



Influence du vieillissement hygrothermique sur la tenue à l'impact de stratifiés quasi-isotropes/quasi homogènes

Olivier Sicot, Hanan Binte Mokhtar, Jérôme Rousseau, Shahram Aivazzadeh

► To cite this version:

Olivier Sicot, Hanan Binte Mokhtar, Jérôme Rousseau, Shahram Aivazzadeh. Influence du vieillissement hygrothermique sur la tenue à l'impact de stratifiés quasi-isotropes/quasi homogènes. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.194. hal-00597763

HAL Id: hal-00597763

<https://hal.science/hal-00597763>

Submitted on 1 Jun 2011

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.

Influence du vieillissement hygrothermique sur la tenue à l'impact de stratifiés quasi-isotropes/quasi homogènes

Influence of the hydrothermal ageing on impact behaviour of quasi-isotropic/quasi-homogenous laminates

Olivier Sicot, Hanan Binte Mokhtar, Jérôme Rousseau et Shahram Aivazzadeh

Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports
DRIVE, Université de Bourgogne
49 rue Mademoiselle Bourgeois - BP 31- 58027 Nevers cedex
e-mail : olivier.sicot@u-bourgogne.fr

Résumé

La présente étude a pour objectif de déterminer l'influence du vieillissement hygrothermique sur la tolérance à l'impact de stratifiés possédant des propriétés particulières d'isotropie. Trois stratifications de 24 plis carbone/époxy ont été étudiées. Deux d'entre elles conduisent à des propriétés d'isotropie en membrane et en flexion, la troisième est isotrope en membrane et anisotrope en flexion. Les stratifiés obtenus après cuisson suivant le cycle préconisé par le fabricant ont été découpés pour obtenir des éprouvettes carrées destinées au vieillissement et à l'impact.

Le vieillissement a été réalisé grâce à une enceinte climatique à une température de 70 °C sous une humidité de 85 % pendant trois mois (2200 h). La suivi de prise de masse a été réalisée à intervalle régulier jusqu'à saturation. Les éprouvettes vieilles ont été impactées grâce à un système de masse tombante instrumenté. L'énergie d'impact a été fixée à 20 J. Les zones endommagées post impact ont été mesurées par C-scan en immersion.

Les résultats obtenus indiquent que la stratification n'affecte ni la cinétique ni le niveau de saturation de prise de masse.

Abstract

This study aims at characterizing the influence of hygrothermal ageing on the impact tolerance of different types of isotropic laminates. Three carbon/epoxy 24-ply laminates with different stacking sequence were studied. Two of these possess membrane and bending isotropy, the third being isotropic in membrane and anisotropic in bending. After a cure cycle according to the manufacturer recommendation, the laminates were cut into square impact specimens. These specimens were aged for a three months period (2200 h) in an environmental chamber at 70 °C and 85 % RH. The mass increase of the specimens was monitored until saturation. Aged specimens were impacted at a fixed energy of 20 J using an instrumented falling weight impact test machine. Delaminated area was assessed with ultrasonic c-scan images. Results show that the stacking sequence has no influence on the rate and the saturation level of water absorption.

Mots Clés : Impact, Vieillissement, C-Scan, stratification

Keywords : Impact, ageing, C-Scan, lay-up

1. Introduction

Le développement et l'accroissement rapide de la mise en œuvre des matériaux composites dans l'aéronautique civil nécessitent de caractériser et de modéliser l'évolution des propriétés mécaniques de ces matériaux tout au long de leur cycle de vie. La grande majorité des structures composites sont susceptibles de subir des chocs accidentels lors de leur utilisation mais aussi lors de leur fabrication et de leur maintenance (chute d'outils, etc.....).

L'endommagement qui découle de la plupart des impacts est rarement spectaculaire mais peut avoir des conséquences néfastes importantes sur le comportement mécanique. Ceci est particulièrement vrai lorsque la structure travaille en fatigue et sous des conditions

environnementales complexes et sévères (cycles de température et de pression, humidité, milieu corrosif...), ce qui est notamment le cas pour les structures aéronautiques [1-2].

Les paramètres gouvernant la réponse à l'impact des structures composites sont multiples mais il est possible de définir les trois principaux : les paramètres matériau (nature et caractéristiques des éléments constitutifs, stratification...), les paramètres de structure (géométrie, conditions aux limites...) et les paramètres de sollicitation (type, énergie engagée, conditions environnementales...).

Dans le cadre de ces impacts basse énergie, une première étude a montré l'influence des propriétés de flexion sur la morphologie de l'endommagement post impact [3-4]. Elle a permis en particulier d'observer que l'endommagement est sensiblement plus important pour des stratifiés fortement anisotropes en flexion et qu'il présente une orientation caractéristique des propriétés du matériau.

