

Endommagement d'une structure composite soumise à un chargement mécanique élevé, constant et de longue durée

A. GIRARDOT^{a,b}, N. LAHELLEC^b, Ch. HOCHARD^b, S. LE ROCH^a

a. CEA, DEN, Département de Technologie du Cycle du combustible, BP 17171, F-30207 Bagnols sur Cèze, France. sandrine.leroch@cea.fr

b. Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique – LMA Marseille, CNRS UPR 7051, Université Aix-Marseille, École Centrale Marseille, 31 chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille Cedex 20, France. girardot@lma.cnrs-mrs.fr ; lahellec@lma.cnrs-mrs.fr ; hochard@lma.cnrs-mrs.fr

Résumé

Un des modes de ruine des matériaux composites est la microfissuration de la matrice, qui peut être modélisée dans le cadre de la mécanique de l'endommagement.

L'endommagement évolue sous des chargements monotones ou bien cyclés.

L'objectif est d'étudier, dans le cadre de chargements élevés, constants et de longues durées, l'évolution de cet endommagement, et plus particulièrement les modalités de propagation de fissures transverses, de stratifiés carbone/époxy.

Une première campagne d'essais de traction a été réalisée sur des éprouvettes stratifiées afin d'identifier les paramètres matériaux et de comprendre les différents processus d'endommagement.

Des essais longs termes étant nécessaires pour caractériser les phénomènes de fluage et de relaxation, un banc d'essai a été réalisé.

Abstract

One of the failure modes of the composite materials is the matrix microcracking, which can be modeled as part of the mechanical damage. It is known that damage progress under monotonic or cycled loads.

The objective is to study, in the context of long-term high and constant mechanical loading, the damage evolution, and especially the transverse crack propagation of a carbon / epoxy laminate.

A first tensile tests campaign was performed on laminate specimens, in order to identify material parameters and to understand the different damage processes.

Since long term tests are necessary to characterize the creep and relaxation phenomena, a testing machine was carried out.

Mots clefs : Composites ; Carbone/Époxy ; Endommagement ; Fluage ; Relaxation ; Longue durée

1 Introduction

Grâce à leurs propriétés mécaniques intéressantes, les matériaux composites deviennent de plus en plus une réelle alternative aux matériaux métalliques. Ils se retrouvent désormais dans de nombreuses applications (aéronautique, énergie, matériel sportif, automobile...).

Il est connu que l'endommagement de ces matériaux évolue sous des chargements monotones ou bien cyclés, mais il subsiste une mauvaise connaissance quant à son évolution sous chargements constants [1,2]. L'objectif est donc de présenter, dans le cadre de chargements mécaniques élevés, constants et de longues durées, l'évolution de cet endommagement sur des stratifiés carbone/époxy, et plus particulièrement les modalités de propagation de fissures transverses. En effet, un des modes de ruine des matériaux composites est la microfissuration de la matrice, qui peut être étudiée dans le cadre de la mécanique de l'endommagement.

Les résultats de la première campagne d'essais sont exposés. Ils permettent d'identifier les paramètres matériaux et de comprendre les différents processus d'endommagement sur des éprouvettes stratifiées.

Enfin, la réalisation d'un banc d'essais nécessaire aux essais longs termes est imagée. Ce dispositif permet de caractériser les phénomènes de fluage et de relaxation des contraintes.

2 Analyse des essais – Comportement transverse

Des éprouvettes stratifiées orientées à $\pm 45^\circ$ ont été testées afin de comprendre les processus d'endommagement qui se développent au sein de celles-ci. Les phénomènes de frottements et de réorientation des fibres (augmentation de la rigidité) au cours de l'essai rendent la mesure de l'endommagement très difficile (Figure 1a).

Des éprouvettes à 90° ont été testées par la suite afin de comprendre le comportement en transverse [3,4]. Mais ces éprouvettes sont beaucoup trop fragiles pour analyser les résultats obtenus (Figure 1b).

