

INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR ET DE LA NATURE DU MATERIAU UTILISE DANS LA REPARATION DES FISSURES PAR DOUBLE RENFORT

A. MEDJADJI¹, M. MAZARI¹, A. BELAZIZ¹

¹Laboratoire de Matériaux et Systèmes Réactifs LMSR, Département de Génie Mécanique, Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés, Algérie. belaziz2013@gmail.com

Résumé

Ce présent travail est réalisé dans le but de faire une investigation sur les différentes techniques de réparation des fissures, de recenser les paramètres influents de chacune d'elles et de simuler numériquement par la méthode des éléments finis tridimensionnels le phénomène de retard de propagation des fissures de la technique qui fournit le meilleur retard en conservant les mêmes conditions d'utilisation avec un logiciel commercial Abaqus 6.11. Les techniques qui seront utilisées sont celles de la littérature.

Mots clés : Réparation, fissures, propagation, retard de propagation, simulation.

1. Introduction

Parmi les solutions les plus pratiques pour la réparation des structures c'est celle qui consiste à substituer toute ou une partie de la zone endommagée et de coller des renforts plus ou moins importants sur la surface de la structure. On peut également noter que le collage des renforts externes est largement utilisé dans la réparation des structures métalliques afin d'arrêter la propagation d'un défaut. De nombreuses études ont été réalisées pour valider et normaliser ce type de réparation [1], [2], [3], [4].

Le travail présenté dans ce projet est consacré à l'utilisation d'un outil numérique qui va servir à optimiser et paramétrer les renforts utilisés pour la réparation par simple et double renfort des structure fissurées soumis un comportement de fatigue.

2. Modèle étudié

L'étude et la résolution de ce problème sera traiter purement numérique, en utilisant le code de calcul ABAQUS qui sert à déterminer l'évolution de la durée de vie d'un model propose, qui a été réalisée par une éprouvette CT75 sous la norme de l'ASTM E647-00 est représenté sur la figure 1, le matériau utiliser est un l'alliage d'aluminium 2024-T351 de propriété chimique et mécanique voir respectivement les tableaux I et II.

Le modèle proposé contient une fissure horizontale au bord de l'éprouvette d'Aluminium perpendiculaire à la

direction de chargement de longueur $a = 25$ mm. Cette fissure est réparée par collage d'un renfort métallique avec les dimensions suivantes :

- Largeur : $W_r = 30$ mm ;
 - Hauteur : $H_r = 30$ mm ;
 - Épaisseur : en simple renfort $e_r = 1$; 1,5 et 2 mm
 - Épaisseur : en double renfort $e_r = 1$; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 2,6 ; 2,7 et 3 mm
- (e_r est représenté par e sur les graphes des résultats)

L'adhésif employé, FM73 avec une épaisseur, $e_a = 0,2$ mm de propriété mécanique module de cisaillement $G = 100$ MPa et coefficient de poisson $\nu = 0,3$.

La figure 2 représente le modèle géométrique à étudier de l'éprouvette fissurée et réparée par un simple et double renfort.

Tableau. I : Compositions chimiques chimique en % de l'aluminium 2024-T351 [5].

Composition chimique en %	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	0.9	0.22	4.46	0.66	1.5
	Zn	Ti	Cr	Al	
	0.04	0.02	0.01	reste	

Tableau. II : Propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium 2024T351 [5].

E(MPa)	R _{0.2} (MPa)	R _r (MPa)	A(%)
72000	318	524	12.8

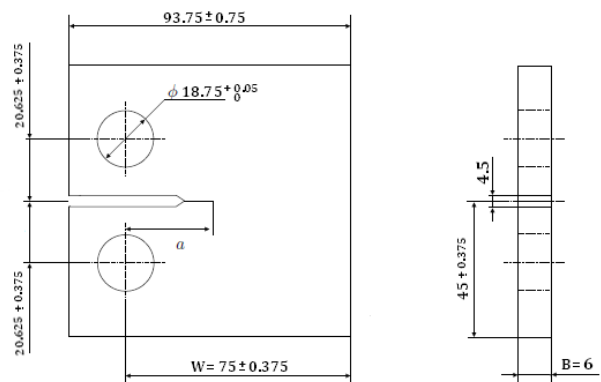


Fig. 1. Eprouvette « compact tension » selon ASTM E647.