Les travaux présentés ici s'inscrivent dans la continuité de ces études et ont comme principal objectif de déterminer l'influence du vieillissement hygrothermique sur la tolérance à l'impact de stratifiés possédant des propriétés particulières d'isotropie. Trois stratifications de 24 plis carbone/époxy ont été étudiées. Deux d'entre elles conduisent à des propriétés d'isotropie en membrane et en flexion, et une troisième est isotrope en membrane et anisotrope en flexion. Après avoir été vieilles, les différentes éprouvettes ont été impactées. L'endommagement résultant a été contrôlé par contrôle ultrasonore et mis en relation avec la stratification et la durée de vieillissement.

2. Matériau et procédure expérimentale

2.1 Matériau

Le matériau utilisé est un préimprégné unidirectionnel carbone/époxy fabriqué par la société STRUCTIL. La masse des fibres est de 150 g/m² et la matrice référencée R367-2 représente 38 % de la masse du matériau. Trois stratifications de 24 plis carbone/époxy ont été étudiées. Deux d'entre elles conduisent à des propriétés d'isotropie en membrane et en flexion (respectivement nommées : QIQH45 et QIQH60), et une troisième est isotrope en membrane et anisotrope en flexion (nommée AERO). L'orientation respective des plis pour les trois stratifications est présentée au tableau 1.

AERO	[45/90/-45/0] _{3S}
QIQH 45°	[90/0/-45/45/-45/45/0/45/90/-45/90/0/90/0/45/0/-45/90/-45/45/-45/45/90/0]
QIQH 60°	[0/60/-60/60/0/-60/0/-60/-60/60/60/-60/0/60/60/0/0/-60/0/-60/60/0/60/-60]

Tab. 1. Stratifications étudiées

La figure 1 présente le diagramme polaire des rigidités pour chacun des stratifiés.

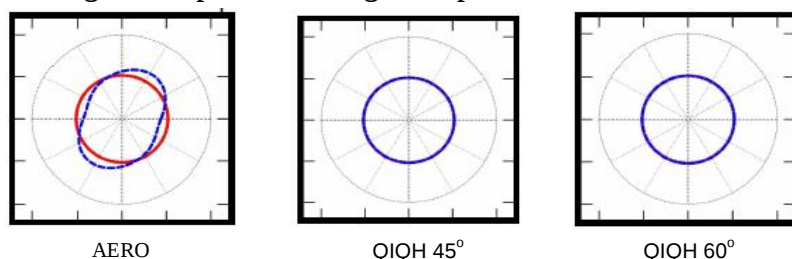


Fig. 1 Diagramme polaire des rigidités en membrane (rouge) et en flexion (bleu). Le cercle central correspond à une valeur de 39,2 GPa

Des plaques de dimensions 400*400 mm² ont été drapées suivant les trois stratifications puis ont été polymérisées suivant le cycle préconisé par le fabricant. A l'issue de la cuisson, des éprouvettes carrées (100*100 mm²) ont été tirées des plaques.

2.2 Procédure de vieillissement

Les éprouvettes ont été initialement pesées avant vieillissement en enceinte climatique (M_0). Les paramètres ont été fixés comme suit : température de 70 °C, humidité de 85 %. La prise de masse a été réalisée à intervalle régulier pendant trois mois. Afin de limiter la diffusion de l'humidité à la seule direction transverse, les bords libres de chacune des éprouvettes ont été couverts par une fine feuille d'aluminium collée grâce à une colle araldite® (Fig.2). L'ensemble a été cuit à 45 °C pendant trois heures.

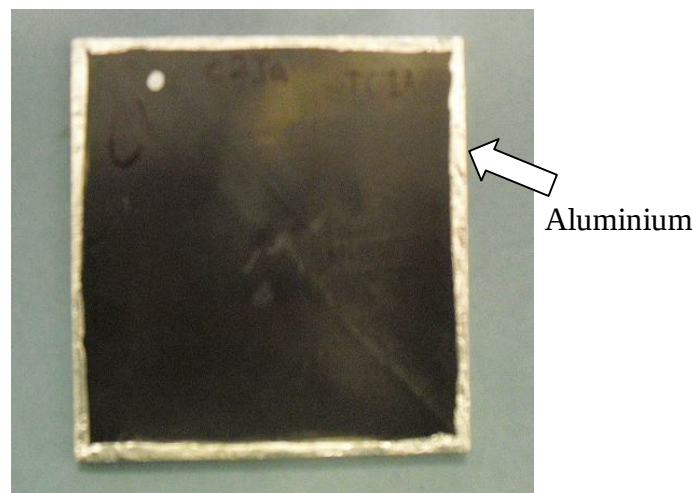


Fig. 2 Eprouvette d'impact avec protection aluminium des bords libres

On définit la prise de masse $\Delta M_{(t)}$ à l'instant « t » grâce à l'équation 1.

