

## EFFET D'ENTAILLE DANS LES PLAQUES EN TRACTION

Zohra LABED<sup>1</sup>, Chaabane ROUBA<sup>2</sup>, Rabie CHETTAH<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Laboratoire de Mécanique, Département Génie Mécanique, Faculté Des Sciences De La Technologie,  
Université Des Frères Mentouri, Constantine, Campus Chaab Erssas, 25000 Constantine, Algérie,  
<sup>1</sup>zohra\_labed@yahoo.fr, <sup>2</sup>fatehagg@gmail.com, <sup>3</sup>chettah.rabie@yahoo.fr

### RÉSUMÉ

Chaque modification de discontinuité entraîne un nouveau type de distribution de contraintes. On peut donc modifier, en général la concentration de contraintes. L'effet d'une entaille sur une pièce est la création de concentration de contraintes locales. Il faut toutefois être conscient que ce phénomène existe, non seulement dans des pièces ou composants mécaniques, mais également dans une structure et peut provoquer son endommagement. Pour bien montrer que l'origine de la concentration de contraintes est une perturbation de forme d'une pièce mécanique, nous avons considéré une plaque trouée soumise à un effort de traction simple. Nous avons varié la géométrie de la plaque, et les conditions aux limites d'une part et d'autre part nous avons simulé une fissure au voisinage de l'entaille utilisant le code de calcul ANSYS. La contrainte maximale a été déterminée, formulant plusieurs cas géométriques.

**Mots Clés:** Plaque trouée, Acier, Concentration de Contraintes, Traction, Eléments Finis, Simulation Numérique.

---

### NOMENCLATURE

#### Symboles :

F	force de traction , N	$\sigma_e$	contrainte équivalente Von Mises
b	largeur de la plaque, mm	$\sigma_{\theta\theta}$	contrainte circonférentielle, MPa
S	section de la plaque, mm <sup>2</sup>	$\sigma_{rr}$	contrainte radiale, MPa
$\nu$	coefficient de poisson	L	longueur de défaut
E	module d'élasticité, mm	e	épaisseur de la plaque , mm
Re	limite d'élasticité, MPa	R <sub>m</sub>	résistance à la traction, MPa
W	longueur de la plaque, mm	d	diamètre du trou, mm
$\sigma_{max}$	contrainte maximale, MPa	a	rayon du trou, mm
		$\sigma_{nom}$	contrainte nominale, MPa

---

### 1. INTRODUCTION

Les épaulements, les trous et, en règle générale, toutes les discontinuités de forme sont susceptibles de créer une concentration de contraintes. Pour bien illustrer ce problème, nous commençons par une plaque en présence d'un trou sous traction simple. Nous avons calculé la contrainte maximale qui représente la contrainte tangentielle au voisinage de l'entaille. Nous avons varié la géométrie de la plaque, ainsi que la valeur de la charge appliquée. Le premier volet comprend la partie analytique et le second la partie simulation utilisant le code éléments finis ANSYS. Le matériau utilisé est l'acier avec les propriétés mécaniques suivantes : E = 210 GPa,  $\nu = 0.28$ , Re = 620 MPa, R<sub>m</sub> = 723MPa. Pour connaître la contrainte maximale on a pris la valeur du coefficient de contraintes  $k_t = 2.7$  (valeur choisit en fonction du rapport b/d).

## 2. SOLUTION ANALYTIQUE

Une plaque de largeur  $b$ , de longueur  $w$ , ayant une épaisseur  $e$ , percée d'un trou circulaire de rayon  $a$  figure 1, est soumise à un état de traction simple. On considère un matériau isotrope, homogène et linéaire.

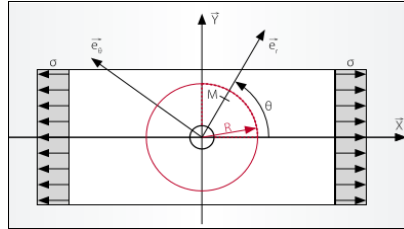


Figure 1. Plaque trouée sollicitée en traction

La plaque est en état de contraintes planes, le tenseur de contraintes est donné par :

$$\bar{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{rr} & \sigma_{r\theta} & 0 \\ \sigma_{r\theta} & \sigma_{\theta\theta} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{z})$$