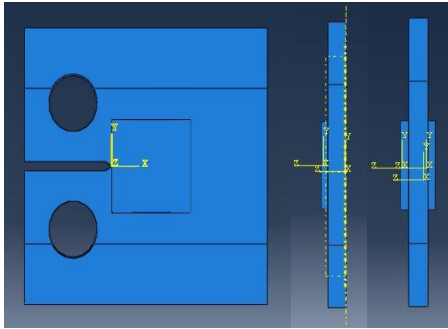


Fig. 2. Modèle géométrique (Simple et Double renforts).

La résolution numérique par Abaqus 6.11, nous a permis de déterminer les facteurs d'intensité de contrainte $K1$ et $K2$ correspondants à un avancement de fissure $da = 0.5$ mm, pour les structures étudiées (Fig. 2) soumise à une sollicitation de fatigue caractérisée par une charge cyclique $P=2$ kN et rapport de charge $R=0,1$. Ces conditions ont été appliquées pour les trois cas de figures abordés par notre étude :

- Détermination de la durée de vie pour l'éprouvette CT75 sans réparations, afin d'avoir un historique du comportement mécanique de cette structure, et connaître son trajectoire de manifestation durant la propagation de la fissure jusqu'à la rupture.
- Étudier l'influence de l'épaisseur du renfort utilisé pour le renforcement en simple et en double renfort qui sont de la même nature du matériau que l'éprouvette à réparer, avec l'optimisation de l'épaisseur du renfort dans le cas du double renforcement.
- Étudier l'influence de la nature du matériau du renfort utilisé pour le cas du double renforcement, et cela en gardant la valeur de l'épaisseur optimisée déterminée précédemment.

Notre travail est consacré à l'étude de l'influence du renfort en jouant sur son épaisseur et son type de matériaux sur la durée de vie de la structure réparée, et cela sans la prise en considération des effets de la couche d'adhésif qui supposée comme étant un solide élastique assurant la jonction entre la facette à réparer de l'éprouvette et celle du renfort.

3. Résultat

3.1 Structure sans réparations

Dans cette partie, nous allons proposer l'existence d'un pré-fissure de longueur $a=19$ mm (un amorçage de 4 mm), et en va procéder à l'application des conditions aux limites et le chargement qui sont définis précédemment, et après résolution, les résultats sont présentés par la figure 3, qui représente l'évolution de la longueur de fissure a en fonction de la durée de vie N et caractérise l'historique du comportement de notre structure sous les conditions appliquées.

3.2 Réparation à simple renfort

Cette partie a été élaborée pour avoir une idée sur l'évolution de la durée de vie en fonction de l'épaisseur

du renfort pour le cas de simple renforcement, en remarque que :

La durée de vie s'améliore avec l'augmentation de l'épaisseur du renfort (figure 4). Pour ce cas, on est limité à trois épaisseurs différentes, juste pour avoir une idée sur l'évolution de la durée de vie en fonction de l'épaisseur du renfort et la comparer avec la technique du double renfort qui est notre objet d'étude.

3.3 Comparaison entre simple et double renfort

Cette partie a été élaborée pour déterminer la différence entre la réparation avec simple renfort et celle de double renfort, d'après les résultats représentés par les figures 5, 6 et 7, en remarque que la réparation en double renfort donne un gain très important en durée de vie par rapport à celle en simple renfort.

Nous remarquons aussi ce qui suit :

L'évolution de la durée de vie est plus importante pour le cas de la réparation en double renfort.

Une déformation importante de la structure à réparer dans le plan (Y.Z) pour la réparation en simple renfort, mais ce n'est pas le cas pour le double renforcement qui donne une bonne symétrie.

Le seul inconvénient de la méthode de réparation en double renfort se pose sur l'accessibilité dans le cas réel d'intervention sur les deux côtés de la structure à réparer pour assurer le montage des renforts.

La méthode de simple renforcement donne un rendement faible par rapport à celle du double renfort, en plus le déplacement se développent en deux plans ce qui engendre un facteur d'intensité de contrainte $K2$ élevé.

