

# Caractérisation de l'endommagement des tubes vierges et entaillés en matériau PPR soumis à un essai de pression d'éclatement

A. OUARDI<sup>1</sup>, A. HACHIM<sup>2</sup>, F. MAJID<sup>1</sup>, M. ELGHORBA<sup>1</sup>,

1. Laboratoire De Contrôle Et Caractérisation Mécanique Des Matériaux Et Des Structures (LCCMMS) – ENSEM, Université Hassan 2 de Casablanca, Casablanca, Maroc.

2. Institut supérieur d'études maritimes, Km 7 Route d'El Jadida, Casablanca, Maroc.

## Résumé

Le but de ce travail consiste à caractériser l'endommagement des tubes vierges et entaillés en PPR soumis à un essai de pression d'éclatement. Pour cela, on propose une approche pour modéliser l'endommagement en se basant sur la théorie unifiée du dommage. Une étude du dommage expérimental et théorique via le modèle de la théorie unifiée est présentée dans cet article. La confrontation des résultats théoriques et expérimentaux a montré un bon accord concernant l'accélération du processus de dommage au fur et à mesure que la profondeur de l'entaille augmente. La différence entre les valeurs théorique et expérimentales est attribuée aux incertitudes liées aux conditions d'essais et l'adaptation du modèle de dommage, dans le cas d'un chargement statique.

**Mots clefs :** *Caractérisation de l'endommagement; tubes en PPR; dommage statique; dommage unifié; essai d'éclatement.*

## 1. Introduction

L'endommagement est un phénomène de modification des caractéristiques mécaniques et géométriques d'une structure causé par l'usure ou une attaque physique ou chimique, tendant à diminuer sa capacité à résister aux efforts pouvant conduire à sa rupture.

Des modèles théoriques d'endommagement en fonction uniquement des conditions de chargements, du mode de sollicitation et des caractéristiques mécaniques du matériau vierge sont présents dans la littérature [1].

Ce travail présente une évaluation de l'évolution de l'endommagement par le biais des deux expressions de dommage découlant de la théorie unifiée, à savoir le dommage expérimental et celui théorique. Comparaison et discussion des résultats théoriques et expérimentaux sont aussi abordées.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Géométrie et préparation des tubes:

Des tubes en matériau PPR de diamètre extérieur de 90 mm et d'épaisseur de 15 mm ont été préparés suivant la

norme ASTM D1599 [2]. Les dimensions de ces tubes sont présentées dans la figure 1:

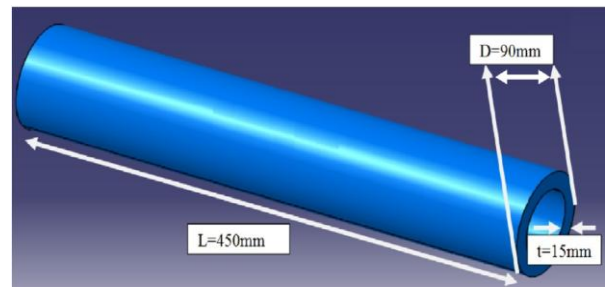


Figure 1 : Dimensions des tubes.

Huit tubes ont été entaillés à l'aide d'une fraiseuse universelle avec des rainures de largeur de  $d=6$  mm, longueur  $l=100$  mm et profondeurs ' $a$ ' allant de 2,42 à 14,5 mm. La fraction de vie  $\beta$  est définie comme étant le rapport de la profondeur de l'entaille ' $a$ ' à la profondeur totale du tube ( $t$ ). Le but est d'étudier l'effet de l'entaille sur la résistance des tubes en PPR sous pression. La figure 2 présente les dimensions des entailles effectuées.

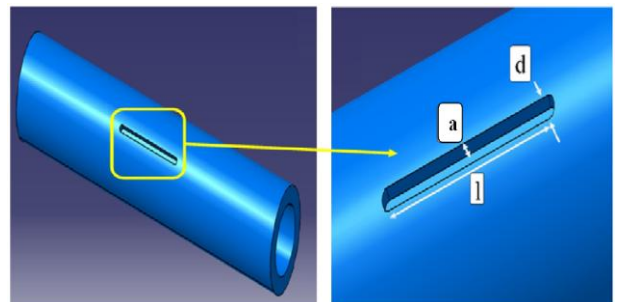


Figure 2 : Dimensions de l'entaille.

## 2.2 Dispositif et méthode expérimentale

### 2.2.1 Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental (figure 3) est constitué d'un bac rempli de l'eau, pour amortir les dégâts de l'éclatement, et une pompe hydraulique pour la mise en pression et l'affichage de la pression instantanée à l'intérieur du tube.



Figure 3: Dispositif expérimental.