$$\Delta M_{(t)} = \frac{M_t - M_0}{M_0} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

avec M_t la masse mesurée à l'instant « t »

2.3 Test d'impact et évaluation de l'endommagement

Les essais d'impact ont été menés en utilisant une machine à poids tombant équipé d'un mécanisme anti-rebound (Fig.3). L'énergie d'impact a été fixée à 20 J, avec une masse d'impacteur de 4,7 kg et une hauteur de chute de 0,44 m.

Les zones endommagées post impact ont été mesurées par C-scan en immersion à l'aide d'un capteur/émetteur 10 MHz. On relève ainsi à la fois l'atténuation d'amplitude de l'onde acoustique et le temps de vol. La première mesure est utilisée pour déterminer l'étendue de la surface endommagée, la seconde pour évaluer la répartition des délaminages dans l'épaisseur.



Fig. 3 Machine d'impact (INSTRON Dynatup 9250HV)

3. Résultats et discussion

La figure 4 présente la prise de masse mesurée pour chacune des stratifications étudiées en fonction de $\sqrt{t}$.

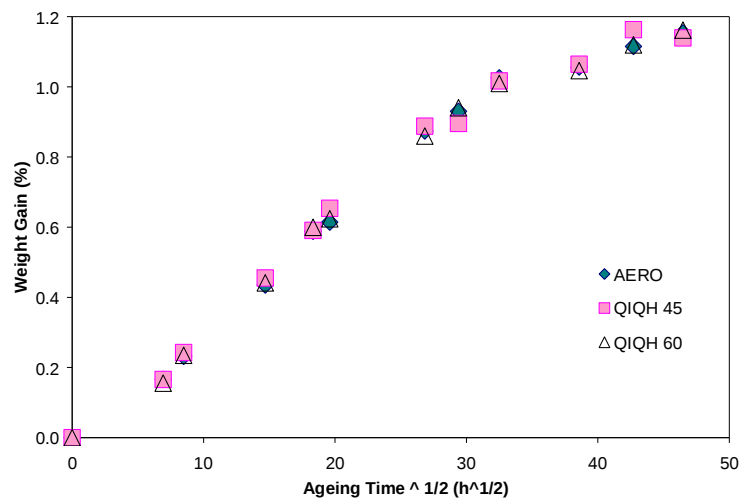


Fig. 4 Prise de masse en fonction de $\sqrt{t}$

Cette prise de masse se caractérise initialement par une augmentation linéaire jusqu'à $\sqrt{30}$ h (~38 jours), caractéristique d'une réponse Fickienne [5]. Au-delà, on observe un deuxième stade d'évolution qui se caractérise par une vitesse moins importante qui s'explique par le déclenchement combiné de mécanismes complexes comprenant notamment la relaxation du réseau époxy [6,7]. Enfin, au-delà d'un temps de vieillissement de $\sqrt{43}$ h (~80 jours), on observe une stabilisation de la masse à un niveau proche de 1,2 %.

On note que ce scénario d'évolution de la prise de masse est le même pour les trois stratifications étudiées. Ceci s'explique par le fait, que les trois stratifications possèdent le même nombre de plis, le même volume de fibre et que la diffusion a été limitée à la direction transverse du matériau.

Pour chaque durée de vieillissement prédéfinie en début d'étude, des essais d'impact ont été réalisés.

Les figures 5 et 6 présentent respectivement l'évolution de la force $F(t)$ en fonction du temps et en fonction de la déflexion de l'éprouvette $s(t)$ pour deux durées de vieillissement différentes (14 et 24 jours). L'énergie est déterminée à partir de l'énergie cinétique initiale $E_{c_{ini}}$ de l'impacteur calculé à partir de sa masse M_{imp} et de sa vitesse initiale $v(t_0)$

$$E(t) = E_{c_{ini}} - \frac{1}{2} M_{imp} [v(t_0) - \Delta v(t)]^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{avec } \Delta v(t) = g.t - \frac{1}{M_{imp}} \int_0^t F(t) dt$$

La déflexion de l'éprouvette est calculée par double intégration de la force d'impact :

$$s(t) = \frac{1}{2} g.t^2 + v(t_0).t - \frac{1}{M_{imp}} \int_0^t \int_0^t F(t) dt \quad (\text{Eq. 3})$$

