

EVALUATION DE L'ENDOMMAGEMENT PAR LA FIABILITE RESULTANT DE L'ESSAI DE TRACTION SUR DES EPROUVETTES EN POLYMERE

AMAL LAMARTI¹, KHALID ELHAD², ABD ELILAH HACHIM², MOHAMEDELGHORBA¹

¹ ENSEM : "Ecole Nationale Supérieure d'Électricité et de la Mécanique, Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et structure, Maroc" Lamarti.amal18@gmail.com ; medelghorba2@gmail.com

² ISEM : "Institut Supérieure d'Etude Maritime, Maroc" abdellilah.hachim@gmail.com ; elhad_khalid@hotmail.com

Résumé

Dans ce travail nous nous intéressons à l'étude du comportement mécanique d'un polymère amorphe, l'acrylonitrile butadiène styrène "ABS", et ceci par des essais de traction uniaxial sur des éprouvettes percées avec différentes longueurs d'entaille allant de 1 à 14mm. L'approche proposée consiste à analyser l'évolution de la géométrie globale des courbes contrainte déformation obtenues et ceci en considérant les zones et les points caractéristiques de ces courbes et aussi tenir compte de l'effet de l'endommagement sur le comportement mécanique du polymère ABS, en suivant l'évolution du dommage par un modèle statique.

Mots clés: *Polymère, rupture brutale, endommagement, essais de traction, ABS*

1. Introduction

Les polymères amorphes nécessitent un grand intérêt grâce à leurs importantes applications industrielles. Cette importance est concrétisée par de nombreux travaux concernant leurs réponses mécaniques [1].

Parmi ces polymères, l'Acrylonitrile Butadiène Styrene (ABS) a connu un développement industriel important, en raison de l'ensemble de ces propriétés : bonne tenue à la chaleur, résistance au choc élevée et rigidité, sa stabilité dimensionnelle et son aptitude à la décoration [2]. La combinaison des trois monomères qui le constitue de nature chimique et de propriétés physiques différentes, permet d'avoir un matériau d'intérêt avec des performances supérieures à celles de départ [3].

C'est le matériau privilégié pour le prototypage rapide, il s'agit des pièces moulées pour fabriquer les appareils électroménagers, les jouets, les pièces automobiles et le matériel informatiques. Le prototypage rapide intègre trois notions essentielles : le temps, le coût et la complexité des formes [4].

Cependant notre travail consiste à étudier le comportement mécanique de l'ABS soumis à un chargement uniaxial tel que la traction, en première étape

nous avons réalisé une étude expérimentale pour analyser l'évolution de la géométrie globale des courbes contraintes-déformations des éprouvettes en ABS percées et simplement entaillées.

En deuxième étape nous avons modélisé l'endommagement et le comportement à la rupture du matériau étudié et suivre l'évolution du dommage par la relation dommage-fiabilité.

2. Expérimentation

Dans cette étude, on s'attachera à décrire le polymère étudié, la morphologie des éprouvettes ainsi que la technique expérimentale permettant la mesure des contraintes-déformations au cours de la sollicitation mécanique.

2.1 Matériau étudié

Le polymère utilisé dans cette étude est l'Acrylonitrile Butadiène Styrene (ABS), est un polymère amorphe fabriqué par émulsion ou polymérisation en masse d'acrylonitrile et de styrène en présence de polybutadiène.

L'ABS est généralement défini par trois propriétés principales : la résistance aux chocs, la dureté et la résistance thermique.

2.2 Méthode opératoire

L'expérimentation consiste à soumettre des éprouvettes percées avec un trou de diamètre $\varnothing=3\text{mm}$ et simplement entaillées en ABS avec différentes longueur d'entailles à des essais statiques de traction découpées selon la norme ASTM D882-02 [5].

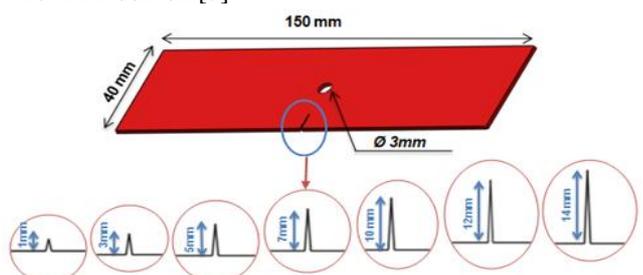


Figure 1 : Eprouvette en ABS percée $\varnothing 3\text{mm}$ et préparée selon la norme ASTM D5766M [6]

2.3 Dispositif expérimental

Les essais de traction en ABS sont réalisés sur une machine de traction universelle, de type «Zwick Roell», ayant une capacité maximale de chargement de 2,5 KN (figure 2), ce qui nous a permis d'obtenir plus de précision dans nos essais, vu la nature du matériau d'essais, et la géométrie des éprouvettes qui ont une faible épaisseur. On a réalisé les essais à une vitesse régulière de 1mm/min à déplacement contrôlé.