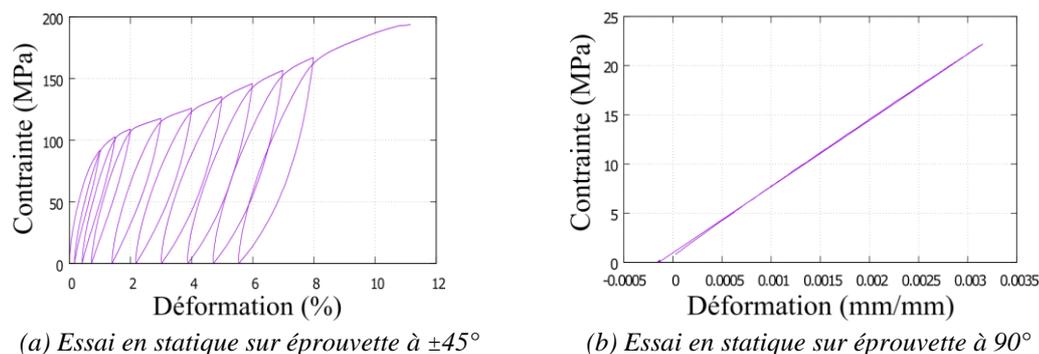


Figure 1 : Essais en statique sur éprouvettes à $\pm 45^\circ$ et à 90°

Ladeveze [5] a mené des études sur des éprouvettes à $\pm 67.5^\circ$ afin de limiter d'une part le cisaillement et d'autre part la fragilité des éprouvettes en transverse. Cependant, les éprouvettes restent encore trop fragiles pour notre étude, c'est pourquoi, il a été choisi de tester des éprouvettes à $\pm 60^\circ$ (Figure 2).

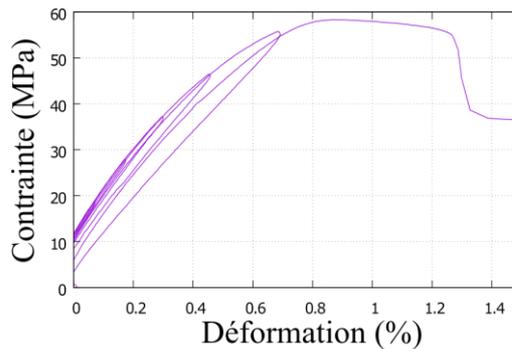


Figure 2 : Essai en statique sur éprouvette à $\pm 60^\circ$

Plusieurs types de chargements ont été réalisés : chargement monotone, chargement cyclés et chargement constant. Après analyse de ces essais, on note que l'endommagement évolue aussi sous un chargement constant (Figure 3). L'endommagement obtenu avant la rupture pour ce type de chargement est du même ordre de grandeur que celui obtenu en fatigue ($d \approx 0.7$) et bien supérieur au chargement monotone ($d \approx 0.5$).

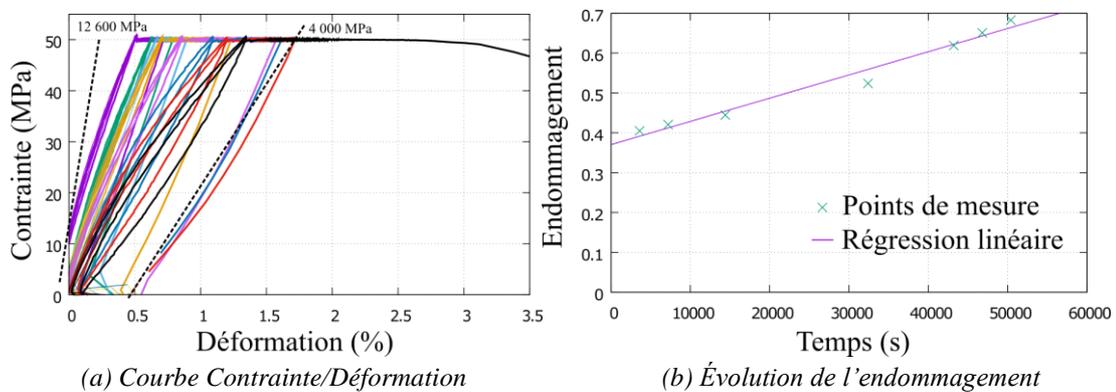


Figure 3 : Essais sous chargement constant sur éprouvette à $\pm 60^\circ$

3 Machine de fluage et de relaxation

Il existe plusieurs types de chargements de longue durée : le fluage pour lequel une contrainte est imposée, et la relaxation des contraintes pour laquelle il s'agit de la déformation qui est imposée.

Ce type de comportement doit être caractérisé, c'est pourquoi deux bancs d'essais, permettant de tester huit éprouvettes simultanément, ont été réalisés, dans le but de ne pas monopoliser une machine de traction sur le long terme. Chaque banc d'essais permet de tester deux éprouvettes en fluage ainsi que deux éprouvettes en relaxation (Figure 4).

