

Etude de L'endommagement des éprouvettes en Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS), soumises à un Essai de traction

F.SABAH¹, A. En-naji ², A.WAHID¹, and M. El Ghorba²; H.CHAKIR¹

¹ Faculté des sciences Ben M'sick, Laboratoire de la matière condensée, Casablanca Maroc,

E-Mail : sabah.fatima15@gmail.com

² ENSEM, Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des structures, Casablanca, Maroc

E-Mail: abdenaji14@gmail.com

Résumé :

Les matières plastiques jouent un rôle important dans notre vie quotidienne en raison de leur facilité d'installation et de leurs coûts de production relativement faibles. A l'heure actuelle les polymères sont ubiquistes dans toutes les facettes de notre vie, d'où l'on soutire la nécessité imminente de déceler le comportement mécanique de ces dits polymères. Cette recherche présente de nouveaux développements dans le domaine de la mécanique de la rupture.

Cependant, ces structures en polymère doivent être conçues et dimensionnées de façon à supporter les contraintes mécaniques auxquelles elles sont exposées en service. Pour mieux prédire leur durée de vie, il est donc important de bien connaître le comportement mécanique des polymères, ainsi que leur mode d'endommagement, en fonction du type de chargement qu'ils subissent et du défaut engendré. La fiabilité de ces structures est également une notion importante à prendre en compte dans l'estimation de leur durée de vie. Pour ce fait, nous avons visé comme objectif la caractérisation mécanique d'un polymère de type acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) sous chargement de traction uniaxial en se focalisant sur l'influence de l'endommagement sur le comportement des structures en ABS étudiées.

Ainsi, nous avons étudié le comportement de fiabilité mécanique de l'ABS endommagé artificiellement, nous avons constaté un comportement critique du dommage statique, dans le but de prédire la durée de vie résiduelle.

Mots clefs : Acrylonitrile butadiène styrène ABS, Déformations, Traction uniaxial, Endommagement, Polymère, Fiabilité, Durée de vie.

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].

Cependant, si l'on s'attache à leurs seules propriétés mécaniques, leur comportement est complexe et constitue un obstacle majeur, tant les utilisateurs potentiels rencontrent des difficultés à en tenir compte lors des étapes de dimensionnement et d'optimisation. Cette difficulté est liée à la structure particulière des polymères amorphes [2]. La nature désordonnée de chaînes macromoléculaires rend délicate la compréhension des mécanismes de déformations et d'endommagements à l'échelle microscopique.

Néanmoins, les plasturgistes doivent apporter des réponses quant à la durabilité de leurs produits pour certaines conditions de sollicitations.

L'Acrylonitrile Butadiène Styrène (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 [3]. 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 bonnes performances [2].

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 uni-axial. Nous avons tenu en compte l'endommagement, tout en créant une entaille dans des éprouvettes percées qui en découpe en deux pour avoir des éprouvettes avec des demi-trous superficiels des rayons allant de 1mm jusqu'à 9mm.

2. Expérimentation

Dans ce travail, 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 ce travail est l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (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 en ABS percées avec des trous des différents qui en découpe par la suite en deux pour avoir des éprouvettes avec des demi-trous superficiels des rayons allant de 1mm jusqu'à 9mm.

2.3. Dispositif expérimental

Les essais statiques de l'ABS sont réalisés sur une machine de traction universelle, de type «Zwick Roell», ayant une capacité maximale de chargement de 2,5 KN (figure 1).



Figure 2 : la machine de traction «Zwick Roell»

3. Résultats et Discussion

3.1. Effet des défauts sur le comportement mécanique en traction de l'ABS

La courbe contrainte appliquée en fonction de la déformation des essais de traction des différentes éprouvettes étudiées sont illustrées dans la figure qui se présente au-dessous :

