

Comportement mécanique de joints adhésifs pour composites GLARE estimé par corrélation d'images

Roberto Fedele, François Hild, Stéphane Roux

► **To cite this version:**

Roberto Fedele, François Hild, Stéphane Roux. Comportement mécanique de joints adhésifs pour composites GLARE estimé par corrélation d'images. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01412133

HAL Id: hal-01412133

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01412133>

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.



Comportement mécanique de joints adhésifs pour composites GLARE estimé par corrélation d'images

R. Fedele¹, F. Hild², S. Roux²

¹ Département d'Ingénierie des Structures, Politecnico di Milano,
P.zza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milan, Italie.
fedele@stru.polimi.it

² LMT-Cachan, ENS Cachan / CNRS / UPMC / PRES UniverSud Paris
61 Avenue du Président Wilson, F-94235 Cachan Cedex, France.
(francois.hild,stephane.roux)@lmt.ens-cachan.fr

Résumé — Une procédure d'identification combinant essai et simulation est développée pour analyser les propriétés mécaniques d'un adhésif à l'aide de mesures de champ par corrélation d'images. Les paramètres d'une loi de comportement de zone cohésive décrivant la réponse non linéaire en mode mixte sont déterminés par résolution d'un problème inverse associant modélisation numérique et champ cinématique obtenu par corrélation d'image.

Mots clés — Corrélation d'images, identification de paramètre, zone cohésive.

1 Introduction

Les modèles non linéaires décrivant le comportement des matériaux et des structures contiennent de plus en plus de paramètres, dont certains sont très difficiles à identifier. D'un point de vue industriel, un intérêt croissant se manifeste pour développer de nouvelles techniques d'identification basées sur des essais non conventionnels (i.e., proches des conditions d'usage) menés à différentes échelles [4] au lieu de configurations classiques [5]. Ces essais sont de plus en plus conçus à partir de simulations numériques afin de vérifier leur pertinence par rapport aux situations rencontrées en service. En particulier, l'optimisation des essais vis-à-vis de leur sensibilité aux paramètres recherchés permettra, à terme, d'optimiser la localisation des zones de mesure et les histoires de chargement à imposer.

Une procédure inverse est développée pour la caractérisation d'un joint adhésif permettant de lier une attache à une plaque, tous les deux en GLARE, pour des applications dans le domaine aérospace [7], cf. figure 1. Les essais ont été suivis par la prise d'images à l'échelle microscopique à l'aide d'un microscope à longue distance frontale. Ces images sont ensuite traitées à l'aide d'un code de corrélation permettant la mesure de champs de déplacements décomposés sur une base associée à une discrétisation par éléments finis quadrangulaires à 4 nœuds (fonction d'interpolation bilinéaire [1, 3]). Ces données servent d'une part à imposer les conditions aux limites aux bords de la région d'étude (et évitent ainsi de devoir mailler toute la structure testée). D'autre part, pour les points intérieurs, la minimisation de la distance entre les déplacements mesurés et prédits sert à identifier trois paramètres décrivant le comportement d'une interface cohésive [6]. Dans le cas présent, des lois cohésives normale et tangentielle significativement différentes et couplées sont considérées.

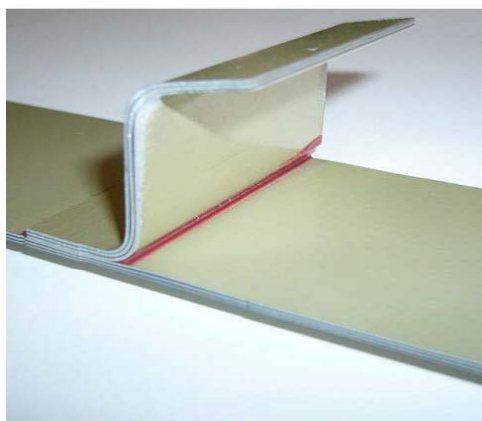


Figure 1 – Echantillon analysé en GLARE (surface : $297 \times 50 \text{ mm}^2$). Le joint adhésif (époxy) entre la plaque et l'attache est l'objet de l'étude.

