HAL
open science

Comportement en fatigue de matériau composite = Material composite fatigue behavior

Belkacem Hachemane, Boudjema Bezzazi

To cite this version:

Belkacem Hachemane, Boudjema Bezzazi. Comportement en fatigue de matériau composite = Material composite fatigue behavior. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 5 p. hal-00391542

HAL Id: hal-00391542

https://hal.science/hal-00391542

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.

Manuscrit auteur, publié dans "JNC 16, Toulouse : France (2009)"

hal-00391542, version 1 - 4 Jun 2009

Comportement en fatigue de matériau composite

Material composite fatigue behavior

Belkacem Hachemane[1], Boudjema Bezzazi[2]

1 : Département Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Université de Boumerdès – Ave de l'Indépendance
e-mail : bhachemane@yahoo.fr

2 : Département Génie des Matériaux, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Université de Boumerdès – Ave de l'Indépendance
e-mail : bbezzazi@yahoo.fr

Résumé

Les matériaux composites font l'objet de plusieurs études en raison des avantages que présentent ces derniers à savoir s'adapter aux contraintes mécaniques à partir d'une préparation judicieuse de renfort et de matrice.

Notre étude portera sur la caractérisation mécanique d'un nouveau matériau composite hybride pouvant être utilisé dans différents domaines : aéronautique, spatial, navale, automobile, etc. Les essais que nous avons effectué sur ce matériau composite sont : la traction cyclique et statique. Ces essais ont été réalisés sur une machine universelle **Zwick** de type **Z250/SN5A** dotée d'un capteur de force de **250 KN** et pilotée par ordinateur.

Le matériau composite est conçu à partir de renfort constitué de sept couches dont quatre sont en métal tissé au milieu de trois couches de fibres de verre et d'une résine époxyde de type AL fournit par Granitex (Algérie). Les résultats obtenus mettent en évidence des caractéristiques mécaniques pouvant être utilisées dans différents domaines. Alors que nous comptons faire des applications dans le domaine automobile, blindage (armement), etc.

Abstract

The composite materials are the subject of several studies because of the advantages which present the latter to know to adapt to the mechanical constraints starting from a judicious preparation of reinforcement and matrix.

Our study will relate the mechanical characterization of a new hybrid composite material being able to be used in various fields: aeronautics, space, naval, automobile, etc the tests which we carried out on this composite material are: cyclic and static tensile. These tests were carried out on a universal **Zwick** machine of the type **Z250/SN5A** equipped with a sensor of force of **250 kN** and controlled by computer.

The composite material is designed starting from reinforcement made up of seven layers of which four are out of metal woven in the middle of three layers of glass fibers and of an epoxy resin of type Al provides by Granitex (Algeria). The results obtained highlight mechanical characteristics being able to be used in various fields. Whereas we intend to make applications in the automobile field, shielding (armament), etc

Mots clés : Matériau composite, essai de traction, essai cyclique, comportement mécanique.
Keywords : Composite Material, tensile test, cyclic test, mechanical behaviour.

1. Introduction

La production de matériaux composites augmente de plus de 6% par an en quantité [5] et se développe rapidement dans le monde. Bien que leur coût soit plus élevé que celui des matériaux traditionnels, ils apportent par rapport à des produits concurrents des avantages importants: légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite, liberté de formes permettant d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécanique (rigidité, résistance à la fatigue), mais aussi grâce à leurs propriétés chimiques (résistance à la corrosion). Ils renforcent également la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique et, pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique. Ils enrichissent aussi les possibilités de conception en permettant d'alléger des structures et de réaliser des formes complexes, aptes à remplir plusieurs fonctions. C'est sans doute dans les domaines des lanceurs, navettes et satellites que le problème de gain de masse est le plus crucial.

A l'heure actuelle, la difficulté de prévision de la durée de vie des matériaux composites limite leur utilisation qui ne cesse d'augmenter notamment dans les domaines de haute technologie et surtout dans l'aérospatial et les industries de transport. Ces industries demandent de plus en plus des matériaux performants ayant le meilleur rapport légèreté/rigidité et aussi résistance à la fatigue.

