



Revue des Matériaux & Energies Renouvelable

Journal home : <https://www.univ-relizane.dz>

ISSN : 2507-7554

E-ISSN : 2661-7595



FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE, UNIVERSITE DE RELIZANE.

Identification de mécanisme de fissuration dans une structure rivetée sollicitée en traction.

Open
Access

BOUALAMALLAH Djama¹, GHAZI Abdelkader^{1-2*}, MILOUDI Abdelkader¹

¹ Laboratoire de Matériaux et Systèmes Réactifs LMSR - Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, BP 89, cité Ben M'hidi, 22000 Sidi Bel Abbès, Algérie

e-mail: Djama.boualamallah@yahoo.com.

² Université de Mascara Bp 305 route de Mamounia, 29000 Mascara, Algérie.

e-mail: ghaziaek@yahoo.fr.

e-mail: miloudidz@yahoo.fr

RESUME

Article history:

Received 26 October 2020.

Received in revised form 17 November 2020.

Accepted 05/July 2021.

Keys word: rivetage – trou - contrainte – fissure – propagation – fatigue.

Les départements de conception de pièces industrielles ont de plus en plus de difficultés pour modéliser de grandes structures contenant un nombre important de points d'assemblage (ex : avion, pont, rails, etc.). En effet, exécuter des simulations avec une représentation explicite de chaque point d'assemblage reste à ce jour inenvisageable : problèmes numériques liés aux nombreux problèmes non-linéaires locaux à résoudre (contact, plasticité, endommagement, temps de calculs et besoins de mémoires trop importants, etc.). Les travaux de cette communication portent sur la mise au point d'une méthodologie basée sur une méthode innovante en éléments finis pour représenter de manière précise un point d'assemblage par déformation plastique (rivet).

Le but d'un tel élément équivalent est de modéliser le comportement mécanique du point d'assemblage aussi précisément que possible selon les sollicitations mécaniques de base.

Copyright © 2021 - All rights reserved

1. Introduction

Le rivetage est un mode d'assemblage mécanique, apparenté au sertissage (puisque'il y a déformation permanente) mais dans lequel un élément intermédiaire écrasé convenablement par matage, le rivet, maintient entre elles les pièces à assembler de façon permanente.

Le rivetage reste très utilisé pour les assemblages définitifs, les pièces à assembler sont généralement à faible épaisseur (tôles, profilés).

Il existe plusieurs types d'assemblage par rivets :

- assemblage par recouvrement ;
- assemblage à couvre-joint simple ;
- assemblage à couvre-joint double.

Pour chacun de ces types, des règles technologiques et de résistances doivent être respectées.

On peut définir le rivetage comme une liaison complète indémontable plus utilisée dans les diverses constructions métalliques telles que : la charpente métallique, l'aviation, la chaudronnerie, navires.

* Corresponding author. E-mail address: ghaziaek@yahoo.fr.

2. Caractéristiques des Matériaux

Pour étudier des assemblages rivetés, le matériau choisi est un alliage d'aluminium 2024 T351 (série 2000). Les tôles sont obtenues par laminage ce qui leur confère des caractéristiques particulières dans les deux directions. Seule une direction sera privilégiée : celle du sens long (sens de laminage) [1]. La composition chimique de l'alliage d'aluminium est donnée par le Tableau 1. [2].

Composition chimique en pourcentage de poids de l'alliage d'aluminium 2024-T351.

Cu	Mg	Mn	Cr	Si	Fe	Ti	Zn	Zr
4.31	1.47	0.64	0.01	0.09	0.19	0.02	0.14	0.01

Les différentes caractéristiques mécaniques sont rassemblées dans le tableau 2.

Tableau 1. Propriétés mécaniques de l'alliage 2024-T351[3].

