

Comportement en fatigue de structures épaisses en matériaux composites

Fatigue behaviour of thick composite structures

Nicolas Revest¹, Alain Thionnet^{1,2}, Jacques Renard¹ et Laurent Boulay³

1 : Centre des Matériaux P.M. Fourt
Mines-ParisTech, CNRS UMR 7633, BP 87, F - 91003 Evry, Cedex
e-mail : nicolas.revest@ensmp.fr, alain.thionnet@ensmp.fr, jacques.renard@ensmp.fr

2 : Université de Bourgogne, Mirande, BP 47870, F - 21078, Dijon, France
e-mail : alain.thionnet@u-bourgogne.fr

3 : CETIM Nantes, 74 route de la Jonelière BP 82617, F - 44326 Nantes Cedex 3
e-mail : laurent.boulay@cetim.fr

L'utilisation croissante de structures épaisses (>3-4mm) en matériaux composites stratifiés (fuselages, voilures aéronautiques, pièces navales et ferroviaires...) susceptibles de reprendre des efforts importants nécessite un dimensionnement approprié de ces pièces. Répondre à cette nécessité soulève de nouveaux problèmes par rapport aux structures minces tels que l'influence des contraintes transversales et la tenue en fatigue.

Les objectifs de ce travail sont multiples. Dans un premier temps, il convient de mettre en évidence les caractéristiques principales de l'endommagement au sein d'un stratifié soumis à des chargements quasi-statiques et cycliques et d'en suivre son évolution. Nous proposerons ensuite une modélisation de l'endommagement pour les structures épaisses sollicitées en quasi-statique et en fatigue. Enfin le modèle sera implémenté dans un code de calcul par éléments finis pour être appliqué à une structure industrielle.

Le reproche que l'on peut faire à l'écriture classique des lois d'évolution traduisant l'endommagement en fatigue, est de faire intervenir explicitement le chargement extérieur au travers, notamment, du rapport de charge $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$. Si cela ne pose pas de problème dans le cas uni-axial, en revanche, dès lors que l'on introduit de la multi-axialité (due au chargement ou à la géométrie de la structure) le rapport R peut varier en chaque point de la structure du fait des redistributions de contraintes. Ainsi, on propose une loi d'évolution de l'endommagement en fatigue écrite à l'aide de variables locales, dans laquelle le chargement extérieur n'intervient pas explicitement.

Afin de pouvoir écrire et identifier une loi d'évolution de l'endommagement nous avons réalisé différents essais expérimentaux. On s'intéresse, dans cette étude, plus particulièrement à la fissuration intra-laminaire et aux chutes de rigidités induites par l'apparition des fissures (Fig. 1). Expérimentalement, on observe que l'endommagement se traduit par un réseau de fissures réparties de façon relativement homogène et parallèles aux fibres. Les fissures ont les mêmes caractéristiques géométriques dans le cas d'un chargement quasi-statique ou cyclique, la différence résidant principalement dans la loi d'évolution.

Les modélisations de l'endommagement dans les structures minces se placent, en général, sous l'hypothèse des contraintes planes. Dans le cas des structures épaisses, il devient nécessaire de prendre en compte les contraintes perpendiculaires à la stratification jusqu'alors négligées. Ainsi, on se propose d'étendre la modélisation développée initialement par Aussedat et al. [1] puis Thionnet et Renard [2] à partir des travaux de Talreja [3] au cas d'un état de contrainte tridimensionnel. Le modèle, écrit à l'échelle du pli dans le contexte de la Mécanique de l'Endommagement, vise à modéliser la multiplication des fissures et à déterminer les chutes de rigidités associées.

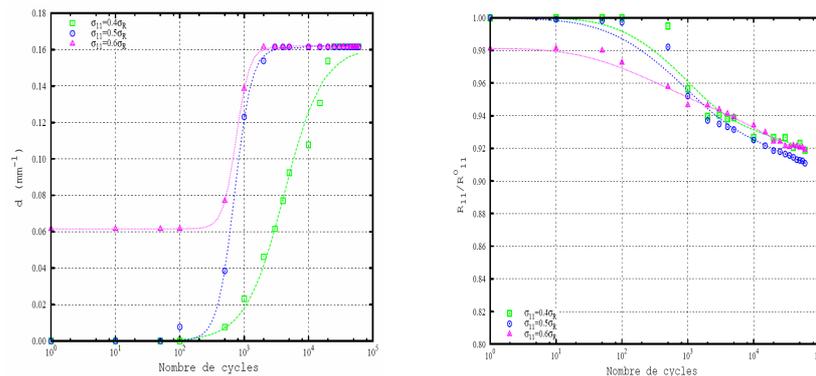


Fig. 1. Evolution de la densité de fissures et de la chute de rigidité longitudinale macroscopique de la séquence $(0^{\circ}_3/90^{\circ}_{12}/0^{\circ}_3)$ sollicitée en fatigue ($f=1\text{Hz}$, $R=0.1$, $\sigma_{11\text{max}}=0.4\sigma_{11R}$, $0.5\sigma_{11R}$, $0.6\sigma_{11R}$)

Le modèle a été implémenté dans le code de calcul par éléments finis ZéBuLoN. Afin de concilier deux impératifs importants mais contradictoires : prédire l'endommagement avec une précision acceptable et limiter les temps de calculs. On fait le choix d'utiliser une approche de type *sauts de cycles* basée sur la méthode proposée par Van Paepegem et al. [4]. Ce type d'approche consiste à n'effectuer le calcul que pour certains cycles de chargement pris à intervalles déterminés judicieusement et d'extrapoler de façon appropriée le comportement pour les intervalles considérés. On limite ainsi de façon conséquente les temps de calculs. On notera l'importance de ce point dans le contexte d'un calcul d'une structure industrielle.

Enfin, le modèle est validé à l'aide de plusieurs essais pour finalement être appliqué au calcul d'une structure industrielle.

Références

- [1] E. Aussedat, A. Thionnet, J. Renard « Modelling of Damage in Composite Materials submitted to off-axis tests : Application to a Ceramic Woven Fabric SiC-SiC composite ». *International Journal of Damage Mechanics*, Vol.5, pp 3-15 ,1996
- [2] A. Thionnet, J. Renard « Modelling unilateral damage effect in strongly anisotropic materials by the introduction of the loading mode in damage mechanics ». *International Journal of Solides and Structures*, Vol. 36, pp.4269-4287, 1999.
- [3] R. Talreja, « Stiffness properties of composite laminates with matrix cracking and interior delamination ». *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 25, pp.751-762, 1986.
- [4] W. Van Paepegem, J. Degrieck and P. De Baets, « Finite Element Approach for Modelling Fatigue Damage in Fibre-reinforced Composite Materials ». *Composites part B*, Vol. 32(7), pp. 575-588.