

Analyses comparatives de la tolérance aux dommages de matériaux composites à matrices thermoplastiques et thermodurcissables

POITOU Benoît, JOLLIVET Thomas

Benoit.poitou@cetim.fr ; thomas.jollivet@cetim.fr

Centre Technique des Industries Mécaniques ; 74 route de la Jonelière, 44300 NANTES

RESUME

L'utilisation de matériaux composites à matrice thermoplastique est en pleine croissance alors que leur comportement vis-à-vis de la fissuration reste assez méconnu en comparaison aux multiples travaux menés sur les composites à matrices thermodurcissables. L'approche présentée ici consiste à évaluer, à l'aide d'essais et de critères basés sur la mécanique de la rupture, la résistance à la propagation de fissure de différents matériaux composites : Carbone/Epoxyde et Verre/Epoxyde pour les matrices thermodurcissables, Carbone/PEEK et Verre/ Polyamide pour les matrices thermoplastiques. Une instrumentation par corrélation d'image et vidéo-extensométrie est utilisée pour le suivi des propagations de fissure.

MOTS CLES

Matériaux composites, matrice thermoplastique, essais, ténacité, corrélation d'image

1. INTRODUCTION

La présence dans les pièces en service de différents défauts dus à la mise en œuvre des matériaux appelle non seulement une optimisation des procédés pour en réduire la fréquence et la nocivité, mais aussi l'intégration de leur présence dans les calculs prévisionnels de tenue des structures. L'utilisation des structures composites tend en effet à se généraliser dans des secteurs variés avec l'arrivée sur le marché de composites à matrice thermoplastique. Néanmoins, ces matériaux restent particulièrement vulnérables à des sollicitations hors plan pouvant générer du délaminage [1]. Cette étude a donc pour but d'améliorer la connaissance de leur comportement en termes de tolérances aux dommages.

2. MATERIAUX ET ESSAIS

Deux classes de matériaux (standard et haute performance) ont été étudiées pour chaque type de matrice thermoplastique et thermodurcissable. Ces matériaux sont décrits ci-après :

	Composite thermoplastique	Composite thermodurcissable
Composite courant	PA66 – fibre de verre UD	Epoxy – tissu verre (quasi UD 90/10)
Composite technique	PEEK – tissu de carbone UD	Epoxy – carbone UD M21/35%/268/T700GC)

Pour l'essai en mode I, la propagation de la fissure est réalisée par ouverture de l'éprouvette selon un plan interlaminaire (fig. 1a). Le type d'éprouvette utilisé pour cet essai est l'éprouvette DCB (Double Cantilever Beam). La charge est transmise au moyen de blocs collés à l'extrémité de l'éprouvette.

Dans le cas de l'essai en mode 2, la propagation de la fissure est réalisée sous l'effet des contraintes de cisaillement interlaminaire dues à la flexion de l'éprouvette (fig. 1b). Il s'agit d'éprouvettes ENF (End Notched Flexure). Dans les deux essais, une préfissure est réalisée lors de la mise en œuvre des éprouvettes en insérant, à mi-épaisseur, sur une longueur donnée, un film plastique non adhérent.

Pour faciliter le post-traitement des essais, notamment lors de propagations instables, les essais en mode 1 ont été filmés en plaçant derrière l'éprouvette d'essai un écran permettant de visualiser simultanément la force, le déplacement de la traverse et la longueur de délaminage (fig. 2a). La caméra peut également être placée de biais afin d'observer la propagation de la fissure dans toute l'épaisseur du matériau (fig. 2b) et ainsi d'en déduire la forme du front de fissure et l'erreur commise à par rapport à une observation uniquement de la tranche de l'éprouvette.

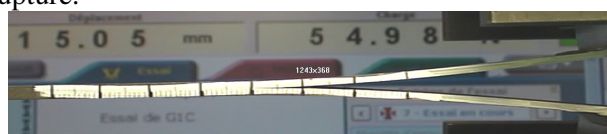


Figure 1 : Essais DCB (mode 1) et ENF (mode 2)

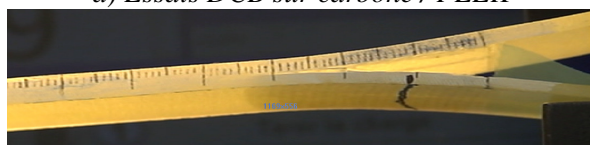
En mode 2, la fissure s'amorce en cisaillement (sans ouverture) et le suivi de la propagation est rendu délicat. Une solution consiste à réaliser le traitement par corrélation d'images numérique avec le logiciel Aramis®, technique de video-extensométrie bidimensionnelle permettant la mesure de champs de déplacements via une caméra. Le principe consiste à filmer et enregistrer une séquence d'images d'une surface plane sur laquelle un mouchetis a été appliqué. Les champs de déplacements et de déformations permettent alors d'en déduire la position du fond de fissure (fig. 3).

3. ANALYSES DES RESULTATS

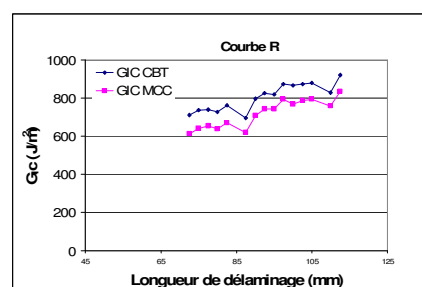
Pour le mode I, Le taux de restitution d'énergie G_{Ic} est déterminé par deux méthodes équivalentes qui établissent une relation entre la longueur de délaminage et la complaisance [2]. Cette ténacité n'est pas constante au cours du délaminage ; en effet quel que soit le matériau la ténacité augmente à partir d'une valeur initial à l'amorçage (fig. 2c). Ce phénomène, appelé courbe R, est attribué à la formation de ponts de fibres entre les deux lèvres de la fissure qui provoque une augmentation de l'énergie de rupture.



a) Essais DCB sur carbone / PEEK

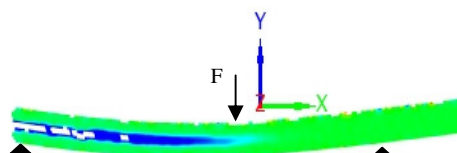


b) Essais DCB sur verre / Epoxyde

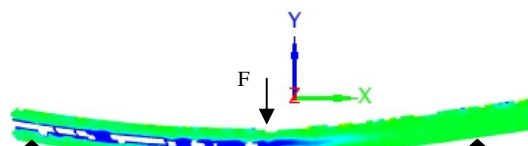


c) Ténacité (mode I) et courbe R pour un matériau carbone /époxyde

Figure 2 : clichés des essais DCB et résultats associés



a)



b)

Figure 3 : essai ENF - Evolution de la propagation de fissure par mesure du champ de déformation ϵ_{xy} par corrélation d'image numérique

4. CONCLUSION

Cette étude expérimentale a permis de mettre en évidence des valeurs de ténacité bien plus élevées pour les matrices thermoplastiques que pour les matrices thermodurcissables. Par ailleurs, les protocoles existants ont été optimisés par des techniques de corrélations d'images numériques couplés à la video-extensométrie permettant ainsi le suivi des propagations en mode 2 parfois difficilement détectable par les techniques actuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NF ISO 15024, Détermination de la ténacité à la rupture interlaminaire en mode I, de matériaux composites à matrice polymère renforcés de fibres unidirectionnelles, 2002
- [2] Pongtorn PROMBUT, Caractérisation de la propagation de délaminages des stratifiés composites multidirectionnels, Thèse de doctorat, 2007