



**HAL**  
open science

**Étude expérimentale de l'effet de l'empilement sur les caractéristiques mécaniques des stratifiés (verre/polyester) = The effect of lamination method on mechanical properties of (glass / polyester) composite, Experimental study**

K. E. Tarsha Kurdi, M. H. Ibrahim, A. Alabdallah, Philippe Olivier

► **To cite this version:**

K. E. Tarsha Kurdi, M. H. Ibrahim, A. Alabdallah, Philippe Olivier. Étude expérimentale de l'effet de l'empilement sur les caractéristiques mécaniques des stratifiés (verre/polyester) = The effect of lamination method on mechanical properties of (glass / polyester) composite, Experimental study. JNC16, Jun 2009, Toulouse, France. 8 p. hal-00429749

**HAL Id: hal-00429749**

**<https://hal.science/hal-00429749>**

Submitted on 4 Nov 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.

# Étude expérimentale de l'effet de l'empilement sur les caractéristiques mécaniques des stratifiés (verre/polyester)

## *The effect of lamination method on mechanical properties of (glass / polyester) composite, Experimental study*

K. E. TARSHA KURDI<sup>1</sup>, M. H. IBRAHIM<sup>1</sup>, A. ALABDALLAH<sup>1</sup> et Ph. OLIVIER<sup>2</sup>

1 : Département de Science et Génie des Matériaux  
Faculté de Génie Mécanique – Université d'Alep – Alep - Syrie  
E-mail : [k.tarsha-kurdi@voila.fr](mailto:k.tarsha-kurdi@voila.fr)

2 : Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT), IUT Paul Sabatier, Dept. GMP  
133 Avenue de Ranguéil - F - 31077 Toulouse CEDEX 04  
e-mail : [Philippe.Olivier@gmp.iut-tlse3.fr](mailto:Philippe.Olivier@gmp.iut-tlse3.fr)

### Résumé

L'objectif de cette étude, qui a été faite en partenariat entre la faculté de génie mécanique à l'université d'Alep et la compagnie Amir de fibre glass à Alep, est d'étudier la relation entre la distribution des différents plis (mat et textile) et les propriétés mécaniques en statique des stratifiés composites. Les stratifiés utilisés dans cette étude ont été fabriqués à la compagnie Amir de fibre glass à Alep, en utilisant la matrice Polyester et les fibres de verre comme un renfort avec différents ordres de stratification : les plis de fibre tissés à la face supérieure et inférieure du stratifié, ou à la plain moyenne du stratifié, tous les autres plis sont de fibres courtes non orientées (mat). Les caractérisations mécaniques ont été faites aux laboratoires de la faculté de génie mécanique sur la traction, flexion et cisaillement inter-laminaire en statique.

Les résultats obtenus montre qu'il n'y a pas des effets de l'ordre de stratification sur les caractéristiques en traction  $E$  et  $\sigma^R$ , par contre le module d'élasticité en flexion  $E_b$ , contrainte à la rupture en flexion  $\sigma_b^R$  et en cisaillement inter-laminaire  $\tau^R$ , sont bien influencés par la position des plis textiles dans le stratifié.

### Abstract

This study has been conducted in Mechanical Engineering Faculty– University of Aleppo and in association with Amir company (for glass fiber in Aleppo). We study in this paper the relationship between the form of different reinforcement plies distribution and the static mechanical properties for Composite laminates. Lots of samples from Glass fiber mat and textile reinforced polyester composites were fabricated with deferent types of lamination. Tensile, flexural and inter-laminar shear test was conducted to investigate the effect of textile plies location and number of mat plies on the mechanical properties of the glass fiber /polyester composite. Mechanical behavior of the glass fiber /polyester composite was investigated to study the relationship between lamination type, number of mat plies and the mechanical properties data. The tensile, flexural modulus and the tensile, flexural, inter-laminar shear strengths increased with the increment the number of glass mat fiber plies. However, the tensile modulus and strengths has not any influence with the textile plies location. But, flexural modulus and flexural and inter-laminar shear strength showed a magnificent value when the textile plies locate in top and bottom surface of the laminate.

