

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

Etude Numérique du Comportement d'une Eprouvette de Traction en PVC Rigide

A. ENNAJI¹, GH. ARID¹, I. LOULIDI, A. SAOUD¹, M. CHERGUI¹

¹ Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des structures, B.P 8118, Oasis-Route El Jadida – ENSEM / Casablanca, Maroc
Email : 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 mécanique d'une éprouvette en PVC rigide endommagé artificiellement.

MOTS-CLES : LES MATERIAUX, PVC RIGIDE, POLYMERES, RUPTURE, TRACTION, FACTEUR DE CONCENTRATION DE CONTRAINTE, METHODE D'ELEMENT FINIS, CONTRAINTES, SENT.

I. INTRODUCTION

Grâce au développement de l'informatique, de nombreux secteurs industriels ont vu apparaître un nouvel outil de production devenu actuellement incontournable : la modélisation numérique par la méthode des éléments finis. Cette méthode est une manière numérique de

résoudre les problèmes de la mécanique qui permet de déterminer une solution approchée sur un domaine spatial [1].

Dans les matériaux polymères, les fissures s'amorcent le plus souvent au niveau de discontinuités géométriques de type entailles ou défauts. Les paramètres géométriques des structures et des discontinuités gouvernent l'amorçage et la propagation des fissures et par conséquent la tenue en service ou la résistance de la structure [2]. Dans le domaine industriel, pour des raisons économiques ou de sécurité on cherche à connaître le degré de nocivité des défauts ainsi que la durée de vie résiduelle des structures. Ceci passe par l'établissement de modèles basés sur la mécanique de la rupture. Au niveau des défauts, la distribution des contraintes est relativement complexe. Il en est de même pour les quantités relatives à la mécanique de la rupture.

On peut citer les travaux de notre laboratoire portant sur l'étude des éprouvettes entaillées en PVC rigide de manière à étudier le comportement du matériau en présence du défaut.[3] Dans ce cas on fait à une approche globale basée sur le taux de restitution d'énergie GIC ou à une approche locale basée sur le facteur d'intensité de contrainte critique KIC sur les éprouvettes simplement entaillées.

Ce travail est consacré à l'analyse par éléments finis d'une éprouvette de traction simplement entaillée (SENT).

La géométrie et les dimensions de l'éprouvette à l'étude sont illustrées dans la figure 1. L'étude

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

étant restreinte au mode I, l'éprouvette est soumise à une sollicitation de traction afin de solliciter la fissure en mode ouverture.

II. MATERIEL ET METHODES

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

1. EPROUVETTES ETUDIEE

Dans le cas de polymères ductiles pour lesquels une déformation plastique importante est observée, il est nécessaire d'utiliser une géométrie dans laquelle le gradient de contrainte est plus important. Dans un premier temps, Nous adoptons une configuration haltère figure.1 et tableau.1 dans le but de déterminer les propriétés mécaniques de base du matériau étudié, puis des éprouvettes SENT [4] (Single Edge Notched Tension) suivant la norme ISO 17281 avec des entailles de différentes longueur tel que $0,2 \leq a/W \leq 0,6$. Avec : a est la longueur d'entaille et W largeur de l'éprouvette figure. 2.

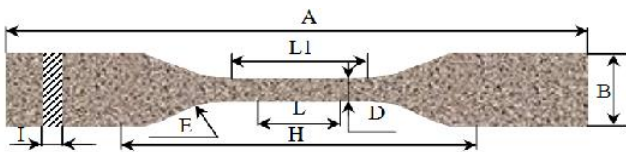


Figure 1 : les dimensions des éprouvettes utilisées haltère

Tableau I : les dimensions de l'éprouvette haltère pour l'essai de traction

Symbole	description	Dimensions
A	Longueur totale minimale	115 (mm)
B	Largeur aux extrémités	25±1(mm)
L1	Longueur de la partie calibrée	33 ±2
D	Largeur de la partie calibrée	6 ±0.4
E	Petite rayon de courbure	14 ±1
L	Longueur entre repères	25 ± 1
H	Distance initiales entre mors	80 ±5
I	épaisseur	4,6

2. Courbe force-déplacement pour une éprouvette saine :

La figure 2 Représente l'évolution de charge/déplacements jusqu'à la rupture. La figure montre qu'il y a proportionnalité entre la force appliquée et l'allongement tel que la région quasi-linéaire permet d'obtenir un module de Young et la détermination de la limite élastique.