On définit le coefficient de concentration de contrainte par  $K_t = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{nom}}$ , où  $\sigma_{\max}$  est la plus grande valeur de  $\sigma_{\theta\theta}$  sur le bord du trou. La contrainte nominale est égale à  $\sigma = F/S$

Les contraintes radiales et tangentielles sont données par les équations suivantes:

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 - \frac{4}{\rho^2} + \frac{3}{\rho^4} \right) \cos 2\theta + 1 - \frac{1}{\rho^2} \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{2} \left[ - \left( 1 + \frac{3}{\rho^4} \right) \cos 2\theta + 1 + \frac{1}{\rho^2} \right] \quad \text{Avec : } \rho = \frac{r}{a}$$

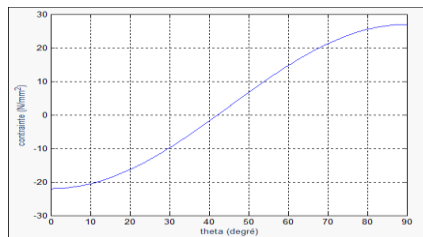
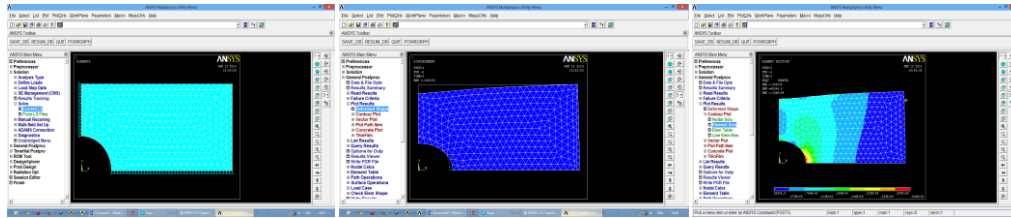


Figure 2. Contraintes tangentielle

On peut dire que la contrainte tangentielle est importante au bord du trou et qu'elle varie d'une valeur négative égale à  $-\sigma$  jusqu'à une valeur positive de  $+3\sigma$  figure 2. Puisque les contraintes  $\sigma_{rr}$  et  $\sigma_{r\theta}$  sont nulles sur le bord du trou, alors on ne considère que la contrainte tangentielle. Nous allons utiliser le code de calcul ANSYS pour l'étude numérique de la plaque en faisant varier certains paramètres à effets directs.

### 3. SIMULATION NUMERIQUE

La géométrie de la plaque, les propriétés mécaniques et les conditions aux limites ainsi que l'effet du maillage au voisinage de l'entaille. Etant donné que la plaque est symétrique par rapport aux axes x et y (l'origine au centre du trou) figure1, ainsi que la symétrie du chargement, alors on ne considère que le quart de la plaque.

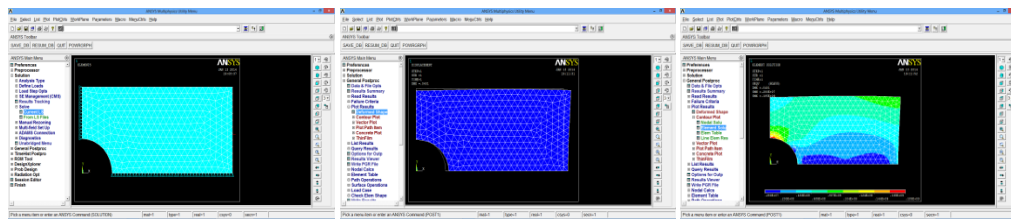


(a)

(b)

(c)

Figure 3. Fixation et chargement (a), Déformée (b), contrainte de Von Mises



(a)

(b)

(c)

Figure 4. Fixation et chargement (a), Déformée (b), contrainte de Von Mises

La figure 3c représente la contrainte de Von mises suivant l'axe X et la figure 4c suivant l'axe Y. On constate que la contrainte au voisinage du trou est maximale. La contrainte théorique est de  $3\sigma$ , si on applique une contrainte de 100Mpa. On constate que le sens d'application de la charge a un effet sur la contrainte équivalente. Dans ce cas, en variant les conditions aux limites, on constate que la déformée au voisinage du trou est de 0.07 suivant l'axe y et que la valeur de contrainte de Von Mises est de 320MPa. En comparant ces deux simulations, on peut déduire que la contrainte tangentielle est importante au niveau de l'entaille.

