



HAL
open science

Analyse du comportement d'assemblages collés mixtes Définition d'un essai de caractérisation de composites sous sollicitations hors plan

Jean-Yves Cognard, Laurent Sohier, Peter Davies

► **To cite this version:**

Jean-Yves Cognard, Laurent Sohier, Peter Davies. Analyse du comportement d'assemblages collés mixtes Définition d'un essai de caractérisation de composites sous sollicitations hors plan. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01412114

HAL Id: hal-01412114

<https://hal.science/hal-01412114>

Submitted on 8 Dec 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution| 4.0 International License

Analyse du comportement d'assemblages collés mixtes Définition d'un essai de caractérisation de composites sous solicitations hors plan

J. Y. Cognard¹, L. Sohier², P. Davies³

¹ Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes (ENSIETA-UBO-ENIB)
ENSIETA, 2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 9
jean-yves.cognard@ensieta.fr

² Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes (ENSIETA-UBO-ENIB)
Université de Brest, 6 Av. Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3
laurent.sohier@univ-brest.fr

³ Service Matériaux et Structures (IFREMER)
IFREMER Centre de Brest – 29280 Plouzané
peter.davies@ifremer.fr

Résumé – Le collage structural est une technique prometteuse pour augmenter les performances des structures composites. Pour optimiser ces assemblages, il est nécessaire d'analyser, en particulier, le comportement des composites sous sollicitations hors plan, mais dans la littérature peu de dispositifs permettent de réaliser ces études. Ainsi, différentes études numériques ont permis d'optimiser un dispositif de type Arcan pour analyser, de façon fiable, le comportement d'assemblages collés de composites pour des chargements hors plan de traction-cisaillement.

Mots clés – Structures composites, Assemblages collés, Sollicitations hors plan.

1 Introduction

Cette étude se situe dans le cadre de la recherche de gains de performance de structures par l'utilisation d'assemblages collés. Ces assemblages offrent de nombreux avantages, mais un manque de confiance des bureaux d'études limite aujourd'hui l'utilisation de cette technologie, en particulier pour les applications marines. De plus, l'optimisation des structures composites, pour la conception et la réparation, passe, en particulier, par l'utilisation de jonctions collées en remplacement des jonctions boulonnées ou rivetées pour les différentes applications (aéronautiques, navales [1], ...). La co-cuisson, sans utilisation d'adhésif, et le collage proprement dit, c'est-à-dire avec ajout d'un adhésif à l'interface, sont les principales technologies utilisées pour la réalisation de ces assemblages. L'initiation des défaillances de ces assemblages est souvent associée soit à une rupture de la colle soit à un délaminage du composite près de la surface collée. Mais, dans la littérature peu de dispositifs expérimentaux permettent de caractériser le comportement mécanique d'un composite sous sollicitations hors plan [2] ; ils utilisent souvent des éprouvettes composites massives et permettent la mise en œuvre de différents types d'essais : traction, cisaillement (essai de type Iosipescu [3]) et traction-cisaillement (montage de type Arcan [4]). Mais, l'usinage du composite, la géométrie

de l'éprouvette, le système de fixation, ... peuvent entraîner des dispersions importantes dans les résultats expérimentaux. Pour obtenir des données expérimentales représentatives d'applications industrielles il semble intéressant d'utiliser d'une part une plaque composite d'épaisseur relativement faible, d'une fabrication facile, et d'autre part la possibilité d'utiliser des sollicitations de traction-cisaillement. Pour respecter ces conditions, un dispositif de type Arcan utilisant le collage comme système de fixation du composite est proposé pour analyser le comportement mécanique d'assemblages collés de composites et le comportement de composites sous sollicitations hors plan. Différentes études numériques ont été réalisées pour analyser et optimiser le design de ce système (géométrie de la plaque composite, géométrie des substrats, système de fixation, ...). De plus pour obtenir des résultats expérimentaux fiables, il est nécessaire de fortement limiter l'influence des effets de bords. Enfin quelques résultats expérimentaux sont présentés pour valider les possibilités du dispositif proposé.