**Mots Clés** : verre / polyester, caractérisation mécanique, méthodes expérimentales, mat de fibre de verre, textile fibre de verre.

**Keywords** : Glass / Polyester, mechanical characterization, experimental methods, mat glass fiber, tissue glass fiber.

## 1. Introduction

Les structures de matériaux composites sont utilisées à l'industrie des automobiles pour gagner de sa masse, et diminuer la puissance nécessaire de sa mobilisation, et par conséquent l'augmentation de l'efficacité du carburant utilisé. Plusieurs auteurs ont consacré leurs études, au début, de remplacer les pièces métalliques les plus endommagées dans les voitures par d'autres pièces en composites. Les résultats

obtenus par [1] montrent que l'opération de remplacement de matière de para-choque d'une matière métallique à un composite va diminuer le poids et le prix de cette pièce. Et il a étudié l'effet de la forme et de la matière sur les critères de choc, les résultats obtenus sont comparés avec celle de l'aluminium et acier. A la fin de son étude, Il a trouvé que les avantages de remplacement d'un para-choque métallique par un autre composite sont : I) égalité dans la résistance et la rigidité de la structure, II) diminution du poids, III) facilité en fabrication et IV) diminution de frais de production. Mais, le comportement et les caractéristiques d'endommagement et de rupture des matériaux composite dépendent fortement sur les paramètres microscopiques (longueur de fibre, fraction volumique, orientation des fibres, ...) [2]. Généralement les matériaux composites présentent en trois formes selon le renfort :

Forme A : plis de renfort unidirectionnel (fibres contenues).

Forme B : plis de renfort mat (fibres courtes d'orientation aléatoire dans le plan). leurs comportements ressemblent de celle-ci d'un stratifié constitué d'un nombre infini de plie pouvant prendre toutes les directions possibles.

Forme C : plis de renfort tissus équilibré ou non, le comportement élastique de ces matériaux est similaire à celui d'un multicouche orthogonal, symétrique.

Plusieurs possibilités sont disponibles pour renforcer les structures composites utilisées dans les automobiles. Trois formes de composites sont expérimentalement étudiées de déterminer l'énergie de choc. Les matériaux utilisés sont de matrice polyuréthane de fibre de verre. Les fibres sont coupées dans le premier type, et plis croisés de fibres de carbone dans le deuxième type, par contre dans le troisième type un empilement quasi homogène dans toutes les directions (3). Plusieurs auteurs ont montré que la conception optimale des structures composites est les structures renforcées par des fibres tissées et mates (4). L'effet de former de renfort et l'épaisseur de stratifié sur le comportement au choc du matériel sont à étudier par (5), il a comparé entre des stratifiés fabriqués par enroulement filamentaire des fibres contenues et autres utilisent les fibres de verre coupés avec des masses surfaciques différentes. Lee et al (6) ont étudié l'effet de plusieurs paramètres de conception des matériaux composites comme le contenu de fibres sur le comportement et les caractéristiques mécaniques des stratifiés fabriqués. Mais, (7) a montré que le traitement des fibres a un effet considérable sur les caractéristiques mécaniques du composite étudié. L'effet de variation de fraction volumique de fibre sur les caractéristiques mécaniques des stratifiés verre / PPT est étudié par (8), les résultats obtenus de cette étude montrent que l'augmentation de fraction massique et par conséquent la fraction volumique de fibres augmente le module d'élasticité de traction et la contrainte de rupture de traction et de flexion. Mais, la contrainte de cisaillement inter laminaire diminue linéairement en augmentant la fraction volumique de fibre. Les variations de taux de fibre entre les plis du stratifié jouent un rôle très important sur la résistance de flexion et de choc, les résultats de (9) et (10) montrent que la résistance du face la plus renforcée de stratifié est plus haute que la résistance de face la moins renforcée. Les conditions de chargement sont étudiées par (11) sur des stratifiés renforcés par mat de verre / Vinyle Enstère, les résultats montrent que l'énergie de choc augmente en fonction de logarithme de vitesse de chargement en flexion.

