

## ANALYSE DE LA PROPAGATION DES FISSURES DANS LES TROUS DES PLAQUES

S. CHORFI<sup>1</sup> et B. NECIB<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UMC1/FST/DGM/LGM, Université Mentouri Constantine 1-Algérie, sofna25000@yahoo.fr

<sup>2</sup>UMC1/FST/DGM/LGM, Université Mentouri Constantine 1-Algérie, necibbrahim2004@yahoo.fr

### RÉSUMÉ

La présence des trous dans les plaques de milieu continus a une grande importance dans le domaine des structures de technologies modernes de la construction mécanique, l'aéronautique et le génie civil compte tenu de leur utilisation pour l'assemblage des différentes structures par rivetage, par vis ou par boulons. Cependant, le perçage de ces trous fait apparaître des dommages de nature différente dans ces structures qui nuisent à la durée de vie de ces systèmes mécaniques. Ce phénomène se traduit alors, à l'échelle macroscopique, par la création d'une surface de discontinuité que l'on appelle des fissures qui conduisent à l'affaiblissement de la structure durant leur fonctionnement en raison des concentrations de contrainte. L'objectif de ce travail consiste en une étude des différents modes de fissurations et leur rapport avec les différents angles d'orientation et le point d'amorçage de fissure. par l'utilisation du modèle numérique ANSYS langage paramétrique (APDL), l'angle de direction est évalué en fonction des facteurs d'intensité de contrainte à chaque incrément de propagation .

**Mots Clés:** *Plaque troué, contrainte, modes de fissuration, facteurs d'intensité, longueur de fissure, angle de propagation, efforts extérieurs.*

---

### NOMENCLATURE

#### **Symboles :**

Kt Facteur de concentration de contrainte  
Kc Ténacité  
KI Facteur de concentration de contrainte  
Kt Facteur de concentration de contrainte  
KII Facteur de concentration de contrainte  
a Longueur de la fissure,  
w Largeur de la plaque,  
 $\Delta K_{eq}$  Facteur de concentration équivalent,  
R Rayon du trou de la plaque,  
F Effort de traction  
F<sub>1</sub> Facteur suivant l'expérience [1-2]

#### **Lettres grecques :**

$\sigma_{max}$  Contrainte local  
 $\epsilon_{max}$  Déformation local  
 $\epsilon_N$  Déformation nominal  
 $\sigma_N$  Contrainte nominal

#### **Indices :**

eq équivalent  
max maximal  
N nominal  
I mode 1  
II mode 2  
c critique  
t théorique

## 1. INTRODUCTION

Lors de l'application des charges extérieures sur des plaques trouées, entailles et autres moyens de raccordement un affaiblissement se produit sur ces structures en raison de la présence des contraintes locales ou concentrations de contrainte au niveau de ces trous. Il est donc conseillé d'éviter autant que possible, le perçage, l'usinage qui augmentent la probabilité de la présence des fissures [3-4]. Cependant, lorsque la présence de ces facteurs est inévitable, il est nécessaire de connaître le facteur de concentration de contrainte associé à chaque géométrie afin de dimensionner ces structures, d'éviter leur désastre et d'augmenter leur durée de vie; chose qui a été considérée dans notre problème.

En fait, les plaques trouées ont beaucoup d'applications concrètes surtout en mécanique, en aéronautique, en biomécanique et d'autres structures assemblées, par boulons ou rivés, etc.

Notre travail consiste à analyser la propagation de la fissure au voisinage d'un trou d'une plaque bidimensionnelle sous l'effet des excitations extérieures en traction suivant l'axe (y). Aussi les fissures considérées dans notre cas sont initiées horizontalement soit dans l'axe du trou ou suivant l'angle 45°. Utilisant le maillage décrit ci-dessus et vu la symétrie de la plaque, seulement le quart de la plaque est considéré. Les facteurs de concentration de contraintes suivants plusieurs directions pour les différents modes et pour les différents angles d'orientation de fissures sont déterminés utilisant le modèle théorique et le modèle par éléments finis et les résultats sont comparés à des résultats expérimentaux donnés par [5].

