

17/531.611

**Université du 8 mai 1945 Guelma**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Génie Mécanique**



**Mémoire de fin D'études**  
**Pour l'obtention du diplôme de Master**



Option : Conception et Production Industrielle

Présenté par : Fettah Abderahmane

=====

***Etude expérimentale de l'influence du milieu***  
***agressif sur le comportement mécanique du***  
***polymère semi-cristallin***

=====

Sous la Direction de :

M<sup>elle</sup>: HAMLAOUI. N

Année universitaire 2011/2012



# Remerciements

Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et le courage, ainsi que la volonté d'effectuer mon projet de fin cycle.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur **M<sup>lle</sup> Nacira Hamlaoui** qui a dirigé ce travail avec intérêt et compétences, et qui m'a conseillé tout le long de cette période.

Je remercie tous les Enseignants du Département de Génie mécanique et surtout **Dr. L. FATMI** et les techniciens, et surtout **MADI Aziz** et **AIB Mohamed** pour leurs aides.

Je remercie les Enseignants du Département de Génie des procédés **Dr NIGRI SORAYA** et **Dr MERABET NORA** pour leurs aides.

J'exprime ma gratitude et mes remerciements à mes parents et toute ma famille pour leurs encouragements.

# Dédicace

A mon Père

A ma Mère

A mon Frère

A ma Sœur

A mes Amis



# **Table des matières**

<b>Problématique</b> .....	(9)
<b>Introduction</b> .....	(11)
<b>Chapitre I: Généralité sur les Polymères</b> .....	(12)
1 Généralités .....	(13)
1-1 Définition du polymère.....	(13)
1-2 Différents types de polymères.....	(13)
1-2-1 Les thermoplastiques .....	(13)
a) Polymères amorphes .....	(14)
b) Les cristallins.....	(14)
1-2-2 Thermodurcissables.....	(15)
1-2-3 Les Élastomères.....	(15)
1-3) Synthèses des polymères.....	(15)
1-3-1 Polymérisation en chaîne.....	(16)
1-3-2 Polymérisation par addition (polyaddition).....	(16)
1-4 Mise en forme des polymères.....	(16)
1-4-1 L'extrusion.....	(17)
1-4-2 Le calandrage.....	(17)
1-4-3 L'injection.....	(18)
1-5 Comportement mécanique des polymères.....	(18)
1-5-1 Transition vitreuse.....	(18)
1-6 Principaux facteurs influençant les propriétés mécaniques des polymères.....	(19)
1-6-1 La vitesse de chargement .....	(19)
1-6-2 L'environnement.....	(20)
a) La température.....	(20)
b) L'humidité.....	(20)
c) Le vieillissement.....	(20)
1-7 Matériau étudiée.....	(21)
1-7-1 Les polyéthylènes (PE) .....	(21)
1-8 Structure des polyéthylènes .....	(22)
1-9 Propriétés est caractéristiques des polyéthylènes hauts densité .....	(23)

1-10 Caractéristiques de PEHD .....	(23)
1-11 Les tubes en polyéthylènes .....	(24)
1-12 Caractéristique et classification.....	(25)
1-13 Les principaux avantages .....	(25)
1-13-1 Résistance à l'abrasion.....	(25)
1-13-2 Solidité aux chocs.....	(25)
1-13-3 Absence de toxicité.....	(26)
1-13-4 Matériau recyclable.....	(26)
1-13-5 Dilatation.....	(26)
1-14 Domain d'utilisation.....	(27)
<b>Chapitre II: étude bibliographique.....</b>	<b>(28)</b>
2-1 Experimental Approach to Mechanical Property Variability through a High-Density Polyethylene Gas Pipe Wall .....	(29)
2-2 Cyclic loading effect on the mechanical behavior and morphology of the high density polyethylene.....	(34)
2-3 Caractérisation mécanique et modélisation thermodynamique du comportement anisotrope du polyéthylène à haute densité. Intégration des effets d'endommagement.....	(37)
<b>Chapitre III: étude expérimentale.....</b>	<b>(41)</b>
3-1 Introduction .....	(42)
3-2 Matériaux étudiée.....	(42)
3-3 Eprouvettes d'essais .....	(42)
3-4 Banc d'essais .....	(44)
3-5 Caractérisation du PEHD 80.....	(44)
3-5-1 Résultats obtenues .....	(44)
3-5-2 Analyse des résultats .....	(45)
3-6 L'influence du milieu agressif sur les propriétés mécaniques .....	(46)
3-6-1 Procédure expérimentale .....	(46)
3-6-2 Résultats obtenues .....	(46)
3-6-3 Discussion .....	(52)
3.7 L'influence du milieu agressif sur la masse du PEHD 80 .....	(53)
3.7.1 Matériel utilisé .....	(53)

3-7-2 Résultats obtenus .....	(53)
3-7-3 Discussion .....	(55)
3-8 L`influence du solution chimique sur la surface du PEHD 80 .....	(56)
3-8-1 Matériel utilisé .....	(56)
3-8-2 Résultat obtenus .....	(56)
3-8-3 Analyse des résultats .....	(58)
Conclusion générale.....	(60)

# **Problématique**

Le réseau de distribution du gaz naturel en Algérie s'agrandit régulièrement. Les premiers réseaux de gaz naturel étaient essentiellement constitués de tube en acier et en fonte. Mais depuis l'introduction du polyéthylène (PE) pour la fabrication des canalisations de gaz en Algérie sa proportion ne cesse de s'accroître, le réseau en PE est opéré jusqu'à 4 bar en grande majorité. Le choix du (PE) pour la fabrication des tubes de distribution du gaz découle des nombreux avantages technico-économique procuré par ce matériau.

Les tubes en polymère font l'objet des ruptures imprévues et parfois catastrophiques dans les domaines de leur application, d'où l'intérêt de la connaissance de leurs propriétés mécaniques. Lorsqu'un polymère est soumis dans l'air à une contrainte ou une déformation en dessous de son seuil d'écoulement sa dégradation peut intervenir après une durée très longue, mais le contact de ce dernier avec un produit chimique peut se traduire par une variation des propriétés mécaniques et des ruptures prématurées peuvent se produire soudainement.

# **Introduction**

# **Chapitre I**

# **Généralités sur les**

# **polymères**



## 1 Généralités

Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels [4].

### 1-1 Définition du polymère

Un polymère est un enchaînement de motifs organiques identiques appelés monomères. Le résultat est une suite d'atomes de carbone reliés entre eux et combinés à d'autres éléments (hydrogène, azote, fluor, silicium, chlore, etc.).

Les macromolécules sont obtenues par assemblage répétitif de motifs monomères associés, selon les conditions, en structures linéaires, ramifiées ou réticulées [5].

Les polymères fabriqués à partir d'un seul type de monomère sont désignés par homopolymère (exemples : polyéthylène, polystyrène). Dès qu'au moins deux types de monomère participent à la formation des macromolécules, on parlera de copolymères (cas du styrène-butadiène). La variété des copolymères est très importante. Ces matériaux possèdent des propriétés physico-chimiques et mécaniques intermédiaires avec celles obtenues sur les homopolymères correspondants.

### 1-2 Différents types de polymères

- Les trois grandes familles de polymères sont:
- Les polymères thermoplastiques;
- Les polymères thermodurcissables;
- les élastomères.

#### 1-2-1 Les thermoplastiques

Les polymères ou les résines thermoplastiques sont des composés, dérivés d'éléments constitutifs organiques se formant naturellement, qui fondent lorsqu'on les chauffe. Ce sont des matières «transformables à l'état fondu», ce qui signifie qu'on peut leur donner des formes utilisables lorsqu'elles sont en phase liquide (fondues) ou visqueuse. Dans la plupart des procédés de fabrication, les thermoplastiques sont chauffés, puis formés par moulage par injection, extrusion ou thermoformage, avant d'être refroidis afin que le produit fini conserve sa forme. On trouve aujourd'hui de nombreux types de thermoplastiques offrant une vaste gamme de propriétés intéressantes. On peut les rendre aussi souples que le caoutchouc, aussi rigides que le métal et le béton, ou aussi transparents que le verre, pour un usage dans de nombreux produits de tuyauterie et autres composants. Certains d'entre eux peuvent supporter

des températures atteignant 315 °C. D'autres conservent leurs propriétés jusqu'à -73 °C. Ils ne s'oxydent pas, ont une haute résistance à la corrosion et sont d'excellents isolants thermiques et électriques. De par leur légèreté, leur haute résistance mécanique et leur résistance aux effets de l'environnement, les thermoplastiques constituent un matériau idéal pour les installations de tuyauteries industrielles, municipales, commerciales et d'habitations [6].

#### a) Polymères amorphes

Lorsque l'arrangement régulier des chaînes n'est pas possible dans un composé macromoléculaire, on obtient un solide que l'on nomme polymère amorphe. En première approximation cette structure amorphe peut être représentée par la figure 1.1

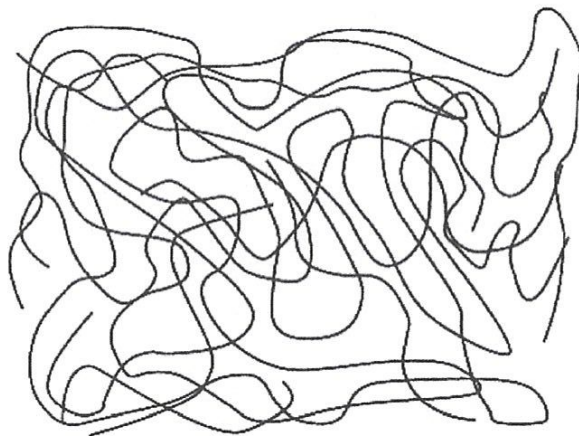
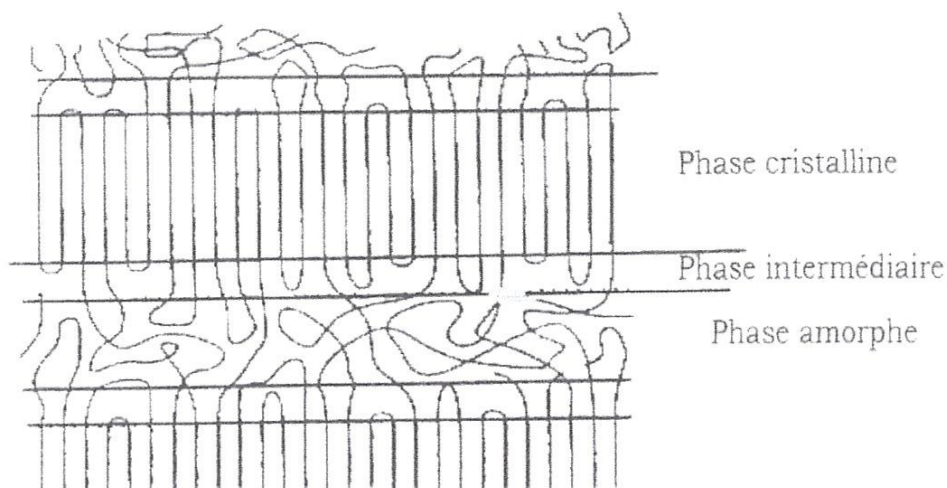


Figure 1.1 schéma d'une structure amorphe [7].