## **2. Matériaux Utilisés**

### **2.1 Composants principaux**

Les matériaux utilisés dans cette recherche sont les matériaux disponibles à la compagnie Amir de fibre glass à Alep, et qu'on utilise dans sa production, ce qui contribue à la réalité et la qualité de ce travail. La matrice utilisée est le polyester avec 2% durcisseur et 0.5% catalyseur. Il est très important de signaler que les taux de durcisseur et catalyseur dépendent de la température et du temps de polymérisation. A partir de grande variété des fibres de renforcement dans la compagnie Amir de fibres glass, nous avons utilisé deux types de fibres. Le premier est des fibres de verre tissu et équilibré avec une masse surfacique de 450 gr/m<sup>2</sup>, et le deuxième sont des mat de verre avec une masse surfacique de 100 gr/m<sup>2</sup>.

### **2.2 Méthode de fabrication**

La méthode de fabrication utilisée dans ce travail est le moulage au contact. Nous avons préparé un cadre de bois 350 x 400 (mm x mm) et épaisseur de 4 mm sur une plaque d'acier voir (Fig. 1). Nous avons utilisé la cire comme un démoulant pour le moule et le cadre de bois, les fibres sont coupées selon les dimensions et le type nécessaire et puis nous avons préparé la matrice en mélangeant la résine avec le durcisseur et le catalyseur selon les taux précédents. La stratification des plaques commence par une couche de matrice puis la première couche de renfort selon le type de stratifié fabriqué (Fig. 2), ensuite nous répétons l'opération matrice – renfort – matrice selon le nombre des plies dans le stratifié.



Fig. 1. Moule en bois sur une plaque métallique



Fig. 2. Positionnement du pli de fibre mat

### 2.3 Stratifiés fabriqués

Selon l'objectif de cette étude, deux types de stratifiés plans sont fabriqués pour assurer le nombre d'échantillons nécessaires des caractérisations mécanique sur la traction, flexion et cisaillement inter laminaire. Le seul différent entre ces deux types de stratifiés est la positionnement des plis tissus T en fonction aux plis de mat M dans le stratifié. Pour chercher l'effet de positionnement de plis tissus dans le stratifié qui contient les deux sort de renforcements, nous avons adopté deux ordres de stratifications, le premier est de  $[T/M2n/T]$  et le deuxième est de  $[Mn/T2/Mn]$  avec  $n$  : le nombre de plis de mat qui prend les valeurs de 2 à 6 selon le (Tab. 1). En plus d'identifier l'effet de taux de fraction volumique sont étudiés aussi sur les caractéristiques précédentes.

N	$[T/M2n/T]$	$[Mn/T2/Mn]$
2	$[T/M4/T]$	$[M2/T2/M2]$
3	$[T/M6/T]$	$[M3/T2/M3]$
4	$[T/M8/T]$	$[M4/T2/M4]$
5	$[T/M10/T]$	$[M5/T2/M5]$
6	$[T/M12/T]$	$[M6/T2/M6]$

Tab. 1. Les stratifiés fabriqués

### 2.4 préparation des échantillons

Les échantillons sont coupés par un disque circulaire dans un laboratoire de la faculté de génie mécanique à partir des stratifiés fabriqués (Fig. 3). 1cm de bords de chaque plaque est coupé pour éviter l'effet de bords sur le comportement des éprouvettes.



Fig. 3. Découpe des éprouvettes

La forme et les dimensions des échantillons sont assurées selon les normes et les standards européens en fonction de chaque caractérisation mécanique (Tab. 2).

