

Evolution de l'éprouvette Arcan TCS afin de prédire le comportement d'une interface collée par la mécanique de la rupture pour des sollicitations dynamiques

C. LAVAREC ^{a,b}, S. MARGUET ^b, R. CREAC'HCADEC ^a, C. CELLARD ^c
S. SOHIER ^c, J.F. FERRERO ^b

^a ENSTA Bretagne, IRDL UMR CNRS 6027, F-29200 Brest

^b Université Paul Sabatier, Toulouse III, ICA, UMR CNRS 5312, F-31400 Toulouse

^c Université de Bretagne Occidentale, IRDL UMR CNRS 6027, F-29200 Brest

Résumé :

Les méthodes de dimensionnement des assemblages collés sous sollicitations dynamiques nécessitent des données expérimentales issues d'essais caractérisant le joint de colle dans un assemblage à la fois pour des approches de milieux continus et à la fois pour des approches de mécanique de la rupture. La difficulté identifiée pour la définition de l'éprouvette de caractérisation de l'assemblage concerne le trajet de chargement de l'interface collée durant le choc pour obtenir un champ de contraintes le plus uniforme possible.

Dans un travail précédent, un essai de caractérisation d'un adhésif sous sollicitation de Traction / Compression – Cisaillement a été proposé (Essai Arcan TCS [1]). Initialement proposé pour des sollicitations statiques, les travaux de B. Valès et al. ont permis son extension pour des sollicitations dynamiques [2,3]. Un montage expérimental utilisant un puits de chute a été développé, mis en œuvre et a permis la caractérisation dynamique de plusieurs adhésifs sous des sollicitations de traction/compression – cisaillement pour une approche en mécanique des milieux continus.

L'objet de ce travail est de proposer une évolution de cette éprouvette Arcan TCS [1] afin de prédire le comportement d'assemblages collés par une approche de la mécanique de la rupture. Ainsi, une fissure a été introduite dans le dispositif expérimental. L'analyse s'est basée sur une approche par éléments finis. Le joint de colle a été modélisé par des éléments d'interface. L'éprouvette Arcan TCS a ainsi permis de solliciter une fissure suivant différentes directions : traction pour un mode I, cisaillement pour le mode II et traction-cisaillement pour la détermination de la mixité de mode I-II. Ce travail présente les principaux résultats décrivant tout le potentiel de l'éprouvette.

Abstract :

The methods for dimensioning glued joints under dynamic loading require experimental data from tests characterizing the glue joint in an assembly both for continuous media approaches and for mechanical failure approaches. The difficulty identified for the definition of the assembly characterization specimen concerns the loading path of the glued interface during the impact to obtain the most uniform stress field possible.

In a previous work, a characterization test of an adhesive under tensile/compressive shear stress was proposed (Arcan TCS test [1]). Initially proposed for static loads, the work of B. Valès et al. allowed its extension for dynamic loads [2,3]. An experimental set-up using a drop shaft was developed, implemented and allowed the dynamic characterization of several adhesives under tensile/compressive-shear stresses for a mechanical approach to continuous media.

The purpose of this work is to propose an evolution of this Arcan TCS [1] specimen in order to predict the behavior of bonded assemblies by an approach to fracture mechanics. Thus, a crack was introduced into the experimental device. The analysis was based on a finite element approach. The glue joint was modelled by interface elements. The Arcan TCS specimen thus made it possible to stress a crack in different directions: tension for mode I, shear for mode II and tension-shear for the determination of the mixed mode I-II.

This work presents the main results describing the full potential of the specimen.

Mots clés : Adhésif, caractérisation, dynamique, mécanique de la rupture, Arcan TCS.

