



HAL
open science

Etude du matage des liaisons composites rivetées

Manuel Postec, Daniel Coutellier, David Delsart

► **To cite this version:**

Manuel Postec, Daniel Coutellier, David Delsart. Etude du matage des liaisons composites rivetées. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01813040

HAL Id: hal-01813040

<https://hal.science/hal-01813040>

Submitted on 12 Jun 2018

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.

Public Domain

Etude du matage des liaisons composites rivetées

Manuel Postec* — Daniel Coutellier** — David Delsart***

* *Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA)*

Centre de Lille

5, boulevard Paul Painlevé

59045 Lille Cedex

{postec, delsart}@onera.fr

** *LAMIH UMR CNRS 8530*

Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

Le Mont Houy

59313 Valenciennes

Daniel.Coutellier@univ-valenciennes.fr

RÉSUMÉ. Parmi les différents modes de ruine propres aux assemblages composites rivetés, celui par matage présente un intérêt particulier en terme d'absorption d'énergie et d'intégrité structurale. Parmi les nombreux paramètres influençant ce mode de rupture, deux sont étudiés ici, le nombre d'interfaces, au moyen de la variation de la séquence d'empilement sur des stratifiés orthotropes (90/0) et (+/-45), et la vitesse de sollicitation pour un stratifié quasi-isotrope [90/45/0/-45]_s. Les résultats d'une campagne expérimentale visant à analyser le phénomène, dans l'optique future de le représenter numériquement, sont présentés ici.

ABSTRACT. Among the failure modes of composite riveted joints, bearing is the most interesting one in terms of structure integrity and energy absorption in crash or impact situations. Many parameters may influence this failure and two are studied here. The first one is the interfaces number, through the variation of the stacking sequence in orthotropic (90/0) and (+/-45) laminates and the second one is the speed rate on a quasi-isotropic [90/45/0/-45]_s laminate. The results of an experimental campaign aiming at a better understanding of this phenomenon are presented here.

MOTS-CLÉS : Composites, assemblages rivetés, interfaces, vitesse de sollicitation, expérimental.

KEYWORDS: Composites, riveted joints, interfaces, speed rate, experimental.

1. Introduction

Les structures composites aéronautiques comportent de nombreuses zones d'assemblage, notamment par rivetage, qui constituent des sites privilégiés d'amorçage et de propagation de ruptures. Lorsque ces liaisons sont sollicitées dans le plan jusqu'à rupture, elles peuvent présenter quatre modes de ruine différents (rupture nette en section, arrachage, clivage et matage). Parmi ceux-ci, le matage se dégage nettement par son potentiel élevé en terme d'absorption d'énergie, dans la mesure où son comportement ne donne pas lieu à une rupture catastrophique et se caractérise par un palier d'effort stable.

De nombreux paramètres, qu'ils soient géométriques (Caprino *et al.*, 2002), (Okutan, 2002), matériau (Park, 2001), de fabrication (McCarthy *et al.*, 2002) ou environnementaux, conditionnent la tenue d'une liaison rivetée et influencent le mode de ruine observé et les niveaux d'efforts potentiellement supportables, soit à la rupture, soit sur le palier d'effort dans le cas du matage. Les dimensions caractéristiques des éprouvettes (largeur, distance au bord libre) sont les plus influentes et peuvent varier suivant le matériau. Les résultats présentés ici concernent l'influence du nombre d'interfaces sur l'obtention du matage et les niveaux d'efforts relevés lors de la rupture pour des stratifiés orthotropes (90/0) et (+/-45), et l'influence de la vitesse de sollicitation sur le comportement d'un stratifié quasi-isotrope [90/45/0/-45]_s. Ce dernier est plus représentatif des stratifiés utilisés pour des structures aéronautiques et les stratifiés orthotropes permettent de faire varier le nombre d'interfaces par une modification de la séquence d'empilement.

2. Configuration expérimentale

Le protocole expérimental utilisé pour la réalisation des essais est celui détaillé dans la norme ASTM D-5961 (ASTM, 1996) et consiste à solliciter une lame composite à l'aide d'un axe rigide la traversant (Figure 1). Cette norme définit le montage, ainsi que la dimension des éprouvettes. Le matériau ayant servi à la fabrication des éprouvettes est un UD Verre E / Epoxy (Réf BE-M10 / 34,5% / 24*2400 tex). Ce matériau a la particularité de présenter des plis très épais, limitant les stratifiés à 8 plis pour des éprouvettes d'épaisseur raisonnable d'environ 5,3 mm, toutefois supérieure à la borne maximale de 5 mm indiquée par la norme. Les différents empilements réalisés pour la variation du nombre d'interfaces sont présentés dans le tableau 1. Les interfaces considérées ici sont celles séparant 2 plis d'orientation différente.