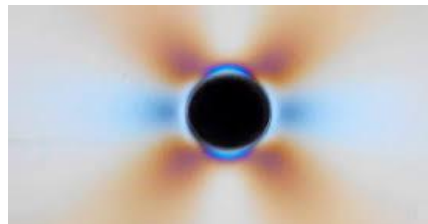


Figure 5. Concentration de contraintes au voisinage du trou

Si on augmente la valeur de la charge et quelque soit le sens de son application, on obtient alors, une concentration de contraintes avec une forme elliptique du trou figure 5.

#### 4. RESULTATS

Nous avons repris le même raisonnement que précédemment mais avec une plaque carrée. Nous comparons ensuite les résultats numériques basés sur le logiciel ANSYS et les résultats analytiques pour la contrainte maximale.

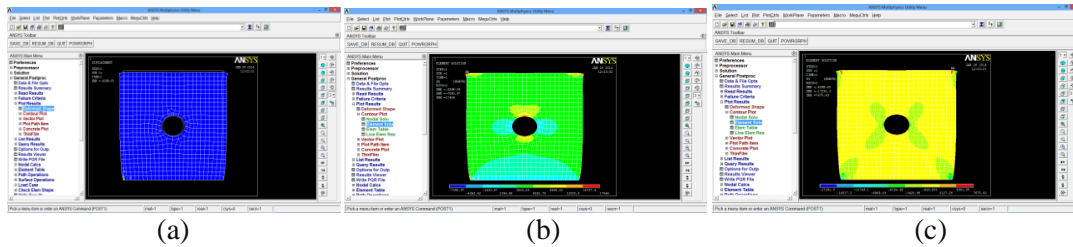


Figure 6. Déformée (a)Variation des contraintes suivant x (b) et y de la plaque carrée (c)

Les zones critiques sont sur l'axe X ou sur l'axe y du trou soit les zones rouges de la figure. Les zones critiques d'après nos calculs théoriques sont sur notre axe Y soit un angle de 90°. Les résultats concordes parfaitement au niveau norme et emplacement.

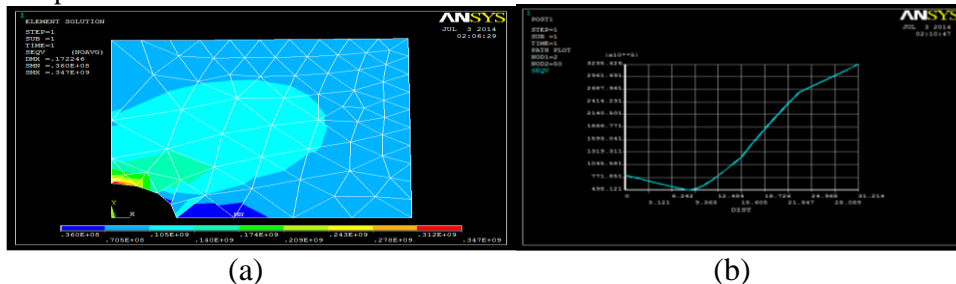


Figure 6. Contrainte de Von Mises (a), distribution des contraintes suivant y (b)

#### 4. CONCLUSIONS

Pour différentes raisons pratiques, la présence d'un trou conduit à un affaiblissement de la structure en raison de sur contrainte. On s'est focalisé sur le cas de la plaque trouée sollicitée en traction, qui présente le double avantage de faire apparaître des contraintes et des déformations non homogènes et d'avoir une solution analytique dans le cas où le trou est petit devant la largeur de la plaque. Nous sommes donc sur une problématique 2D car nous avons une contrainte plane. Nous avons l'analyse de la solution analytique d'un côté et de l'autre la simulation numérique. Les résultats obtenus par simulations présentent une bonne concordance avec ceux obtenus analytiquement. En plus avec l'étude complète de plusieurs paramètres tels que la géométrie, la charge, le maillage et les conditions aux limites nous ont permis de voir l'importance de la contrainte au voisinage du trou. Ce résultat nous permettra de bien dimensionner les composants présentant une entaille afin d'éviter l'endommagement ou la rupture par fissuration.

#### REFERENCES

[1] H.P. Lieurade, J. Lu, Technique de l'Ingénieur, traité génie mécanique BM 5040, 1998.  
 [2] O.C Zienckiewicz, R.T Taylor, The Finite Element Method, Volume 1, the basics, 5th édition, 2000.  
 [3] Trompette Ph., Mécanique des structures par la méthode des éléments finis, Masson,