

Etude de l'évolution d'endommagement des tubes en Polypropylène par le dommage expérimental

A. OUARDI¹, A. HACHIM², F. MAJID¹, M. ELGHORBA¹

¹ Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures (LCCMMS), Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), Université Hassan 2 de Casablanca, Casablanca, Maroc.

² Institut Supérieur d'Etudes Maritimes, Km 7 Route d'El Jadida Casablanca, Maroc.

abderrazak.ouardi@yahoo.fr

Résumé- Le copolymère statistique de propylène (PPR) est un matériau thermoplastique, résultant d'une copolymérisation aléatoire du propylène et une faible quantité d'éthylène, destiné au transport des eaux chaudes et froides sous pression. Dans ce travail, des essais de pression jusqu'à l'éclatement ont été munis sur des tubes vierges et entaillés pour caractériser mécaniquement le comportement des conduites en PPR, la quantification de l'endommagement s'est fait à l'aide du dommage expérimental afin d'identifier les trois stades de l'évolution d'endommagement, et ainsi mettre en place une stratégie judicieuse pour intervenir au bon moment afin de minimiser le coût d'interventions et maximiser la fiabilité des branchements.

Mots-clés : Copolymère statistique de propylène, tubes thermoplastiques, caractérisation mécanique, essai d'éclatement, dommage expérimental

I. INTRODUCTION

L'utilisation de matières plastiques dans la tuyauterie est bien établie en raison du faible coût, de la légèreté et des excellentes performances qui peuvent offrir une comparaison avec les tuyaux métalliques tels que le fer et le cuivre. Avoir atteindre un niveau élevé de pénétration dans différentes applications, allant de l'approvisionnement en eau aux réseaux d'égouts, l'utilisation de la matière plastique ne cesse de continuer à croître d'une manière cohérente avec un taux d'environ 5- 10% par an [1].

Litvinov et Soliman [2] ont étudié les modes de défaillance et l'effet de la température sur le temps de défaillance des tuyaux PPR sous

pression hydrostatique à différentes températures. De plus, les auteurs ont fait des analyses supplémentaires pour examiner l'influence du temps et de la température des tests de pression sur les caractéristiques intrinsèques des tubes PPR tels que la cristallinité, la température de fusion et le temps d'induction de l'oxydation par plusieurs techniques, La diffraction des rayons X (WAXD) et la calorimétrie différentielle à balayage (DSC). Zgoul et Habali [3] ont évalué la convenance de deux types de tuyaux thermoplastiques pour le transport de l'eau chaude domestique et industrielle par une étude comparative des tubes PPR et PEX en termes de température de fusion et de résistance mécanique (essai de traction et sous pression). Pour ce faire, les auteurs ont utilisé la calorimétrie différentielle à balayage (DSC), les essais de traction uniaxiale et la pression hydrostatique. Geertz et al [4] ont mis sous pression PPR pendant 3000 et 10000 heures, l'objectif était d'étudier l'influence de la pression interne et de la température sur la diffusion de l'antioxydant (Irganox1010) au moyen de la spectroscopie infrarouge (IR) et Calorimétrie différentielle à balayage (DSC).

II. MATERIELS ET EXPERIMENTATION

1) GEOMETRIE ET PREPARATION DES TUBES :

Des tubes de diamètre extérieur de 90 mm et d'épaisseur de 15 mm du matériau PPR sont préparés suivant la norme d'essai standard pour la résistance à la pression hydraulique à court terme des tubes en plastique et raccords (ASTM D1599) [5], la figure 1 présente les dimensions des tubes utilisées dans notre étude.

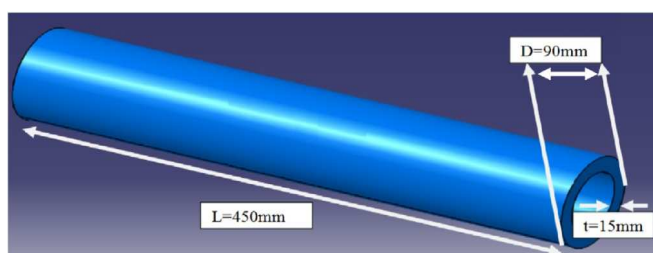


Fig. 1 Dimensions des tubes.