Pour le développement de l'emploi des matériaux composites dans différents secteurs, la connaissance des propriétés statiques ne suffit pas et nécessite des informations complémentaires sur leurs propriétés dynamiques et leur durabilité. Une meilleure connaissance des différents mécanismes d'endommagement au cours des sollicitations dynamiques, qui conduisent à la ruine finale des matériaux composites et qui varient avec l'architecture du stratifié, s'avère alors nécessaire au cours du chargement.

Le travail proposé s'intéresse à l'étude expérimentale d'un matériau composite hybride sollicité en traction. Le stratifié étudié est constitué de fibres de verre et métalliques et de résine époxyde. Il consiste à évaluer l'influence d'un chargement cyclique sur les caractéristiques mécaniques en traction.

2. Chargement cyclique des composites

La notion de dégradation par fatigue est définie comme étant un ensemble de changements microstructuraux qui occasionnent sa détérioration irréversible suite à l'application répétée d'une sollicitation mécanique cyclique; ce phénomène peut conduire à la rupture de la pièce.

La Fig. 1 présente les paramètres caractéristiques d'un essai cyclique dans le cas de déformation sinusoïdale imposé. Ces paramètres sont aussi valables en contrainte imposée en replaçant le terme ε par σ. On introduit également le rapport de chargement ou de sollicitation $R = \frac{\varepsilon_{min}}{\varepsilon_{max}}$ (ou $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ si l'on travaille en contrainte imposée); un cycle sinusoïdal (carré, triangulaire, ...) de cyclage est alors entièrement décrit par les trois paramètres ε_{max}, R et *f* (fréquence de l'essai). Le niveau de chargement r_ε ($r_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{max}}{\varepsilon_{stat}}$) représentant le rapport de la déformation maximale à la déformation à la rupture statique. Dans les différents essais cycliques que nous allons réaliser, la déformation moyenne ε_{moy} ($\varepsilon_{moy} = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}{2}$) est pris constant dont la valeur est égale à 50% de la déformation à la rupture en statique ε_{stat}.

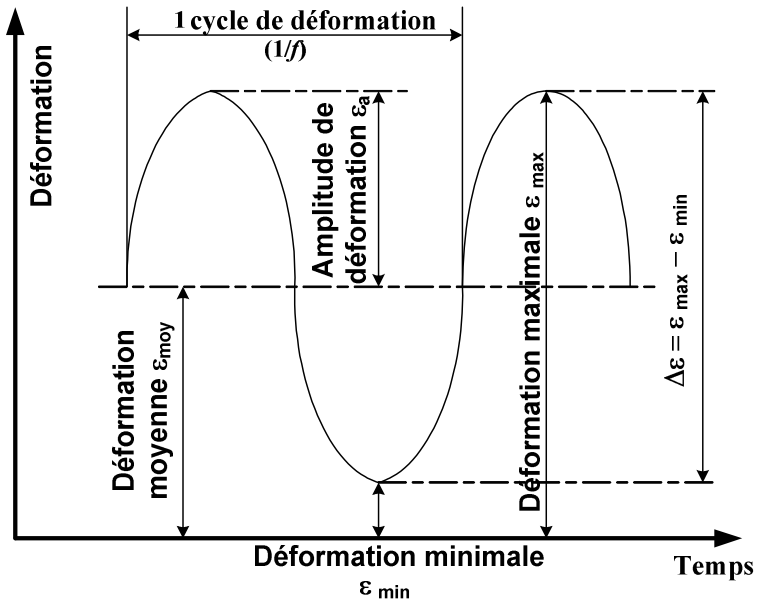

Fig. 1. Paramètres caractéristiques d'un chargement cyclique.

