

# Etude de l'endommagement des éprouvettes simplement entaillées en polymère Polychlorure de Vinyle (PVC) rigide

A .ENNAJI, GH. ARID, A. SAOUD, I. LOULIDI, M. CHERGUI, A. LATRACH

ILaboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des structures, B.P 8118, Oasis-Route El Jadida – ENSEM / Casablanca, Maroc  
E-mail :abdenaji14@gmail.com

## Résumé

Depuis plusieurs décennies, les matériaux polymères ont vu leur utilisation croître dans divers domaines. Les applications liées au réseau de distribution d'eau potable peuvent être le siège de différentes dégradations qui se manifestent par de mauvais fonctionnements et des dommages importants au niveau des conduites d'eau potable. En sont un exemple. En effet, leur facilité de mise en œuvre, leur faible coût de production et leurs caractéristiques mécaniques variées sont autant d'atouts qui servent à une bonne caractéristique mécanique. Ainsi, le développement technologique accéléré que nous vivons apporte de plus en plus d'ingénieurs mécaniciens pour faire face aux problèmes de dommages des matériaux. Cependant, ces problèmes sont encore plus graves que la fatigue craquage conduit souvent à une rupture soudaine cause souvent des accidents. Cela arrive malheureusement trop fréquemment, en raison d'une connaissance insuffisante des conditions de service ou même des paramètres de dommages.

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 ruine, 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 en PVC (polychlorure de vinyle).

Ainsi, nous avons étudié le comportement de fiabilité mécanique d'une éprouvette en PVC rigide endommagé artificiellement, nous avons constaté un comportement critique du dommage statique, une étude a été amenée en parallèle pour traiter différemment le comportement de fiabilité dans le but de prédire la durée de vie résiduelle.

Par conséquent, la prédiction précise de la durée de vie des conduites en PVC est un enjeu économique et stratégique important pour le transporteur comme pour le distributeur d'eau potable. Or, la durée de vie de la conduite est principalement liée aux caractéristiques mécaniques du matériau polymère en PVC rigide. En effet, lors de la pose des tubes en chantier, ces conduites sont souvent soumises à des impacts accidentels tels que la chute des cailloux, mauvaises manipulation par les engins de chantier marteaux, etc... Il devient important pour les ingénieurs d'apprécier sa capacité à résister à la propagation brutale d'une fissure. De ce fait, il nécessite de procéder à des études approfondies sur le comportement mécanique de ce matériau.

Dans ce papier des essais mécaniques ont été réalisés sur éprouvettes rectangulaire entaillées, avec différentes longueurs d'entaille. Des courbes contraintes-déformations ont été obtenues à partir d'essais de traction monotone.

## 2. Matériel et méthodes

Notre étude s'intéresse aux conduites en PVC rigide. Elles sont constituées essentiellement de polychlorure de vinyle (PVC rigide).

### 2.1 Les caractéristiques mécaniques du matériau

Les principales caractéristiques mécaniques du PVC rigide, à la température ambiante, sont reportées dans le tableau. 2 [2]

Tableau 2 : les propriétés mécanique d'un tube en PVC rigide

| E(MPA) | $\sigma_e$ (MPA) | $\sigma_r$ (MPA) | $\varepsilon$ (%) |
|--------|------------------|------------------|-------------------|
| 2750   | 40               | 58               | 140               |

Avec

$\sigma_e$  : Limite élastique du matériau.

$\sigma_r$  : Résistance à la rupture.

$\varepsilon$  : Déformation.

E : module de Young.

### 2.2 Eprouvette utilisée

Pour étudier l'effet de l'entaille sur le comportement mécanique du matériau, nous avons utilisé l'éprouvette [3] de la figure. 1

**Mots clefs:** Les matériaux, PVC rigide, fiabilité, dommage, SENT ...

## 1. Introduction

Les qualités sécuritaires, (conduites enterrées) et d'exploitation des conduites en PVC rigide conduisent aujourd'hui à une utilisation de plus en plus large de cette technologie dans les réseaux de canalisation et de distribution d'eau potable [1], cependant, Les canalisations d'eau potable restent encore chers à enterrer puis à remplacer en cas de défaut sur le réseau.