E (Mpa)	σ_e (Mpa)	σ_m (Mpa)	ν
73084.4	358.527	468.84	0.33

3. Simulation numérique d'une fixation

La simulation numérique des tôles assemblées par fixation rivetés présente une difficulté au niveau de la mise en œuvre du comportement réel de la structure avec toutes les variantes qui rentrent en jeu. Il existe une modélisation simplifiée présentant la structure en 2D (perforation dans les tôles métalliques). Le degré de complexité dans la modélisation (même simplifiée) d'un assemblage riveté est fonction de l'importance de son rôle sur le comportement de structure. En effet deux cas de figure peuvent être dissociés, dans un premier cas, l'assemblage ne se situe pas dans une zone de la structure fortement sollicitée. On considère qu'il ne présente pas de risque de rupture ou qu'il influe peu sur le comportement d'ensemble de la structure. La méthode consiste alors à modifier lancement des géométries en fusionnant par exemple les pièces assemblées [4-5]. L'analyse par éléments finis de la configuration représentée par la figure (1) a été réalisée en utilisant le code Franc 2DL.

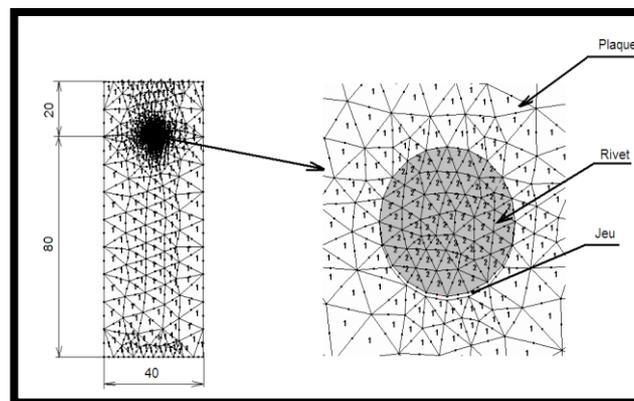


Figure 1–Maillage par éléments finis de la structure (plaque/rivet).

La figure (2) présente une plaque mince ($e=3\text{mm}$), cette dernière soumise à un effort de traction longitudinale avec une contrainte uniformément répartie au voisinage du rivet d'amplitude $\sigma = 50 \text{ Mpa}$.

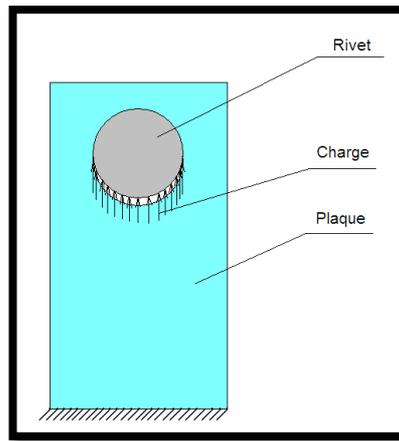
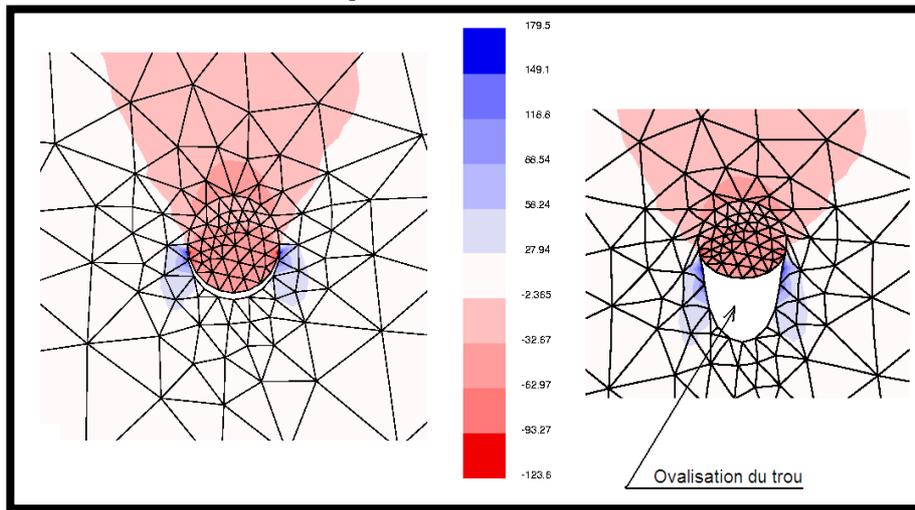


Figure 2–Modèle géométrique et les conditions aux limites.

4. Résultats et discussion

Le rivet utilisé dans cette étude est un rivet en alliage de Titan de module de Young $E=110316\text{Mpa}$ [6].