## 2. MODELE MATHEMATIQUE

Dans notre cas une plaque bidimensionnelle isotrope percée d'un trou circulaire et elliptique ont été considérées séparément afin de déterminer les contraintes et les déformations autour des trous.

Les contraintes et les déformations locales peuvent être obtenues à partir du facteur de concentration de contraintes  $K_t$  [6] donné par :

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_N} = \frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_N} \quad (1)$$

Où  $\sigma_{\max}$  et  $\varepsilon_{\max}$  sont respectivement les contraintes et les déformations maximales locales ; tandis que  $\sigma_N$  et  $\varepsilon_N$  sont les contraintes et les déformations nominales.

D'autre part, Griffith a développé que la présence de ces défauts dans un matériau pouvait amplifier la contrainte locale. Cette dernière peut atteindre une valeur égale à la résistance en traction sans que la contrainte extérieure appliquée soit élevée. Ce principe peut aussi s'appliquer à toutes les discontinuités géométriques présentes dans un matériau comme une fissure interne ou externe [7]. En général il existe trois types de modes de fissuration et qui sont schématisés comme suit:

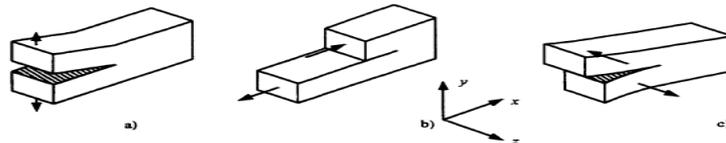


Figure 1: Trois modes de sollicitation d'une fissure. a) mode I, b) Mode II, c) Mode III [8].

L'approche basée sur la mécanique linéaire de la rupture est à trois variables : la contrainte appliquée, la ténacité  $K_c$  qui remplace la limite d'élasticité et une variable additionnelle qui est la taille du défaut. Il y a cependant deux approches alternatives de la mécanique de la rupture : l'une utilise le concept d'intensité des contraintes

critique (ténacité du matériau) et l'autre un critère d'énergie. Ces deux approches sont équivalents dans certaines conditions [8].

Les facteurs d'intensité de contrainte pour l'échantillon ou spécimen CTS de Richard [9] ont obtenu des solutions de  $K_I$  et  $K_{II}$  pour une fissure centrale, plane et normale aux faces latérales. Les facteurs d'intensité de contrainte pour des angles différents chargement et l'orientation de fissuration initiale sont données par les expressions suivantes [10] :

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \frac{\cos \alpha}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)} \sqrt{\frac{0,26 + 2,65\left(\frac{a}{W-a}\right)}{1 + 0,55\left(\frac{a}{W-a}\right) + 0,08\left(\frac{a}{W-a}\right)^2}} \quad (2)$$

$$K_{II} = \sigma \sqrt{\pi a} \frac{\sin \alpha}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)} \sqrt{\frac{-0,23 + 1,40\left(\frac{a}{W-a}\right)}{1 - 0,67\left(\frac{a}{W-a}\right) + 2,08\left(\frac{a}{W-a}\right)^2}} \quad (3)$$

L'intensité du facteur de contrainte  $K$  est calculé par éléments finis ; tandis que l'intensité du facteur de contrainte équivalente  $\Delta K_{eq}$  est la combinaison de facteur d'intensité de contrainte  $K_I$  et  $K_{II}$ , et qui est donné par [5]:

$$\Delta K_{eq} = \left[ \Delta K_I^4 + 8 \Delta K_{II}^4 \right]^{0,25} \quad (4)$$

En conséquence et pour la fissure émanant d'un trou elliptique comme représenté sur la Figure 4, le facteurs d'intensité de contrainte  $K_I$  est donné par la formule suivante [1-2] :