2 Présentation du dispositif

Dans une étude précédente, un dispositif de type Arcan, adapté pour l'analyse du comportement d'un assemblage collé « métal-métal », a été développé pour se concentrer sur l'étude du comportement de la colle en films minces et un système de becs a été proposé pour limiter les effets de bords [5]. De nombreux aspects du comportement non linéaire de la colle, pour des sollicitations en traction/compression-cisaillement, ont été obtenus pour la colle Redux 420 [6]. De plus, les premiers tests réalisés pour des collages mixtes (acier, aluminium, composite) montrent des comportements similaires de la colle pour la procédure proposée [6]. Le dispositif Arcan développé utilise des joints de colles d'une section d'environ $65 \times 10 \text{ mm}^2$ et un montage de collage permet d'assurer une bonne qualité géométrique des éprouvettes collées.

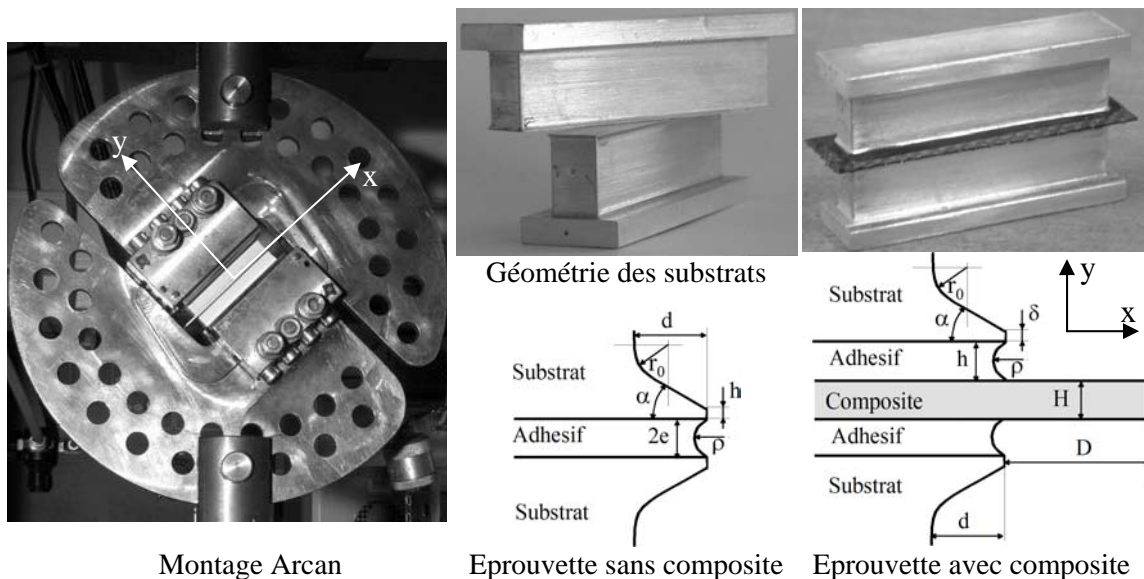


Figure 1 – Présentation du montage Arcan et des éprouvettes utilisées

De nombreuses études montrent que de fortes singularités de contrainte, associées aux effets de bords, peuvent exister pour des structures réalisées en bi-matériaux. En particulier, pour les assemblages collés comportant des composites ces effets limitent fortement les charges transmissibles. En effet, d'une part, l'interface colle-composite peut avoir une influence sur la tenue mécanique de l'assemblage et d'autre part, il est difficile de caractériser expérimentalement de façon fiable le comportement des composites pour des sollicitations hors plan [4].

3 Analyse de l'influence de différents paramètres

3.1 Paramètres des modèles

La procédure expérimentale basée sur l'utilisation du dispositif Arcan peut être utilisée pour analyser le comportement d'un assemblage métal-colle-composite-colle-métal. Pour étudier les possibilités et pour optimiser la définition d'un tel essai, une analyse fine de la répartition des contraintes dans l'épaisseur du joint de colle et dans l'épaisseur du composite est nécessaire. Différentes simulations ont été réalisées en 2D (contraintes planes) en utilisant des maillages fins pour obtenir une bonne approximation de l'influence des effets de bords. Pour l'adhésif et le composite des maillages comportant de l'ordre de 20 éléments linéaires sont utilisés pour une épaisseur de 0,1 mm. Pour cette étude des composites unidirectionnels carbone/époxy sont utilisés (fibres dans la direction x, figure 1) ; en effet, ils permettent l'utilisation de modèles orthotropes ($E_1=110$ GPa, $E_2=6,5$ GPa, $G_{12}=6,5$ GPa, $\nu = 0,32$) et la limite élastique utilisée est telle que :