La structure amorphe des polymères est en relation directe avec la flexibilité des chaînes. En solution dans un bon solvant une chaîne prend différentes conformations. Celles-ci qui apparaissent comme régies par le hasard conduisent la chaîne à prendre une forme plus ou moins repliée sur elle-même la rendant comparable à un écheveau désordonné.

#### b) Les cristallins

Les cristallins ont une structure constituée de « cristallites » ordonnées reliées dans une matrice amorphe. Ils sont généralement caractérisés par une bonne tenue chimique, à la fatigue dynamique, un bon écoulement, un faible coefficient au frottement et une moindre déformation en température (PE, PP, PBT, PA, POM, PTFE). Un taux de cristallinité caractérise l'importance de la structure cristalline dans l'ensemble de la matière. Pour qu'un polymère puisse cristalliser, il faut que sa chaîne soit d'une très grande régularité de structure [8].



**Figure 1.2** Morphologie du Polyéthylène (PE) [9].

### 1-2-2 Thermodurcissables

Dans cette famille, les structures moléculaires sont beaucoup plus complexes et difficilement représentables par un croquis plan. Elles constituent un réseau tridimensionnel de motifs de base. On y trouve surtout les polyesters, époxydes, phénoliques, polyamides et aminoplastes. Leur mise en œuvre résulte d'une réaction chimique entre une résine de base et son catalyseur ou durcisseur, accompagnés de différents ingrédients destinés à apporter une particularité à la réaction chimique (accélérateur, inhibiteur) et à la matière (charges diverses). Après durcissement, on ne peut qu'usiner le matériau ; il n'y a pas de fusion possible [10].

### 1-2-3 Les Élastomères

Élastomère est un grand nom savant qui ne veut rien dire de plus que "caoutchouc". Parmi les élastomères on trouve le polyisoprène ou caoutchouc naturel, le polybutadiène, le polyisobutylène, et les polyuréthanes.

Ce qui rend les élastomères spéciaux c'est le fait qu'ils rebondissent et qu'ils peuvent être étirés de plusieurs fois leur longueur d'origine, et reprendre leur forme initiale sans déformation permanente.

Les molécules de polymère sont pareilles. Les molécules d'un morceau de caoutchouc, n'importe lequel, sont désordonnées. Elles se s'enchevêtrent dans le plus complet fouillis [6].

### 1-3 Synthèses des polymères

Les polymères sont synthétisés en reliant des molécules de monomère entre elles par des liaisons chimiques covalentes: ce sont les réactions de polymérisation. Il existe



essentiellement deux classes de réactions de polymérisation qui se différencient par leur cinétique réactionnelle [11].

### **1-3-1 La polymérisation en chaîne ou polyaddition**

Dans laquelle les unités monomères sont additionnées une à une à un centre actif. Plus de 90% en poids de la production mondiale des matières plastiques, qui est de  $180 \cdot 10^6$  tonnes/an, sont synthétisés par cette méthode. La majorité des polymères vinyliques, comme les polyoléfines (polyéthylène, polypropylène, polybutadiène), le polystyrène, le poly(chlorure de vinyle), le poly (acétate de vinyle) et le polyacrylonitrile, sont produits par polymérisation en chaîne.

### **1-3-2 La polymérisation par étapes ("step growth" polymerization) ou polycondensation**

Dans laquelle des espèces réactives comportant des groupes fonctionnels réagissent entre elles de manière aléatoire. Bien que représentant <10% en poids de la production mondiale des matières plastiques, les polycondensats fournissent un ensemble de molécules dotées de propriétés nouvelles et à grande valeur ajoutée: matériaux à haute résistance thermique ou chimique, fibres à haute tenacité, mousses rigides à porosité contrôlée, etc. La plupart des polymères techniques ou "nobles" comme les polyesters, polyamides, polyuréthanes, polycarbonates, polyamides et polysiloxanes, les polymères de spécialité (polymères "cristaux liquides", polysulfones, PEEK) et la plupart des thermodurcissables (époxydes, phénol-formaldéhyde) sont produits par polycondensation.

### **1-4 Mise en forme des polymères**

Une fois synthétisés, les polymères se présentent sous forme de poudres ou granulées, prêtes à être transformés en demi-produits ou en produits finis. Il existe également de nombreux procédés de transformation adaptés à la nature du polymère à mettre en œuvre et à la forme finale souhaitée [12].

Les techniques de transformation des thermo plastes sont fondées sur leur caractéristique de fusion visqueuse à température élevée. On aura donc un réchauffement de la matière avant sa mise en forme.

### 1-4-1 L'extrusion

L'extrusion est une technique de fabrication continue de feuilles, de plaques, de tubes et de profilés. La matière plastique est introduite, sous forme de poudre ou de granulés, dans un cylindre chauffé.

A l'intérieur de celui-ci tourne une vis assurant le transport et l'homogénéisation de la masse fondue. Cette masse plastique est ensuite pressée à travers une matrice d'extrusion ou "filière", qui donne la forme finale à la section de l'extrudât. Le produit extrudé est refroidi et coupé en longueur (Figure I.3).

Comme applications, on peut mentionner: les tubes, les planchettes, les profilés de châssis, les feuilles, les plaques et les joints et profilés de montage.

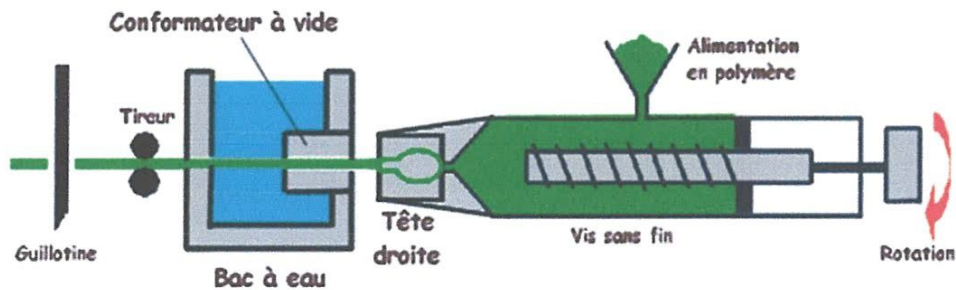


Figure 1.3 Extrudeuse

### 1-4-2 Le calandrage

Une autre technique pour la fabrication de feuilles est le calandrage (Figure I.4). Ici, la matière préchauffée passe entre plusieurs calandres, c'est-à-dire de grands rouleaux métalliques qui forcent la masse plastique à prendre la forme d'une feuille de l'épaisseur voulue. Cette technique est proche du laminage de la tôle. Les feuilles peuvent recevoir en même temps un relief, quand la dernière calandre est gravée.

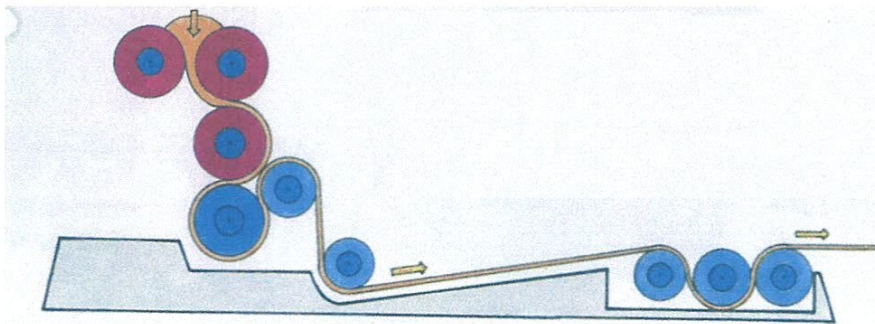


Figure 1.4 Calandre

### 1-4-3 L'injection

L'injection est une technique de production de pièces détachées en plastique (Figure 1.5). Comme pour l'extrusion, la matière plastique est fondue et homogénéisée dans un cylindre chauffé. La vis est de plus utilisée comme piston pour injecter la masse fondue dans un moule fermé. Après refroidissement, ce moule est ouvert et la pièce plastique en est ôtée [12].

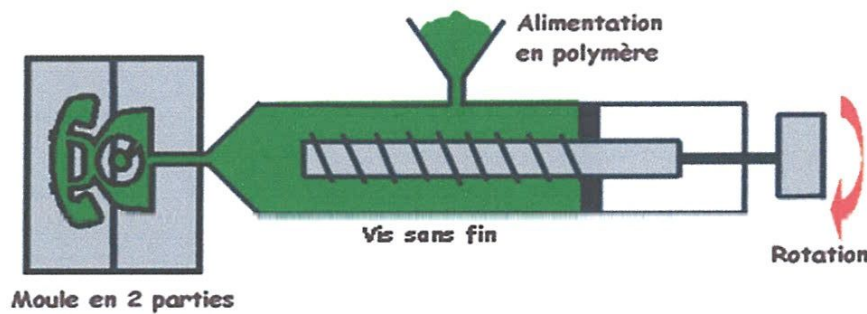


Figure 1.5 Presse d'injection

### 1-5 Comportement mécanique des polymères

Le comportement mécanique des polymères est caractérisé par une très grande diversité apparente. En effet, pour les mêmes conditions d'utilisation, et d'un point de vue technologique, on peut trouver des polymères qui sont, soit rigides fragiles, soit ductiles, soit caoutchoutiques. Ainsi, dans la famille des polymères, on peut retrouver un grand nombre de types de comportement : visco élastique, visco plastique, hyper élastique, durcissant, endommageable Cette diversité se retrouve, pour un même polymère, si l'on fait varier certaines de ses caractéristiques, ou simplement ses conditions d'utilisation. Il peut être rigide fragile, ductile ou élastique etc.