1. Introduction

L'utilisation du collage pour la réalisation de structures assemblées est aujourd'hui très fréquente dans de nombreux secteurs de l'industrie et plus particulièrement dans celui du transport. L'intérêt pour cette technique d'assemblage provient essentiellement des objectifs de réduction de consommation de carburant et d'allègement des structures des véhicules modernes. En effet, le collage structural offre de nombreux avantages. La possibilité de réaliser des liaisons continues entre des pièces de nature différente et de forme plus ou moins complexe en fait une alternative intéressante aux méthodes « traditionnelles » d'assemblages tels que le boulonnage, le soudage, etc. Durant leur période d'utilisation, les structures assemblées par collage peuvent être soumises à des conditions complexes d'impact. C'est le cas, entre autres, des véhicules terrestres (*e.g.*, durant un accident) et aériens (*e.g.*, lors d'un impact d'oiseau). Les adhésifs étant des polymères, leur comportement mécanique est en général sensible à la variation de vitesse de déformation. Afin d'assurer l'intégrité de ces structures et par conséquent la sécurité des utilisateurs, il est nécessaire de prendre en considération en amont, c'est-à-dire dès de la phase de conception, le comportement au crash de ces dernières.

De nos jours, les simulations numériques basées sur la méthode des éléments finis sont préférées aux essais expérimentaux sur structures. Ils permettent en effet de réduire les coûts ainsi que les délais de développement. Toutefois, les modèles de calculs développés nécessitent d'être alimentés par des lois de comportement associées aux matériaux sollicités. L'objectif de l'étude est d'identifier le comportement mécanique d'adhésifs sous sollicitations dynamiques combinées par le biais de la mécanique de la rupture.

Dans ces travaux, l'utilisation de la méthode des éléments finis a été utilisée. L'éprouvette arcan TCS, développée dans un premier temps par Créac'hcadec et al [1] puis adapté à la sollicitation dynamique par Valès et al. [2,3], a été modélisée puis pré-fissurée dans le joint de colle dans le but de valider que l'éprouvette actuelle ne correspondait pas au besoin de la mécanique de la rupture. Par la suite, des modifications géométriques ont été à l'éprouvette via la modélisation dans le but de forcer le chemin

Aluminium	Adhésif	Eléments d'interface
$E=73,570 \text{ GPa}$	$E=1600 \text{ MPa}$	$E=4084 \text{ MPa}$
$\nu=0,345$	$\nu=0.42$	$G1=563 \text{ MPa}$
$\rho=2700 \text{ kg.m}^{-3}$	$\rho=1100 \text{ kg.m}^{-3}$	$G2=563 \text{ MPa}$
		$\rho=1100 \text{ kg.m}^{-3}$

Tableau 1 Propriétés mécaniques des matériaux

Les éléments d'interface au centre du joint de colle ou utilisé pour la modélisation complète de l'adhésif ont été modélisé par une loi classique triangulaire de courbe traction-séparation en deux parties.

L'éprouvette a été maillée avec trois types d'éléments différents en fonction des zones. Les deux bords ont été maillés avec des éléments C3D4 : éléments volumiques tétraédriques à intégration linéaire. Les deux bords ainsi que l'adhésif sont maillés avec des éléments C3D8R : éléments volumiques cubiques à

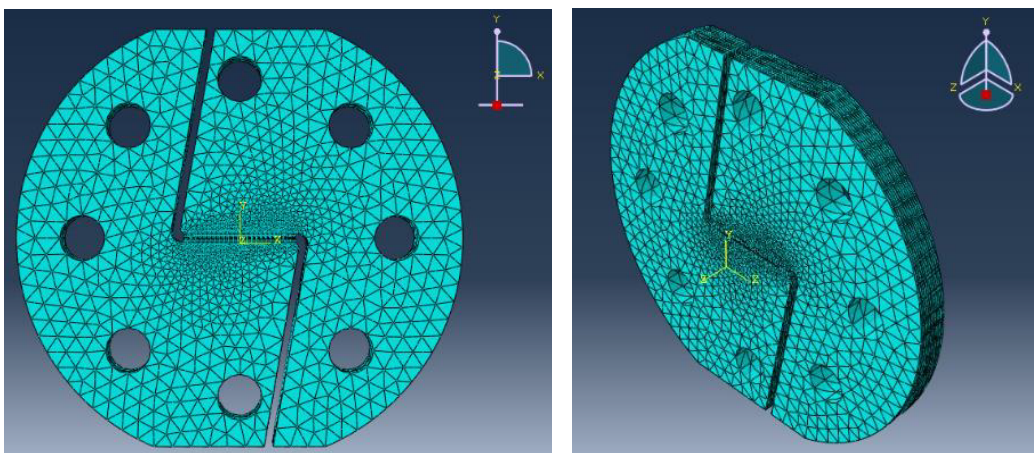


Figure 3 Maillage de l'éprouvette

intégration réduite. Enfin, les éléments d'interface sont maillés avec des éléments de type COH3D8R : éléments cohésifs volumiques cubiques à intégration réduite. La figure ci-dessus montre ce maillage pour l'éprouvette initiale.

