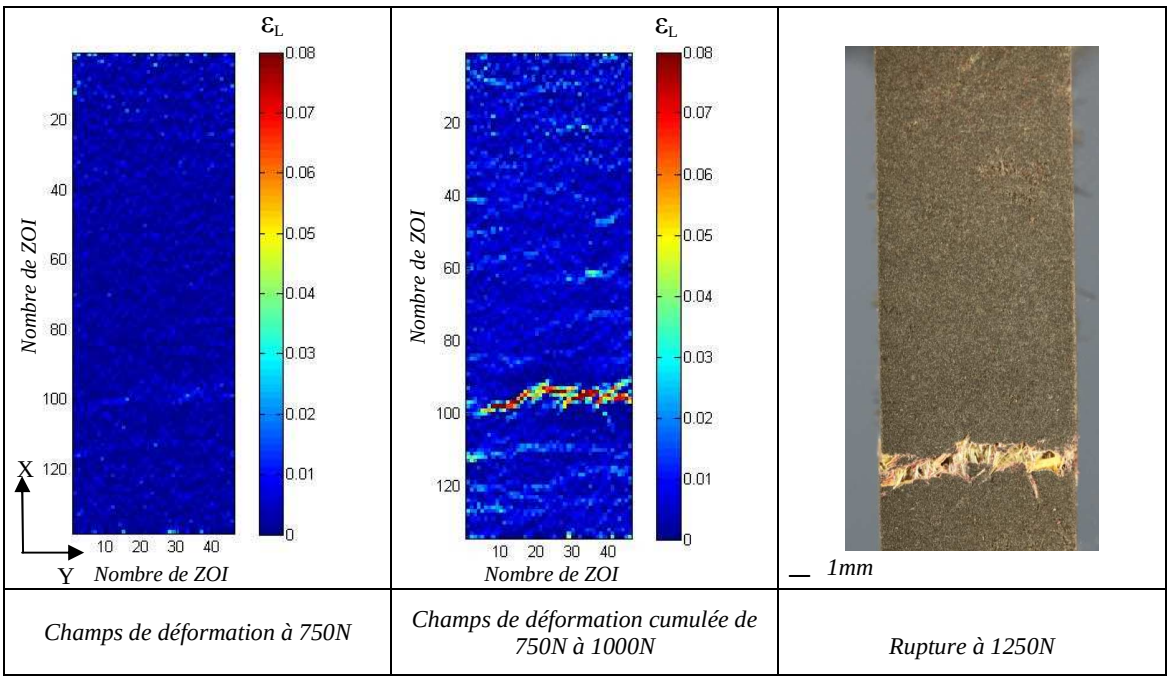


Fig.10. Champs de déformation longitudinale ε_L et la rupture finale d'une éprouvette en lin écru/PP recyclé_1600g/m²

3.4 Comportement à l'impact

Sur la figure 11, l'effort maximal relevé lors de chaque essai est tracé en fonction de l'énergie pour les différents matériaux. On constate une augmentation de la force maximale avec l'énergie d'impact pour tous les composites à faible énergie (entre 12J et 30J). Par contre, cet effort maximal semblerait stabilisé après 30J. Plus l'énergie impactée est importante, plus les endommagements développés dans les échantillons sont nombreux [5]. Il est intéressant aussi de noter que la densité de renfort n'apporte aucun effet bénéfique sur la résistance maximale à l'impact.

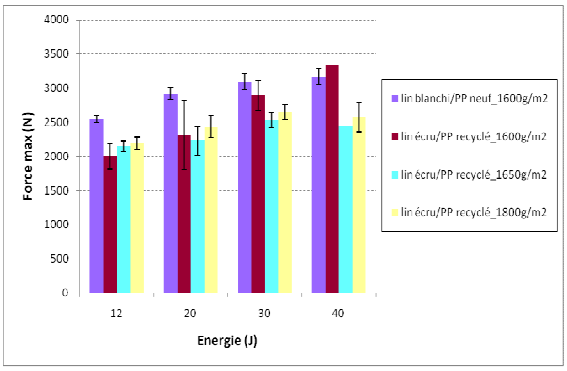


Fig.11. Evolution de la force maximale d'impact dans les différents composites

A partir de la courbe force-déplacement (cf fig 12) enregistrée au cours d'un essai d'impact, nous avons calculé l'aire sous cette courbe pour caractériser l'énergie absorbée par le matériau. L'évolution de l'énergie absorbée en fonction de l'énergie impactée est tracée sur la figure 13. On remarque que l'énergie absorbée augmente de manière linéaire avec l'énergie d'impact [2]. Il est à noter également qu'à faible énergie, les résultats sont moins différents d'un matériau à l'autre qu'à forte énergie.