Ceci ne veut pas dire que le comportement d'un polymère est variable, voire incontrôlé. Ce sont les paramètres contrôlant son comportement et les processus élémentaires envisageables qui sont nombreux [13].

#### 1-5-2 Transition vitreuse

Changement d'état du polymère ou du matériau composite polymérisé, sous l'action de la température, et entraînant des variations importantes de ses propriétés mécaniques. La transition vitreuse est caractérisée par une température de transition vitreuse ( $T_g$ ). En dessous de cette température, le polymère est dit vitreux (état solide) et présente le comportement d'un corps solide élastique. Au-dessus il présente un comportement de solide plastique (état viscoélastique), suite à l'affaiblissement de liaisons intermoléculaires (force de Van der



Waals, ...). Si un polymère amorphe a une  $T_g$  inférieure à la température ambiante, il sera mou et souple à température ambiante. S'il a une  $T_g$  au-dessus de la température ambiante, il sera dur et cassant à température ambiante.

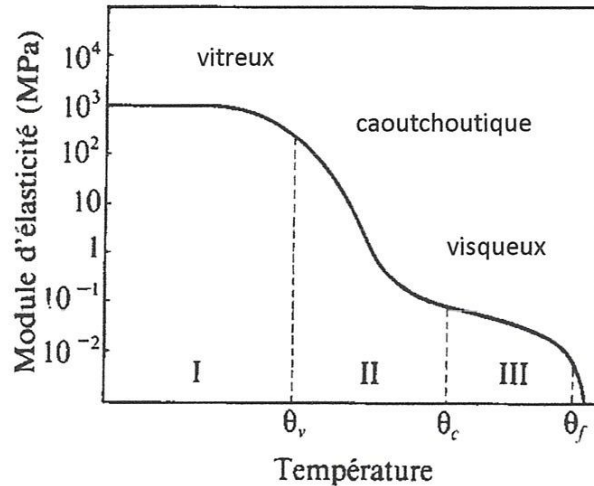


Figure 1.6 Transition vitreuse

La transition vitreuse est réversible et s'observe essentiellement sur les polymères thermoplastiques et ce d'autant plus qu'ils sont peu cristallisés et peu réticulés. Elle s'observe également sur certains polymères thermodurcissables (par exemple résines époxydes), dont la densité de réticulation n'est pas trop élevée (Figure I.6).

Ce changement d'état s'accompagne toujours d'une variation importante des propriétés physiques notamment des propriétés mécaniques (chute du module d'élasticité par exemple). Une structure devra toujours être conçue avec des résines ayant une température de transition vitreuse nettement supérieure à la température d'utilisation [6].

## 1-6 Principaux facteurs influençant les propriétés mécaniques des polymères

### 1-6-1 La vitesse de chargement

L'étude de l'influence de la vitesse de chargement sur les caractéristiques mécaniques du polyéthylène est abordée par [14] les résultats obtenus ont fait apparaître la forte dépendance des caractéristiques mécaniques de ce matériau de la vitesse de chargement. Le module augmente avec la vitesse alors que l'allongement diminue, cette dépendance est liée au caractère viscoélastique régissant le comportement mécanique des polymères qui ne dépend pas seulement de la température mais aussi du temps d'application de la charge.

## 1-6-2 L'environnement

### a) La température

La figure (1.7) représente l'évolution des courbes de traction qui traduisent le changement de comportement en fonction de la température, pour un PMMA [15].

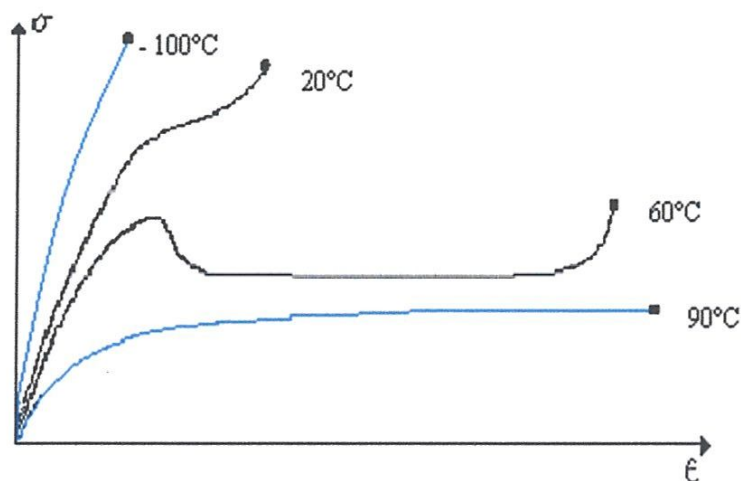


Figure 1.7 Courbes de traction d'un PMMA pour différentes températures [15].

### b) L'humidité

Pour certaine matière plastique, l'absorption d'eau entraîne une plastification de celles-ci et, par conséquent, une diminution de leurs résistances [16].

### c) Le vieillissement

La diminution des propriétés mécaniques des polymères au cours du temps est liée aux ruptures de liaisons. Ces ruptures peuvent être dues à l'oxydation, au rayonnement, en particulier aux ultraviolets.

Un polymère amorphe abandonné à une température inférieure à  $T_g$  présente une augmentation spontanée de son module d'élasticité au cours du temps et son volume diminue. Le vieillissement physique n'est pas une particularité des polymères amorphes, les polymères semi-cristallins vieillissent aussi au voisinage de la transition vitreuse et même au-dessus. D'autre part, quand on essaie un échantillon sur une durée longue, on observe à la fois l'influence de la durée sur le comportement au fluage mais aussi l'influence du vieillissement.



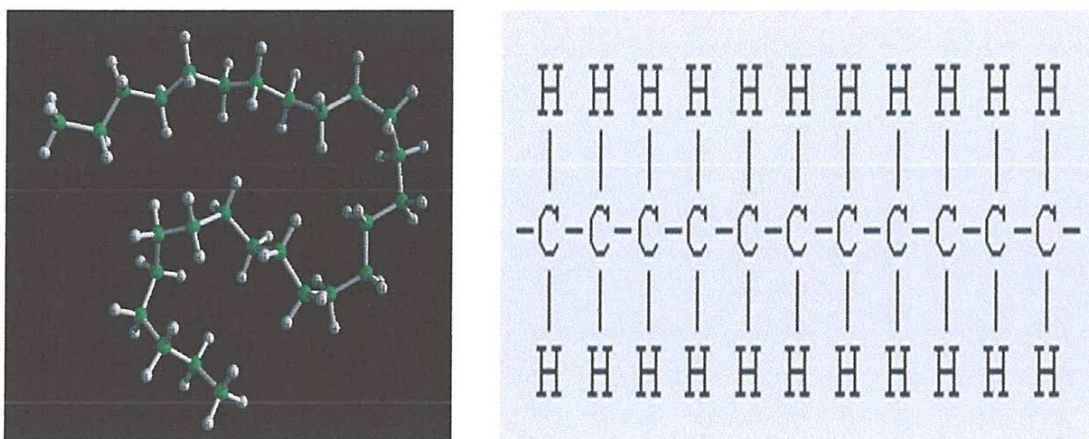
## 1-7 Matériau étudiée

### 1-7-1 Les polyéthylènes (PE)

Les polyéthylènes (PE) sont des macromolécules appartenant à la famille des polyoléfines (hydrocarbures). Il constitue une importante famille des matières plastiques, ils sont obtenus par polymérisation d'éthylène gazeux. On distingue la déshydratation de l'alcool éthylique sur l'acétylène et le cracking des inerte, les processus de polymérisation des impuretés gazeuse comme :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ... peut jouer le rôle d'inhibiteurs de polymérisation, en rompant les chaînes de polymères, au point d'ébullition à  $-140^\circ\text{C}$ , sous pression atmosphérique.

Les polyéthylènes sont de natures différentes selon les modes de polymérisation. Le procédé basse pression du polyéthylène comme celui de Ziegler-Natta, est basé sur l'utilisation de catalyseurs inerte, le polyéthylène peut être de longueurs variables, le processus de polymérisation linéaire est facilement cristallisable [13].

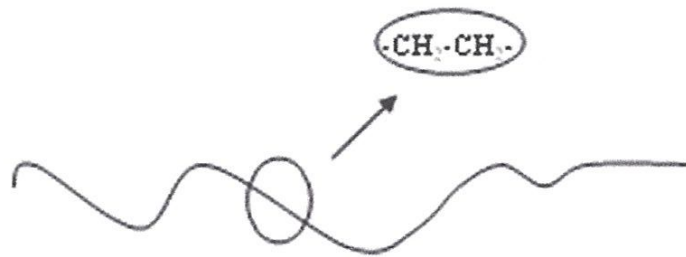
Le polyéthylène n'est rien de plus qu'une longue chaîne d'atomes de carbone, mais il est plus simple de le dessiner comme sur la Figure 1.8, simplement avec la chaîne d'atomes de carbone longue de plusieurs milliers d'atomes.



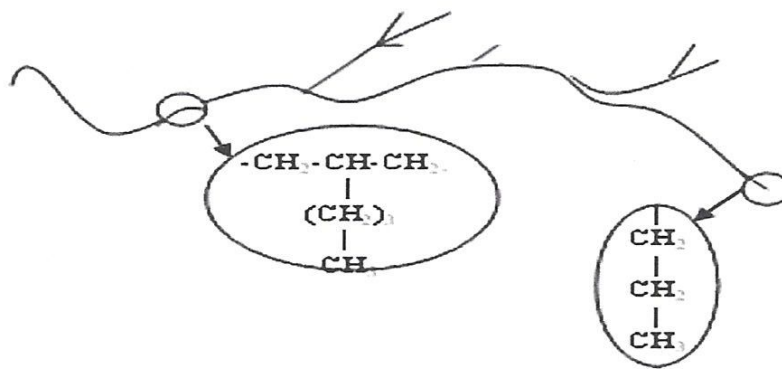
**Figure 1.8** La chaîne de polyéthylène est un polymère d'éthylène

### 1-8 Structure des polyéthylènes

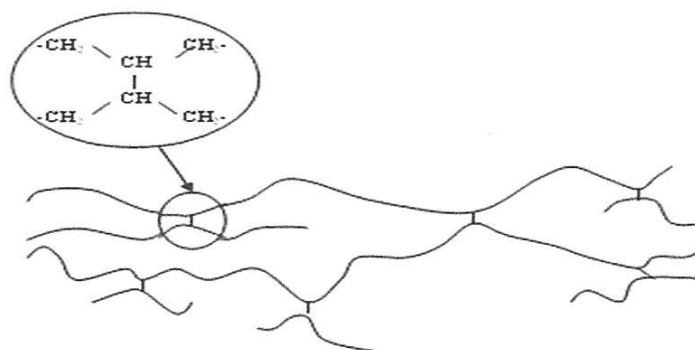
Les structures macromoléculaires peuvent être linéaires, ramifiées, bidimensionnelles ou tridimensionnelles. La figure (1.9) représente les différents types de structures observées d'un polyéthylène.



a) Polyéthylène linéaire



b) Polyéthylène ramifié



c) Polyéthylène réticulé

Figure 1.9 Structures de polyéthylènes [13].