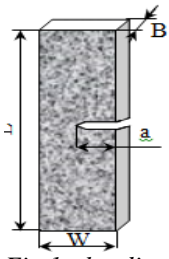


Fig 1 : les dimensions des éprouvettes SENT

Longueur de l'éprouvette  
 $L = 100\text{mm}$  Epaisseur de  
 l'éprouvette  $B = 4,6\text{mm}$   
 Largeur de l'éprouvette  
 $W = 10\text{mm}$  Longueur  
 d'entaille  $a$  varie entre  
 $2\text{mm}$  et  $6\text{mm}$

Nous avons appliqué différentes longueurs d'entaille de 2 à 6 mm sur des éprouvettes rectangulaires, ensuite, nous avons appliqué des essais de ténacité sur trois éprouvettes pour chaque longueur d'entaille.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1 Essai de ténacité sur les éprouvettes entaillées

La courbe charge/déplacement appliquée avec une longueur d'entailles = 4mm, est donnée par la (figure.2).

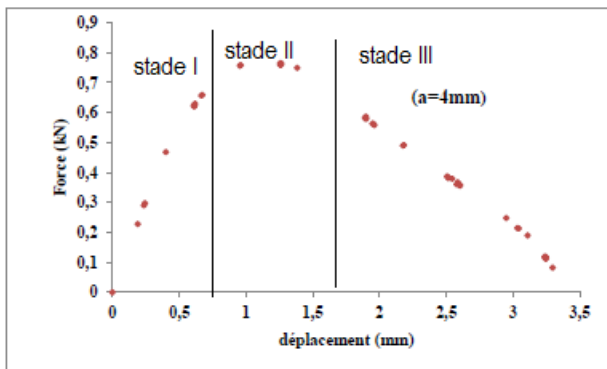


Figure. 2: Courbe typique de réponse d'essai de traction d'une éprouvette SENT d'une longueur d'entaille  $a = 4\text{mm}$ :

La courbe typique obtenue à partir de l'essai effectué sur une éprouvette SENT avec une longueur d'entaille de 4 mm est montrée dans la figure 2. Sur cette figure nous avons constaté l'existence de trois stades : Le stade I de caractère linéaire correspondant à la partie élastique. Le stade II peut correspondre, soit à une plasticité progressive du voisinage immédiat de la pointe de l'entaille, soit à l'amorçage par à-coups de la fissure. A partir de ce stade la charge croît, la fissure avance progressivement jusqu'à son maximum ( $F = F_{\text{max}}$  "force ultime") la charge maximale est atteinte, c'est début de la striction, la charge décroît progressivement, la plasticité est généralisée, le ligament non fissuré s'étire jusqu'à la rupture finale stade III. Ces résultats s'adaptent avec les travaux antérieurs qui attribuent cette non-linéarité soit à un écoulement plastique irréversible (déformation plastique), soit à la formation d'endommagement (au sens de création des surfaces) au sein du matériau.

#### 3.2 Calcul du dommage statique

Le modèle du dommage statique consiste à déterminer l'évolution de la contrainte en fonction de la fraction de

vie  $\beta = a/w$ . L'endommagement est déterminé par la variable D:

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

On définit généralement les forces résiduelles [4] 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 forces ultimes résiduelles, ce phénomène est quantifié par le paramètre dommage (D).

$$D = \frac{1 - \frac{F_{ur}}{F_U}}{1 - \frac{F_a}{F_U}}$$

Avec :