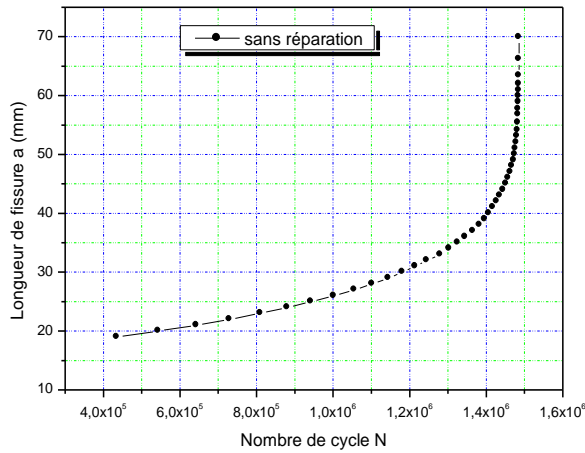
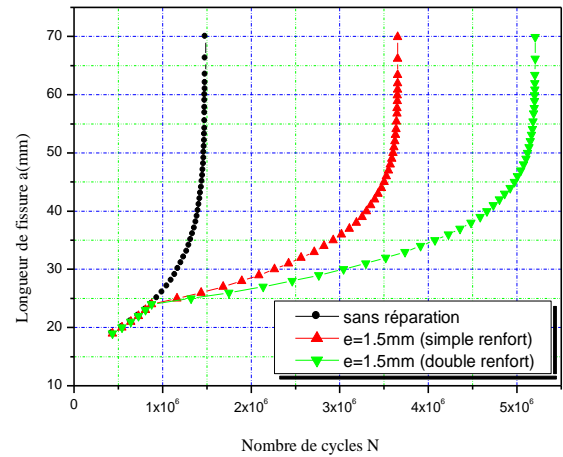
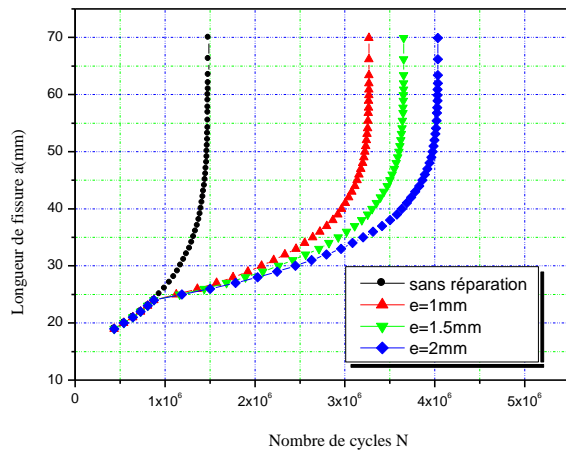
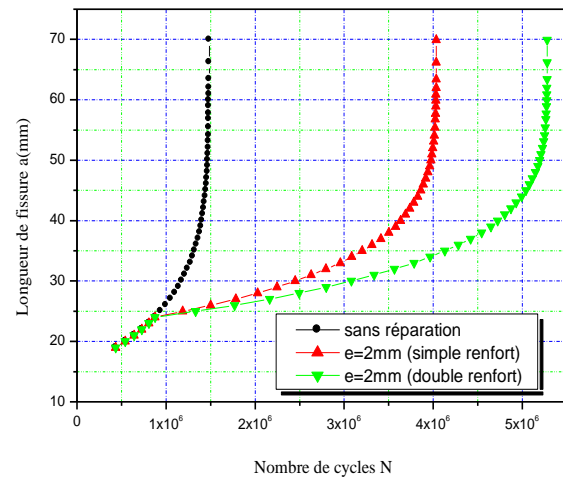
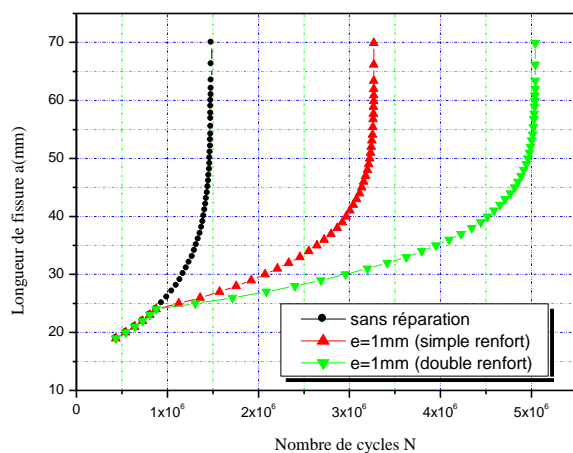
3.4 Optimisation de l'épaisseur du renfort pour le double renforcement

Les résultats présentés dans la figure 8 montrent l'évolution de la durée de vie en fonction de l'épaisseur du renfort pour le cas de double renforcement, alors en remarque bien que l'augmentation de l'épaisseur du renfort influe positivement sur le gain de durée de vie jusqu'à une valeur optimisée de cette grandeur, au-delà de cette valeur optimum l'épaisseur influe négativement sur la durée de vie et devenir un paramètre néfaste (Fig. 8 et 9).