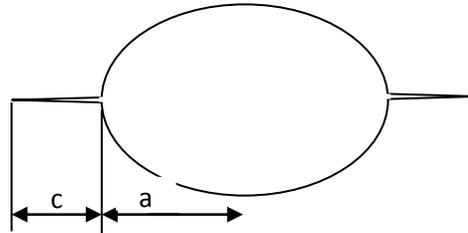


Figure 2 : Trou elliptique et la longueur de la fissure c

$$K_I = F_1 \sigma_\infty \sqrt{\pi(a+c)} \quad (5)$$

### 3. EFFET DE LA POSITION DE L'AMORÇAGE DE FISSURE DU TROU

#### 3.1. Géométrie de la plaque :

On considère une plaque trouée en aluminium, dont l'épaisseur, largeur et longueur sont de 3mm, 350\*1000 mm<sup>2</sup>, respectivement. et d'un trou de diamètre de 100 m. on utilise seulement un quart de la plaque pour économiser des efforts de modélisation et de solution du travail. Pour commencer, nous allons résoudre un problème avec une solution connue pour que nous puissions vérifier nos résultats calculés et la compréhension du processus FEM [11].

Placer l'origine de coordonnées global XY dans le centre du trou. Si on tire sur les deux extrémités de la plaque, des points situés sur les lignes médianes se déplacent le long des axes perpendiculaires, mais pas à eux. Cela indique que les conditions de déplacement appropriés à utiliser comme indiqué ci-dessous. Nous allons utiliser des méthodes numériques pour déterminer la contrainte dans le patch horizontale maximale de la plaque et de

comparer les résultats calculés avec la valeur maximale qui peut être calculé en utilisant les valeurs tabulées [1-2] pour les facteurs de concentration des contraintes. Les commandes interactives seront utilisées de formuler et de résoudre le problème.

**3.2. Fissure initiée à zéro degré :**

On applique la même charge de traction suivant l'axe y et on prend un trou de cercle a/b=1, on suppose que la fissure a initié dans le point A du bord du trou a un angle de 0° par rapport a l'origine global XY voir (Figure.3) , et en analyse la variation de contrainte et de K (facteur de concentration de contrainte ) suivant la longueur de fissure et les différents angles d'orientations voir (Figure.4 et 5) .

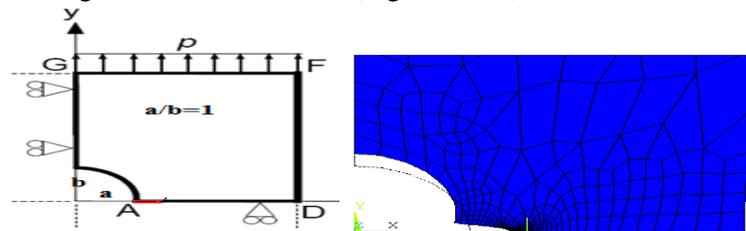


Figure 3: Un quart de plaque chargé et une fissure dans le point A de 0°

**a) Variation de la longueur de fissure**

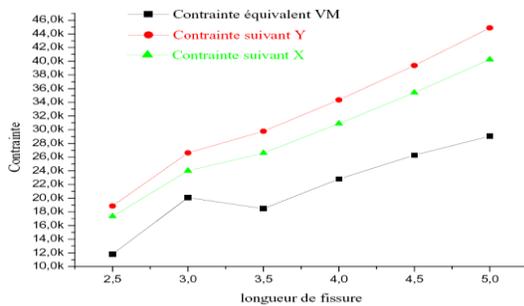


Figure 4 : Variation des contraintes en fonction de la longueur de la fissure

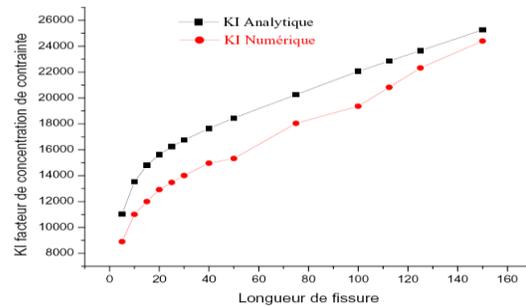


Figure 5 : Variation du facteur d'intensité de contrainte en fonction de la variation d'angle de propagation

**b) Variation l'angle de propagation de fissure**

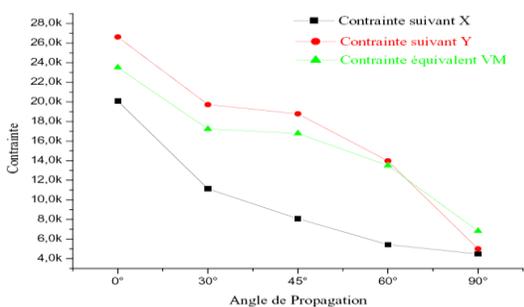


Figure 6 : Variation des contraintes en fonction de l'angle de propagation.