2 Analyse inverse

Pour les simulations du processus de décollement du joint, les champs de déplacements mesurés à différents instants i ($i = 1, \dots, m$) de la frontière de la région d'étude $\mathbf{u}_{\partial\Omega_i}^{\text{exp}}$ sont imposés. Une résolution en contrainte plane (environ 500 éléments) est conduite avec la même discrétisation que celle utilisée pour les mesures. L'épaisseur du joint est pris en compte dans le modèle d'interphase. La réponse calculée de la région étudiée est illustrée pour différents instants de mesure sur les figures 2 et 3.

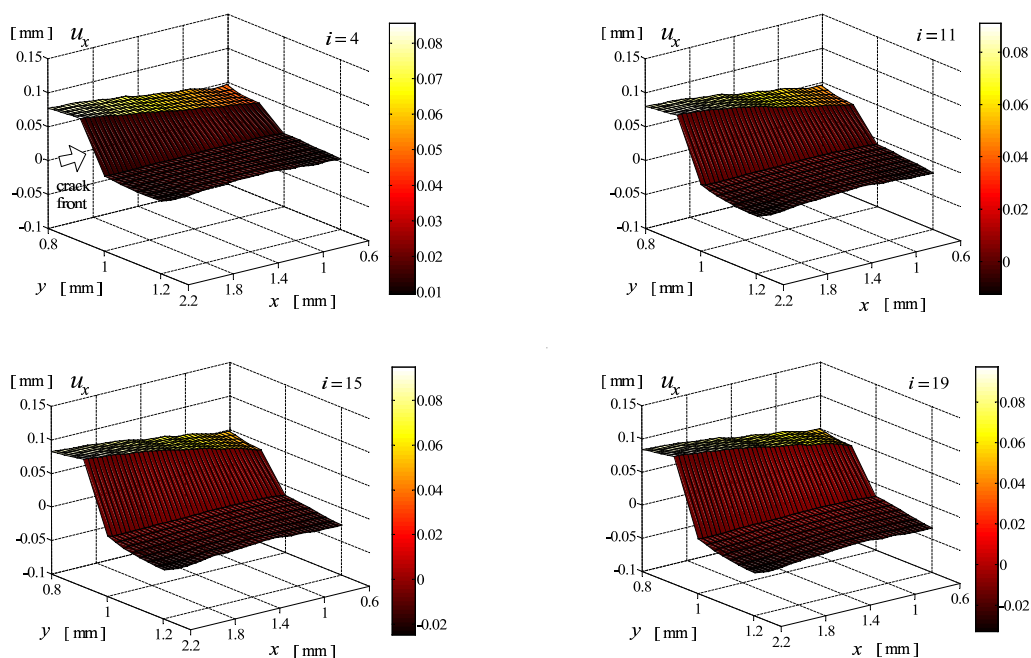


Figure 2 – Réponse calculée de la région étudiée à différents instants i . Champs de déplacement horizontal u_x .