Donc pour notre cas de figure la valeur optimisée de l'épaisseur de renfort en double renforcement a été estimée à la valeur de $e_r = 2.6$ mm équivalente à $N=5324973$ cycles.

3.5 Influence du matériau du renfort sur la durée de vie

Dans cette partie, nous allons étudier l'influence du matériau du renfort utilisé sur l'évolution de la durée de vie de la structure réparée. Dans ce cadre on va choisir trois autres types de matériaux qui caractérisent le renfort, alors on va proposer deux matériaux plus durs que le 2024T351, et un autre moins dur par rapport à ce dernier (Tableau 3).

Fig. 3. Evolution de a en fonction de N (sans réparation).Fig. 6. Evolution de a en fonction de N ($e = 1,5$ mm).Fig. 4. Evolution de a en fonction de N (sans réparation).Fig. 7. Evolution de a en fonction de N ($e = 2$ mm).Fig. 5. Evolution de a en fonction de N ($e = 1$ mm).

Les résultats qui représentent l'évolution de la longueur de fissure a en fonction de la durée de vie N pour cette phase d'étude sont présentés par la figure 10.

On ne constate que le renfort en matériau de même nature que l'éprouvette fissurée donne de meilleurs résultats et une durée de vie très améliorée par rapport aux autres qui sont de natures différentes.

Mais, en comparant les autres renforts de matériaux différents, en conclure que l'évolution de la durée de vie de la structure réparée et s'améliore proportionnellement par rapport à la rigidité du renfort.

Donc, L'utilisation d'un renfort ayant un module de Young plus élevé provoque l'augmentation des contraintes de cisaillement à l'extrémité et une diminution au centre. Donc le renfort le plus approprié à utiliser doit avoir une rigidité proche de celle de la structure.

On constate aussi que le comportement de l'ensemble (structure-colle-renfort) est semblable à celui dû à l'effet du module de Young, sauf pour le cas où le matériau de

la structure et celui du renfort sont de même nature donne le meilleur gain en durée de vie.

Mais, en comparant les autres renforts de matériaux différents, en conclure que l'évolution de la durée de vie de la structure réparée et s'améliore proportionnellement par rapport à la rigidité du renfort.

Donc, L'utilisation d'un renfort ayant un module de Young plus élevé provoque l'augmentation des contraintes de cisaillement à l'extrémité et une diminution au centre. Donc le renfort le plus approprié à utiliser doit avoir une rigidité proche de celle de la structure.

On constate aussi que le comportement de l'ensemble (structure-colle-renfort) est semblable à celui dû à l'effet du module de Young, sauf pour le cas où le matériau de la structure et celui du renfort sont de même nature donne le meilleur gain en durée de vie.

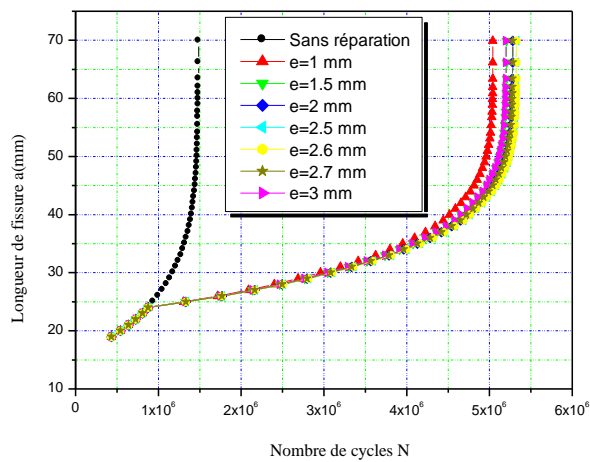


Fig. 8. Optimisation de l'épaisseur du renfort pour le double renforcement.