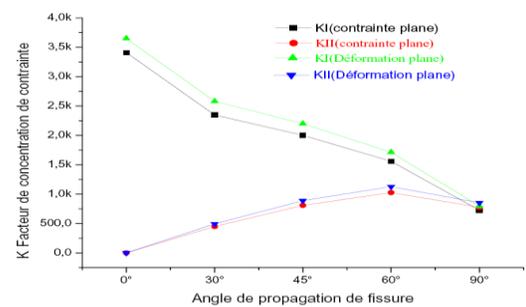


Figure 7 : Variation du facteur d'intensité de contrainte en fonction de la variation d'angle de propagation

### 3.3. Fissure initiée à 45° :

On applique la même charge de traction suivant l'axe y et on prend un trou de cercle a/b=1, on suppose que la fissure a initié dans le point B du bord du trou a un angle de 45° par rapport a l'origine global XY voir (Figure.8), et en analyse la variation de K (facteur de concentration de contrainte ) suivant la longueur de la fissure et les différents angles d'orientations voir (Figure.9 et 10) .

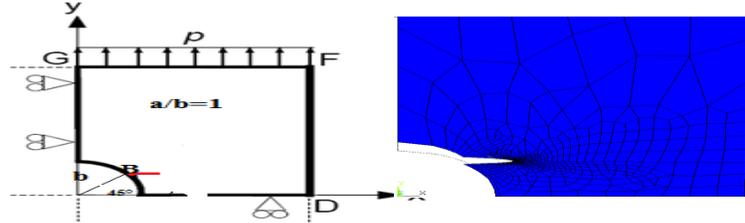


Figure 8: Un quart de plaque chargé et une fissure dans le point B de 45°

#### Variation d'angle de propagation

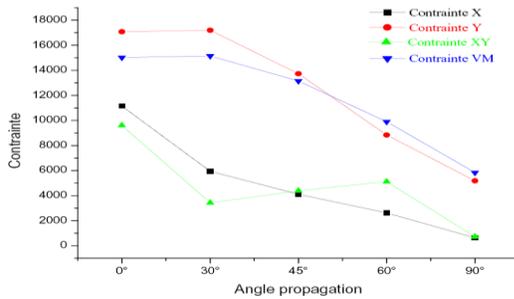


Figure 9: Variation des contraintes en fonction d'angle

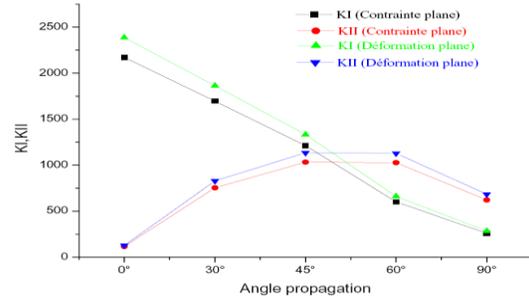


Figure 10: Variation de facteur de concentration de contraintes en fonction d'angle

## 4. DISCUSSION DES RESULTATS

En transformant les coordonnées globales cartésiennes (OXY) en coordonnées local tout en suivant le point de fissure et la direction de la propagation de cette fissure pour trouver les contraintes et le facteur de concentration de contrainte dans chaque pas de propagation.

Ce qui concerne l'effet de l'amorçage de fissure, il y a un seul mode, c'est le mode I(mode pure); à l'angle 0°, puis il ya une croissance de contrainte suite à l'évolution de la longueur de la fissure (Figure.4), (Figure.5) : IDEM.