Figure 2 : la machine de traction «Zwick Roell»

3. Résultats et discussions

La durée de vie en fonction de l'entaille :

Les courbes suivantes (Figure 3) montrent la variation des contraintes en fonction des déformations pour les éprouvettes en ABS percées de diamètre $\varnothing=3\text{mm}$, avec différentes longueurs d'entaille allant de 1 à 14 mm.

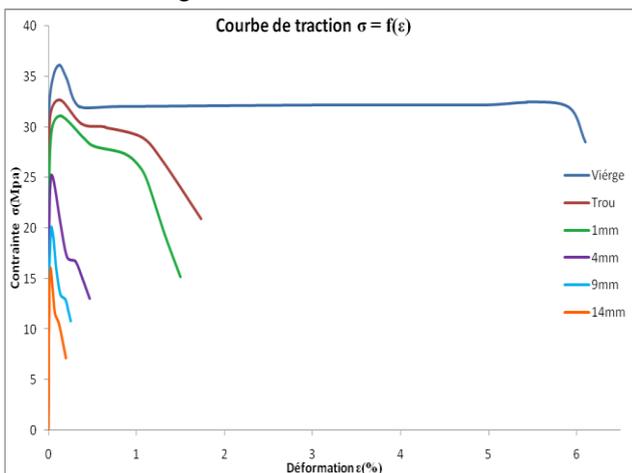


Figure 3 : Courbe de traction Contrainte-Déformation des éprouvettes entaillées

L'évolution de la courbe donne une allure croissante puis décroissante avec un décalage apparent entre les différentes valeurs en fonction de la longueur d'entaille. En comparant les résultats de la courbe vierge par rapport à ceux endommagés, nous avons une diminution de la viscoélasticité lorsque la longueur d'entaille augmente. Ces résultats montrent que la contrainte au

niveau du matériau augmente (la taille des défauts augmente), la viscoélasticité diminue et le matériau a une tendance à se fragiliser.

Détermination du dommage – fiabilité :

Le modèle du dommage statique consiste à déterminer l'évolution de la contrainte ultime résiduelle, dont les variations sont dues essentiellement à l'endommagement.

On définit généralement les contraintes résiduelles [7], comme étant les efforts internes qui subsistent dans les pièces mécaniques lorsque ces dernières ne sont soumises à aucun effort extérieur.

Au cours de l'essai, nous avons suivi le phénomène d'endommagement entre l'état vierge et la rupture complète de l'éprouvette, par la mesure des contraintes ultimes résiduelles, ce phénomène est quantifié par le paramètre dommage selon l'équation suivante [8].

$$D = \frac{1 - \frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u}}{1 - \frac{\sigma_{\sigma}}{\sigma_u}}$$

Avec :

σ_u : Valeur de la contrainte ultime à l'état initial non endommagé.

σ_{ur} : Valeur de la contrainte ultime résiduelle pour différentes longueurs d'entailles.

σ_{σ} : Valeur de la contrainte juste avant la rupture.

On a alors :

$$\frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u} = 0 \longrightarrow \sigma_{ur} = \sigma_u \longrightarrow D = 0$$

$$\frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u} = 1 \longrightarrow \sigma_{ur} = \sigma_{\sigma} \longrightarrow D = 1$$

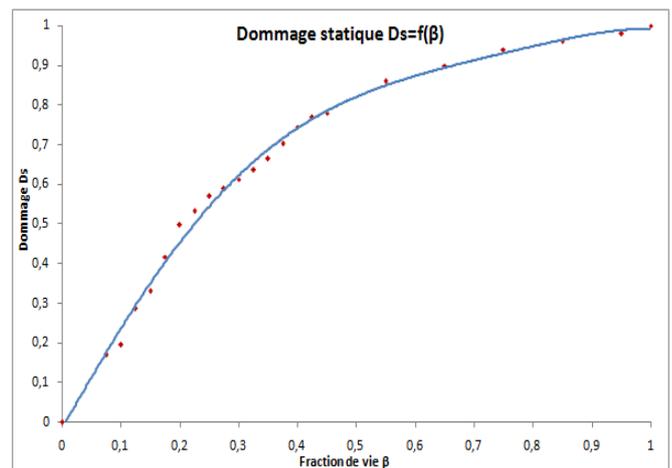


Figure 4: Evolution du dommage en fonction de la longueur d'entaille

Le processus de l'endommagement (figure 4), est schématisé par une courbe concave ce qui signifie que le dommage s'accélère vers la fin de la vie du matériau, et la rupture aura lieu à $D=1$. L'accroissement du dommage signifie l'augmentation de la perte en résistance en traction statique des éprouvettes en ABS. Cette perte

évolue lorsque la longueur d'entaille devient plus importante.