3. Techniques expérimentales

3.1. Elaboration du matériau

Plusieurs éprouvettes en composite hybride ont été élaborées au laboratoire LMMC par le Groupe Mécanique et Matériaux de l'Université de Boumerdès. Elles sont constituées d'une résine époxy de type AL et de renforts tissés en verre-acier en nombre de 4 tamis métalliques et 3 nappes en fibres de verre. (Fig. 2.)

hal-00391542, version 1 - 4 Jun 2009

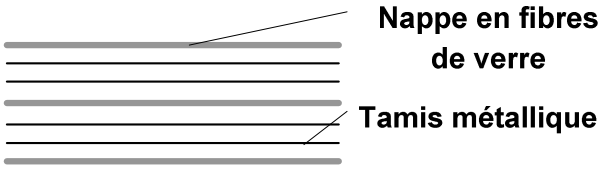

Fig. 2. Séquence d'empilement des renforts.

3.1.1. Renfort métallique

En ce qui concerne le renfort métallique, nous utilisons un tamis à base de fils d'acier de diamètre 0,17 mm. Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques mécaniques de ce renfort.

	E [GPa]	σ_{max} [MPa]	ε_{max} [%]	σ_{rup} [MPa]	ε_{rup} [%]
Renfort métallique	19,777	513,07	7,99	512,9	7,995

Tab. 1. Caractéristiques mécaniques du renfort métallique.

3.1.2. Fibre de verre

Pour ce qui est du second renfort, il s'agit de fibre de verre équilibré sous forme de nappe de 800 g/m² de densité surfacique dont ses caractéristiques sont regroupées dans le tableau suivant :

	E [GPa]	σ_{max} [MPa]	ε_{max} [%]
Fibre de verre	8,42	238,884	2,762

Tab. 2. Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.

3.1.3. Résine

La résine utilisée est une résine organique à performances élevées de type époxy AL conçue par Granitex (Algérie) ; les caractéristiques de cette résine sont comme suit :

Densité	Rm compression [MPa]	Rm traction par flexion [MPa]
1,3 ± 0,05	> 70	25

Tab. 3. Caractéristiques mécaniques de la résine époxy AL.

3.1.4. Procédé d'élaboration des éprouvettes

La mise en œuvre des stratifiés est réalisée par moulage sous pression à température ambiante pendant 24 heures entre moule et contre moule après interposition des deux types de renfort. Les plaques obtenues, de dimensions de 300 * 300 mm², sont découpées en éprouvettes après 30 jours de repos selon la norme ISO 527-4 type 3 pour la traction à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté et lubrifié. [4-6-7]
Les dimensions moyennes des éprouvettes sont données dans le tableau 4 :

	Longueur totale	Longueur entre outillage	Longueur de référence	Largeur	Epaisseur
Traction	250 ± 1	136 ± 1	50 ± 1	25 ± 0.5	4 ± 0,3

Tab. 4. Dimensions des éprouvettes (mm).

3.2. Dispositif expérimental

Les essais de traction sont effectués sur une machine universelle **Zwick** de type **Z250/SN5A** pilotée par ordinateur équipé du logiciel TestXpert V9.0 ; et dotée d'un capteur de force de **250 KN**. Celle–ci est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la force et du déplacement. La vitesse d'essai est de $5\,mm/mn$.

4. Résultats et interprétations

4.1. Influence du niveau de chargement r_ε

La Fig. 3. représente l'évolution de la contrainte maximale en fonction du nombre de cycle durant les essais de fatigue par traction pour différentes valeurs du niveau de chargement r_ε (0,6 ; 0,7 ; 0,8 et 0,9). A partir des résultats des essais, nous pouvons dire que plus le niveau de chargement augmente plus la rigidité du matériau composite diminue.