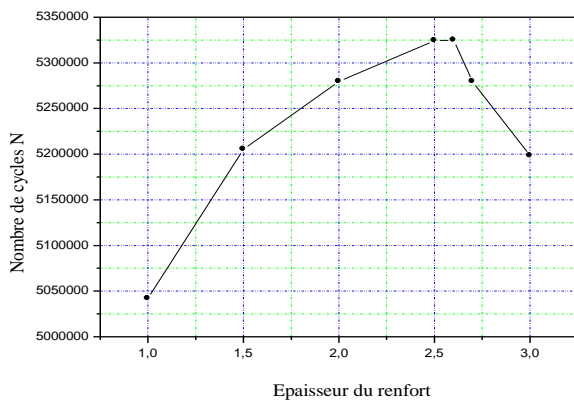


Fig. 9. Nombre de cycle en fonction de l'épaisseur du renfort.

Tableau 3. Propriétés mécaniques du matériau des renforts étudiés

Partie	Matériaux	Module de Young E (Mpa)	Coefficient de poisson ν
Renfort 1	2024-T351	72000	0.33
Renfort 2	6061	69000	0.33
Renfort 3	2014	74000	0.33
Renfort 4	C 63000	100000	0.3

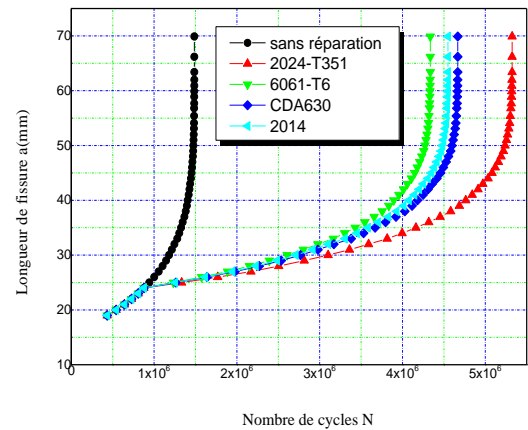


Fig.10. Evolution de a en fonction de N (matériaux différentes du double renfort)

4. Conclusion

Par le biais des résultats de simulation et de calculs aux éléments finis effectués à l'aide du code de calcul Abaqus 6.11, nous avons étudié l'influence de l'épaisseur et de la nature du matériau utilisé dans la réparation des fissures par double renfort et nous avons déterminé l'évolution de la durée de vie de la structure à réparer.

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La réparation par simple ou double renfort conduit à une évolution de la durée de vie des structures fissurées.

- Le double renforcement est plus bénéfique que le renforcement simple, en plus les déformations figurent dans un seul plan à cause de l'attachement des deux facettes de la fissure où la durée de vie est multipliée par un coefficient de l'ordre de 3.5, ce qui représente un gain important du côté économique surtout après l'apparition et la détection du défaut à réparer.

- La proportionnalité entre l'épaisseur du renfort et la durée de vie jusqu'à une valeur optimale de ce dernier, au-delà de cette valeur l'épaisseur du renfort devient un paramètre néfaste et influe négativement sur le gain de la durée de vie.

Références

- [1] MAB SU, « *Etude de l'influence et de l'optimisation du degré de l'expansion à froid dans les mécanismes de réamorçage d'une fissure : étude numérique et expérimentale* » Université des sciences de technologies de Lille, 2005.
- [2] HAO WU, ABDELLATIF IMAD, NOUREDDINE BENSEDDIQ, JAIME TUPIASSU PINHO DE CASTRO, « *Prédiction de la durée de vie résiduelle en fatigue des structures fissurées après réparation* » 19^{ème} Congrès Français de Mécanique. Marseille, 24-28 août 2009.
- [3] R. FABRIZIO, F. FRANCESCO ET N. MONTEFUSCO, « *Bonded Composite Patch Repairs on Cracked Aluminum Plates: Theory Modeling and Experiments* ». Department of Aerospace Engineering, University of Naples – Federico II- Italy.
- [4] A. M. KUMAR, S. A. HAKEEM, « *Optimum design of symmetric composite patch repair to centre cracked metallic sheet* ». Composite Structures. Vol. 49, (2000), pp. 285-292.
- [5] TIEN-DUNG DO. « *Étude de la zone plastique en Pointe de fissure pour l'alliage d'aluminium 2024-T351* » université François – Rabelais de Tours, 2013.