Il s'agit d'un endommagement avec des déformations irréversibles appréciables, qui réduit la résistance ultime du matériau.

D'autre part, il existe un autre paramètre de nature statique, permettant de suivre l'évolution de la détérioration du matériau. C'est le paramètre de la fiabilité "R", qui représente la probabilité de survie du matériau [9] [10].

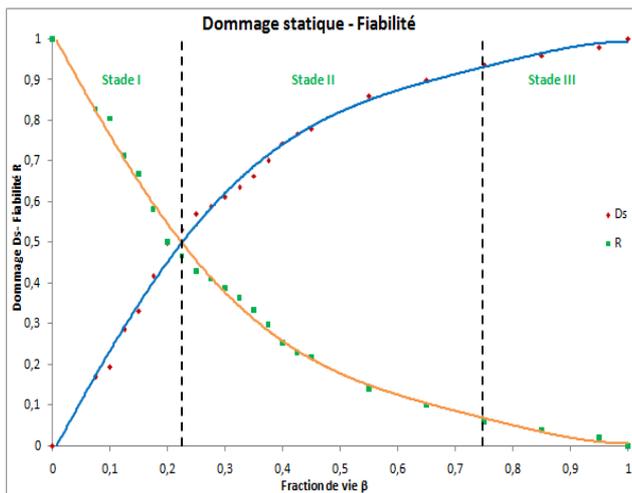


Figure 5: Evolution du dommage par rapport à la fiabilité en fonction de la fraction de vie

L'augmentation du dommage est nécessairement accompagnée par la diminution de la fiabilité (figure 5).

Au début, nous avons la zone d'initiation de l'endommagement (Stade I), à 23% les éprouvettes en ABS percées et simplement entaillées, commence à perdre leur résistance interne et le matériau commence à se dégrader. Il s'agit de la propagation de l'endommagement, désignée par la zone d'endommagement progressif (Stade II).

A 76% du dommage (24% de fiabilité), les éprouvettes en ABS sollicitées en traction entament la zone d'endommagement brutal, qui correspond à une longueur d'entaille critique (a_c) de 10,50 mm. A ce stade III la propagation devient instable jusqu'à la rupture brutale.

4. Conclusion

Ce travail est basé sur des essais expérimentaux, par des essais de traction, il a permis de compléter nos connaissances théoriques sur l'ABS.

En premier lieu une série d'essais ont été achevées sur des éprouvettes normalisées rectangulaires percées et simplement entaillées de 1 à 14 mm, le but était d'étudier le comportement mécanique du polymère ABS.

Dans cette étude, nous avons pu relier la fiabilité à l'endommagement à travers la fraction de vie. Le dommage croît au fur et à mesure que le matériau étudié

"L'Acrylonitrile Butadiène Styène" perd sa résistance, et quand la longueur d'entaille devienne plus importante.

La fiabilité varie au sens inverse du dommage et définit les trois stades de la propagation de l'entaille.

5. Références

- [1] H. Farid, K. Elhad, M. Elghorba, F. Erchiqui and M. Chergui «Damageable Thermal Behavior of Thermoplastic Flat Plate under Uniaxial Stress», British Journal of Mathematics & Computer Science Vol 3,P 527-538, 2013
- [2] B. Ni, J. Li et V. Berry, «Plastic zone in front of a mode I crack in acrylonitrile-butadiene-styrene polymers,» Polymer, vol. 31, p. 2766–2770, 1992.
- [3] S. Ramaswamy et A. Lesser, «Microscopic damage and macroscopic yield in acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) resins tested under multi-axial stress states,» Polymer, vol. 43, p. 3743–3752, 2002.
- [4] I. Makadir , M. Barakat , M. Elghorba, H. Farid «Study of Damage to ABS Specimens Submitted To Uniaxial Loading», The International Journal Of Engineering And Science (IJES), Volume 4, Issue 1, January – 2015, Pages , 05-08.
- [5] ASTM D882 - 02 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.
- [6] ASTM D5766 / D5766M - 11 Standard Test Method for Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates.
- [7] PETERSON. Stress concentration factors. John Wiles; 1974.
- [8] Gatts R., Application of cumulative damage concept to fatigue, ASTM Transactions, Journal of basic engineering, Volume 83, 1961.
- [9] P. Chapouille et P. De Pazzis, "Fiabilité des systèmes", Editions Masson (1968).
- [10] A. Villemeur, "Sureté de fonctionnement des systèmes industriels", Editions Eyrolles (1981).