Type d'essai	Cisaillement Inter-laminaire	Flexion	Traction
Norme	NF EN ISO 14130 : 98	NF EN ISO 14125 : 98	NF EN ISO 527-4 : 97
Dimensions d'éprouvette	X10 X 4 20	X 10 X 4 100	X 20 X 4 250
N. éprouvettes	5	5	5

Tab. 2. Caractéristiques des essais réalisés

Il est évident que la variation de nombre des plis de mat d'un stratifié à autre va changer le taux de fraction volumique de fibre dans le stratifié, et par conséquent va modifier l'épaisseur de stratifiés. (Fig. 4) montre la variation de fraction volumique  $V_f\%$  et l'épaisseur du stratifié en fonction des nombres des plis mat utilisé dans ces stratifiés.

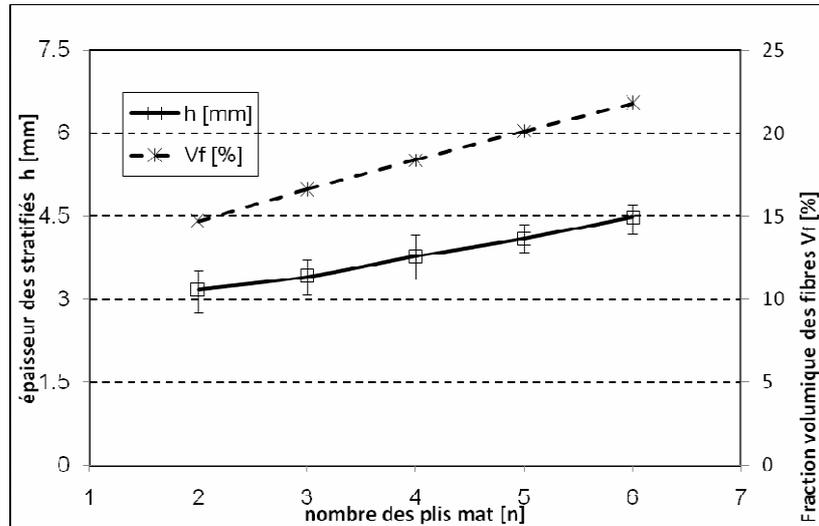


Fig. 4. Variation d'épaisseurs des stratifiés et la fraction volumique des fibres

La variation proposée par de nombre des plis mat dans les stratifié génère une modification considérable dans la fraction volumique des fibres, le fait qui nous permet d'interpréter les résultats obtenus par les caractérisations mécanique suivante.

### 3. Essais Mécaniques

Plusieurs essais mécaniques sont faits sur les éprouvettes fabriquées :

#### 3.1 Essai de traction

Des essais de traction sont réalisés selon les normes européennes sur une machine de traction générale (Tab. 2). Les déplacements imposés sont mesurés par un extensomètre fixé sur chaque éprouvette, par contre une cellule électronique délivré avec la machine de traction est utilisée de mesurer les forces. A partir de courbe de comportement, qui donne la relation entre la déformation et la contrainte, nous avons calculé le module d'élasticité  $E$  et la résistance de rupture  $\sigma$ . La (Fig. 5) montre la variation de valeurs de module d'élasticité de deux types de stratifiés en fonction de fraction volumique de fibres.

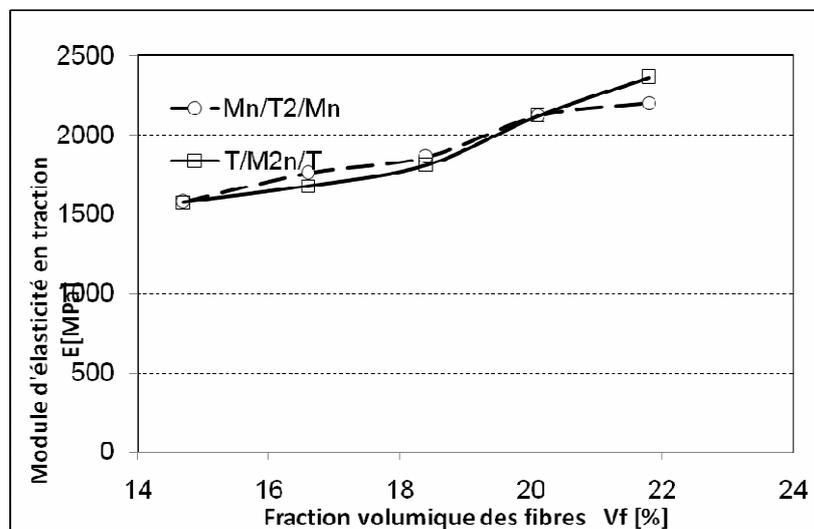


Fig. 5. Variation de module d'élasticité en traction.