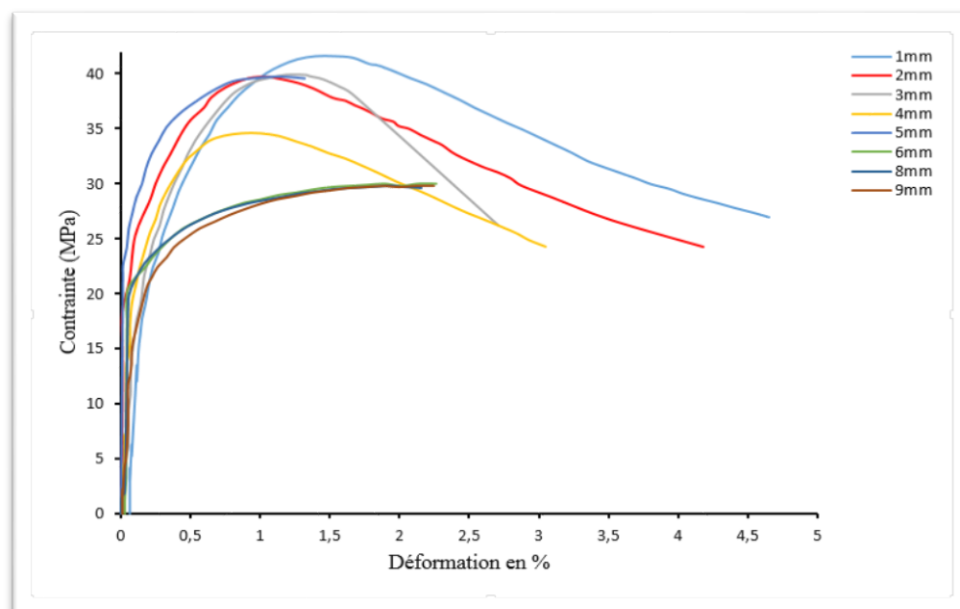


Figure 2 : Courbe de traction Contrainte-Déformation des éprouvettes entaillées

On remarque que les caractéristiques mécaniques du matériau chutent remarquablement avec l'évolution de la taille du défaut (Figure 2). Ces caractéristiques comprennent la limite élastique, la contrainte ultime, l'allongement...etc.

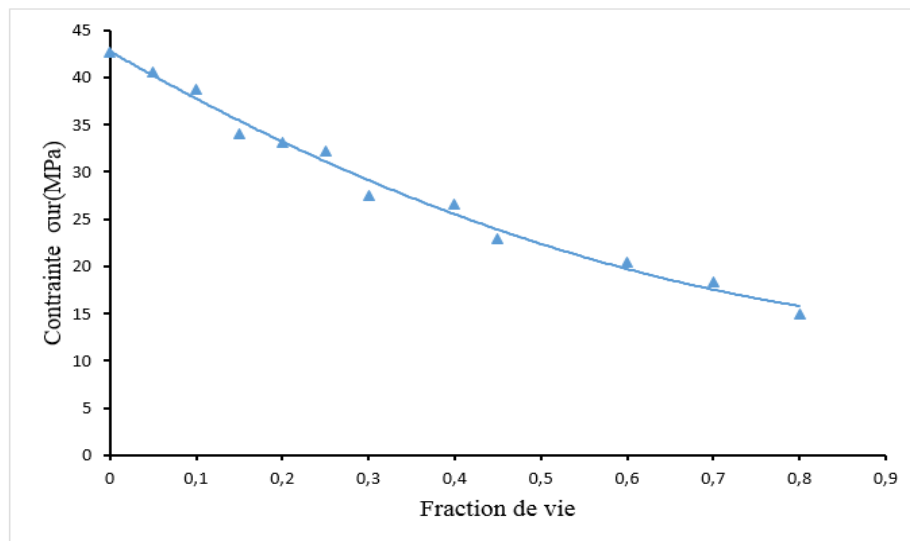


Figure 3 : évolution de la contrainte ultime en fonction de fraction de vie

A partir de la courbe (Figure 3) ; on note bien une dégradation remarquable de la contrainte ultime résiduelle σ_{ur} avec l'évolution de la taille du défaut ici représentée par la fraction de vie.

$$\beta = \frac{\text{taille du défaut}}{\text{largeur de l'éprouvette}} \quad (1)$$

On en déduit que le comportement du matériau est impacté par la présence de défaut ce qui se traduit par la dégradation de ces propriétés mécaniques et par conséquent le matériau tend à devenir plus fragile ce qui conduit à une rupture de plus en plus brutale.

3.2. Evaluation de l'endommagement

La connaissance du comportement mécanique des composants est indispensable pour prédire leurs durée de vie dans l'optique d'éviter toute rupture fatale en service.

Dans cette partie on se base sur l'analyse de la fiabilité des structures endommagées artificiellement.

Ainsi pour comprendre le mécanisme d'endommagement de ces structures par fissuration une étude basée sur l'évaluation du niveau d'endommagement par un calcul du dommage.

3.3. Calcul de la contrainte juste avant rupture

Pour pouvoir tracer la courbe du dommage statique il faut tout d'abord déterminer la contrainte juste avant rupture.

Pour déterminer la contrainte juste avant la rupture σ_a il faut tracer tout d'abord la courbe de la contrainte adimensionnelle en fonction de la fraction de vie β .