Le tableau 2 donne les différentes valeurs obtenues à partir des courbes de traction

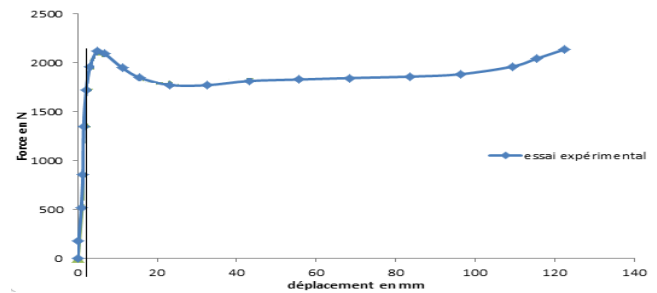
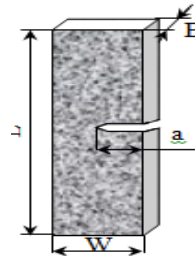


Figure 2 : Evolution de force – déplacement et comparaison avec l'essai expérimentale

Au cours du chargement, on remarque très rapidement que les courbes charge/déplacement présentent une partie linéaire élastique, suivi d'un éloignement continu de la courbe réelle à la droite idéale charge/déplacement dans le cas de figure. Cette non-linéarité est due principalement à une grande déformation plastique.

II. MODELISATION NUMERIQUE

Le code de calcul est utilisé pour construire un modèle éléments finis pour l'analyse de l'éprouvette de la figure 3 soumise à une sollicitation de traction. Dans ce qui suit, on décrit le modèle éléments finis.



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

Figure 3 : les dimensions des éprouvettes SENT

Le matériau utilisé dans notre programme pour l'éprouvette (SENT) est le PVC (rigide). Ses principales caractéristiques mécaniques, à la température ambiante, sont reportées dans le tableau 2 :

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

E(MPA)	σ_e (MPa)	σ_r (MPa)	ϵ (%)
2750	40	58	140

III. MAILLAGE ET CONDITIONS AUX LIMITES

Dans cette partie, on modélise le comportement en traction de l'éprouvette SENT. Cette configuration possède un plan de symétrie, par conséquent seule la moitié de l'éprouvette est modélisée. Nous définissons au début de la modélisation les dimensions de travail qui est ici en trois dimensions. Les résultats numériques étant destinés à une analyse en mécanique de la rupture, une attention particulière est accordée au maillage notamment en fond de fissure au voisinage immédiat de la pointe de la fissure. Pour ce faire, on utilise un maillage très fin, Le détail du maillage est illustré dans la figure 4b

❖ Chargement

Cependant, pour définir les conditions aux limites et la sollicitation en traction selon l'axe longitudinal de l'éprouvette. Afin d'assurer la symétrie et d'éviter toute flexion ou torsion parasite, nous bloquons les déplacements des mailles de plan en dessous suivant l'axe vertical (x) et sa rotation suivant les axes horizontaux (y et z) (figure 4a). Ainsi nous appliquons des déplacements suivants l'axe vertical, ceci est illustré dans la figure 4 a.

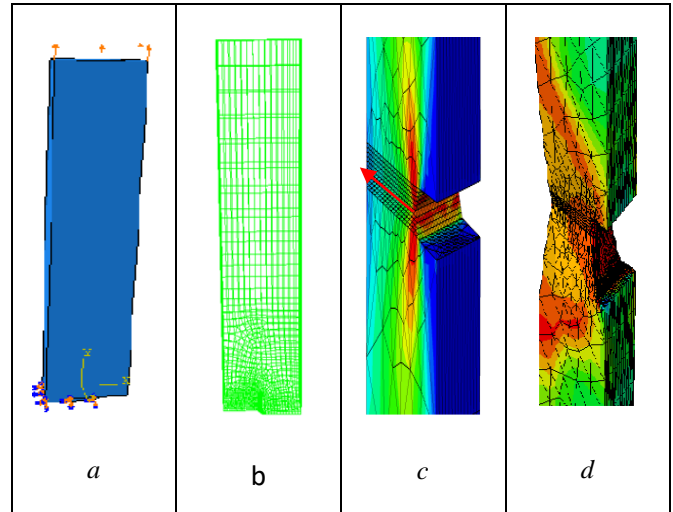
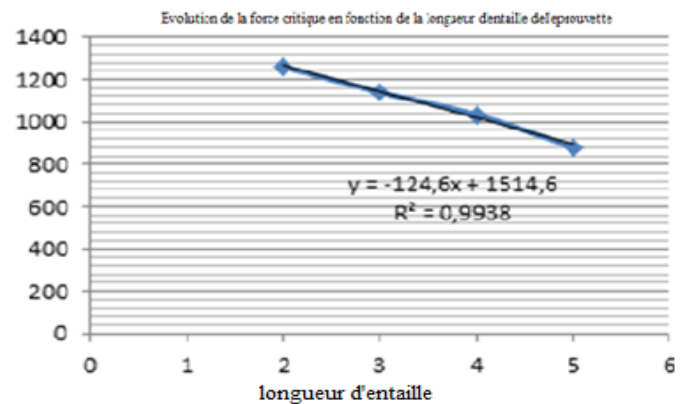