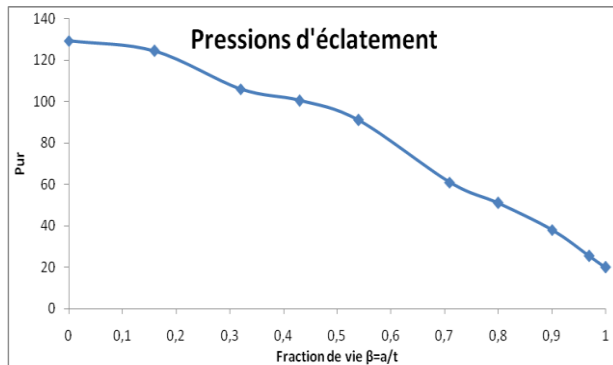
### 2.2.2 Méthode expérimentale :

Afin d'assurer une pression à l'intérieur des tubes, des embouts sont fixés aux extrémités des tubes et fortement serrés moyennant des boulons, ces embouts sont reliés avec la pompe hydraulique grâce à des tuyaux de mise en pression. A la température ambiante, les tubes ont été plongés dans le bac rempli de l'eau. Ensuite, un gradient de pression est appliquée par la pompe hydraulique jusqu'à l'éclatement des tubes. Le but de cet essai est la détermination de l'évolution de la pression ultime résiduelle à la rupture en fonction de la fraction de vie  $\beta$ .

## 3. Résultats et discussion

### 3.1 Variation de la pression ultime résiduelle

La variation de la pression ultime à l'intérieur des tubes en fonction de la fraction de vie  $\beta$  est décrite à la figure 4.

Figure 4: La variation de la pression d'éclatement en fonction de la durée de vie  $\beta$ .

A l'état sain, le tube supporte une pression ultime  $P_u=129,3$  bars, au fur et à mesure que la profondeur de l'entaille augmente, les pressions ultimes résiduelles diminuent d'une manière progressive, ceci est expliqué par une perte de la résistance à la pression des tubes en PPR à cause de l'entaille.

### 3.2 Dommages statique

Le dommages statique  $D_s$  permet d'exprimer l'endommagement en fonction de la contrainte ultime à l'état vierge, la contrainte d'endurance et les contraintes résiduelles lors d'un essai statique des éprouvettes subies

un endommagement [3]. Par analogie, une formulation mathématique de  $D_s$  en fonction des pressions est donnée par l'équation (1) :

$$D_s = \frac{1 - \frac{P_{ur}}{P_u}}{1 - \frac{P_a}{P_u}} \quad (1)$$

Avec :

$P_u$ : La pression ultime d'éclatement d'un tube vierge.

$P_{ur}$ : Les pressions ultimes résiduelles d'éclatement des tubes entaillés.

$P_a$ : La pression ultime critique.

La figure 5 illustre la courbe de la variation du dommages statique et le dommages proposé par Miner en fonction de la fraction de vie  $\beta$ .

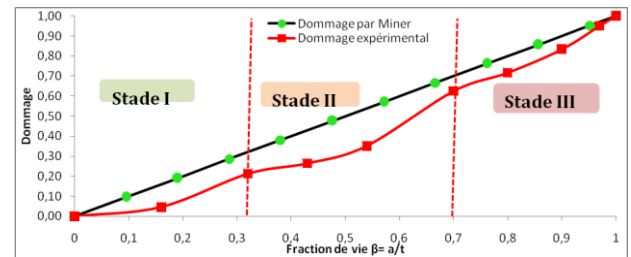


Figure 5: Evolution du dommages expérimental.

On remarque que le dommages  $D_s$  et la fraction de vie  $\beta$  ont la même tendance en variation, ceci est expliqué par une perte de la résistance du matériau. En effet, l'évolution du dommages est divisée en trois stades. Dans le premier stade [0%,32%], le dommages commence par une valeur nulle et croît lentement. Le deuxième stade [32%,70%] est caractérisé par une augmentation progressive de l'endommagement avec une vitesse relativement supérieur en comparaison avec le stade précédent, à partir de  $\beta=70\%$  le troisième stade commence, dont l'endommagement s'accélère jusqu'à atteindre une valeur de 1 pour un tube totalement endommagé. La courbe du dommages statique reste en dessous du dommages donné par Miner

### 3.3 Dommages théorique

Par corrélation à l'expression du dommages théorique proposé par la théorie unifiée [3], une relation décrivant l'évolution du dommages en fonction de la fraction de vie et des pressions est donnée par l'équation (2):

$$D_{unifié} = \frac{\beta}{\beta + (1-\beta) \left[ \frac{\gamma - (\frac{\gamma}{\gamma_u})^m}{\gamma - 1} \right]} \quad (2)$$

Avec :

$\beta$ : Fraction de vie.

$m$ : Constante empirique dépendant du matériau ( $m=1$  dans le présent travail).

$\gamma_u = P_u/P_a$ : Paramètre adimensionnelle reflétant la résistance du matériau à l'état vierge.

$\gamma = P_{ur}/P_a$ : Paramètre caractérisant l'effet de l'endommagement sur la pression ultime résiduelle.