Les figures (3) représentent la répartition des contraintes normale selon la direction des sollicitations on remarque que les contraintes sont localisées au niveau des trous comportant les rivets à cause de l'effet d'entaille c'est-à-dire le trou du rivet.



(a)



(b)

Figure 3– a) Niveau des contraintes au niveau du trou de rivet.
b) Rupture d'une structure rivetée [7].

La pression latérale est importante sur le bord de la plaque pouvant se manifester en ovalisation de trou de rivet.

Pour chacun des domaines (figure 4), la déformation varie en fonction de la position du point de mesure sur l'axe. On est en présence de deux effets de bord, l'un du à la perforation, l'autre au bord de la plaque. En effet, la déformation mesurée sur l'axe vertical est minimal en bordure de perforation (elle devient même négative en plasticité car il y a une compression local en bordure de trou).

Des observations similaires peuvent être faites le long du chemin de rupture. La déformation mesurée le long du chemin de la rupture est tout d'abord maximale au bord du trou. Puis, au fur et à mesure que l'on s'en éloigne, la déformation diminue jusqu'à atteindre un palier :

L'effet de trou s'estompe. Les effets de bord de plaque semblent cette fois-ci quasi inexistant. Il semble donc exister une zone, assez limitée, où la déformation locale subit peu les effets de bord et de trou. Dans cette zone, fonction de l'axe observé, la déformation est quasiment constante [8].

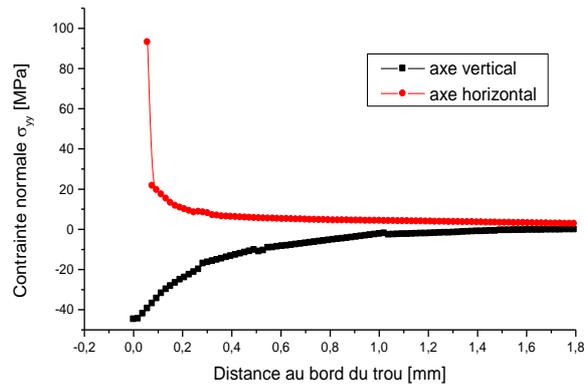


Figure 4 – Niveaux des contraintes.

5. Étude de la propagation

Dans le but de comparer les vitesses de fissuration observées dans les éprouvettes trouées avec le comportement classique des fissures longues, il est nécessaire d'estimer le facteur d'intensité de contrainte. Malheureusement, il n'existe pas de solution exacte pour ce type d'éprouvette permettant de calculer directement k .

$$k = k_t s \sqrt{\pi a} \quad (1).$$

L'analyse de la littérature a montré que le facteur d'intensité de contrainte dans une éprouvette entaillée s'exprime généralement sous la forme :

$$k = \beta s \sqrt{\pi l} \quad (2).$$

Où l représente la taille de l'entaille ($a + c$) et β est une fonction de la longueur de fissure dépendante de la géométrie de l'éprouvette et de la forme de l'entaille. Newman dans [9] propose une solution numérique (calcul par EF) pour le facteur β dans une éprouvette à trou central fissurée. Notons que l'on ne considère dans ces calculs que des fissures droites (amorcées $\theta = 0$), ce qui est une approximation par rapport aux observations expérimentales. Les dimensions de l'éprouvette étant différentes, il convient de modifier légèrement la courbe de Newman pour l'ajuster aux dimensions de nos éprouvettes. Malheureusement l'expression littérale n'ayant pas pu être obtenue, cet ajustement passe obligatoirement par quelques calculs éléments finis préalables [10]. La figure (5) représente le modèle d'élément fini de la plaque rivetée avec la propagation de fissure.