La variation de contrainte de rupture en fonction de fraction volumique de fibres exploitées dans la (Fig. 6).

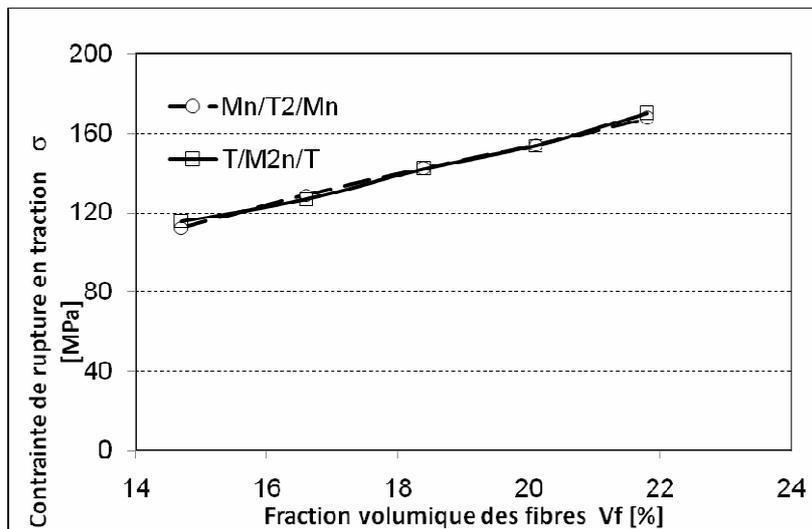


Fig. 6. Variation de contrainte de rupture en traction.

L'observation de ces résultats nous montre que les caractéristiques mécaniques en traction augmentent en fonction de fraction volumique des fibres, mais l'ordre de stratification et le mode d'empilement n'a aucun influence sur les valeurs de caractéristiques calculées.

### 3.2 Essais de flexion

La norme NF EN ISO 14125 : 98 est adopté pour l'essai de flexion trois points dans ce travail. La distance entre les deux appuis est 80 mm, la (Fig. 7) exploite la mécanisme de cette essai. L'objectif de cette caractérisation est de trouver l'effet de positionnement des plis tissés (face supérieure et inférieure ou plain moyen du stratifié), et la variation de fraction volumique des fibres.



Fig. 7 : Machine d'essais de flexion trois points

Nous trouvons dans la (Fig. 8) l'évolution de module d'élasticité en flexion, et dans la figure (9) la variation de résistance de rupture en flexion sur les deux types de stratifiés [T/M2n/T], [Mn/T2/Mn]. Les résultats obtenus montrent un bon effet de la fraction volumique des fibres et également la plain des plis tissés sur les modules d'élasticité et la contrainte de rupture en flexion.

Les résultats présentés dans la (Fig. 9) montrent d'une part, que la contrainte de rupture en flexion augmente en fonction de taux volumique des fibres dans les deux types des stratifiés, et d'autre part, le stratifié qui a les plis tissés dans les faces supérieures et inférieures présente une résistance plus considérable que le stratifié qui a les plis tissés dans le plain moyen. C'est à cause de trouver des fibres longitudinal dans les plis tissés aux faces supérieures et inférieures de stratifiés [T/M2n/T], qui présente une résistance plus grande en compression et en traction. Même pour le module d'élasticité en flexion (Fig. 8), on observe qu'il y a une variation claire de ses valeurs en fonction de variation de fraction volumique des fibres. Le résultat le plus important dans cet essai, qu'il y a une déférence dans les valeurs de module d'élasticité en flexion entre les stratifié [T/M2n/T] et es stratifiés [Mn/T2/Mn].