figure 4 : les étapes de modélisation des éprouvettes SENT : a) les conditions aux limites b) discrétisations en éléments finis c) distributions des contraintes d) rupture totale du matériau

IV. RESULTATS & DISCUTIONS

1. EVOLUTION DE LA FORCE CRITIQUE EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ENTAILLE



La figure 5 : l'évolution de la force critique en fonction de différentes longueurs d'entaille des éprouvettes

Cette figure montre l'évolution de la force critique en fonction de différentes longueur d'entaille des éprouvettes SENT, tel que la force diminue avec l'augmentation de la fissure cela nous indique que la résistance du matériau à la propagation de fissure diminue avec la propagation de la fissure.

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

2. FACTEUR DE CONCENTRATION DE CONTRAINTE K_t NUMERIQUE POUR DIFFERENTES ENTAILLES :

- ❖ Evolution de la contrainte de Von-Mises dans le ligament de l'éprouvette pour différentes longueur d'entaille

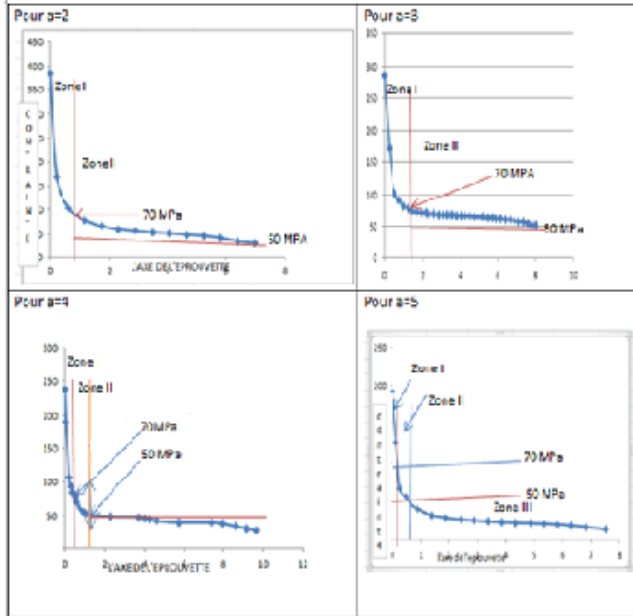


Figure 6 : Evolution de K_t en fonction de longueur d'entaille des éprouvettes SENT

Les courbes de la figure 6 montrent l'évolution de la contrainte dans le ligament de l'éprouvette, suivant l'axe x de la figure 4c (origine en fond de fissure) pour les différentes entailles de l'éprouvettes : $a = 2 ; 3 ; 4$ et 5

- ❖ Pour une éprouvette entaillée avec une entaille de 5 mm, on distingue trois zones:
 - La première zone $[0, 0.25\text{mm}]$, au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle $[70, 180\text{MPa}]$. La contrainte est maximale qui est de 180MPa dépasse la résistance du matériau. La contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 70\text{MPa}$.
 - Une deuxième zone $[0.25, 0.7\text{mm}]$ qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle $[50, 70\text{MPa}]$. La contrainte étant supérieure à la limite

élastique du matériau, la zone est le siège de déformations plastiques.