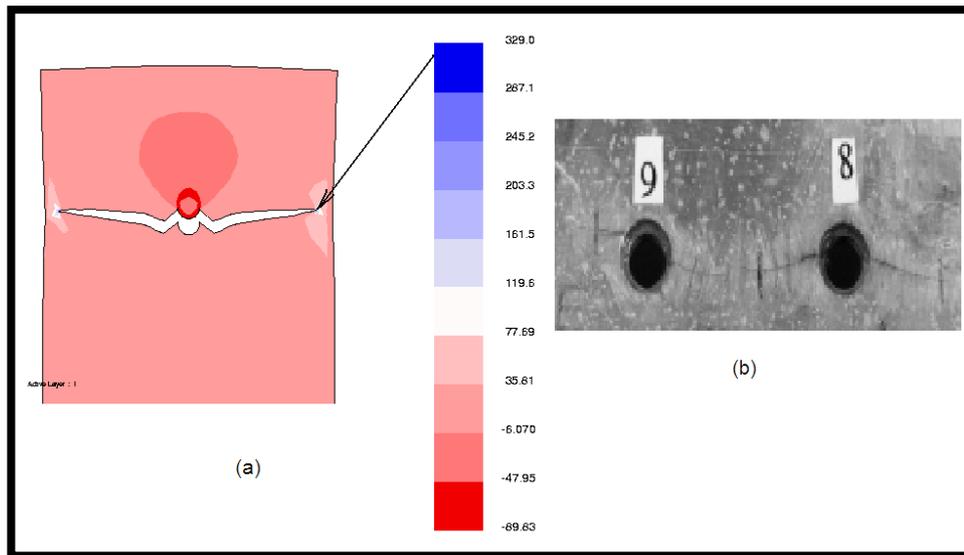


Figure 5 – a) Niveau des contraintes d’une plaque rivetée fissurée
 b) Fissure au niveau des trous de rivets [6].

La figure (6) regroupe la trace du facteur d’intensité de contrainte en fonction de la longueur de fissure, on constate qu’il y a deux stades (1) et (2), ceci à cause du changement de direction pendant la propagation de la fissure.

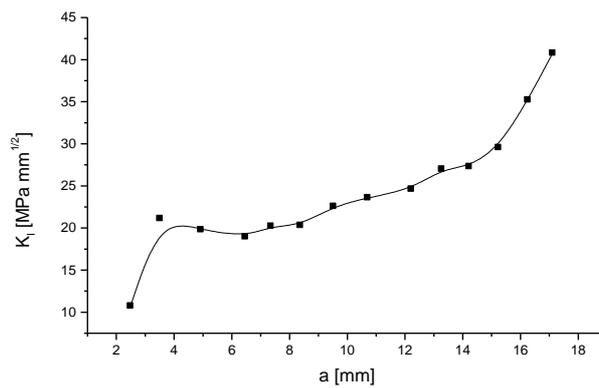


Figure 6 – Variation du facteur d’intensité de contrainte en fonction de la longueur de fissure.

On remarque que notre calcul est comparable que l’équation (2) (équation de Newman) figure (7).

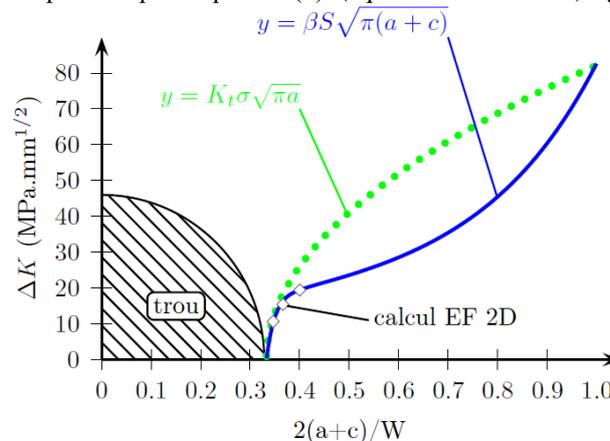


Figure 7 – Tracé du ΔK calculé dans une éprouvette trouée ; comparaison entre le calcul simple avec le facteur de concentration de contrainte (eq. (1)) et l’analyse de Newman (eq. (2)) avec β réajustée pour les dimensions de l’étude [6].

La figure (8) représente le tracé de la propagation des fissures, on constate que la durée de vie de notre structure est de 277002 cycle pour une fissure de longueur $a = 17.11\text{mm}$.