Nombre d'interfaces	Empilement (+/-45)	Empilement (90/0)
2	[+45 ₂ /-45 ₂] _s	[90 ₂ /0 ₂] _s
4	[(+/-45) _s] ₂	[(90/0) _s] ₂
6	[(+/-45) ₂] _s	[(90/0) ₂] _s

Tableau 1. Empilements réalisés pour la variation du nombre d'interfaces

Les essais de traction statique ont été réalisés sur une machine Instron 1195 d'une capacité de 100 kN à une vitesse de 5 mm/mn. Les grandeurs relevées sont l'effort et le déplacement mesurés par la machine ainsi que l'effort de serrage de l'axe traversant contrôlé et mesuré au moyen d'une cellule d'effort placée derrière l'écrou bridant l'axe (un couple de serrage initial de 3 Nm, tel que préconisé par la norme ASTM, a été appliqué au moyen d'une clé dynamométrique). Enfin, un extensomètre optique permet de mesurer le déplacement entre le montage et l'éprouvette sur une zone restreinte, permettant de s'affranchir de tout problème de glissement au niveau des mors et d'allongement du montage.

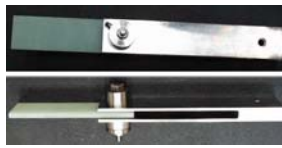


Figure 1. *Montage de traction ASTM*

Pour chaque empilement, au moins 5 éprouvettes ont été testées afin de s'assurer de la répétabilité des essais. Une dispersion a pu être constatée, mais globalement, la répétabilité est satisfaisante. Pour des raisons de clarté, une seule courbe par configuration sera représentée.

Une étude préliminaire de sensibilité aux paramètres géométriques a permis de mettre en évidence que la configuration préconisée par la norme ASTM n'est pas adaptée au matériau utilisé pour cette étude. Une augmentation de la distance au bord libre (E) a donc été nécessaire et les dimensions des éprouvettes ont finalement été fixées par les rapports $W/D=6$, $E/D=6$, pour un diamètre du trou $D=6$ mm, W étant la largeur de l'éprouvette.

3. Résultats et discussions

3.1. *Influence du nombre d'interfaces sur le comportement de stratifiés orthotropes (+/-45)*

Bien que la dispersion observée sur ces essais soit assez importante au niveau des déplacements à rupture et des efforts mesurés, le comportement général peut être dégagé et les résultats obtenus suffisent à apporter des informations intéressantes. La figure 2 présente les courbes d'effort en fonction du déplacement de la tige mesuré par l'extensomètre optique.

Deux comportements se distinguent nettement, entre les empilements à 2 et 4 interfaces qui rompent brutalement et l'empilement à 6 interfaces qui présente une

rupture progressive avec un palier de matage relativement stable autour de 15 kN. Les trois configurations ont le même comportement initial, mais le passage de 2 à 4 interfaces permet de retarder l'instant de rupture. Le passage de 4 à 6 interfaces retarde encore cet instant et permet d'initier la rupture par matage.

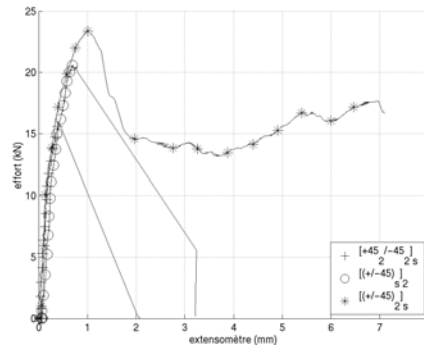


Figure 2. Courbes effort / extensomètre pour les stratifiés orthotropes (+/-45)

Le passage d'une configuration à 2, 4 puis 6 interfaces permet de répartir les efforts inter-plis sur un plus grand nombre d'interfaces et donc d'atteindre des niveaux de forces potentiellement supportables par l'assemblage plus élevés. Ainsi, lorsque cet effort devient supérieur à celui nécessaire à l'initiation du matage, ce dernier peut avoir lieu.

3.2. Influence du nombre d'interfaces sur le comportement de stratifiés orthotropes (90/0)

La présence de plis à 0° dans un stratifié composite utilisé pour une liaison rivetée favorise l'apparition du mode de ruine par arrachage. Néanmoins, dans le cas du matériau utilisé ici, il s'avère que pour les stratifiés orthotropes (90/0), le matage apparaît pour les configurations à 4 et 6 interfaces (Figure 3), alors qu'il n'apparaît qu'à partir de 6 interfaces pour les stratifiés orthotropes (+/-45).

Pour ces stratifiés, comme pour les orthotropes (+/-45), le comportement initial est indépendant du nombre d'interfaces. Le $[90_2/0_2]_s$ à 2 interfaces se démarque pour un déplacement de la tige d'environ 0,4 mm, à partir duquel la pente de la courbe diminue, menant à une rupture brutale en un mode mixte d'arrachage des plis à 0°, rupture en section des plis à 90° et séparation des plis aux interfaces.