$F_U$  : Valeur de la force ultime à l'état initial non endommagé

$F_{ur}$  : Valeur de la force ultime pour différentes longueurs de fissures

$F_a$  : Force avant la rupture

$a$  : longueur d'entaille

$w$  : largeur d'entaille

$$\frac{a_i}{W} = 0 \rightarrow F_{ur} = F_U \rightarrow D = 0$$

$$\frac{a_i}{W} = 1 \rightarrow F_{ur} = F_a \rightarrow D = 1$$

#### 3.3 Relation Endommagement-Fiabilité

La fiabilité R est un paramètre statistique, qui suit l'évolution de la détérioration du matériau. Elle varie en sens inverse du dommage, donc la relation entre ces deux paramètres s'écrit comme suit :  $R(\beta) + D(\beta) = 1$

#### 3.4 Evolution des Force ultime

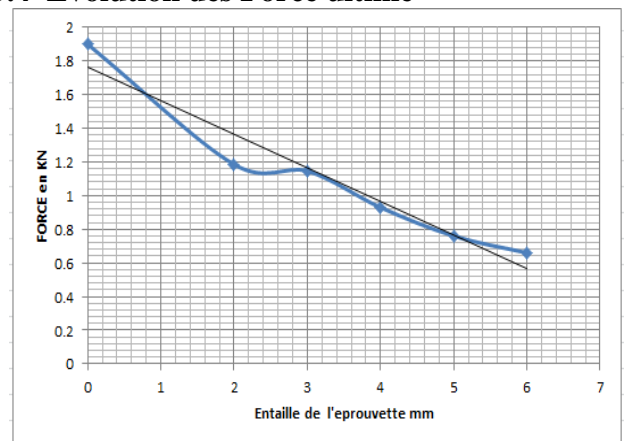


Figure 3. Perte de la force ultime résiduelle en fonction de l'augmentation de la longueur de l'entaille

La figure. 3 décrit l'évolution de la perte de la force ultime en fonction de l'augmentation de l'entaille de l'éprouvette. Cette force ultime résiduelle se dégrade d'une façon continue au fur et à mesure que l'entaille augmente.

### 3.5 Force ultime résiduelle normalisée

Afin de normaliser la force ultime résiduelle, nous examinons les rapports  $F_{ur}/F_u$ , les résultats sont présentés dans la figure. 4.

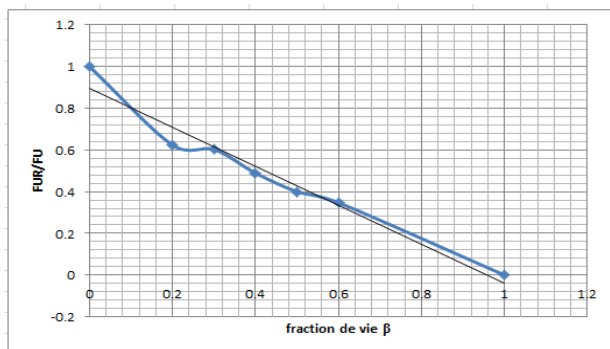


Figure. 4. Variation du rapport adimensionnel de la force ultime résiduelle en fonction de fraction de vie  $\beta$

Nous remarquons que le rapport  $F_{ur}/F_u$  décroît lorsque l'entaille de l'éprouvette augmente, Cette normalisation nous a permis de relever la force avant la rupture qui est égale à  $F_a = 0.511K N$ .

### 3.5 Evolution du dommage statique

Le dommage en fonction de fraction de vie  $\beta$  est donné par la figure. 5 avec les conditions suivantes :