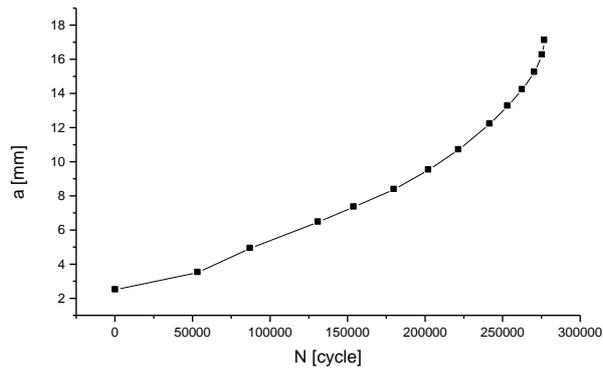


Figure 8 – Évolution de la longueur de fissure en fonction de nombre de cycle.

6. Effet de la géométrie du rivet

Dans cette étude nous avons choisi cinq rivets de diamètre différents, tel que ($d = 3 - 4 - 5 - 6 - 7mm$) pour voir l'effet du diamètre sur le comportement d'une structure rivetée.

La figure (9) représente les niveaux des contraintes normales σ_{yy} .

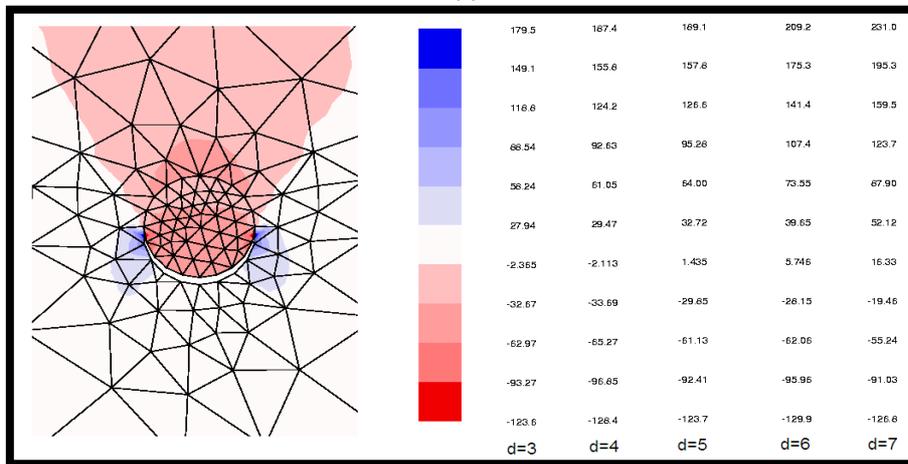


Figure 9 –Niveaux des contraintes normales σ_{yy}

On remarque qu'une diminution du diamètre du rivet entraîne une diminution des contraintes. Donc plus le diamètre du rivet diminue, plus les contraintes sont faibles au niveau de la tôle. Ce comportement peut s'expliquer par le fait que des plaques sont soumises à des déformations plus importantes et par conséquent à des déplacements plus élevés ce qui engendre des contraintes importantes, donc les rivets de grand diamètre sont plus dangereux et risquent d'induire l'amorçage des fissures [11].

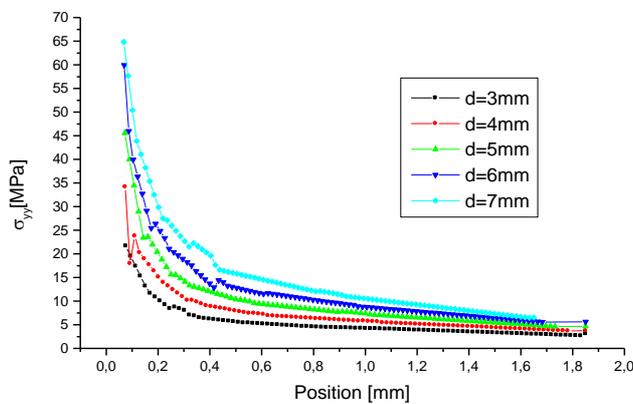


Figure 10– Variation du champ de contraintes sur le ligament de la plaque.

La figure (10) présente la variation des contraintes normales sur le ligament de la plaque.

On remarque que les contraintes sont maximales au voisinage de l'entaille puis diminuent progressivement pour se rapprocher asymptotiquement de la valeur de la contrainte appliquée.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que la réduction de la section due à la présence de l'entaille (grand diamètre du rivet) peut être une zone effective d'amorçage de fissure. Ce danger est dû essentiellement à la concentration de contraintes dans ces zones. Le niveau de concentration de contraintes dépend de la géométrie de l'entaille (diamètre du rivet).