### 1-9 Propriétés est caractéristiques des polyéthylènes hauts densité

Elles dépendent de ses paramètres structuraux comme la masse volumique, la cristallinité et la distribution des masses molaires, des conditions de mise en œuvre, de la conception de la pièce et des conditions d'utilisation comme le type et la durée des contraintes, ainsi que la température. Le tableau 1.1 regroupe l'influence des paramètres structuraux sur les propriétés mécaniques du PEHD.

Propriétés		Effet de l'augmentation de :		
		Cristallinité	Masse molaire	L'indice de fluidité
Mécaniques	Rigidité	↑	↑	↑
	Dureté	↑	↑	=
	Résistance à l'abrasion	↑	↑	=
	Résistance à Re élastique	↑	↑	=
	Allongement à la rupture	↓	=	=
	Allongement au choc	↓	↓	=
	Résistance au fluage	=	↓	=
↑ Augmentation		↑ Diminution	= Pas de variation	

**Tableau 1.1** Evolution des propriétés mécaniques en fonction des paramètres structuraux [5].

### 1-10 Caractéristiques de PEHD

Le tableau 1.2 illustre les valeurs indicatives des caractéristiques mécaniques, physiques et thermiques d'un PEHD.

Propriétés	PEHD
Température de transition vitreuse Tg (C)	-100
Température de ramollissement Ts (K)	390
Chaleur massique (J Kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	2100
Conductivité thermique (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0.52
Coefficient de dilatation thermique (MK <sup>-1</sup> )	150-300
Taux de cristallinité (%)	73-82
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	0.95-0.98
Résistance à la traction (MPa)	20-37
Ténacité à 20°C (MPa m <sup>1/2</sup> )	2-5
Module en flexion (MPa)	800-1100
Module de Young à 20°C (GPa)	0.55-1.00

Tableau 1.2 Propriété du PEHD [5]

### 1-11 Les tubes en polyéthylènes

les tubes en polyéthylènes doivent avoir des surfaces extérieurs et intérieurs propres et lisses et être exemptes de défauts, tels qu'ils soient susceptibles d'être nuisibles à leur qualité, rayures, piqures, grains, bulles, soufflures et criques, Les tubes NF sont noire et des filets de couleur permettent d'identifier leur usage, la figure 1.10 présent la désignation normalisée des tubes (NF) :

Jaune : gaz.

Bleu : eau potable.

Sans filet : irrigation, eau non potable ou industrie.

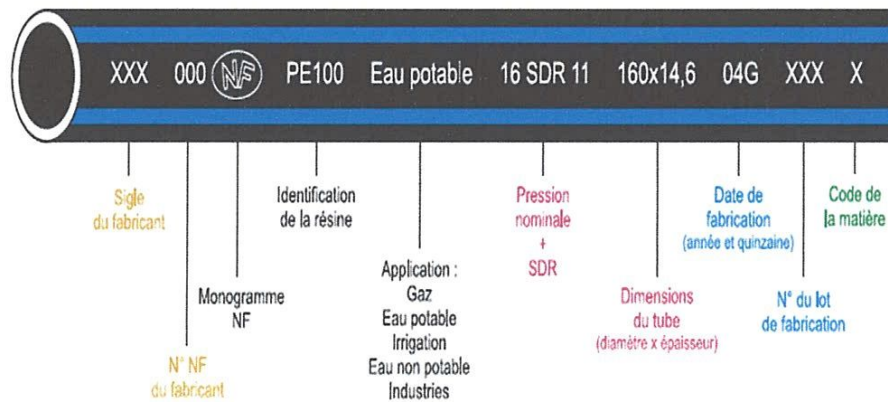


Figure 1.10 désignation normalisée des tubes (NF)



### 1-12 Caractéristique et classification

Les tubes polyéthylènes sont caractérisés par :

- Classification de la résine: PE 40 - 63 - 80 - 100
- La pression nominale
- Le rapport dimensionnel standardise (SDR) est une valeur arrondie qui exprime le rapport entre le diamètre extérieur et l'épaisseur minimale. Cette constante est désignée sous le sigle (SDR) qui se traduit par (Rapport Dimensionnel Standardise)
- La MRS (Minimal Required Strenght) ou " contrainte minimale requise ", d'où est issue la classification des résines en PE tableau 1. 3. L'appellation retenue par la future norme européenne donne à la fois la MRS de la résine et la " résistance hydrostatique à long terme ", en tenant compte du coefficient de sécurité fixé à 1,25, Les canalisations en polyéthylène se classent selon la MRS de la résine utilisée pour leur fabrication. Des normes d'utilisation fixent le cadre conventionnel des comparaisons entre plusieurs résines PE sur une durée de 50 ans à une température de 20° C. D'une façon générale, la tenue d'une canalisation est fonction de sa durée et de sa température d'utilisation.

Classification résine (Selon ISO)	Contrainte minimale requise (MRS)	Résistance hydrostatique à long terme (à 20° C)
PE 100	10,0 MPa	8,0 MPa
PE80	8,0 MPa	6,3 MPa
PE63	6,3 MPa	5,0MPa
PE40	4,0 MPa	3,2 MPa
PE32	3,2MPa	2,5 MPa

**Tableau 1.3** Classification de la résine

### 1-13 Les principaux avantages

#### 1-13-1 Résistance à l'abrasion

L'abrasion est l'usure de la surface intérieure d'un tuyau par l'action mécanique d'un matériau (gravier, roche ou pierre anguleuse) transporté par l'écoulement d'eau. Des essais ont démontré que le tuyau en PEHD est extrêmement résistant à l'abrasion, ce qui lui confère un excellent avantage par rapport à d'autres matériaux traditionnels.

#### 1-13-2 Solidité aux chocs

Le PEHD résiste bien aux chocs, même à basse température. C'est donc un matériau qui ne craint pas l'ambiance rude des chantiers, et des différents chocs dans les locaux techniques. D'autre part, il n'est pas sensible aux chocs thermiques.

### 1-13-3 Absence de toxicité

Les tuyaux en PEHD sont employés pour le transport des fluides alimentaires et des eaux potables (sources ou compagnies des eaux) les tubes utilisés sont alors dits "organoleptiques".

### 1-13-4 Matériau recyclable

Facilement recyclable, le tube et les raccords peuvent être rebroyés. Certaines industries utilisent le polyéthylène ainsi récupéré pour leurs applications. En fin de cycle d'utilisation, la matière peut être brûlée sans résidu ou émanation nocif.

### 1-13-5 Dilatation

Les matières synthétiques réagissent aux changements de températures. Elles se dilatent pour se rétracter ensuite. Suivant les applications, on peut en tenir compte au montage et prévoir des manchons de dilatation ou des bras flexibles

Matériau	Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	Coefficient de dilatation thermique, 10 <sup>-6</sup> /°C	Conductivité thermique, W·m <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> (Btu·po·h <sup>-1</sup> ·pi <sup>-2</sup> ·°F <sup>-1</sup> )	Résistance à la traction MPa(lb/po <sup>2</sup> ) (ASTM D 638)	Module d'élasticité GPa(10 <sup>5</sup> ·lb/po <sup>2</sup> ) (ASTM D 638)
Plastiques: Thermoplastiques	0,09-1,80	50-180	0,14-0,5 (0,96-3,5)	23-50 (3 400-7 300)	1,0-3,1 (1,5-4,5)
Thermodurcissables	1,30-2,00	22-31	0,19-0,26 (1,3-1,8)	62 (9 000)	0,90-19 (1,3-13)
Métaux: Aluminium	2,70	23	220 (1 540)	76 (11 000)	69 (100)
Laiton	8,50	19	120 (830)	500 (74 000)	100 (150)
Cuivre	8,75	17	390 (2 700)	220 (32 000)	120 (170)
Métaux ferreux	7,20-7,85	12-16	33-52 (230-360)	160-1400 (2 400-200000)	90-270 (130-390)
Plomb	11,35	30	35 (240)	17 (2 500)	14 (20)

**Tableau 1.4** Propriétés des plastiques et des matériaux traditionnels employés en tuyauterie

**1-14 Domain d`utilisation**

Les applications sont nombreuses et intéressantes, on distingue :

- les conduites de transport de pétrole, fuel, gaz, eau potable;
- les conduites de transport de pates cellulosique;
- les conduites de ventilation et de dépoussiérage;
- l`irrigation et le drainage;
- le gainage des câbles.

# **Chapitre II**

## **Etude bibliographique**



## 2-1 Propriétés mécaniques

La description des caractéristiques mécaniques des PE a été largement traitée dans la littérature. Par exemple de nombreuses études se sont consacrées à la caractérisation complète de la courbe de traction uniaxiale et à l'explication détaillée de ses différentes caractéristiques, certaines propriétés telles que le taux de déformation naturel restant encore à bien explorer. D'un point de vue industriel, l'intérêt repose dans l'étude de la rupture des matériaux sous diverses conditions et l'étude portera plutôt sur la description détaillée de toutes les causes de rupture et leurs origines.