- Une troisième zone $[0.7, 8\text{mm}]$ qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle $[28, 50\text{MPa}]$. Nous assistons à une diminution légère pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est inférieure à la limite élastique. Cette zone reste, par conséquent, élastique.
- ❖ Pour une éprouvette entaillée avec une entaille de 4 mm on relève trois zones :
 - La première zone $[0, 0.4\text{mm}]$ au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle $[70, 240\text{MPa}]$. La contrainte est maximale qui est de $\sigma_{\max} = 240\text{MPa}$ dépasse la résistance du matériau. La contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 70\text{MPa}$.
 - Une deuxième zone $[0.4, 1.25\text{mm}]$ qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle $[50, 70\text{MPa}]$. La contrainte étant supérieure à la limite élastique du matériau, la zone est le siège de déformations plastiques.
 - Une troisième zone $[1.25, 8\text{mm}]$ qui correspond à des contraintes comprises dans l'intervalle $[50, 35\text{MPa}]$. Nous assistons à une diminution légère pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est inférieure à la limite élastique. Cette zone reste, par conséquent, élastique.
- ❖ Pour une entaille inférieure au égale 4 ($a \leq 3\text{mm}$) on relève deux zones :
 - La première zone $[0, 1.25\text{mm}]$ au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle $[70, 300\text{MPa}]$ La contrainte est maximale qui est de $\sigma_{\max} = 300\text{MPa}$ dépasse la résistance du matériau. La

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

contrainte décroît ensuite jusqu'à la limite de rupture $\sigma_g = 70$ MPa.

- Une deuxième zone [1.25, 8mm] au voisinage du fond d'entaille, correspond à des valeurs de contrainte comprises dans l'intervalle [54, 70MPa]. Nous assistons à une diminution légère pour se stabiliser à la valeur limite égale à la contrainte appliquée, qui est supérieur à la limite élastique cette zone ne subissent qu'une déformation plastique.

3. COMPARAISON ENTRE LE COEFFICIENT DE CONCENTRATION DE CONTRAINTE NUMERIQUE ET ANALYTIQUE EN FONCTION DE LONGUEUR D'ENTAILLE DES EPROUVETTES SENT

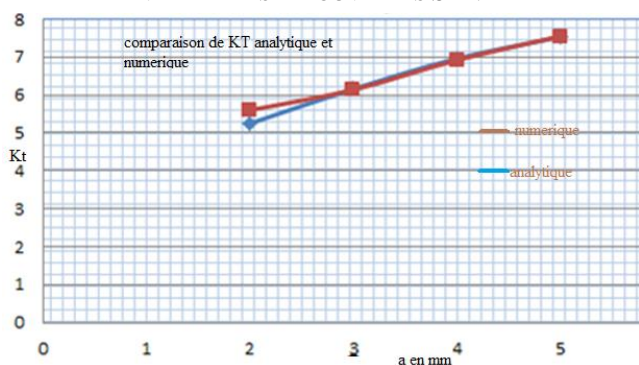


Figure 7: Comparaison entre le coefficient de concentration de contrainte numérique et analytique en fonction de longueur d'entaille des éprouvettes SENT

Les courbes de la figure 7 montrent l'évolution du facteur concentration de contrainte numérique et analytique dans le ligament de l'éprouvette, ie suivant l'axe x de la figure 4c (origine en fond de fissure) pour les différents entailles appliquées.

V. 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.

D'autre part, cette étude s'est concentrée dans un premier temps a l'élaboration d'une modélisation Numérique pour déterminer la ténacité des éprouvettes SENT. Les éprouvettes utilisées ont différentes longueurs d'entailles, provenant des conduites d'adduction des eaux potables en PVC rigide. Les éprouvettes ont été soumises a des sollicitations statiques en mode I, dans un second temps nous sommes intéressés au comportement du polymère massif dans son ensemble : depuis les faibles déformations jusqu'à l'écoulement plastique, l'adoucissement et le durcissement.

References

- [1] Martin Kempeneers, éléments finis statiquement admissibles et estimation d'erreur par analyse duale, Mémoire de thèse doctorat Université de Liège Faculté des Sciences Appliquées, 31 mars 2006.
- [2] Damien Fournier, Analyse et Développement de Méthodes de Raffinement hp en Espace pour l'Equation de Transport des Neutrons, Mémoire de thèse doctorat Université de Provence Marseille, 10 octobre 2011.
- [3] ARID Ghizlane. 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 (28 Mai 1016)
- [4] Determination of tensile properties of plastics DIN ISO 527-2.