7. Propagation de fissure

Le facteur d'intensité de contraintes caractérise les champs de contraintes et de déplacement en tête de fissure en mécanique linéaire de la rupture. Ce facteur est considéré comme critère de propagation de fissures en chargement monotone ou cyclique [10-11]. Pour comparer le comportement des fissures émanant des entailles circulaire, on présente sur la figure (11) la variation du facteur d'intensité de contraintes en fonction de la longueur de la fissure pour une structure rivetée et en fonction du changement du diamètre du rivet.

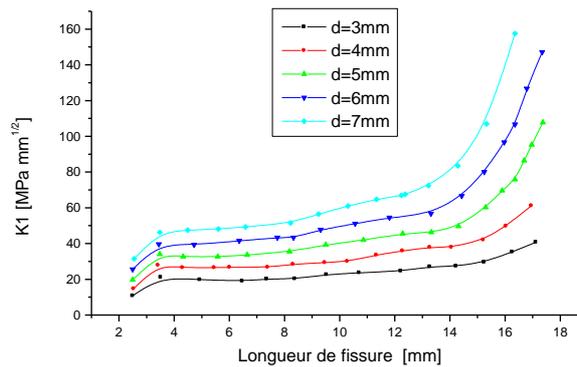


Figure 11– Variation du facteur d'intensité de contraintes en fonction de la longueur de la fissure émanant du fond d'entaille.

On note d'abord que le facteur d'intensité de contraintes augmente avec la longueur de la fissure.

On remarque que le facteur d'intensité de contrainte pour la structure de diamètre d=3mm est faible par rapport au diamètre d=7mm. On constate que les structures de grand diamètre ont des durées de vie moins longues, Figure (13).

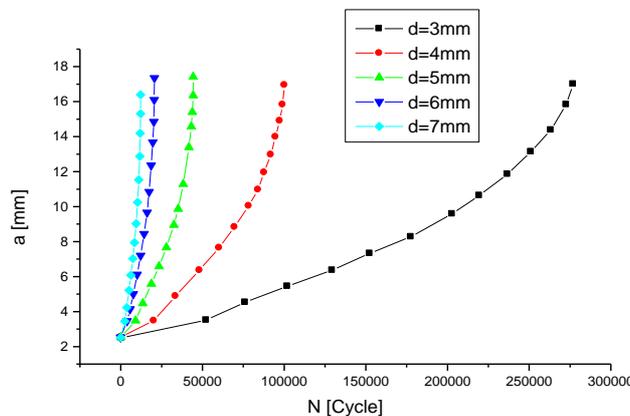


Figure 12– Variation de la longueur de fissure en fonction du nombre de cycle.

8. Effet du module de Young

Dans cette étude nous avons choisi trois matériaux différents de la plaque c'est-à-dire la variation du module de Young de la plaque :

Acier : $E = 210000\text{MPa}$.

Alliage d'Aluminium : $E = 73000\text{MPa}$.

Alliage de Magnésium : $E = 44816\text{MPa}$.

Pour voir l'effet du module de Young sur le comportement en fatigue d'une structure rivetée.

La figure (13) représente la variation de la longueur de fissure en fonction du nombre de cycle pour différents matériaux de la plaque pour un rapport de charge $R = 0$ et une pré-fissure $a = 2\text{mm}$ dans cette étude nous nous intéressons particulièrement au régime de propagation dans lequel la relation de PARIS $da/dN = C\Delta K^m$ est applicable.

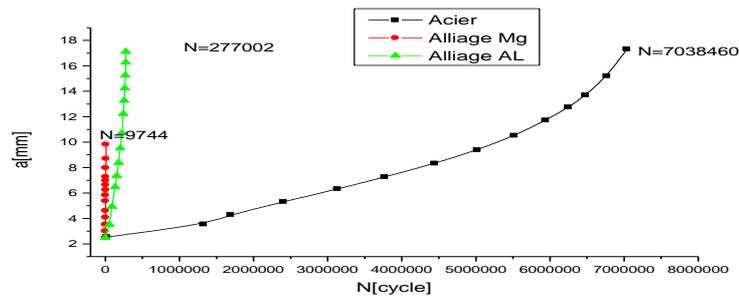


Figure 13 – Variation de la longueur de fissure en fonction du nombre de cycle.