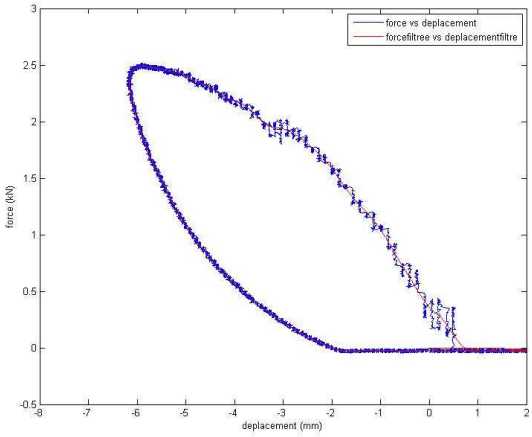


Fig.12. Evolution de la force en fonction de déplacement sur un échantillon de lin blanchi/PP neuf_1600g/m^2 impacté à 12J

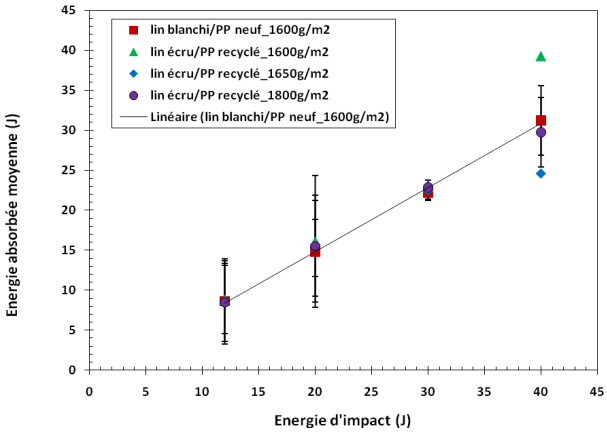


Fig.13. Evolution de l'énergie absorbée en fonction de l'énergie d'impact

Le pourcentage de l'énergie absorbée sur l'énergie impactée est présenté sur la figure 14. Ce pourcentage de l'énergie absorbée s'élève à environ 75% pour les énergies impactées entre 12J et 30J.

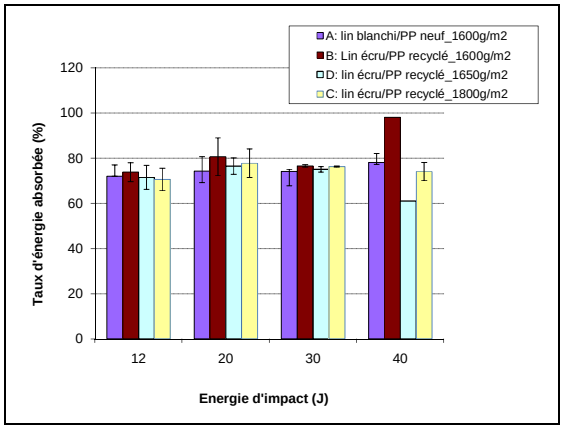
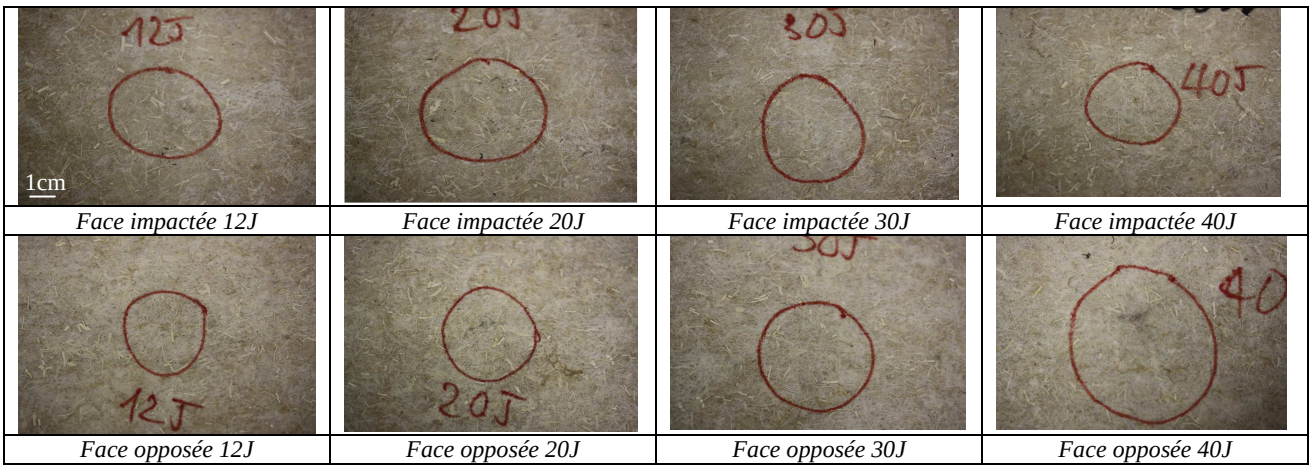