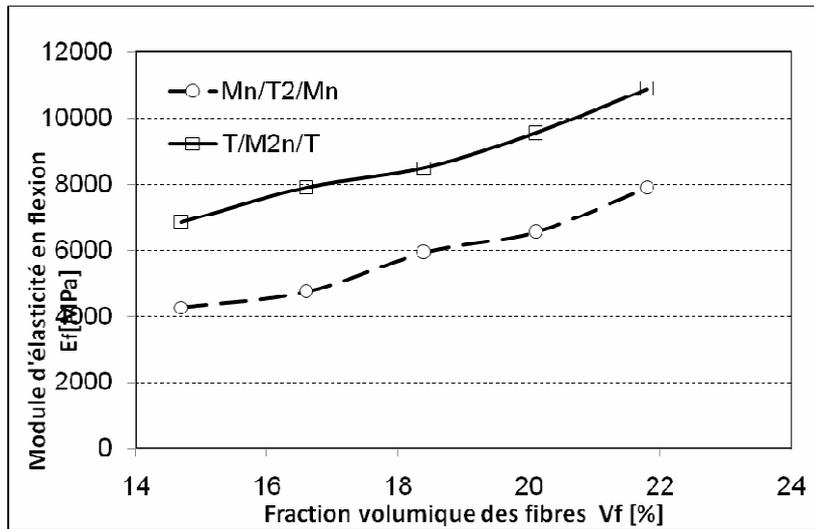


Fig. 8. Variation de module d'élasticité en flexion

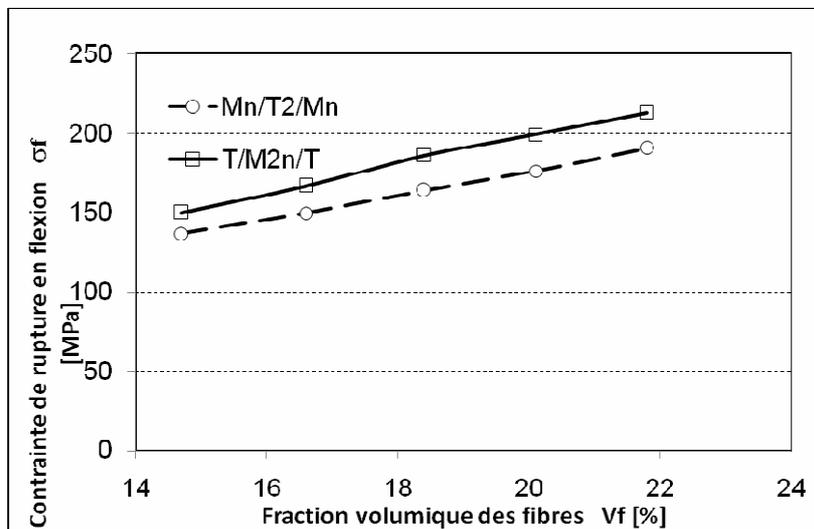


Fig. 9. Variation de contrainte à la rupture en flexion.

### 3.3 Essais de cisaillement Inter-laminaire

Nous avons réalisé l'essai de cisaillement inter-laminaire sur le même appareil que nous avons fait l'essai de flexion trois points, mais la distance entre les deux appuis nous l'avons approché jusqu'à 20 mm. L'objectif de cet essai est de chercher la valeur de la contrainte à la rupture en cisaillement entre les plis. Et par conséquent, pour adopter cet essai, il faut que les stratifié endommagés dans une interface fait entrer les plis de ce stratifié, par contre nous ne pouvons pas considérer les éprouvette endommagées en traction dans les plis inférieurs ou en compression dans les plis supérieurs. (Fig. 10) exploite les valeurs de contraintes de rupture en cisaillement inter-laminaire obtenus de ces essais.