On a :

$$f(\beta) = \frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u}$$

Pour

$\beta=1$

$$\frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u} = \frac{\sigma_a}{\sigma_u}$$

La courbe représentant la contrainte adimensionnelle en fonction de la fraction de vie est donnée par la figure ci-dessous :

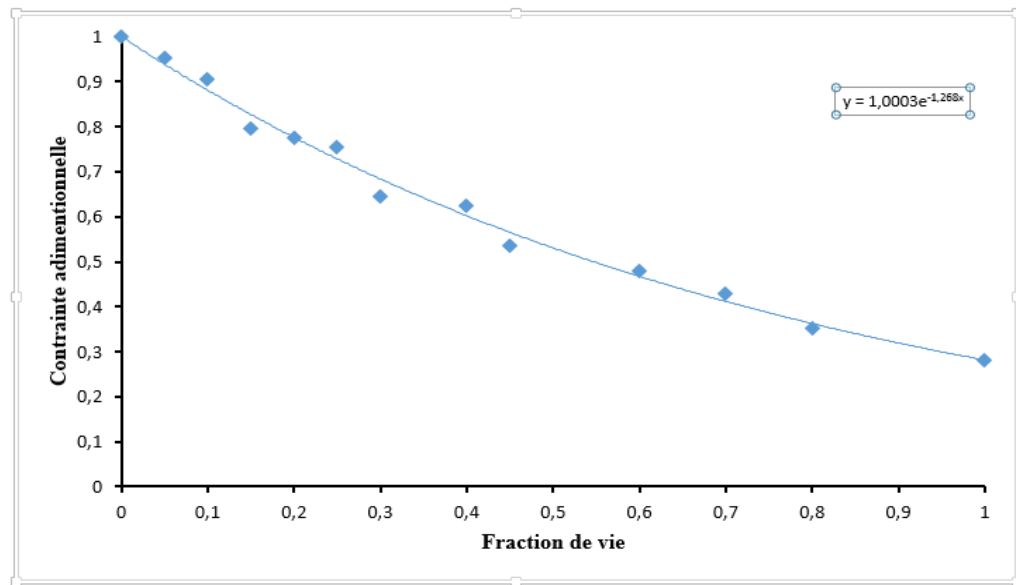


Figure 4 : courbe de la contrainte adimensionnelle en fonction de la fraction de vie

3.4. Calcul du dommage statique par la méthode des contraintes résiduelles

Pour évaluer le degré de dégradation des structures étudiées il faut mesurer le niveau d'endommagement. Ce dernier est directement lié aux propriétés physiques d'où l'importance d'adopter un modèle du dommage fonction de l'état de contrainte de la structure étudiée qui est liée à la fraction de vie β . Et par conséquent le choix du modèle du dommage statique dont l'expression est la suivante [6] :

$$Ds = \frac{1 - \frac{\sigma_{ur}}{\sigma_u}}{1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_u}} \quad (2)$$

Et la fraction de vie β est définie comme suit :

$$\beta = \frac{a}{w}$$

Avec :

- ✚ **a** : la taille du défaut, pour ce cas du défaut c'est le rayon du trou ;
- ✚ **w** : la largeur de l'éprouvette ;
- ✚ **σ_{ur}** : la contrainte ultime résiduelle ;
- ✚ **σ_u** : la contrainte ultime du matériau vierge ;
- ✚ **σ_a** : la contrainte juste avant la rupture.

Au cours de l'essai, La variation du dommage en fonction de fraction de vie est illustrée par la courbe dans la figure 5 :

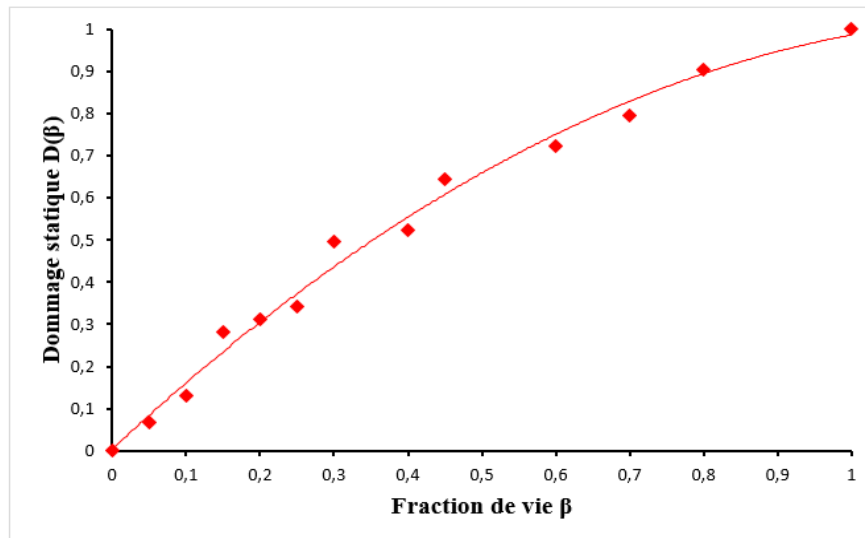


Figure 5 : courbe de dommage statique en fonction de la fraction de vie

L'accroissement du dommage signifie l'augmentation de la perte en résistance en traction statique des échantillons, cette perte évolue lorsque l'allongement devient plus important. Il s'agit d'un endommagement fragile avec des déformations irréversibles qui réduit la résistance ultime du matériau.