**Kiass et all (16)** ont étudié l'évolution des propriétés mécaniques à travers la paroi d'un tube de gaz en polyéthylène de haute densité. L'idée consiste à préparer des éprouvettes en filament comme le montre la figure (2.1) de dimension  $150 \times 2.1 \times 0.5 \text{ mm}^3$  par chariotage du tube extrudé à partir d'une résine PE 80 par Europlast conformément aux conditions générales de qualité et d'essai DIN 8075. La préparation des éprouvettes a nécessité les critères suivants :

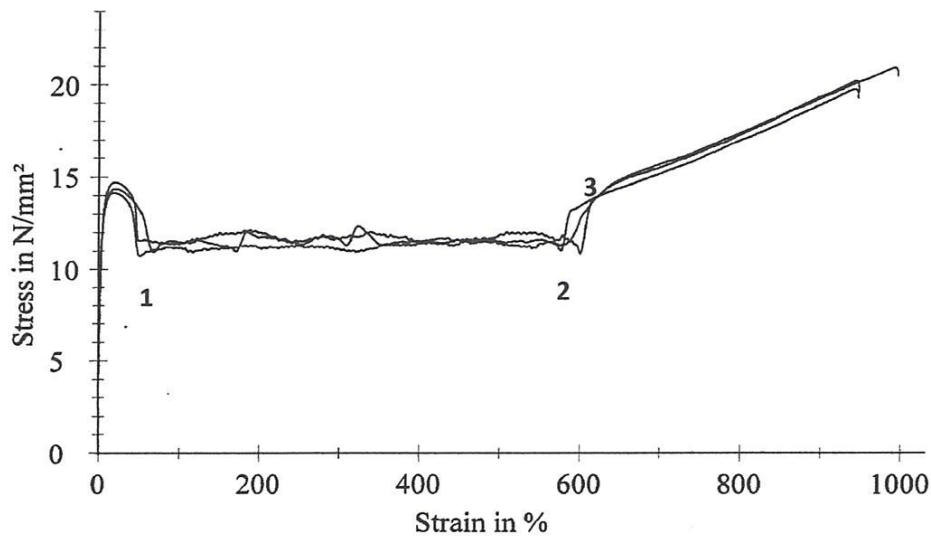
(a) directement extraites à partir du tube pour conserver l'histoire thermomécanique intrinsèque, (b) devraient obéir à une méthodologie de préparation reproductible et (c) les perturbations structurales de la morphologie doivent être minimisées par la réduction des contraintes de contact durant l'opération automatique d'usinage. Plusieurs conditions de coupe ont été essayées en utilisant un programme d'usinage pour obtenir une section de filament la plus régulière possible à travers la paroi tube. La coupe de filament a été réalisée en continu dans la direction radiale à l'aide d'un outil droit en acier au carbone de 2 mm d'épaisseur et à une faible vitesse de rotation de 45 t/min. Pour garder les efforts de coupe à un niveau bas, la profondeur de passe a été limitée à 0,5 mm; et puisque l'usinage est orthogonal, l'avance de l'outil est prise nulle. L'examen microscopique a permis de vérifier l'uniformité globale du filament et de la section rectangulaire.



**Figure 2.1** Filament en polyéthylène haute densité usiné dans la direction radiale d'un tube de gaz de diamètre 125mm

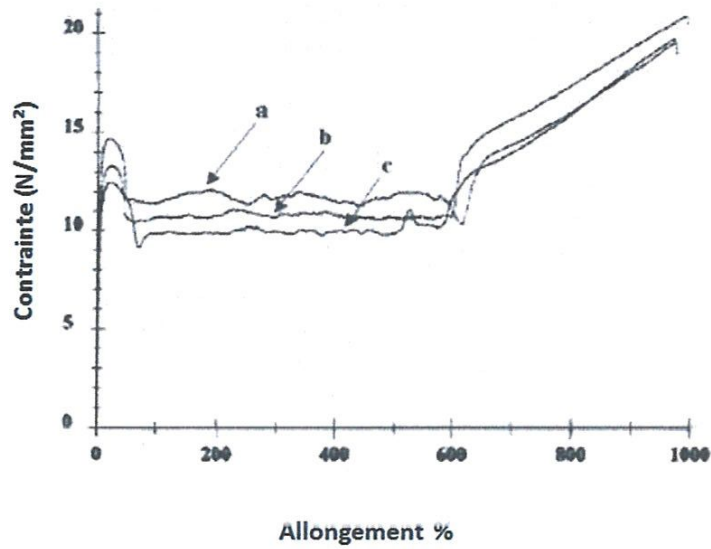
Les éprouvettes ont été soumises à des essais de traction monotones avec une machine d'essai universelle de Type Zwicki 1120 particulièrement conçu pour la caractérisation des polymères avec une cellule de charge de 2 kN. Une vitesse d'essai de 1,66 mm/s a été utilisée.

La Figure (2.2) illustre un ensemble de 3 courbes moyennes ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) typiques délivrée par le rapport du logiciel TestXpert<sup>®</sup>. Cette courbe est typique à celle des polymères semi-cristallins, elle présente Trois zones distinctives caractérisent le comportement : (a) une région élastique linéaire, (b) une région d'étirage à froid montrant plus de 500% de déformation et (c) une déchirure ultime du matériau associée à la rupture finale du durcissement plastique.



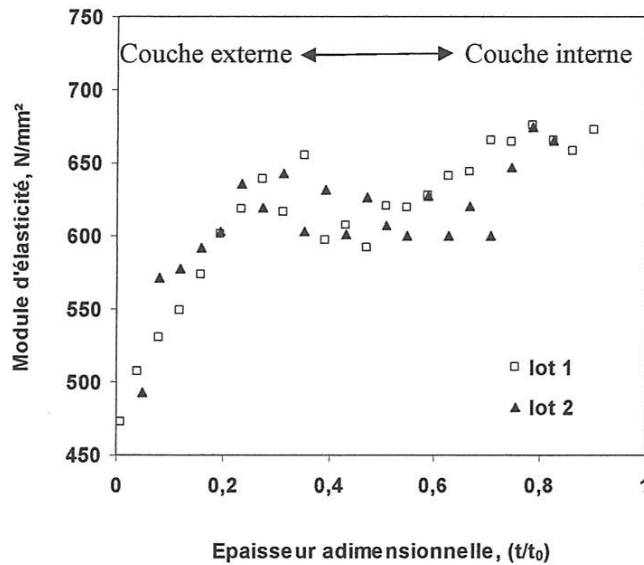
**Figure 2.2** Courbes  $\sigma$ - $\epsilon$  de 3 éprouvettes PEHD appartenant à une même couche obtenues par le logiciel TestXpert. (1) début d'étirage à froid, (2) fin d'étirage et (3) début

Les observations attentives indiquent que l'étirage à froid commence juste après le point d'écoulement et avant le point 1 figure (2.2). Après le point 2, le durcissement plastique a lieu provoquant l'augmentation de la contrainte et les cristallites finissent par se fragmenter en une structure fibreuse fortement anisotrope alignée dans le sens d'étirement.



**Figure 2.3** Comparaison des courbes contrainte-déformation pour les différents couches (a) extérieur, (b) milieu, et (c) couches intérieur d'un tube PEHD.

La figure (2.3) montre les courbes contrainte-déformation de trois éprouvettes appartiennent aux couches interne, moyenne et externe respectivement. Ces courbes présentent la même allure.



**Figure 2.4** Evolution du module d'élasticité à travers la paroi d'un tube de gaz en HDPE pour deux lots identiques.

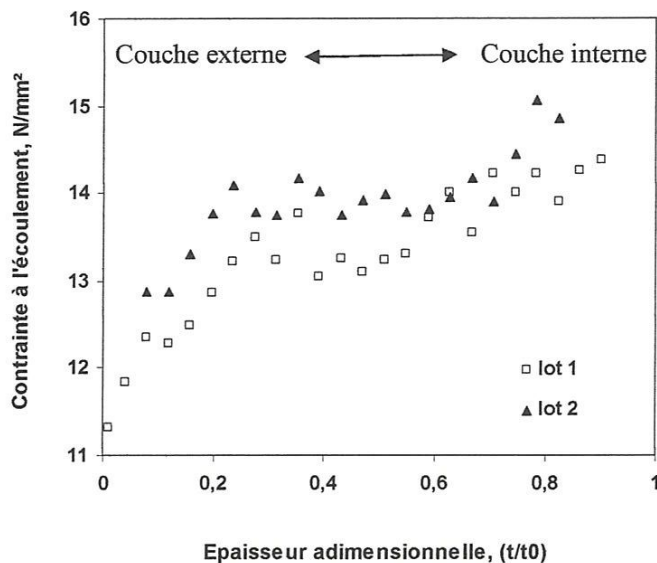


Figure 2.5 Évolution du  $\sigma_y$  à travers la paroi du tube pour deux lots identiques.

Il a été constaté que les valeurs des modules d'élasticité et des contraintes aux seuils d'écoulement augmentent de l'extérieur vers des couches intérieures figures (2.4 et 2.5). Ceci est expliqué par l'évolution de cristallinité puisque le processus de fabrication implique un refroidissement différentiel et aussi une génération de contraintes résiduelles. D'autre part, la relation entre la contrainte d'écoulement et le module d'élasticité est caractérisée par une forte corrélation linéaire croissante.

Les variations du module d'élasticité et de la contrainte d'écoulement en fonction de l'épaisseur :

$$E = 1349.80 \left( \frac{t}{t_0} \right)^3 - 2002.70 \left( \frac{t}{t_0} \right)^2 + 960.87 \left( \frac{t}{t_0} \right) + 475.75 \quad (2.1)$$

$$\sigma_y = 15.55 \left( \frac{t}{t_0} \right)^3 - 23.80 \left( \frac{t}{t_0} \right)^2 + 12.49 \left( \frac{t}{t_0} \right) + 11.53 \quad (2.2)$$

La corrélation régissant cette relation pour le PE 80 est :

$$\sigma_y = 0.0196 E + 1.5575 \quad (2.3)$$



Les figures (2.6) et (2.7) montrent que la déformation au seuil d'écoulement et la déformation à la rupture diminuent en passant de l'extérieur du tube à son intérieur.

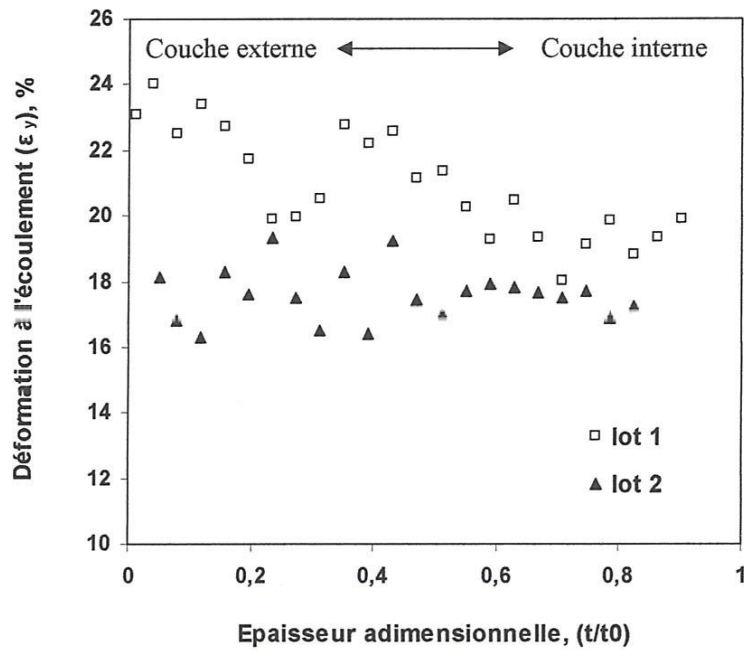


Figure 2.6 Evolution de la déformation à l'écoulement en fonction de l'épaisseur adimensionnelle du tube.