hal-00391542, version 1 - 4 Jun 2009

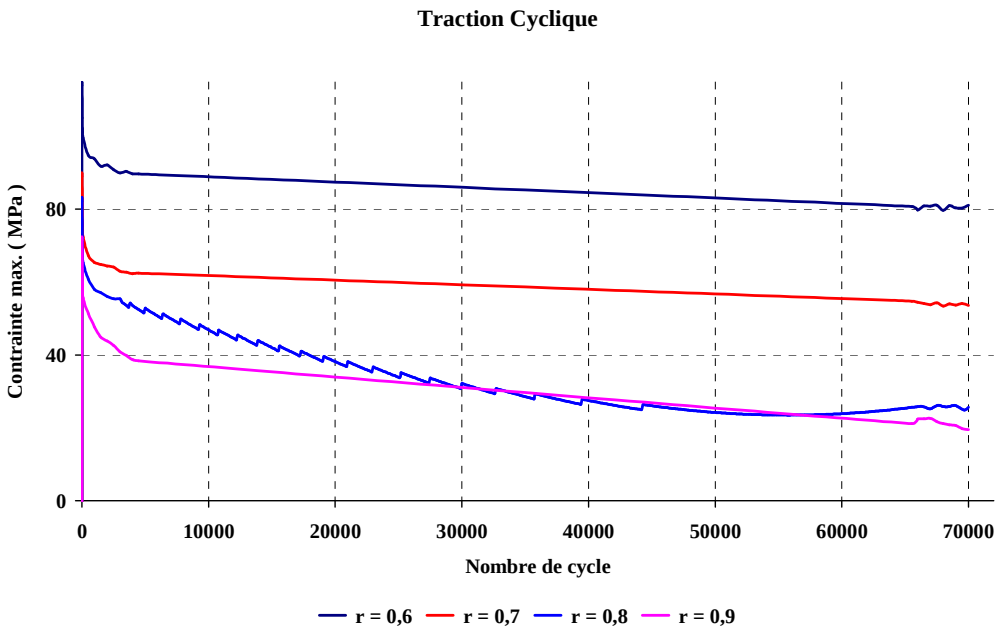

Fig. 3. Evolution de la contrainte max. en fonction du nombre de cycle.

Tandis que la Fig. 4. représente l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation lors d'essais quasi-statiques des précédentes éprouvettes ainsi que pour le cas non cyclé. De l'allure des courbes, nous constatons que la contrainte varie quasi-linéairement jusqu'à ce qu'elle atteint sa valeur maximale qui correspond à la rupture.

Des résultats des essais, nous pouvons dire que plus le niveau de chargement augmente plus la résistance du matériau composite diminue ; alors que sa rigidité diminue mais reste invariable.