On s'intéressera en sortie de cette modélisation au chemin des contraintes au cours du temps, le but étant d'avoir une concentration de contraintes au niveau de la pré-fissure du joint de colle. On regardera également les courbes efforts-déplacement et la répartition des contraintes dans l'adhésif, c'est-à-dire la propagation de la fissure.

b. Conditions de chargement

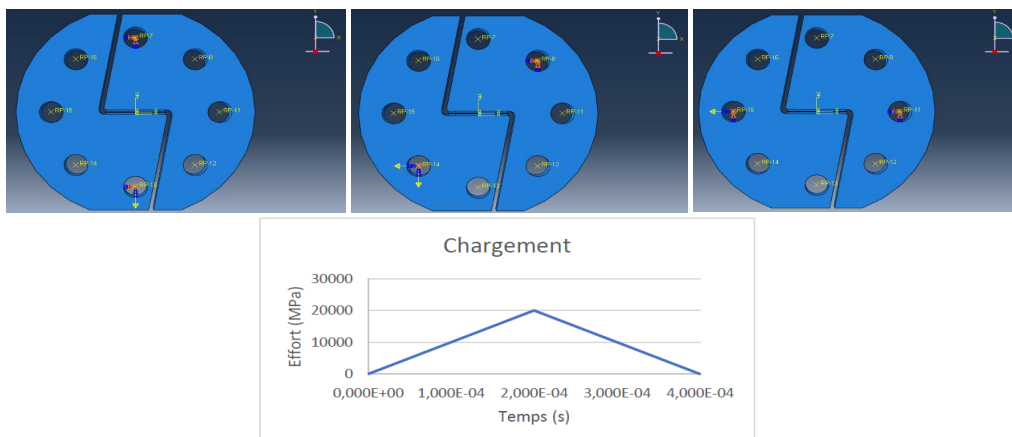


Figure 4 Chargement

Trois directions de sollicitation seront testées pour les différentes géométries : traction pour un mode I, cisaillement pour le mode II et traction-cisaillement pour la détermination de la mixité de mode I-II. Le calcul se fait en dynamique explicite sur un temps de calcul de 0.0004s. On applique un chargement en effort triangulaire afin d'amplitude maximale 20kN afin de s'approcher du chargement provoqué par la tour de chute. Le chargement est appliqué, comme le montre la figure ci-dessous, en fonction du mode de sollicitation souhaitée : mode I en RP13, mode II en RP15 et mode combiné I-II en RP14. Au nœud opposé, on bloque les translations et rotations autour de x et y afin de modéliser la liaison pivot dans la tour de chute.

3. Analyses

Pour le modèle initial développé par B. Valès et al., on observe que la fissure se propage pour une seule direction de sollicitation : mode I. En effet, on observe que pour les deux autres directions de sollicitation (mode II et mode mixte I-II), la rupture de l'éprouvette n'est pas initiée par la pré-fissure. Comme le montre les graphiques de la figure ci-dessus. Sur ces graphiques, on retrouve les résultats pour les trois modes de sollicitations (I, II, I-II). On voit sur le premier graphique, courbes effort de réaction-déplacement qu'il y a rupture de l'éprouvette pour les trois directions de sollicitation. On observant plus précisément la répartition des contraintes dans les éléments d'interface, ce que représentent les graphiques restant pour les trois sollicitations à différents pas de temps. On observe que la répartition des contraintes dans le joint de colle est homogène ou avec un léger pic de contrainte au centre du joint et non pas au niveau de la pré-fissure.