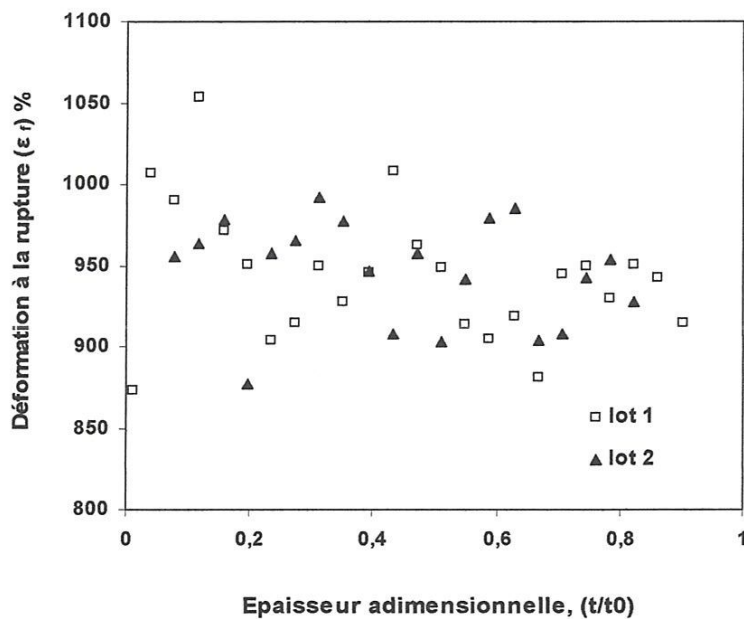
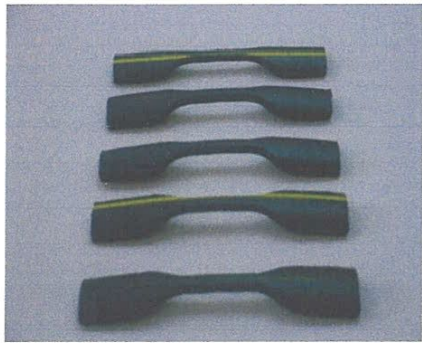


Figure 2.7 Evolution de la déformation à la rupture en fonction de l'épaisseur du tube.

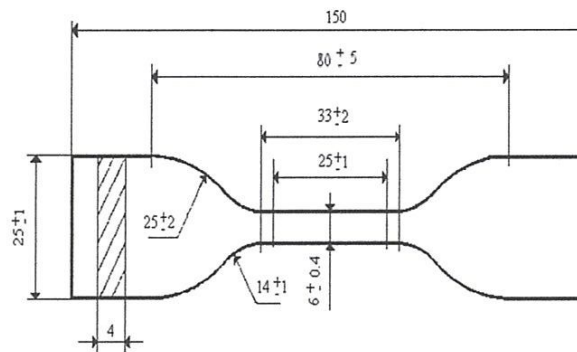
La variabilité des propriétés mécaniques dans un tube doit être intégrée comme une nouvelle évidence pour évaluer la résistance à long-terme et doit être étroitement corrélée avec les

contraintes internes, qui peuvent jouer un autre rôle comme celui des contraintes résiduelles compressives contribuant au renforcement de la structure.

2-2 Dans le but de voir l'effet du cyclage sur le comportement mécanique et la morphologie du en polyéthylène de haute densité. **FATMI L. et all** [17] ont utilisés pour l'essai de fatigue des éprouvettes standards (2.9), découpées à partir de tubes de fabrication algérienne (Sotuplast chlef) (2,8), en PEHD 80 de diamètres extérieur 40mm et intérieur 32 mm, dans le sens parallèle à l'extrusion, sans chauffage ni aplatissement ils ont utilisés un emporte-pièce, conformément à la norme NF T54 – 074.



**Figure 2.8** Forme des éprouvettes.



**Figure 2.9** Dimensions normalisées des éprouvettes.

Des séries d'essais cycliques à vitesse constante de 10 mm/min en déplacement imposé pour différents nombres de cycles allant de 1 à 10000 cycles et pour deux niveaux de chargements 50% et 70% de  $\Delta L_{se}$ , chaque essai de la série est poursuivi par une traction jusqu'à rupture du matériau.

Les figures (2.10), (2.11) montrent le comportement mécanique du PEHD 80 soumis à la traction cyclique pour deux niveaux de chargement respectivement 50% et 70% de  $\Delta L_{se}$ . Ces courbes illustrent que le polyéthylène haute densité a un comportement élastique comme la plupart des polymères pendant le chargement cyclique. Il se traduit par une boucle hystérésis large pour le premier cycle puis, elle se rétrécit au fur et à mesure que le nombre de cycle augmente.

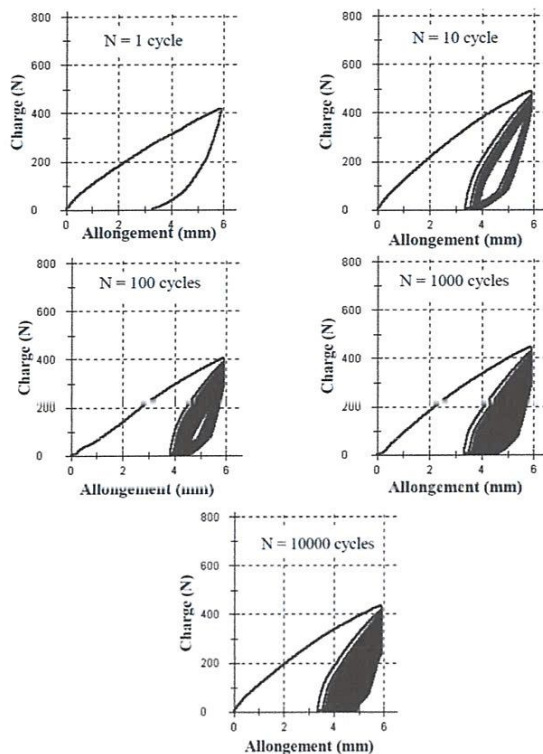


Figure 2.10 Courbes de comportement expérimental charge-allongement du PEHD80 en traction cyclique (Pour  $V = 10 \text{ mm/min}$  et  $N_{\text{chargement}} = 50\% \Delta L_{Se}$ ).

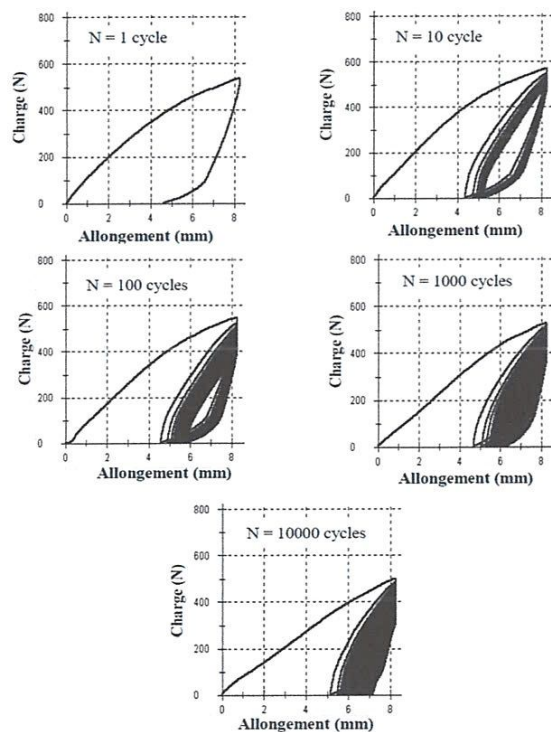
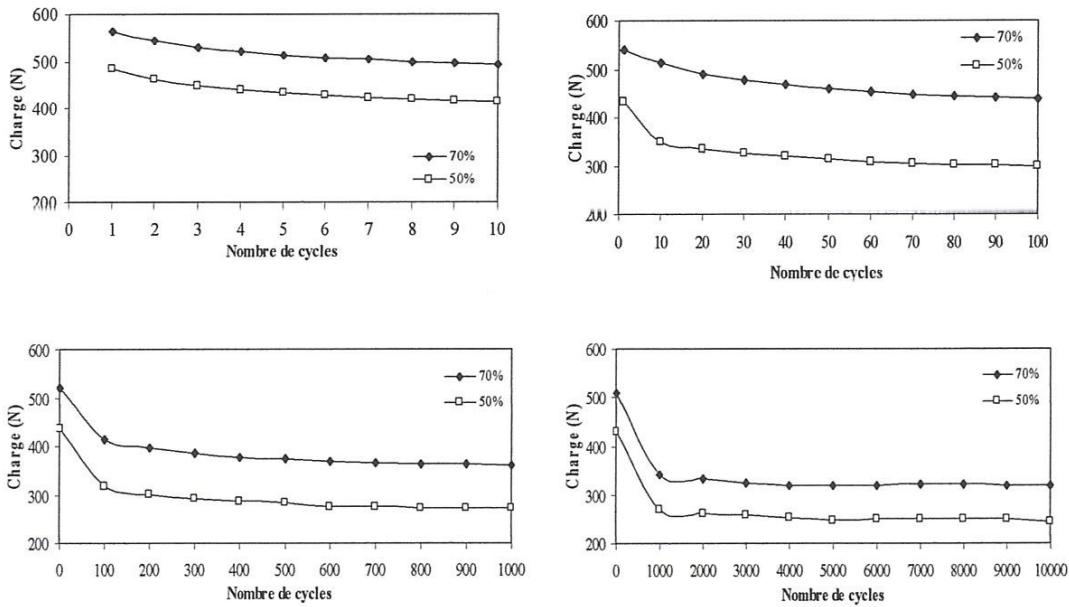


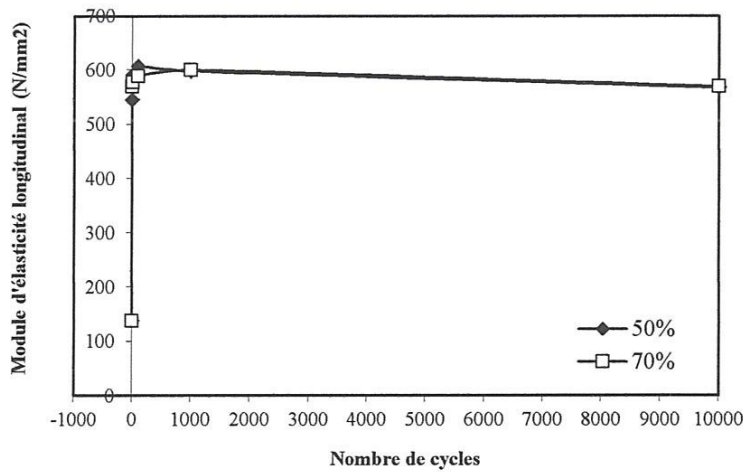
Figure 2.11 Courbes de comportement expérimental charge-allongement du PEHD 80 en traction cyclique (Pour  $V = 10 \text{ mm/min}$  et  $N_{\text{chargement}} = 70\% \Delta L_{Se}$ ).