L'étude de l'effet d'entaille sur la résistance des tubes PPR sous pression s'est fait grâce à une série des essais sur dix tubes en PPR entaillés à l'aide d'une fraiseuse universelle avec des rainures longitudinales externes de 6 mm de large, 100 mm de longueur et des profondeurs de 2,42 mm à 14,5 mm de l'épaisseur du tube avec un pas de 1mm. La fraction de vie β est définie comme étant le rapport entre la profondeur de l'entaille (a) et l'épaisseur totale du tube (t). La figure 2 et le tableau 1 résument les dimensions des entaillées effectuées.

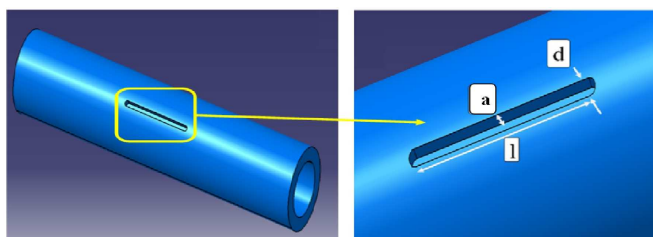


Fig. 2 Description de l'entaille.

Tableau I
Dimensions des rainures réalisées.

Nombre des tubes	Dimensions		
	d (mm)	l (mm)	$\beta=a/t$
Vierge	6	100	0
1	6	100	0,16
2	6	100	0,32
3	6	100	0,43
4	6	100	0,54
5	6	100	0,71
6	6	100	0,8
7	6	100	0,9
8	6	100	0,97

2) EXPERIMENTATION :

Dans cette partie, deux séries d'essais de pressions d'éclatement, suivant la norme ASTM D1599, ont été effectués sur des tubes vierges et endommagés artificiellement par des défauts modélisés sous forme de rainures longitudinales externes. Dans la première série, les essais d'éclatement sont munis sur les tubes vierges pour déterminer la pression ultime qu'un tube vierge en matériau PPR peut supporter, tandis que la deuxième série a été consacrée aux essais d'éclatements sur les tubes endommagés artificiellement pour relever les pressions ultimes résiduelles supportées par ces tubes après chaque réduction de l'épaisseur. En fait, avant de commencer l'essai, des embouts sont fixés aux extrémités des tubes et fortement serrés moyennant des boulons afin d'empêcher toute fuite nuisible donnant des résultats erronés, ses embouts sont reliés avec la pompe hydraulique par des tuyaux de mise en pression. A la température ambiante, les tubes ont été plongés dans un bac rempli de l'eau (figure 3). Ensuite,

Volume I N° 3

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

un gradient de pression est appliquée par la pompe hydraulique jusqu'à l'éclatement des tubes. Le prélèvement de la pression maximum atteinte au cours de l'essai est assuré par un écran d'affichage monté sur la pompe.



Fig. 3 Banc d'essai.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1) PERTE DE LA RESISTANCE EN PRESSION HYDROSTATIQUE DES TUBES EN PPR

La figure 4 présente La variation de la pression ultime résiduelle à l'intérieur des tubes en fonction de la fraction de vie β .

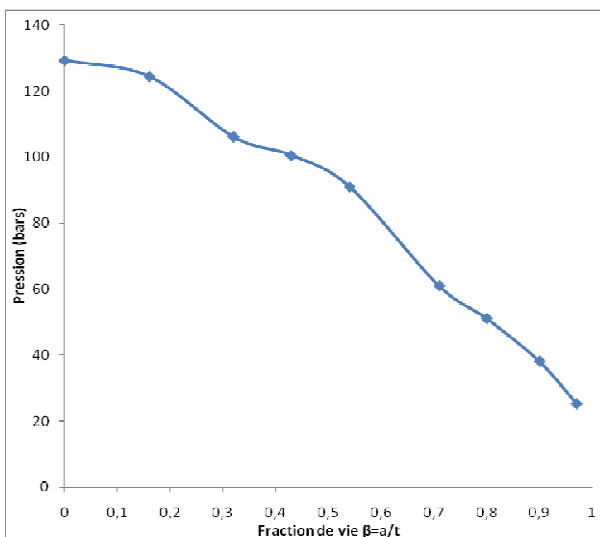


Fig. 4 : Evolution de la pression ultime en fonction de la fraction de vie.