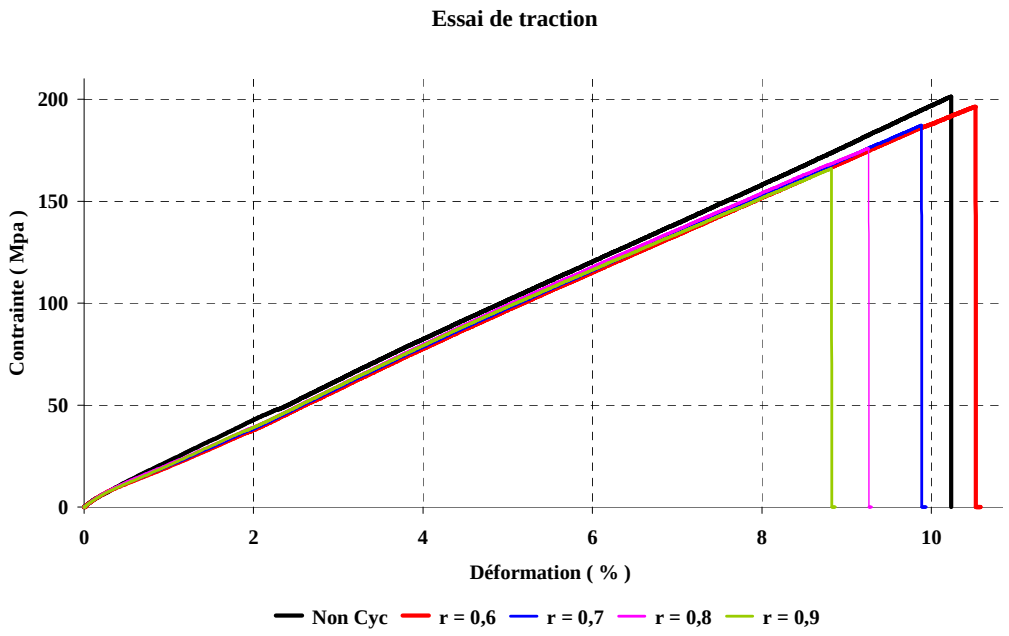

Fig. 4. Evolution de la contrainte en fonction de la déformation pour le composite verre-acier/époxyde.

Dans ce qui suit, nous présentons un tableau récapitulatif des caractéristiques mécaniques du matériau lors des différents essais effectués.

hal-00391542, version 1 - 4 Jun 2009

r_ε	E [MPa]	Chute de E [%]	σ_{max} [MPa]	Chute de σ_{max} [%]	ε_{max} [%]	Chute de ε_{max} [%]
Non – Cyc	1990,74	-	201,238	-	10,2328	-
0,6	1944,445	2,325	196,255	2,476	10.5222	2,828
0,7	1990,745	$2,511*10^{-4}$	187,259	6,946	9,8833	3,415
0,8	1953,125	1,889	175,729	12,676	9,2598	9,508
0,9	2017,545	1,346	165,981	17,52	8,8653	13,364

Tableau 5 : Caractéristiques mécaniques en traction du matériau composite testé.

5. Conclusion

Notre travail s'intéressait à étudier l'influence d'un chargement cyclique sur les caractéristiques mécaniques en traction d'un matériau composite hybride.

A partir des résultats obtenus, nous conclure que :

- Le comportement du matériau composite verre-acier/époxyde ne change pas avec l'application d'un chargement dynamique de type cyclique ;
- Le module d'élasticité, du dit matériau composite, diminue avec l'augmentation du niveau de chargement ;
- La contrainte maximale que peut supporter le matériau hybride diminue elle aussi avec l'accroissement du niveau de chargement.

Références:

[1] S. M. Bleay, L. Humbertone, « Mechanical and electrical assessment of hybrid composites containing hollow glass reinforcement, *Composites Sciences and Technology*, Vol. 59, pp 1321-1329, 1999.

[2] H. F. Brinson, D. H. Morris, Y. T. Yeow, « A new experimental method for the accelerated characterization of composite materials», *Proc. 6th Int. Conference on Experimental Stress Analysis*, VDI Berichte, pp 395-400, 1978.

[3] L. J. Broutman, S. Sahu, *Composites Materials, testing and design*, ASTM STP, pp 170-188, 1972.

[4] H. Chalaye, « Les matériaux composites Dynamisme et innovation », SESSI, DiGITIP, *Les 4 pages des statistiques industrielles* n°158, 2002.

[5] P. C. Chou, R. Croman, *Journal of Composites Materials, testing and design*, ASTM STP 674, pp 431-454, 1979.

[6] H. El Kadi, F. Ellyin, « Effect of stress ratio on the fatigue of unidirectional glass fibre/epoxy composite laminate », *Composites,* vol. 25, n°10, pp 917- 924, 1994.

[7] H. C. Kim, L.J. Ebert, « Flexural fatigue behaviour of unidirectional fibre glass composites », *Fibre Science and Technology*, vol. 14, pp 3-20, 1981.

[8] J. F. Mandell, U. Meier, « Effects of stress ratio, frequency and loading time on the tensile fatigue glass-reinforced epoxy », *Long therm behaviour of composites* ASTM STP 813, pp 55-77, 1983.

[9] A. Rotem, « The fatigue behaviour of composite Laminates under various mean stress », *Composite Structures*, vol. 17, pp 113-126, 1991.

[10] M.J. Salkind, « Fatigue of composites, Advanced approaches to fatigue evaluation », *NASA SP 309*, pp 333 - 364, 1972.

hal-00391542, version 1 - 4 Jun 2009