$$\frac{\sigma_{xy}^2}{R_c^2} + \frac{\sigma_{yy}^2}{S_c^2} + \frac{\sigma_{xx}^2}{T_c^2} = 1 \quad \text{avec } R_c = 52 \text{ MPa}, S_c = 16 \text{ MPa}, T_c = 1600 \text{ MPa} \quad (1)$$

Le comportement de la colle (Redux 420) est supposé isotrope ($E_j = 2,0$ GPa, $\nu_j = 0,3$) et la limite élastique, identifiée pour des chargements de traction-compression [6], est proposée sous la forme suivante :

$$\frac{\sigma_{xy}^2}{R_j^2} + \frac{\sigma_{yy}^2}{S_j^2} = 1 \quad \text{avec } R_j = 25 \text{ MPa et } S_j = 40 \text{ MPa} \quad (2)$$

3.2 Résultats numériques

La figure 2 présente l'évolution des contraintes équivalentes, en fonction de l'abscisse représentant la longueur des substrats $x \in [-32,5; 32,5 \text{ mm}]$, dans la colle et le composite pour un chargement de traction-cisaillement (solicitation de traction, normale au plan moyen du composite, identique à la sollicitation de cisaillement). Pour ces simulations des substrats en aluminium sans bec ($d = 0$, figure 1) sont utilisés et la plaque composite a la même dimension que les substrats ($D = 0$). Deux géométries du bord libre du joint de colle sont utilisées : un bord droit ($\rho = \infty$) et un bord avec nettoyage ($\rho = 0.75 * h$). Comme les simulations sont réalisées en élasticité, il est possible de normaliser les résultats pour faciliter l'analyse des résultats ; ainsi, la contrainte équivalente maximale au centre du composite est normalisée à 1. Ces résultats soulignent qu'il existe de forts gradients de contraintes aux extrémités du joint de colle et de la plaque composite. Le nettoyage du bord libre de la colle et la réduction des épaisseurs du joint de colle et du composite permettent seulement de réduire l'influence des effets de bords.

Pour fortement limiter les concentrations de contraintes sur la périphérie de la partie utile de l'éprouvette, deux modifications de la géométrie de l'éprouvette sont proposées : l'usinage de becs sur les substrats ($\alpha = 45^\circ$, $r_0 = 0.8 \text{ mm}$ and $d = 0.5 \text{ mm}$, figure 1) [5] et l'utilisation d'une plaque composite de dimension plus grande que la section des substrats ($D = 2 \text{ mm}$) pour, en particulier, limiter les effets de la fabrication [7]. Les résultats présentés sur la figure 3 montrent que l'utilisation de joints de colle et de composites de faibles épaisseurs permet de définir un dispositif expérimental « fiable ». Un dispositif, assurant des contraintes maximales au centre de la partie utile de l'éprouvette, permet en plus de limiter l'influence des défauts de réalisation et de positionnement des éprouvettes.

Il est important de noter que pour cette sollicitation de traction-cisaillement la limite d'élasticité est obtenue, en premier dans le composite. Une optimisation du choix de la colle doit être réalisée, en particulier pour les sollicitations de cisaillement ; en effet la résistance en cisaillement du composite peut être plus importante que celle de la colle.