Les essais de fluage sont réalisés grâce à la suspension de masses sur une éprouvette afin de maintenir une charge constante au sein de celle-ci.

Pour les essais de relaxation, la mise en tension de l'éprouvette est réalisée à l'aide d'un système hélicoïdal qui applique donc une déformation constante à l'éprouvette.

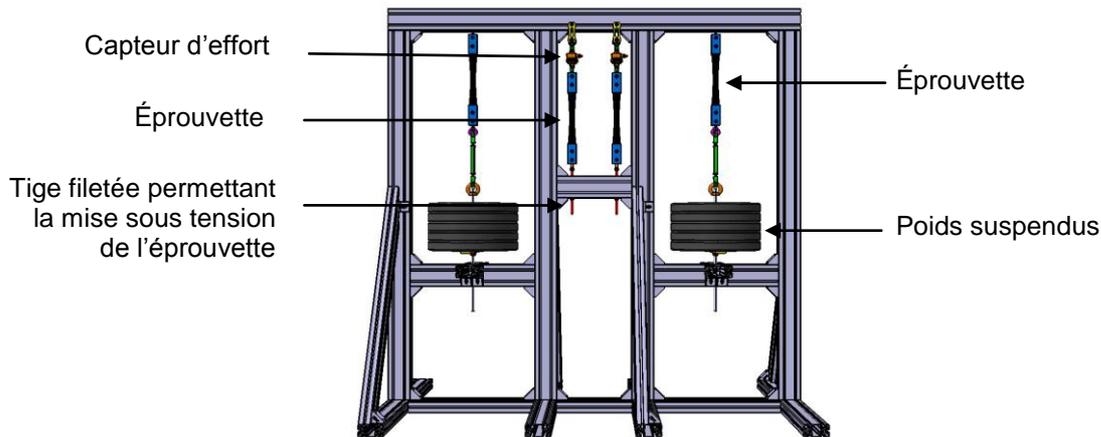


Figure 4 : Machine de fluage / Relaxation

4 Conclusion

Des essais ont été réalisés sur des éprouvettes stratifiées afin de caractériser le comportement en transverse.

L'orientation retenue est du $\pm 60^\circ$ car les éprouvettes à 90° sont trop fragiles et la mesure de l'endommagement est trop difficile sur les éprouvettes à $\pm 45^\circ$. Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes stratifiées dont les fibres sont des fibres à haute résistance (T700/M10). Ces essais ont permis de conclure sur le fait que l'endommagement évoluait sous un chargement statique, de fatigue mais aussi sous un chargement constant. Par comparaison, pour un même niveau de charge l'éprouvette en fatigue rompt au bout d'environ 6 heures alors que celle sous un chargement constant rompt après plus de 14 heures. Le niveau d'endommagement avant la rupture est quasiment identique dans les deux cas (environ 0.7). Il se trouve bien supérieur au cas d'un chargement statique (environ 0.5).

D'autres études sont en cours, notamment des essais sur éprouvettes stratifiées avec des fibres à haut module ainsi que sur éprouvettes et tubes réalisés par enroulement filamentaire.

Afin d'obtenir un chargement élevé, constant et de longue durée, deux machines de traction ont été réalisées pouvant tester huit éprouvettes simultanément. Ces montages permettront de caractériser les phénomènes de fluage et de relaxation des contraintes.

Références

- [1] S. Miot. *Rupture de structures composites stratifiées sous chargements statique et de fatigue*. PhD thesis, Aix-Marseille Université, 2009.
- [2] Y. Thollon. *Analyse du comportement à rupture de composites stratifiés constitués de plis tissés sous chargements statique et de fatigue*. PhD thesis, Aix-Marseille Université, 2009.
- [3] Ch. Hochard, P.-A. Aubourg, and J.-P. Charles. Modelling of the mechanical behaviour of woven-fabric CFRP laminates up to failure. *Composites Science and Technology*, 61(2) :221–230, 2001.
- [4] Ch. Hochard, N. Lahellec, and C. Bordreuil. A ply scale non-local fibre rupture criterion for CFRP woven ply laminated structures. *Composite Structures*, 80(3) :321–326, October 2007.
- [5] P. Ladeveze and E. Le Dantec. Damage modelling of the elementary ply for laminated composites. *Composites*, 43 (3) :257–267, 1992.