3.5. Relation Dommage-Fiabilité

Le dommage d'une structure est présenté par l'estimation de sa probabilité de défaillance [4], par contre, la fiabilité se caractérise par les performances limites d'un structure à assurer son bon fonctionnement, la complémentarité de ces deux notions probabilistes se traduit par la relation suivantes :

$$R(\beta) + D(\beta) = 1 \quad (3)$$

L'équation obtenue nous permet de tracer la courbe de variation de la fiabilité avec celle de dommage:

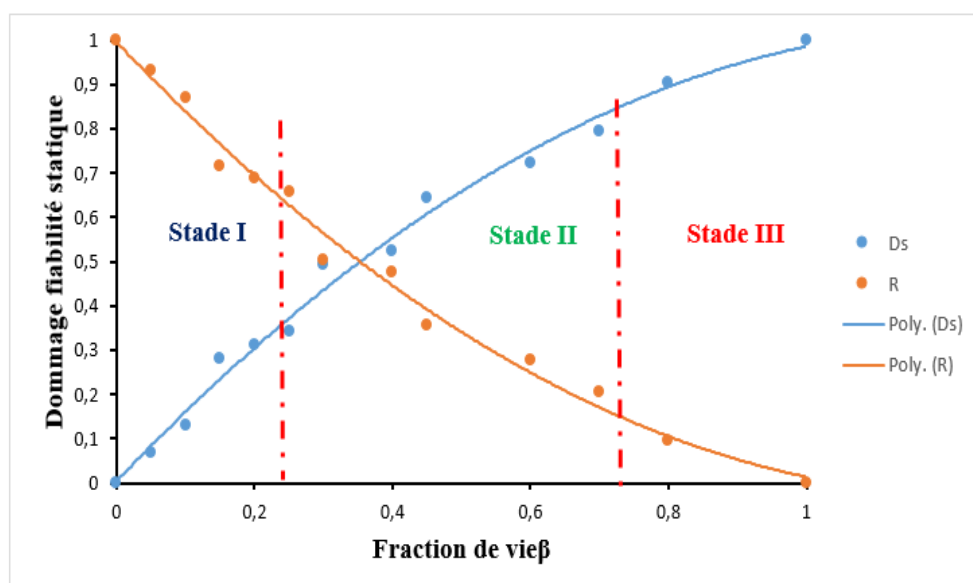


Figure 6 : Courbes dommage statique-Fiabilité en fonction de la fraction de vie

La courbe dans la figure 6 représente au début un comportement linéaire qui illustre un changement brutal (croissance-décroissance) des deux allures du dommage et de fiabilité (stade I), dans le stade II, on a une zone de stabilisation des deux allures dans laquelle se situe l'intersection fiabilité-endommagement.

En fin on trouve le stade III qui est la zone de la rupture incontrôlable dans laquelle on ne peut pas contrôler le défaut.

4. Conclusion

Ce travail est basé sur des essais expérimentaux pour faire une étude du comportement mécanique de l'ABS. Dans un premier temps, nous avons préparé des éprouvettes normalisées rectangulaires percés, après on découpe l'éprouvette en deux pour obtenir des éprouvettes avec des demis trous allant de 1mm jusqu'à 9mm, pour faire des essais de traction.

Dans les essais d'endommagement, l'influence du défaut a été évaluée, et démontrée par des résultats expérimentaux normalisés en fonction de la contrainte ultime résiduelle.

Cette dernière diminue graduellement au fur et à mesure de rayon d'entaille, jusqu'à la rupture de l'éprouvette endommagée.

Une étude de dommage et de fiabilité a été réalisée basée sur un essai statique de traction qui a permis d'estimer le dommage artificiel d'une éprouvette entaillé.

L'établissement de la relation Dommage-Fiabilité permet d'identifier les trois stades de rupture, et de prévoir l'instant du dommage critique et donc s'orienter vers la maintenance prédictive.

5. Bibliographie

- [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 and 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 polymer", 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, PARES, 05-08.
- [5] "ASTM D5766/D5766M-11 Standard Test Method For Open-Hole Tensile Strength of polymer Matrix Composite Laminates".
- [6] D5766/D5766M- 11 Standard Test Method for open hole tensile strength of polymer Matrix composite laminate.