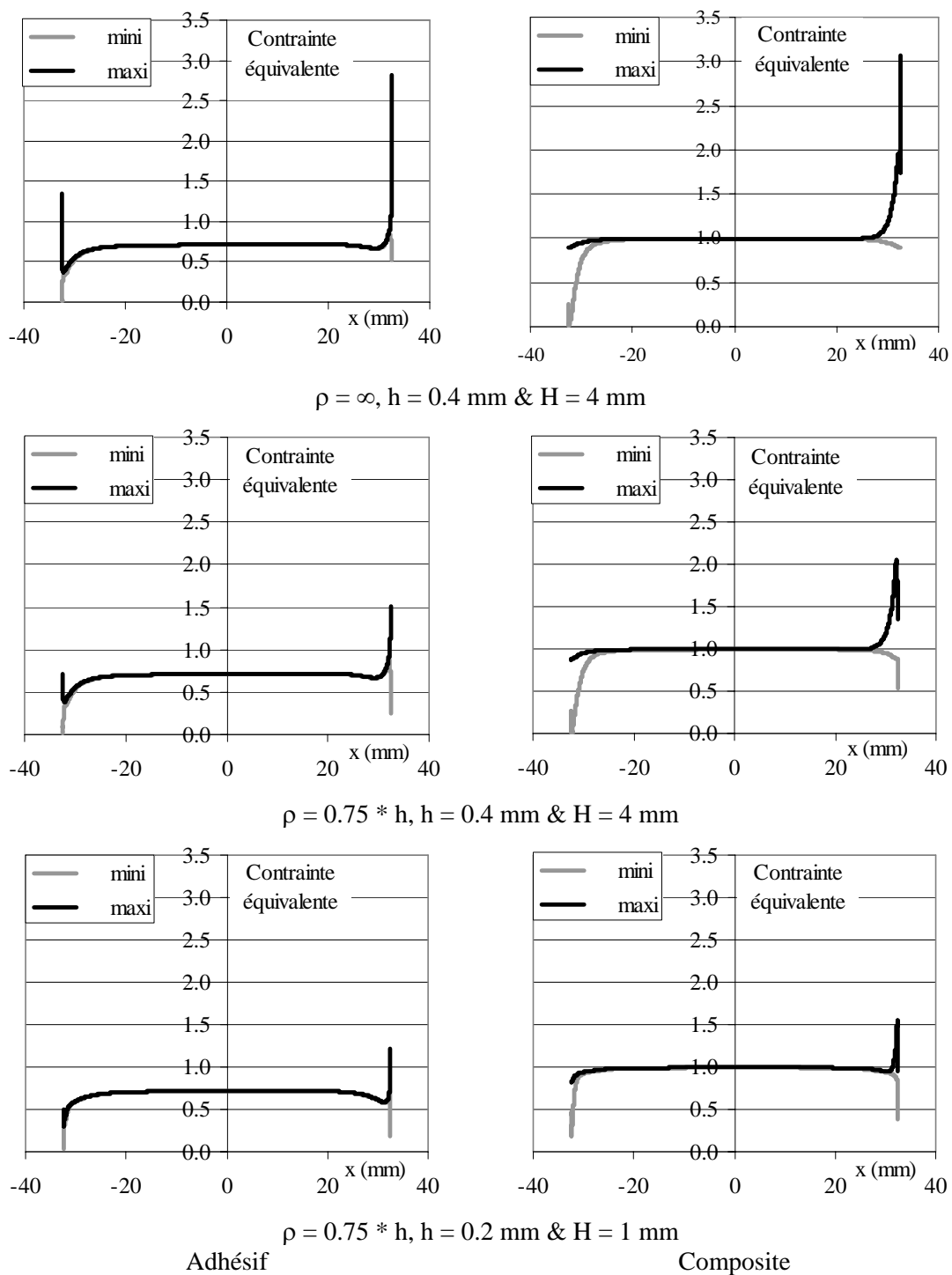


Figure 2 – Evolution suivant l’abscisse des valeurs extrémales des contraintes équivalentes normalisées dans la colle et dans le composite pour des substrats sans bec ($d = 0$) et pour $D = 0$ et pour une sollicitation de traction-cisaillement.

3.3 Résultats expérimentaux

La figure 4-a présente des résultats pour des tests en utilisant des composites unidirectionnels carbonés/époxy pour une sollicitation de traction-cisaillement. FT et DT représentent respectivement l’effort de cisaillement et le déplacement relatif des deux substrats

(proche des joints de colle) dans la direction de cisaillement. Les résultats présentés pour deux essais (Comp 1 & Comp 2) montrent les faibles dispersions associés à cet essai.