On constate que l'avancée de la fissure se comporte différemment dans les trois matériaux. Elle avance plus lentement dans l'acier que dans l'alliage d'aluminium et l'alliage de magnésium. Certains auteurs ont tenté d'expliquer cette variation par la différence existante dans les caractéristiques mécaniques des matériaux (le module de Young).

9. Conclusion

Cette étude nous a permis d'avoir une vaste idée sur les modes d'assemblage mécanique et précisément sur le rivetage. La simulation d'un modèle riveté est aussi l'une des objets de ce thème. L'étude s'est basée sur l'évolution des contraintes tangentielles pour différentes sollicitations dont le but était la prédiction du cisaillement des assemblages rivetés. Le matériau des plaques et du rivet a été considéré comme homogène, isotrope.

L'objectif principal de ce travail était d'analyser les mécanismes prépondérants pouvant intervenir dans l'endommagement sous sollicitation cyclique de pièces assemblées en alliage d'aluminium 2024T351. La sollicitation mécanique a été séparée en deux grandes contributions :

- le contact entre les pièces qui peut induire un phénomène de fretting. Celui-ci est connu comme capable de générer rapidement de petites fissures susceptibles de mener à une rupture catastrophique ;
- la propagation des fissures dans la structure qui est fortement influencée par les concentrations de contraintes dues à la géométrie des pièces.

Un dimensionnement cherchant à intégrer la notion de tolérance aux dommages doit obligatoirement tenir compte de ces phénomènes, l'identification des conditions d'amorçage et de propagation des fissures par des essais classiques de fatigue uni-axiale n'étant pas représentatifs dans ce cas. Conformément à cette analyse, ces deux points ont été les principaux sujets abordés au cours de ce travail.

L'analyse s'appuie sur une large partie expérimentale, tant au niveau de la caractérisation du fretting que de la propagation des fissures en présence de concentration de contraintes. Enfin, basée sur les phénomènes mis en évidence, une modélisation a été entreprise dans le but de prédire le comportement des fissures courtes.

REFERENCES

- [1]- TAKTAK. R, 2008, Etude de la rupture ductile basée sur un modèle de croissance des cavités, thèse de doctorat de l'université de Lille.
- [2]- WILSUS, J., 1999, Etude expérimentale et numérique de la déchirure ductile basée sur des approches locales en mécanique de la rupture, Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- [3]- Base de données logiciel AFGROW.
- [4]- MALHERBE. B., LANGRAND .B, J-L., CHARLES .J-F. SOBRY, 2000. Improvement of crash models of large aeronautical structures. 22nd ICAS Congress, Harrogate (Angleterre) .
- [5]- LANGRAND .B , 1998, Contribution à la caractérisation numérique et expérimentale d'assemblages structuraux rivetés sous sollicitation dynamique. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes.
- [6]- Newman .J. C., 2000, Jr. Langley Research Center, Hampton, Virginia Advances in Fatigue and Fracture Mechanics Analyses for Metallic Aircraft Structures, NASA/TM- 210084-.
- [7]- Mohamad A, Bernard. L, Moussa .K, Bernard. P, 2007, Caractérisation des assemblages rivetés et visés en fatigue, 8^{ème} Congrès Français de Mécanique Grenoble.
- [8]- Anne-Sophie .B, 2005, Modélisation multi-échelle d'un assemblage riveté aéronautique – vers un modèle de fragilisation structurale-, thèse doctorat de l'université de Valenciennes.
- [9]- Schijve. J, 2001, Fatigue of Structures and Materials, Kluwer Academic Publishers, ISBN 792370147, p 513.
- [10]- HENRY PROUDHON, Identification des mécanismes de fissuration dans un alliage d'aluminium sollicité en fretting et en fatigue, thèse, école doctorale : matériaux de Lyon, 2005
- [11]- Paris .P. C., Erdogan .F, 1963, A critical analysis of crack propagation laws, Trans.ASME, Series D, vol. 85, pp. 528–535.