$$\beta = 0 \rightarrow F_{ur} = F_u \rightarrow D = 0$$

$$\beta = 1 \rightarrow F_{ur} = F_a \rightarrow D = 1$$

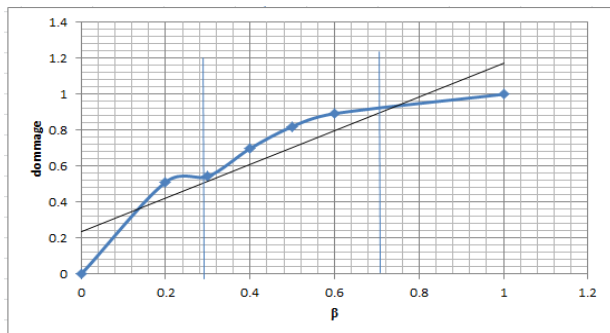


Figure 5. Evolution du dommage en fonction de fraction de vie  $\beta$

Nous remarquons dans cette figure l'accroissement du dommage signifie l'augmentation de la perte en résistance en traction statique, cette perte évolue lorsque l'entaille devient plus importante.

Nous distinguons trois zones, la zone 1 qui correspond à l'initiation du dommage, la zone 2 qui correspond au dommage critique et la zone 3 qui correspond au dommage brutal.

### 3.6 Relation Endommagement-Fiabilité

La figure. 6 illustre la variation de la fiabilité et de l'endommagement en fonction de la fraction de vie  $\beta$ .

Nous remarquons que l'endommagement évolue en sens inverse avec la fiabilité, au fur et à mesure que l'entaille de l'éprouvette augmente.

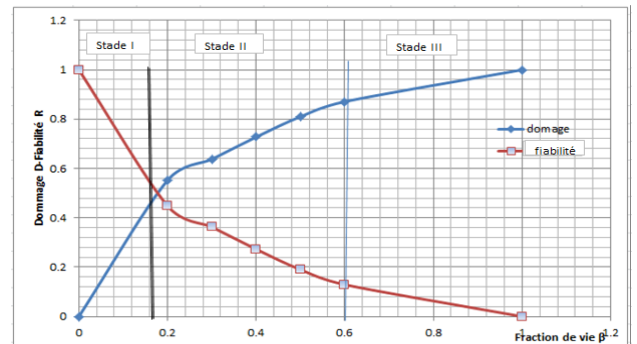


Figure. 6: Evolution du dommage par rapport la fiabilité en fonction de longueur d'entaille:

L'augmentation du dommage est nécessairement accompagnée par la diminution de la fiabilité (Figure. 6). Au début, nous avons la zone d'initiation de l'endommagement (stade I), à 50%. Les éprouvettes SENT commencent à perdre leur résistance interne et le matériau en PVC rigide commence à se dégrader, il s'agit de la propagation de l'endommagement, désignée par la zone d'endommagement progressif (stade II). À 90% du dommage (10% de fiabilité) les éprouvettes sent de polychlorure de vinyle sollicitées en traction entament la zone d'endommagement brutal qui correspond à une longueur critique d'entaille ( $a_c$ ) de 6 mm. A ce stade III la propagation de la fissure devient instable.

## 4. Conclusion

Le but de notre travail, d'une part est de mieux comprendre le comportement mécanique des polymères utilisés dans l'industrie, surtout le PVC rigide et connaître les paramètres agissant sur le comportement de ce matériau pour fournir des solutions aux problèmes rencontrés lors de la de mise en forme ou l'utilisation.

Nous avons aussi constaté que le dommage croît au fur et à mesure que le matériau PVC étudié perd sa résistance et quand la longueur de l'entaille devienne plus importante. La fiabilité varie au sens inverse du dommage et définit les trois stades de la propagation de la fissure.

## 5. Références

- [1] Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe by Split Disk Method
- [2] Thèse de : A. ghizlane ;M .chergui Mécanismes de dégradation mécanique des conduites neuves d'adduction des eaux potables en PVC rigide : Détermination de la ténacité du matériau par approche locale, globale et EWF en identifiant le phénomène de craquelage
- [3] Determination of tensile properties of plastics DIN ISO 527-2.
- [4] ISO 13586:2000,Plastics -- Determination of fracture toughness (GIC and KIC) Linear elastic fracture mechanics (LEFM) approach