La variation du dommage calculé par la théorie unifiée en fonction de la fraction de vie  $\beta$  est illustrée dans la figure 6.

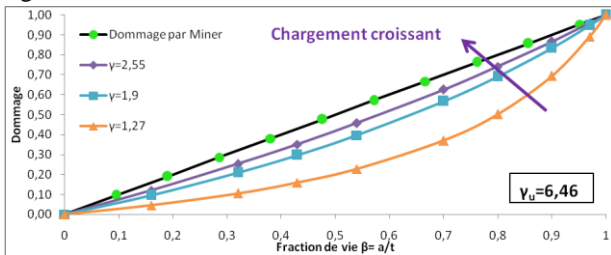


Figure 6: Evolution du dommage théorique

Le dommage théorique est indiqué par une série des courbes associées à un rapport constant de pression  $\gamma_u = P_u/P_a$  et un paramètre  $\gamma = P_{ur}/P_a$  variable. Par conséquent, chaque courbe est associée à un niveau de pression appliquée distinct. Suivant le sens de  $\gamma$  croissant, l'allure des courbes du dommage unifié en fonction de  $\beta$  croît jusqu'à avoir une tendance linéaire pour des niveaux de chargement élevé.

### 3.4 Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux

Afin de confronter le modèle du dommage théorique par la théorie unifiée, il est commode de le comparer avec le dommage expérimental présenté dans la section précédente, la figure 7 présente la variation des dommages statique, le dommage théorique issu de la théorie unifiée ( $\gamma_u=6,46$ ) et celui proposé par Miner en fonction de la fraction de vie  $\beta$ .

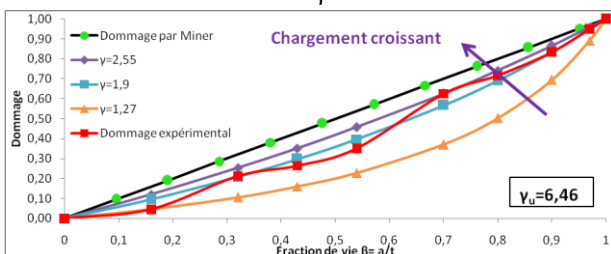


Figure 7: Comparaison des dommages expérimental, théorique et par Miner.

Pour des fractions de vie faibles ( $0\% < \beta < 16\%$ ) l'évolution des dommages statique et théorique pour un niveau de chargement  $\gamma=1,27$  est similaire. Avec l'augmentation de la fraction de vie  $\beta$ , la courbe du

dommage statique approche de celle du dommage unifié correspond au niveau de chargement  $\gamma=1,9$  jusqu'à ils se coïncident à la fin du stade I. Ensuite, du début du stade II et jusqu'à une fraction de vie  $\beta$  égale à 60%, le dommage statique se situe au dessous du dommage théorique correspond à  $\gamma=1,9$ . Puis, il le dépasse et devient se coïncide avec la courbe du dommage unifié pour un niveau de chargement  $\gamma=2,55$  à la fin du stade II. Dans le stade III les courbes des dommages statique et théorique ( $\gamma=1,9$ ) se ressemblent à nouveau. Il reste à noter que les graphes des deux types de dommage restent en dessous du dommage donné par Miner.

## 4. Conclusions

Dans cet article, une investigation sur l'évolution de l'endommagement a été menée en se basant sur des essais d'éclatement. Cette étude a permis à la fois une caractérisation mécanique d'un tube vierge en matériau PPR, et un contrôle du dommage des tubes du même matériau mais avec des entailles de type rainures longitudinales externes.

Les résultats montrent que l'entaille a provoqué une baisse de la pression ultime à l'éclatement des tubes entaillés en comparaison avec celles vierges. En outre, l'augmentation de la profondeur de l'entaille mène à une chute des pressions ultimes résiduelles des tubes entaillés.

La comparaison du dommage théorique calculé pour différents niveaux de chargement a révélé que le niveau de chargement  $\gamma=1,9$  donne les meilleurs résultats vis à vis le dommage statique, il semble être le plus réaliste pour bien décrire la progression du dommage des tubes en PPR présentant des défauts sous forme de rainures longitudinales externes.

Pour une maintenance préventive, la quantification de l'endommagement par le dommage statique et unifié aide le service de maintenance à mettre en place une stratégie judicieuse pour intervenir au bon moment afin de minimiser le coût d'interventions et maximiser la fiabilité de l'installation.

## Références

- [1] K. Ngarguededjim, *Contribution à l'étude des lois d'endommagement en fatigue*, Thèse, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [2] STM International D1599, 2009, *Standard Test Method for Resistance to Short-Time Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing, and Fittings*, Annual Book of Standards, Vol. 8.04, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- [3] M. EL Ghorba, *Evolution du dommage et propagation de la fissure sous chargement cyclique de l'acier A36 et l'aluminium 6351-T6*, Mémoire de master, Université de Montréal, 1985.