A partir de la figure 4 on remarque que l'entaille a provoqué une baisse de la pression ultime à l'éclatement des tubes entaillés en comparaison avec les tubes vierges. En outre, l'augmentation de la fraction de vie mène à une diminution des pressions ultimes résiduelles des tubes entaillés en PPR. Ceci est expliqué par une perte de la résistance des tubes entaillés à cause de l'augmentation de la profondeur de l'entaille.

2) DOMMAGE EXPERIMENTAL

Par analogie avec l'expression du dommage expérimental développée dans la théorie unifiée, une formulation mathématique du dommage expérimental, adaptée aux essais de pression d'éclatement, en fonction des pressions est donnée par:

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

Avec :

P_{ur} : 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 dommage statique et le dommage proposé par Miner en fonction de la fraction de vie β .

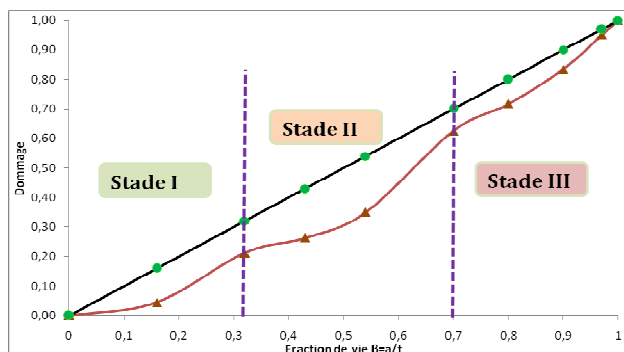


Fig. 5 : Variation du dommage expérimental et celui proposé par Miner en fonction de la fraction de vie.

On observe que le dommage expérimental croît avec l'augmentation de la profondeur de l'entaille. En fait, l'évolution du dommage est divisée en trois stades. Dans le premier stade [0%,32%], le dommage 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 supérieure en comparaison avec le premier stade, à partir de $\beta=70\%$ le troisième stade commence, ce stade est caractérisé par une accélération de l'endommagement jusqu'à atteindre une valeur de 1 pour un tube totalement endommagé. La courbe du dommage expérimental reste en dessous du dommage donné par Miner.

IV. CONCLUSIONS

Dans cet article, une étude de l'évolution de l'endommagement a été établie sur la base de simples tests d'éclatement. Cette étude fournit à la fois une caractérisation mécanique des tubes vierges en matériau PPR et un contrôle de l'endommagement des tubes réalisés de même matériau endommagés artificiellement par des rainures longitudinales externes.

Les résultats montrent que l'entaille a provoqué une chute des pressions d'éclatement résiduelles

des tubes entaillés par rapport à celles des tubes vierges. En outre, une augmentation de la profondeur de l'entaille conduit à une chute de la pression résiduelle des tubes endommagés artificiellement eux-mêmes.

L'intérêt d'utiliser le dommage expérimental est de déterminer les trois étapes de développement des dommages (initiation, progression et accélération de l'endommagement).

Pour la maintenance préventive, la quantification des dégâts par dégâts expérimentaux aide le département maintenance à mettre en œuvre une sage stratégie pour intervenir au bon moment afin de minimiser le coût des interventions et de maximiser la fiabilité de l'installation.

References :

- [1] Sahin. S and Yayla. P, "Effects of processing parameters on the mechanical properties of polypropylene random copolymer", Polymer testing journal, 2005, 24, p 101-102.
- [2] Litvinov. M, Soliman. M, "The effect of storage of polypropylene pipes under hydrostatic pressure and elevated temperatures on the morphology molecular mobility and failure behavior", Polymer journal, 2005, 46, p 3077-3089.
- [3] Zgoul. M.H, Habali S.M, "An investigation into pipes as hot water transporters in domestic and industrial applications", Jordan journal of mechanical and industrial engineering, 2 (4), p 191 – 200.
- [4] Geertz. G, Brull. R, Maria. J.R, Wenzel. M, Engelsing. K, Wust. J, Bastian. M, Rudscuck. M, "Stabiliser diffusion in long-term pressure tested polypropylene pipes analyzed by IR microscopy", Polymer Degradation and Stability journal. 2009, 94, p 1092-1102.
- [5] ASTM International D1599, 2009, "Standard Test Method for Resistance to Short-Time

Volume I N° 3

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

Hydraulic Pressure of Plastic Pipe, Tubing,
and Fittings,” Annual Book of Standards,
Vol. 8.04, ASTM International, West
Conshohocken, PA.