Lorsque il y a un changement d'angle de propagation de la fissure on remarque l'existence d'un mode mixte (mode I+mode II), ou la variation des contrainte est inversement proportionnelle à l'augmentation de l'angle de la propagation de 0° jusqu'à 90° (Figure 6).

L'évolution de facteur d'intensité de contrainte pour le mode I à 0°  $K_I$  est maximale puis elle diminue progressivement pour atteindre sa valeur minimale à l'angle 90°, alors que pour le mode II à 0° le facteur d'intensité de contrainte est nul puis il augmente jusqu'à il atteint sa valeur maximale à 90° ou elle coïncide avec la valeur minimale du mode I (Figure 7).

Pour une fissure initié à l'angle de 45° engendre deux modes (mode I et mode II) ou en l'appel le mode mixte, et en faisant varier l'angle de propagation on observe que le mode I à l'angle 0°  $K_I$  est de valeur maximale, puis elle diminue progressivement jusqu'à l'angle 90°, et le mode II à 0° le facteur  $K_{II}$  est de valeur minimale puis elle augmente, et elle coïncide avec le mode I à l'angle 45° puis elle continue son augmentation jusqu'à l'angle 90° ou  $K_{II}$  devient supérieur à  $K_I$  (Figure 10).

## 5. CONCLUSIONS

La modélisation de l'initiation d'une fissure est presque impossible (80-99%), mais la propagation est faisable, pour cela en fait la création de l'initiation de la fissure. D'après l'étude numérique sur la croissance des fissures par fatigue et les comportements de la fissure dans une plaque trouée sous l'effet d'une charge de traction simple ou inclinée, les conclusions suivantes peuvent être obtenir :

- L'intérêt du choix de l'élément et la zone sélectionnée (zone de propagation de fissure).
- L'intérêt de la connaissance du point de départ de la fissure et leur angle de propagation qui nous fait changer le mode existant si il est pur ou mixte avec le même chargement de traction.
- La proportionnalité entre la propagation de la fissure et le facteur d'intensité de contrainte.

## REFERENCES

- [1] H. Nisitani and M. Isida: Simple Procedure for Calculating KI of Notch with a Crack of Arbitrary Size and Its Application to Non-propagating Fatigue Crack, Proc. Joint JSME-SESA Conf. Experimental Mechanics, 1982, Part I, pp. 150-155.
- [2] Yukitaka Murakami, Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions, Elsevier Science Internet Homepage - <http://www.elsevier.com>.
- [3] B. Journet, F. Congourdeau, Prévission de la fissuration par fatigue des alésages de jonctions rivetés, In : Colloque National MECAMAT, Aussois, 2003.
- [4] N. E. Frost, C. E. Phillips, Studies in the formation and propagation of cracks in fatigue specimens, In : International Conference on Fatigue of Metals, London, 1956, pp. 520-526.
- [5] Tanaka K., Fatigue crack propagation from a crack inclined to the cyclic tensile axis. Engeng. Fracture Mech 6: 493-507, 1974 Chichester, West Sussex PO19 8Q, England.
- [6] A. BAUS, H.P. LIEURADE, G. SANG et M. TRUCHON, Etude de l'amorçage des fissures de fatigue sur des éprouvettes en acier a très haute résistance possédant des défauts de formes, et de dimensions différentes, revue de métallurgie; 565-584, octobre 1977.
- [7] DORLOT, J.-M., BAILON, J.-P. et MASOUNAVE, J. (1986). Des matériaux. Editions de l'école Polytechnique de Montréal, 467 p.
- [8] ANDERSON, T.L. (1991) Fracture mechanics : fundamentals and applications, CRC press, Boca Raton, 793 p.
- [9] Richard HA. Bruchvorhersagen bei u"berlagerter normal- und schubbeanspruchung von risen VDI Forschungsheft 631. Du"sseldorf: VDI-Verlag; 1985. p. 1-60.
- [10] L.P. Borrego, F.V. Antunes. "Mixed-mode fatigue crack growth behavior in aluminum alloy", International Journal of Fatigue 28(2006) 618-626.
- [11] Lawrence, K.L. (2002), Ansys Tutorial, Release 7.0. Schroff Development Corporation (SDC) Publications.