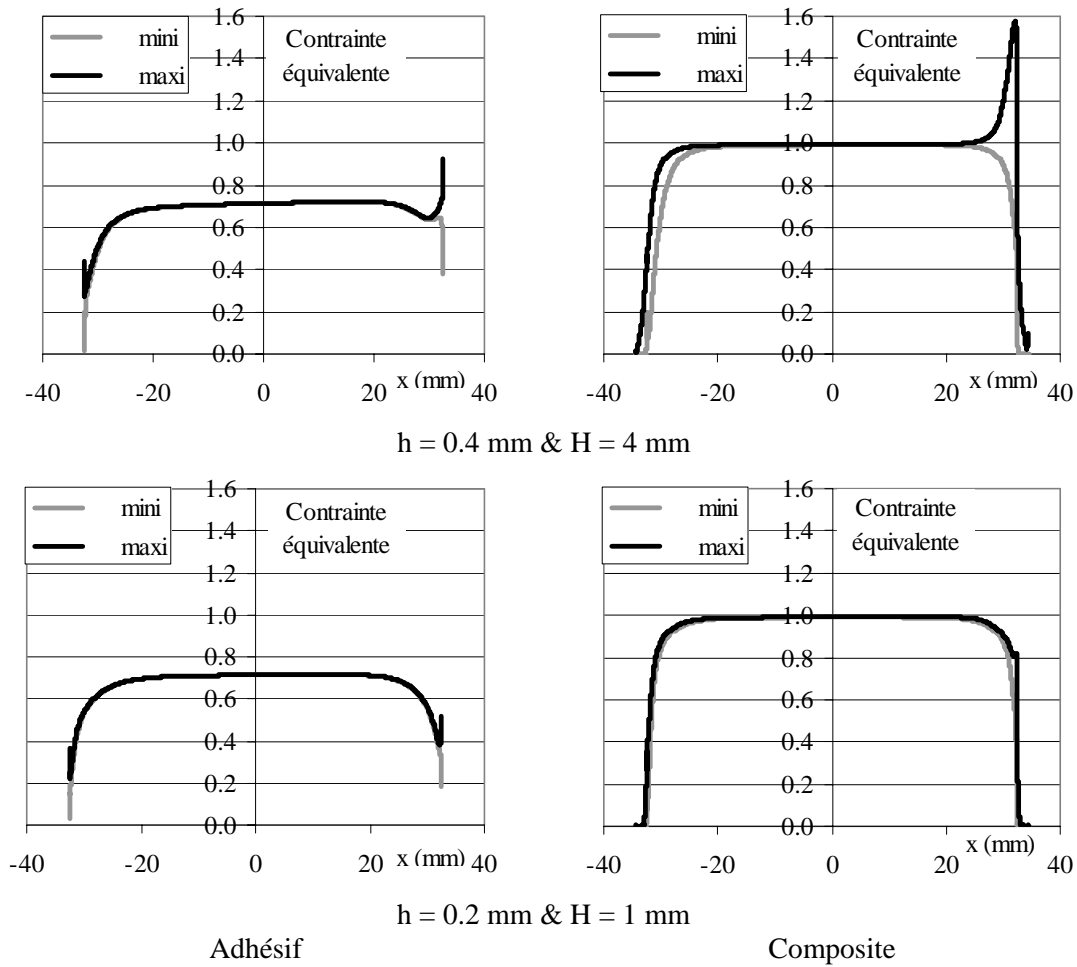
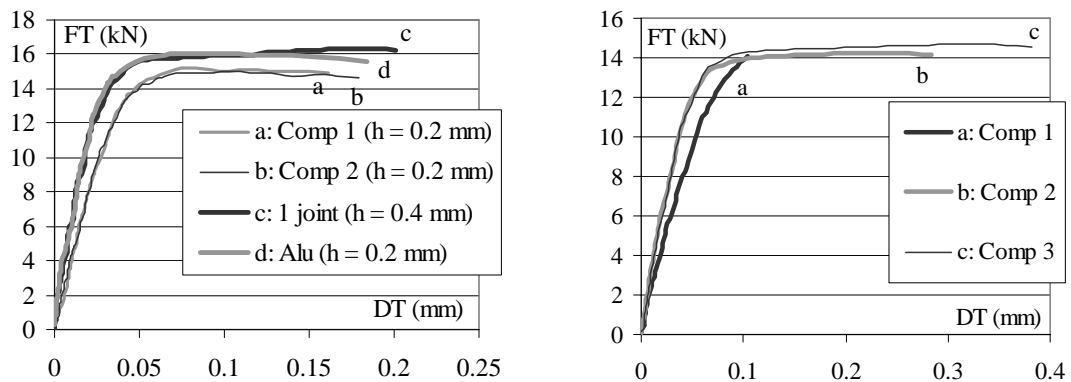