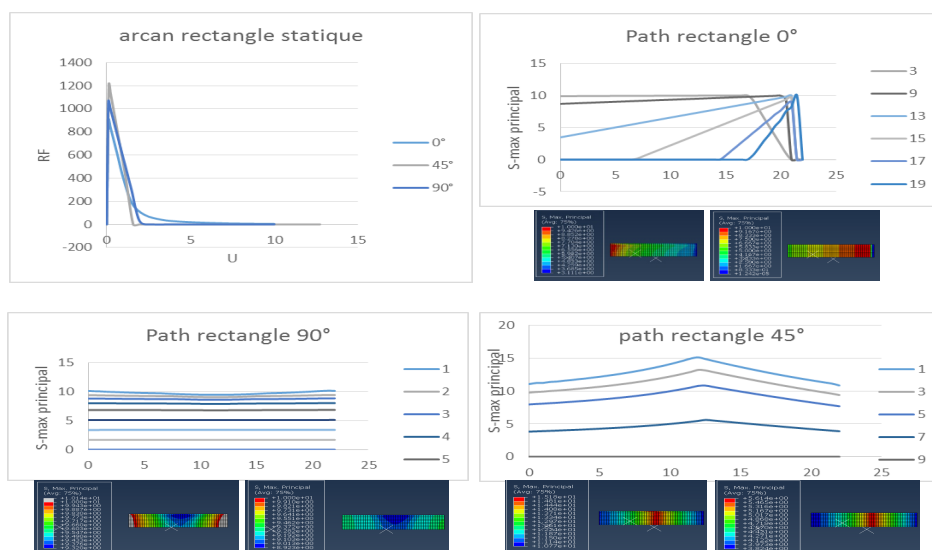


Figure 5 Résultat du modèle initial

Comme il avait été prédit, il faut forcer le chemin des contraintes vers la pré-fissure, avec des modifications géométriques telles que présentées dans la partie précédente. Les résultats obtenus avec cette éprouvette mettent en avant que la rupture du joint de colle est bien initiée par la pré-fissure pour les trois modes de sollicitation. Par la suite, une comparaison de cette géométrie a été faite afin de sélectionner la méthode d'utilisation des éléments cohésifs : seulement dans le prolongement de la pré-fissure ou pour représenter l'intégralité de l'adhésif.

Enfin, une campagne d'essais mécanique utilisant le puit de chute va venir valider la nouvelle géométrie de l'éprouvette Arcan TCS pour son utilisation en mécanique de la rupture sous sollicitations dynamiques dans le but de faire de la caractérisation d'adhésif.

4. Conclusion

Une étude numérique a permis de mettre en avant que l'éprouvette Arcan TCS développée par Créac'hcadec et al. Puis modifiée par Valès et al. ne permet pas l'étude par le biais de la mécanique de la rupture des assemblages collés. L'étude numérique a donc permis de faire évoluer la géométrie de cette éprouvette le plus simplement possible pour répondre à ces nouveaux critères. Une fois la nouvelle géométrie définie, l'éprouvette a été fabriquée et des essais de fissurations sous chargements dynamiques dans différentes directions ont été faits pour valider expérimentalement ce nouvel essai. Enfin, une méthode de post-traitement des données expérimentales est en cours de développement afin de faire de la caractérisation d'adhésif par la mécanique de la rupture en venant corréler essais et simulation.

Références

- [1] Créac'hcadec, L. Sohier, C. Cellard, B. Gineste, *A stress concentration-free bonded arcan tensile compression shear test specimen for the evaluation of adhesive mechanical response*, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 61, 2015, Pages 81-92.
- [2] B. Valès, S. Marguet, R. Créac'hcadec, L. Sohier, J.-F. Ferrero, P. Navarro. *Journal of Adhesion Science & Technology*. 2016, Vol. 30 Issue 12, p1319-1339.
- [3] B. Valès, S. Marguet, R. Créac'hcadec, L. Sohier, J.-F. Ferrero, P. Navarro, *Experimental & numerical study of the Tensile/Compression-Shear Arcan test under dynamic loading*, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 78, 2017, Pages 135-147, ISSN 0143-7496, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.06.010>.