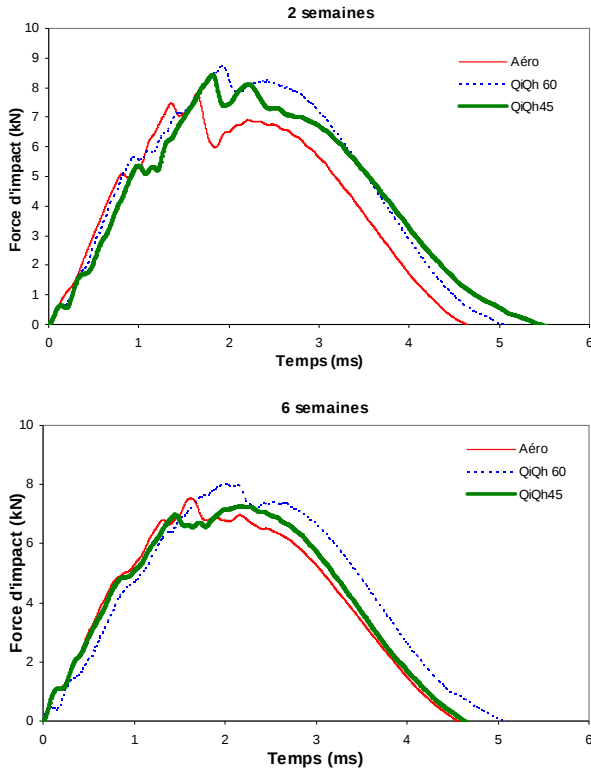


Fig. 5 Force d'impact en fonction du temps
Vieillissement 2 et 6 semaines

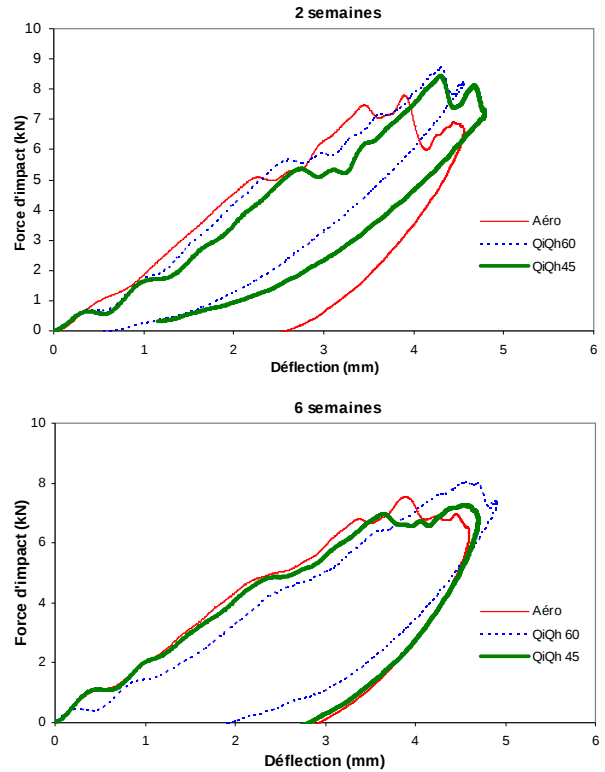


Fig. 6 Force d'impact en fonction de la déflexion
Vieillissement 2 et 6 semaines

L'analyse des courbes force/temps montre un rapide accroissement de la force dans les premiers instants de l'impact. La force augmente jusqu'à un maximum puis décroît brutalement pour se stabiliser sur une durée de quelques millisecondes pour enfin décroître pour revenir à zéro. Ce phénomène de décrochement, largement commenté dans la littérature, est lié au seuil de déclenchement de l'endommagement [8]. On observe que ce décrochement est sensiblement plus marqué pour les durées de vieillissement courtes (0-4 semaines). On observe également que ce décrochement est plus important pour la stratification Aéro et qu'il est plus faible pour la

stratification QIQH45. Parallèlement, on constate que la force maximale est systématiquement enregistrée pour la stratification QIQH 60.

Au niveau des courbes force d'impact/déflexion on constate que l'énergie absorbée lors du choc est plus faible pour la séquence QIQH 60 malgré une force maximale supérieure. Inversement, la séquence Aéro apparaît comme étant celle qui conduit à l'énergie absorbée la plus importante malgré une force maximale plus faible. Les résultats montrent également que l'énergie absorbée augmente avec le temps de vieillissement.