Les configurations à 4 et 6 interfaces présentent par contre des comportements identiques, l'effort continuant d'augmenter avant une rupture non catastrophique suivie d'un palier d'effort globalement constant. Le pic d'effort, le déplacement à

rupture et le niveau du palier sont du même ordre de grandeur et ne semblent donc pas influencés par le nombre d'interfaces.

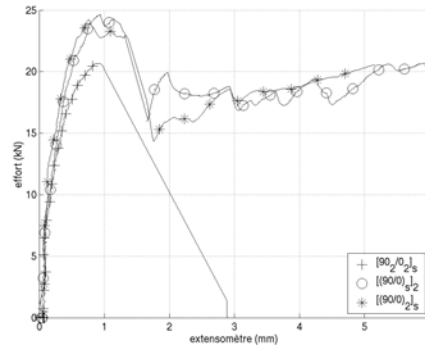


Figure 3. Courbes effort / extensomètre pour les stratifiés orthotropes (90/0)

3.2. Influence de la vitesse de sollicitation sur le comportement d'un stratifié quasi-isotrope $[90/45/0/-45]_s$

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de la vitesse de sollicitation sur l'apparition du matage et sur les niveaux d'efforts générés. Pour cette raison, un stratifié quasi-isotrope $[90/45/0/-45]_s$ a été choisi. Ce dernier comprend automatiquement le nombre maximum d'interfaces pour un stratifié à 8 plis et a servi à la détermination des dimensions des éprouvettes lors de l'étude préliminaire. Ces essais ont été réalisés sur un vérin hydraulique Schenck d'une capacité maximale de 50 kN pour des vitesses d'essais de 500 mm/mn, 0,1 m/s et 1 m/s (des essais quasi-statiques à 5 mm/mn ont également été réalisés pour référence).

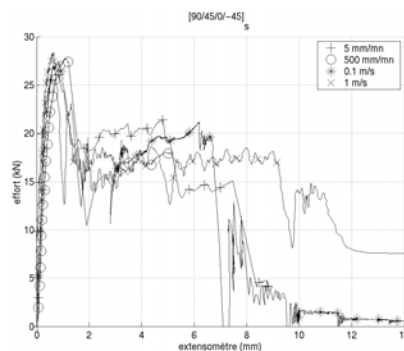


Figure 4. Courbes effort / extensomètre pour différentes vitesses

La figure 4 montre les courbes effort / extensomètre obtenues pour les différentes vitesses de sollicitation étudiées. Il ressort que les niveaux d'efforts et les déplacements à rupture initiale sont faiblement influencés par la vitesse, bien que le niveau du palier d'effort en statique soit légèrement plus important que pour les vitesses plus élevées. Néanmoins, le déplacement à rupture finale semble être prolongé alors que la vitesse augmente, améliorant de ce fait la capacité de dissipation d'énergie avant la rupture complète.

4. Conclusion

L'influence du nombre d'interfaces sur l'obtention du matage a ici été démontrée dans le cas de stratifiés orthotropes. Le délaminage, favorisé entre des plis d'orientation différente, joue donc un rôle prépondérant dans l'apparition du matage, mais n'influence pas le déroulement de ce mode de rupture une fois qu'il est initié. La vitesse de sollicitation semble, quant à elle, pouvoir permettre une augmentation de l'énergie dissipée lors de ce processus de rupture en prolongeant le déplacement à rupture finale.

Ces phénomènes font l'objet d'une étude micromécanique numérique visant à comprendre le déroulement de la ruine en matage, ce travail s'appuyant sur des vidéos réalisées à partir d'une caméra rapide. L'objectif à terme est le développement d'un modèle macroscopique de représentation d'une liaison composite rivetée, prenant en compte la variété des paramètres entrant en jeu et la spécificité des modes de ruine de ces assemblages composites. De tels modèles sont nécessaires pour permettre la conception et le dimensionnement au crash des structures aéronautiques par l'outil numérique.

5. Bibliographie

- ASTM standard D 5931/D 5961M-96, Standard test method for bearing response of polymer matrix composites laminates, 1996.
- Caprino G., Giorleo G., Nele L., Squillace A., « Pin-bearing strength of glass mat reinforced plastics », *Composites Part A*, vol. 33, 2002, p. 779-785.
- McCarthy M.A., Lawlor V.P., Stanley W.F., McCarthy C.T., « Bolt-hole clearance effects and strength criteria in single-bolt, single-lap, composite bolted joints », *Composites science and technology*, vol. 62, 2002, p. 1415-1431.
- Okutan B., « The effects of geometric parameters on the failure strength for pin-loaded multi-directional fibre-glass reinforced epoxy laminate », *Composites Part B*, 2002, p. 567-578.
- Park H.J., « Effects of stacking sequence and clamping force on the bearing strength of mechanically fastened joints in composite laminates », *Composite structures*, vol. 53, 2001, p. 213-221.