La figure (2.12) illustre l'évolution de la charge au cours du cyclage en fonction du nombre de cycles. Elle montre que le matériau étudié a subi un adoucissement cyclique dès les premiers cycles, et diminue progressivement pour les cycles suivants. Au-delà de 1000 cycles une stabilité apparente est relevée. Cette constatation est valable pour les deux niveaux de chargement.



**Figure 2.12** Variation de la charge de cyclage en fonction du nombre de cycles du PEHD 80 (Pour  $N_{\text{chargement}} = 50\%$  et  $70\% \Delta L_{Se}$ ).

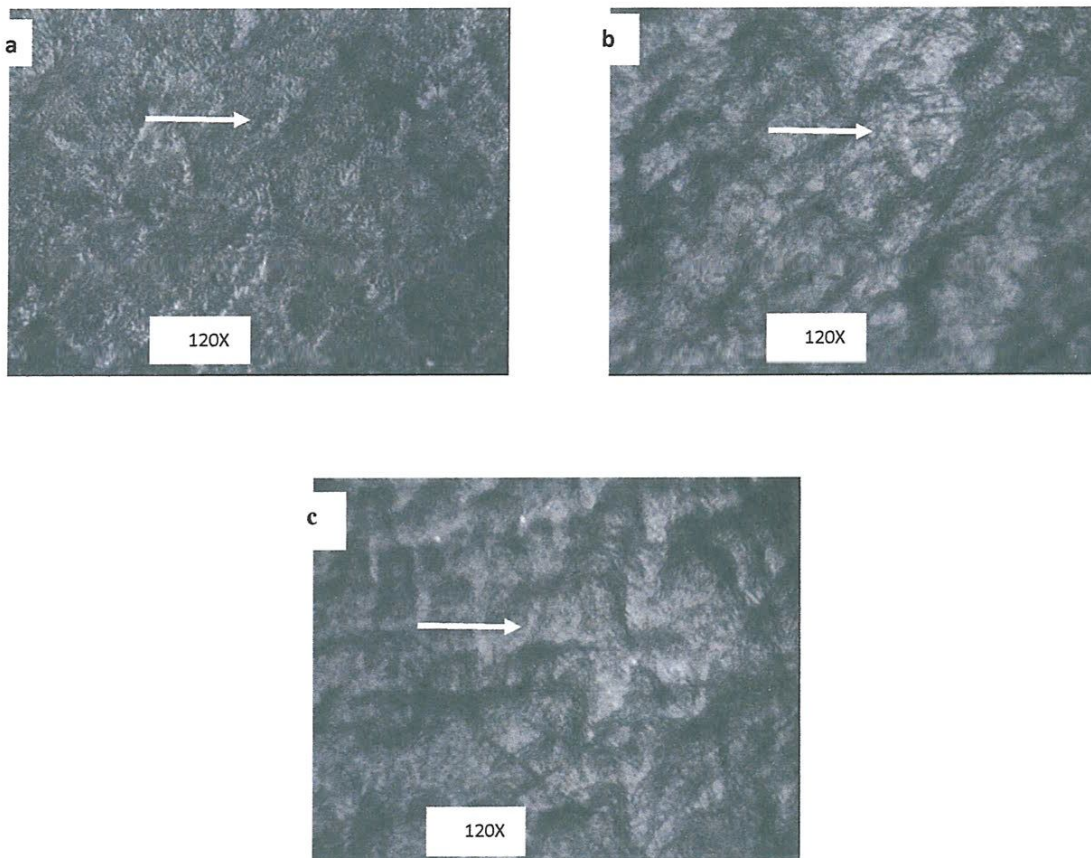
Le tracé du module d'élasticité longitudinal en fonction du nombre de cycles représenté sur la figure (2.13) montre une augmentation de trois fois le module initial dès le premier cycle.



**Figure 2.13** Variation du module d'élasticité longitudinal du PEHD 80 en fonction du nombre de cycles (Pour  $N_{\text{chargement}} = 50\%$  et  $70\% \Delta L_{Se}$ ).



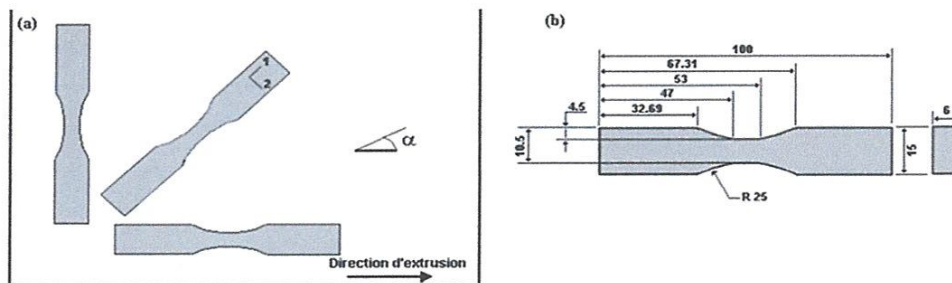
Les observations au microscope optique ont illustré une orientation des lamelles cristallines parallèlement à l'axe de l'étirement, dont le degré d'alignement est fonction du niveau de chargement néanmoins pour les 100 cycles traités.



**Figure 2.13** Structures du PEHD 80: (a) saine, (b) 100 cycles (Pour  $N_{\text{chargement}} = 50\% \Delta L_{Se}$ ).  
(c) 100 cycles (Pour  $N_{\text{chargement}} = 70\% \Delta L_{Se}$ ).

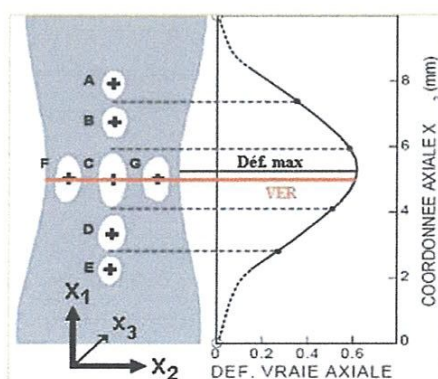
**2-3 Arieby.R [19]** a étudié le comportement du PEHD on grande déformation triaxial simultanément en tenon compte des effets d'endommagement l'évolution du volume et l'anisotropie du matériau qui est enfaite un véritable challenge du point de vue expérimentale il a opté pour une technique de vidéo traction utilisant 7 taches en dédoublant chaque essai, ce qui permettait de ne faire aucune hypothèse a priori sur l'éventualité d'une isotropie transverse.

Le PEHD utilisé a été livré sous forme de plaque extrudée de 6 mm d'épaisseur dans laquelle les éprouvettes de traction sont usiné par fraisage, selon différentes direction ( $\alpha=0,30,45,60,90^\circ$ ) par rapport à la direction d'extrusion Figure (2.14), les éprouvette ont été sollicitées après un traitement de recuit a  $120^\circ$  durant 2h pour relâcher les contraintes résiduelles.



**Figure 2.14** Prélèvement des éprouvettes de traction selon la direction  $\alpha$ ; b. géométrie finale des éprouvettes.

La procédure expérimentale a été faite par des essais de traction en grande déformation sur une machine hydraulique de traction équipé d'un système de mesure de déformation sans contact appelé vidéo traction il dispose d'une caméra vidéo interfacé a un pc et monté sur un pied motorisé, et un logiciel informatique permettant le traitement en temps réel de l'image la méthode permet d'imposer une déformation et une vitesse de déformation axial et de mesurer en temps réel les déformations transversal, les déformation et la contrainte vraies sont estimées au cour de la sollicitation. La méthode des 7 taches a été appliquer en marquant 7 tache d'encre sur la face de l'éprouvette, 5 selon l'axe 1 de l'éprouvette et 2 sont aligné avec la tache centrale selon la direction transversal de l'éprouvette le but est d'enregistrer la variation de leur distances relative à l'aide du logiciel de traitement d'image qui estime la déformation axial et transversal et enregistre à la même fréquence la force appliquée pour déterminer la contrainte axiale vraie en temps réel Figure (2.15).



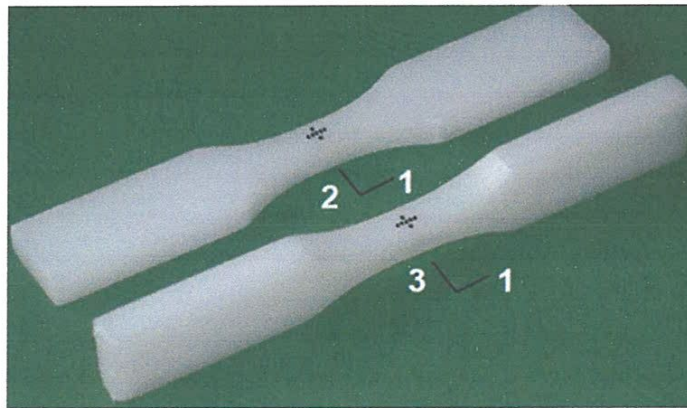
**Figure 2.15** Interprétation schématique des 7 taches

Différentes séquences de chargement sont appliquées, principalement en traction jusqu'à des niveaux de déformation de l'ordre de  $\epsilon = 2$ . Tous les essais ont été menés à  $23^\circ$ . Il s'agit notamment d'essais classiques de traction monotone, de charge-décharge-recharge, d'essais

comportant des sauts de vitesse, d'essais cycliques, et de séquences de charge décharge suivies de phase de recouvrance.