L'endommagement résultant a ensuite été évalué par contrôle ultrasonore. La figure 7 présente l'évolution de la surface endommagée projetée en fonction de la durée de vieillissement. Pour chaque durée de vieillissement, le résultat représente la moyenne obtenue sur quatre essais.

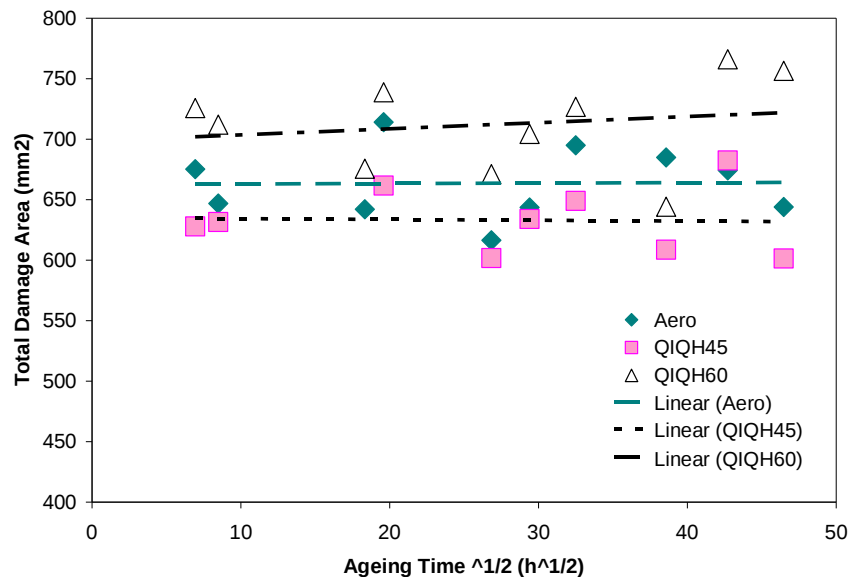


Fig. 7 Evolution de la surface endommagée projetée en fonction de la durée de vieillissement

Les résultats montrent une relative stabilité de l'aire endommagée projetée avec l'augmentation de la durée de vieillissement. En effet, pour les trois stratifications, la surface endommagée est comprise entre 600 mm² et 760 mm². Même si les valeurs restent très proches, on observe que l'endommagement moyen le plus faible est observé pour la séquence QIQH45 et que parallèlement l'endommagement moyen le plus important est obtenu avec la séquence QIQH60. La séquence Aéro largement utilisée dans les structures aéronautiques présente, quant à elle, un endommagement médian même si les résultats sont plus dispersés.

4. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude permettent de tirer les enseignements suivants :

- la prise de masse se caractérise par une réponse de type fickien pour les trois stratifications
- la cinétique de prise de masse ainsi que le niveau de saturation est la même pour les trois stratifications. la saturation intervient après 900h de vieillissement et conduit à une prise de masse maximale de 1,2%
- la force maximale est systématiquement atteinte pour la séquence QIQH60
- l'amplitude du décrochement de force synonyme d'amorçage de l'endommagement décroît avec l'augmentation de la durée de vieillissement
- l'énergie absorbée augmente avec la durée de vieillissement et est maximale pour la séquence Aéro

- l'amplitude de l'endommagement mesuré par contrôle ultrasonore ne semble pas affectée par la durée de vieillissement
- malgré le fait que l'endommagement mesuré est très proche pour les trois séquences, on observe qu'il est plus important pour la séquence QIQH60

Références

- [1] S Abrate, "Impact on composite structures", Cambridge University Press, 1998
- [2] M.O.W Richardson et M.J Wisheart, "Review of low-velocity impact properties of composite materials", *Composite Part A*, Vol. 27A, pp. 1123-1131, 1996
- [3] O. Orfila, M. Perrin, J. Rousseau et O. Sicot, "Comportement à l'impact de plaques composites stratifiées isotropes", *Matériaux 2006*, Dijon, 2006
- [4] O. Sicot, J. Rousseau, D. Hearn, "Influence of Ageing Treatment on Impact Damage of Pre-stressed Isotropic Composite Laminates", *ECCM14*, Budapest, 2010
- [5] Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford: *Clarenton*: 1975
- [6] Apicella A, Nicolais L. « Effect of water on the properties of epoxy matrix and composites ». *Advances in Polymer Science*, Vol. 7, pp. 69-77, 1985
- [7] Xian G, Karbhari VM. "Segmental relaxation of water-aged ambient cured epoxy". *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 92(9), pp.1650-1659, 2007
- [8] Schoeppner G.A., Abrate S. "Delamination threshold loads for low velocity impact on composite laminates", *Composites: Part A*, Vol. 31, pp. 903-915, 2000