Fig.14. Evolution du pourcentage de l'énergie absorbée en fonction de l'énergie impactée



Face impactée 12J	*Face impactée 20J*	*Face impactée 30J*	*Face impactée 40J*
Face opposée 12J	*Face opposée 20J*	*Face opposée 30J*	*Face opposée 40J*

Fig.15. Observation des surfaces sur la face impactée et sur la face opposée - lin blanchi/PP neuf_1600g/m^2

Les observations des surfaces impactées montrent le développement des endommagements dans la zone située juste en dessous de l'impacteur. On constate que sur la surface opposée, les défauts sont plus importants et augmentent avec l'énergie d'impact.

4 Conclusions

Ce travail constitue une approche expérimentale d'analyse du comportement mécanique des composites à base de fibres non-tissées de lin et de polypopylène. Les résultats montrent que le process de mise en forme des non-tissés crée une anisotropie du comportement mécanique et que ce comportement en traction dépend fortement de la densité surfacique des fibres. Il a été observé que plus le grammage est important moins l'endommagement se développe vite.

Les mesures de déformations par corrélation d'images numériques ont fourni une indication sur l'apparition de la rupture et le niveau de déformation locale important dans le matériau. Enfin, les essais d'impact à faible énergie ont permis de montrer une évolution linéaire de l'énergie absorbée avec l'énergie impactée. Cependant, les résultats montrent que la nature de la matrice et des fibres ainsi que le grammage n'influencent pas de manière significative la capacité à dissiper l'énergie lors d'un impact à faible énergie.

Remerciements

Les auteurs remercient le Centre d'Etudes sur les Matériaux Composites Avancés pour les Transports (CEMCAT) pour la participation à la fabrication des matériaux.

Références

[1] E. Bodros, I. Pillin, « Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibre be used in structural applications? ». Composites Sciences and Technology, Vol.67, pp. 462-470, 2010.

[2] V. Kostopoulos, A. Baltopolous, « Impact and after-impact properties of carbon fibre reinforced composites enhanced with multi-wall carbon nanotubes ». Composites Science and Technology, Vol. 70, pp. 533-563, 2010.

[3] T.Q. Truong Hoang, F. Touchard, J.Brillaud ,« Natural fibre reinforced recycled polypropylene: Microstructural and mechanical properties ». Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 29, pp. 209-217, 2010.

[4] J. Réthoré, F. Hild, S. Roux, «Shear-band capturing using a multiscale extended digital image correlation technique». Comut. Methods Appl.Mech.Engrg, Vol 196, pp.5016-5030, 2007.

[5] H.N.Dhakal, Z.Y.Zhang, M.O.W. Richardson, O.A.Z.Errajhi, « The low velocity impact response of non-woven hemp fibre reninforced unsaturated polyester composites». Composite Structures, Vol 81, pp. 559-567, 2007.