Figure 3 – Evolution suivant l'abscisse des valeurs extrémales des contraintes équivalentes normalisées dans la colle et dans le composite pour des substrats avec bec et pour une sollicitation de traction-cisaillement.



a - Composites unidirectionnels b - Composites multidirectionnels (h=0.4mm)
Figure 4 – Résultats expérimentaux pour des sollicitations de traction-cisaillement

La figure 4-a présente aussi les résultats d'un essai sans plaque composite (avec un seul

joint de colle d'épaisseur double) et d'un essai où le composite a été remplacé par une plaque d'aluminium (Alu), ces résultats permettent d'estimer les déformations dans la plaque composite lors de l'essai.

La figure 4-b présente des résultats expérimentaux pour des composites multidirectionnels utilisés pour les applications navales [8]. Ces résultats soulignent que l'orientation des fibres, les caractéristiques des différents plis et la préparation des surfaces, avec notamment la présence ou non de tissus de délaminage sur les stratifiés avant l'encollage, ont une influence sur le comportement mécanique du composite. De plus, le dispositif proposé permet d'analyser l'influence de renforts (par exemple de type z-pins) sur le comportement du composite sous sollicitations hors plan.

Conclusions

La procédure expérimentale proposée permet d'analyser le comportement d'assemblages collés mixtes avec composites et de composites sous des sollicitations de traction hors plan combinées avec du cisaillement. Des études expérimentales ont montré que le choix des empilements pour la réalisation du composite et que la préparation des surfaces avant collage, avaient une forte influence sur la résistance des composites sous sollicitations hors plan.

Pour caractériser l'évolution de l'endommagement des composites sous sollicitations hors plan, il est nécessaire de développer une instrumentation adéquate de l'essai proposé pour analyser les faibles déplacements et une procédure d'identification inverse pour prendre en compte les comportements non-linéaires de la colle [6] et du composite (plis et interfaces) [9] et les sollicitations non uniformes dans les joints de colle et dans le composite.

Références

- [1] J. Pei, R. A. Sheno. Examination of key aspects defining the performance characteristics of out-of-plane joints in FRP marine structures. *Composites: Part A*, 27A, 89- 103, 1996.
- [2] ASTM International 2004. *The composite materials handbook MIL17*, vol 1, 2004
- [3] A. Chan, W.K. Chiu, X.L. Liu. Determining the elastic interlaminar shear modulus of composite laminates. *Composite Structures*, 80, 396-408, 2007.
- [4] S.C. Hung, K.M. Liechti. Finite element analysis of the Arcan specimen for fiber reinforced composites under pure shear and biaxial loading. *J. Comp. Materials*, 33, 1288-1317, 1999.
- [5] J.Y. Cognard. Numerical analysis of edge effects in adhesively-bonded assemblies - Application to the determination of the adhesive behaviour. *Computers & Structures*, 86, 1704-1717, 2008.
- [6] J.Y. Cognard, P. Davies, L. Sohier, R. Créac'hcadec. A study of the non-linear behaviour of adhesively-bonded composite assemblies. *Composites Structures*, 76, 34-46, 2006.
- [7] J.H. Weaver, L. Tao, L. Jianxin, R. Rongbiao. A modified test for measuring the interlaminar tensile strength of fiber-reinforced ceramic composites, *Composites Science and Technology*, 68, 10-16, 2008.
- [8] J.Y. Cognard, P. Davies, L. Sohier. *Advances in Testing Adhesively Bonded Composites. Advances in structural adhesive bonding*, Editor: D.A. Dillard, Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, 2009 (sous presse).
- [9] O. Allix, L. Blanchard. Mesomodelling of delamination: towards industrial applications. *Composites Science and Technology*, 66, 731-744, 2006.