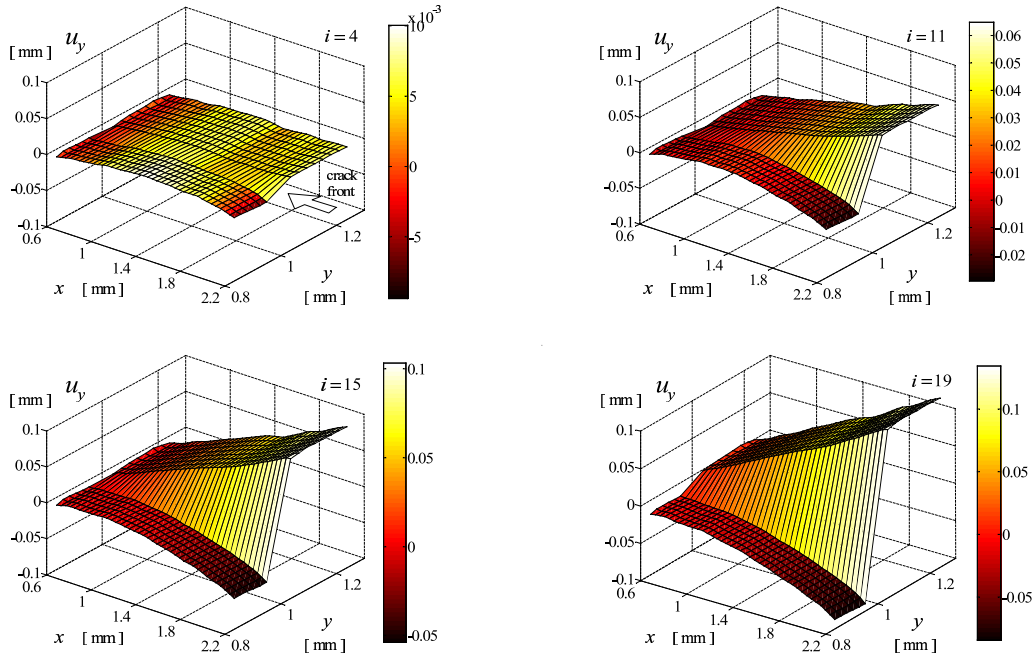


Figure 3 – Réponse calculée de la région étudiée à différents instants i . Champs de déplacement vertical u_y .

Les paramètres optimaux $\widehat{\mathbf{X}}$ sont obtenus par minimisation d'une norme (au sens des moindres carrés) entre les déplacements \mathbf{u}^{exp} mesurés par corrélation d'images et ceux calculés numériquement \mathbf{u}^{comp} . On notera que d'autres procédures peuvent être utilisées [2]. Les quantités considérées sont les déplacements plans aux nœuds des substrats observés (u_x et u_y). Soit m le nombre d'instants de mesure, et n_n le nombre de déplacements nodaux considéré. La fonction objectif choisie s'écrit

$$\widehat{\mathbf{X}} = \arg \min_{\mathbf{X}} \left\{ \omega(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^m \omega_i(\mathbf{X}) \right\} \quad (1)$$

$$\omega_i(\mathbf{X}) = \frac{1}{(W_x^i)^2} \sum_{j=1}^{n_n} [u_x^{\text{exp}} - u_x^{\text{comp}}(\mathbf{X})]_j^2 + \frac{1}{(W_y^i)^2} \sum_{j=1}^{n_n} [u_y^{\text{exp}} - u_y^{\text{comp}}(\mathbf{X})]_j^2$$

Les poids W_x^i et W_y^i à chaque instant de mesure i correspondent à la valeur maximale des composantes planes du déplacement (en valeur absolue) lorsque les mouvements de corps rigide ont été soustraits.

Dans le cas présent, une séquence de 20 images a été utilisée. Elle comprend une (petite) partie de la plaque et de l'attache, et le joint adhésif. Les mesures de $m = 19$ champs sont ainsi disponibles, l'image à l'instant 0 étant prise comme référence. A chaque instant de mesure, l'écart entre les déplacements de $n_n = 80$ nœuds situés dans les parties en alliage d'aluminium du GLARE (celles en pré-preg n'étaient pas suffisamment contrastées pour permettre une mesure fiable) est minimisé de manière globale.

La figure 4 montre les profils des forces de cohésion après identification pour différents instants de prise d'image. Durant le processus de décohésion, on observe une translation des profils d'effort normal T_n vers la gauche de la région étudiée. Les valeurs maximales de ceux-ci évoluent également de par le changement de mixité des modes lors de la propagation. La partie libre d'effort correspond à la fissure microscopique que l'on peut observer sur les images prises lors de l'essai.