Les résultats montrent l'augmentation de la fraction volumique des fibres a un effet positif sur les contraintes de cisaillement inter-laminaire. Nous observons aussi que la contrainte de rupture de stratifiés [Mn/T2/Mn] est moins de 20% que celle-ci de stratifiés [T/M2n/T], c'est-à-dire quand les plis tissés sont dans le plain moyen présentent une résistance de cisaillement plus faible.

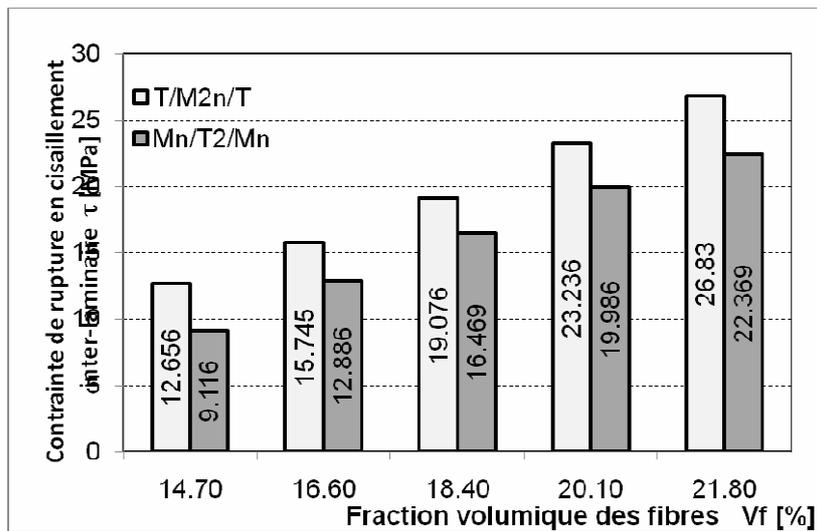


Fig. 10. Contrainte de rupture en cisaillement inter-laminaire.

#### 4. Discussion des résultats

Les résultats obtenus de ces études expliquent quantitativement et qualitativement les effets d'une part, le positionnement des plis tissés dans les stratifiés par rapport aux plis de mat, et d'autre part, les variations de fraction volumique des fibres  $V_f$  entre 14,7% et 21,8%. Ces deux paramètres sont les plus importants parmi les paramètres de fabrication en gardant toujours la symétrie et le nombre de plis dans le stratifié, la seule modification a été la position des plis tissés, soit aux faces supérieures et inférieures du stratifié [T/M2n/T] ou dans le plain moyen du stratifié [Mn/T2/Mn]. Les caractéristiques mécaniques étudiées sur la traction, flexion et cisaillement inter-laminaire sont les caractéristiques les plus importantes utilisées dans la conception et la caractérisation des matériaux composites. Il faut bien signaler là sur l'existence d'une dispersion dans les valeurs trouvées car d'une part, les plis mat hétérogènes dans les plaques des éprouvettes et d'autre part la stratification manuelle des plaques fabriquées.

Premier mot, en regardant sur les (Fig. 5,6) nous trouvons qu'il n'y a aucun effet de l'ordre de stratification sur les valeurs de module d'élasticité en traction et sur les valeurs de contrainte de rupture en traction dans les deux types de stratifiés, car la contrainte normale générée dans la section du stratifié est répartie régulièrement sur la totalité de la section du stratifié. Par contre, la mode d'empilement a un effet clair sur les caractéristiques en flexion et cisaillement inter-laminaire comme le montre les (Fig. 8, 9 et 10), parce que les contraintes dans les éprouvettes de flexion vont être analysées sur des contraintes de compression à la face supérieure et de traction à la face inférieure du stratifié. Les résultats des stratifiés [T/M2n/T] présentent une augmentation de 33,4% dans le module d'élasticité en flexion et de 10,6% dans la contrainte de rupture en flexion, et de 18,1% dans la contrainte de cisaillement inter-laminaire de celle-ci des stratifiés [Mn/T2/Mn]. Deuxième mot, nous pouvons déduire que la modification de fraction volumique  $V_f$  a des effets sur les caractéristiques mécaniques étudiées. C'est-à-dire l'augmentation de  $V_f$  de 32,6% va augmenter le module d'élasticité en traction de 30% (Fig. 5), et augmenter la contrainte de rupture en traction de 32,5% (Fig. 6). Par contre le module d'élasticité en flexion augmente de 40% (Fig. 8) et la contrainte de rupture en flexion augmente de 28,8% (Fig. 9). Également nous avons trouvé une forte positive augmentation de 57,5% (Fig. 10) de contrainte de rupture en cisaillement inter-laminaire pour la même variation de  $V_f$ .

Finalement, les variations dans les valeurs des caractéristiques mécaniques pour les deux types de stratifiés et en fonction de la variation de la valeur de fraction volumique  $V_f$  ont une bonne harmonie avec les résultats présentés dans [12]. Et il est très intéressant d'étudier ces effets théoriquement et numériquement en utilisant les lois de simulation des matériaux composites à partir des caractéristiques mécaniques des composants à l'échelle microscopique.

#### Références

- [1] R. HOSSEINZADEH, M. SHOKRIEH, L. B. LESSARD, « Parametric study of automotive composite bumper beams subjected to low-velocity impacts » *J. Composite Structures*, Vol. **68**, pp. 419–427, 2005.
- [2] F. MERAGHNI F.; DESRUMAUX F.; BENZEGGAGH M.L., « Implementation of a constitutive micromechanical model for damage analysis in glass mat reinforced composite structures », *J. Composites Science and Technology*, Vol. **62**, pp. 2087–2097, 2002.

- [3] J. M. CORUM, R. L. BATTISTE, M. B. RUGGLES-WRENN, « Low-energy impact effects on candidate automotive structural composites », *J. Composites Science and Technology*, Vol. **63**, pp. 755–769, 2003.
- [4] C. S. SMITH, « Design of marine structures in composite materials », *London Elsevier*, 1990.
- [5] L. S. SUTHERLAND, C. GUEDES SOARES, « Effects of laminate thickness and reinforcement type on the impact behavior of E-glass/polyester laminates », *J. Composites Science and Technology*, Vol. **59**, pp. 2243-2260, 1999.
- [6] N. J. LEE, J. JANG, « The effect of fiber content on the mechanical properties of glass fiber mat/polypropylene composites », *J. Composites: Part A*, Vol. **30**, pp. 815–822, 1999.
- [7] J. ROUT, M. MISRA, S. S. TRIPATHY, S. K. NAYAK, A. K. MOHANTY, « The influence of fiber treatment on the performance of coir-polyester composites », *J. Composites Science and Technology*, Vol. **61**, pp. 1303–1310, 2001.
- [8] J. L. THOMSON, « Micromechanical parameters from macromechanical measurements on glass – reinforced polybutyleneterephtalate », *J. Composites : Part A*, Vol. **33**, pp. 331-339, 2002.
- [9] N. J. LEE, J. JANG, « The effect of fiber-content gradient on the mechanical properties of glass-fiber-mat/polypropylene composites », *J. Composites Science and Technology*, Vol. **60**, pp. 209-217, 2000.
- [10] J. JANG, S. HAN, « Mechanical properties of glass-fiber mat/PMMA functionally gradient composite », *J. Composites: Part A*, Vol. 30, pp. 1045–1053, 1999.
- [11] W. J. CANTWELL, S. J. YOUD, « Rate effects in the fracture of glass fiber chopped strand mat composites », *J. Composites Part B*, Vol. 28B, pp. 635-640, 1997.
- [12] J. L. THOMASON, « The influence of fiber length and concentration on the properties of glass fiber reinforced polypropylene. 6. The properties of injection molded long fiber PP at high fiber content », *J. Composites: Part A*, Vol. **xx**, 1–9, 2004.