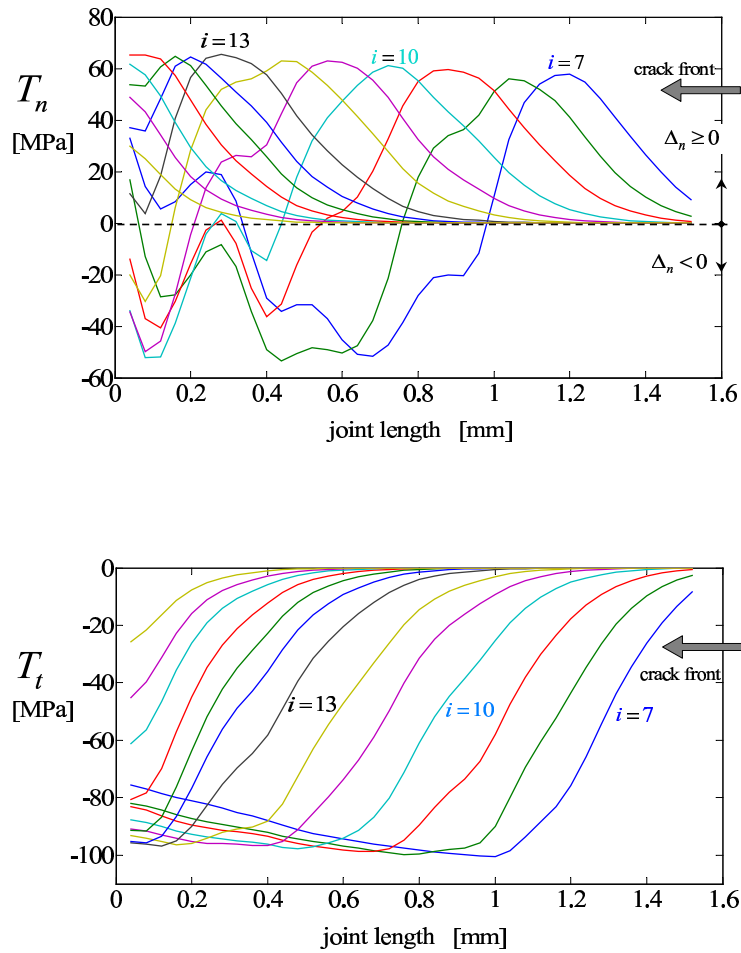


Figure 4 – Profils des forces (normale, T_n et tangentielle, T_t) de cohésion à différents instants i reconstruits à partir de la procédure d'identification proposée.

3 Conclusions

Les propriétés mécaniques d'un adhésif dans un assemblage de plaques en GLARE ont été estimées à l'aide d'une procédure d'identification utilisant uniquement des données cinématiques obtenues par corrélation d'images. Un essai proche des conditions d'utilisation de l'assemblage a été mis au point. Il conduit à des conditions en mode mixte de propagation des fissures.

Les mesures cinématiques, dans un format complètement cohérent avec une discrétisation par éléments finis, permettent d'imposer les conditions aux limites au voisinage immédiat de la zone de cohésion. Ceci évite une simulation de l'ensemble de l'assemblage. D'autre part, celles-ci sont également utilisées dans la zone intérieure observée pour déterminer les paramètres de la loi cohésive par minimisation de leur écart avec les valeurs simulées.

Références

- [1] G. Besnard, F. Hild et S. Roux. "Finite-element" displacement fields analysis from digital images : Application to Portevin-Le Châtelier bands. *Exp. Mech.* 46, 789-803, 2006.
- [2] G. Bolzon, R. Fedele et G. Maier. Parameter identification of a cohesive crack model by Kalman Filter, *Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 191, 2947-2871, 2002.
- [3] F. Hild and S. Roux. Digital image correlation : From measurement to identification of elastic properties - A review. *Strain*, 42, 69-80, 2006.
- [4] W. G. Knauss, I. Chasiotis et Y. Huang. Mechanical measurement at the micron and nano-meter scales *Mech. Mat.*, 35, 217-231, 2003.
- [5] J. P. Sargent. Durability studies for aerospace applications using peel and wedge tests, *Int. J. Adhesion Adhesives*, 25, 247-256, 2005.
- [6] M. J. van den Bosch, P. J. G. Schreurs et M. G. D. Geers. An improved description of the exponential Xu and Needleman cohesive zone law for mixed-mode decohesion. *Eng. Fract. Mech.*, 73, 1220-1234, 2006.
- [7] A. Vlot. *Glare, History of the Development of a New Aircraft Material*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Pays Bas), 2001.