La démarche expérimentale prend en compte l'orientation des éprouvettes définies par l'angle  $\alpha$  par rapport à la direction de l'extrusion.

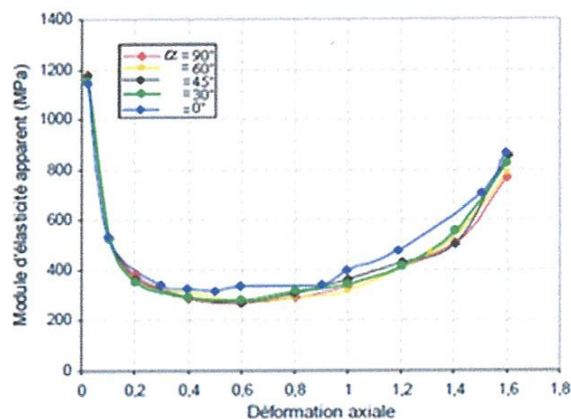
La technique de 7 taches est réalisé pour une orientation  $\alpha$  donnée, il marque deux éprouvettes identique de sorte qu'il a 7 tache dans le plan (1,2) pour la première, et 7 taches dans le plan (2,3) pour la seconde (Figure 2.16) de cette façon il peut corroborer les donnée obtenu et pour affranchir l'hypothèse très contestable d'isotropie transverse,  $\epsilon_{22} = \epsilon_{33}$  est qui conduit à une estimation erroné de la variation de volume, cette méthode permis aussi de détecter une localisation de la déformation.



**Figure 2.16** Marquage (2x7 tache) des éprouvettes de traction permettant l'estimation des déformations dans les directions 1, 2, 3

L'évolution du module de Young (figure 2.17) apparent en fonction de la direction de prélèvement  $\alpha$ , pour toutes orientations, il y a une forte chute de ce module apparaissant dès le début de la déformation et atteignant  $\frac{1}{4}$  des valeurs initiales vers  $\epsilon \approx 0.5$ . Cette forte chute associée traditionnellement au phénomène d'endommagement est indépendante de l'anisotropie (pour notre matériau). Elle est suivie d'une consolidation significative allant jusqu'aux  $\frac{2}{3}$  des valeurs initiales du module au moment de la rupture.





**Figure 2.17** Evolution du module de Young apparent dans la direction 1 en fonction de la déformation  $\varepsilon_{12}$  pour les différentes orientations d'éprouvettes

Différent mode de déformations peuvent coexister et se développés au sein d'un polymère semi-cristallin sous sollicitation mécanique, ces processus de déformation débouchent rapidement lors de la traction sur une localisation macroscopique (striction). Pour se permettre d'observer les champs de déformations locaux, une morphologie particulière des parties utiles des éprouvettes ont été choisie : rayon de raccordement assez grands, volume utile de  $6 \times 6 \times 6 \text{ mm}^3$ . La déformation se localise dès le début de l'essai dans ce volume complètement recouvert par les 7 taches. La technique vidéo Traction donne accès au comportement vrai et à la variation de volume jusqu'aux très grandes déformations.

L'évolution du module de Young apparent a été étudiée en fonction de la déformation et pour les différentes orientations d'éprouvettes dans la plaque extrudée. Cette raideur apparente présente une première phase de décroissement suivie d'une consolidation important. Cette observation est valable quelle que soit l'orientation de l'éprouvette. De fait cette évolution en (baignoire) ne peut être associée simplement et directement à une variable de dommage, car le phénomène de cavitation (dégradation des propriétés élastique) se superpose le mécanisme d'orientation des chaînes macromoléculaires (consolidation).

# **Chapitre III**

## **Etude expérimentales**



### 3-1 Introduction

Les polymères sont des matériaux durables, mais généralement ils peuvent être exposés à des substances qui les détériorent, et se remplent de manière prématurée.

Les polymères subissent des agressions chimiques de la part de l'environnement et se dégradent, se corrodent. Il est important de vérifier la compatibilité du polymère avec son environnement.

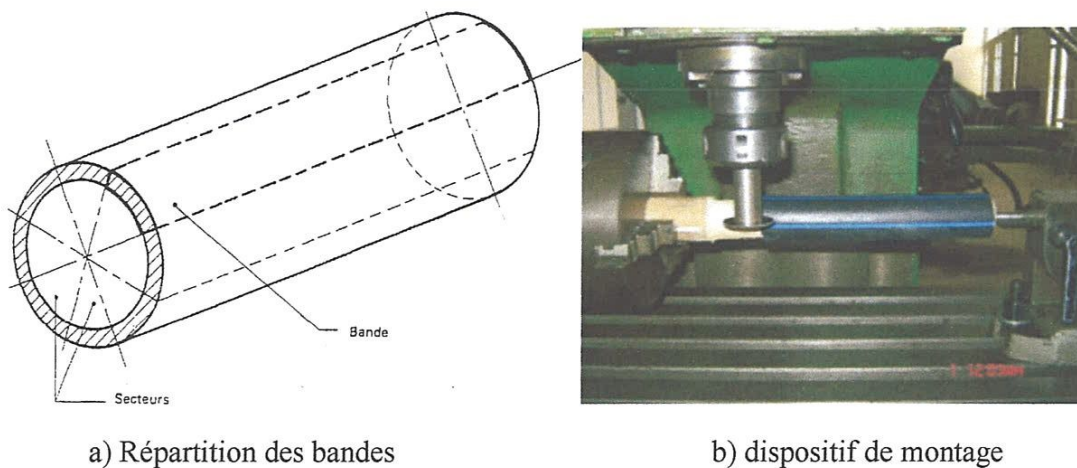
Dans le cadre de notre travail, nous présentons dans ce chapitre une étude expérimentale sur le comportement et les propriétés mécaniques du PEHD 80 utilisé pour la fabrication des tubes de transport d'eau potable en fonction de l'interaction avec des environnements chimiques représentant l'agression chimique des sols d'enfouissement.

### 3-2 Matériaux étudiés

Les matériaux considérés sont des tubes en polyéthylène de haute densité (PEHD 80), de diamètre extérieure 40 mm et intérieure 33 mm destinés à la distribution de l'eau potable supportant une pression nominale en service de 10 bars, ils sont de fabrication algérienne (CHIALI SETIF).

### 3-3 Eprouvettes d'essais

Les échantillons d'essais de traction sont prélevés à partir d'un tronçon de tube d'une longueur de 150 mm conformément à la norme ISO 6259-3 type 2, découpé dans le sens longitudinal, sans chauffage, ni aplatissement de la bande figure (3.1 a), en exerçant une pression sur l'emporte-pièce figure (3.2 a) placé au milieu de la face intérieure de celle-ci. Les dimensions et la forme géométrique de l'échantillon sont reportées sur la figure (3.3).



**Figure 3.1** localisation des bandes et montage de leur obtention.

L'exécution d'opération est réaliser sur une fraiseuse universelle de type ALMO FV 1,5 figure (3.1 b) dotée d'un moteur électrique d'une puissance de 5 KW.

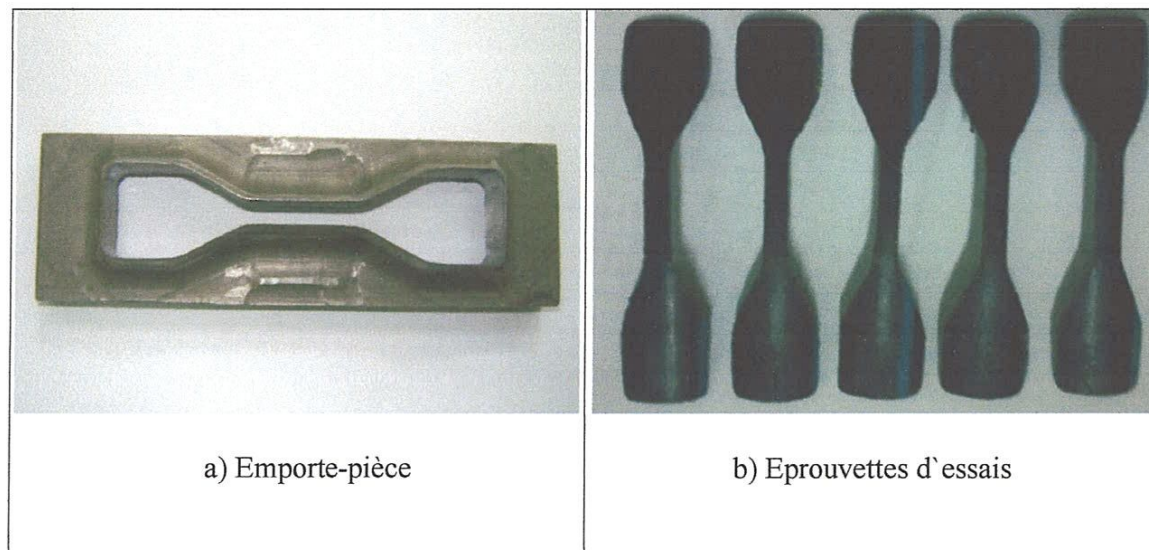
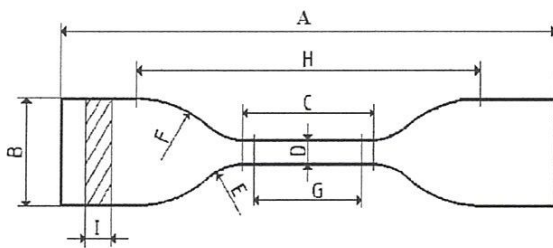


Figure 3.2 Emporte-pièce et épreuves obtenues



A: Longueur totale minimale	115
B: Largeur des extrémités	$25 \pm 1$
C: Longueur de la partie calibrée	$33 \pm 2$
D: Largeur de la partie calibrée	$6 \pm 0.4$
E: Petit rayon	$14 \pm 1$
F: Grand rayon	$25 \pm 2$
G: Distance entre repères	$25 \pm 1$
H: Distance initiale entre mors	$80 \pm 5$
I: Epaisseur	celle du tube mais $\leq 5\text{mm}$

Figure 3.3 Eprouvettes normalisées.

### 3-4 Banc d'essais

Les essais de traction sont réalisés sur une machine d'essai universel de type ZWICK Roelle Z005, d'une capacité de 5 KN, pilotée par un ordinateur dont le traitement des résultats est effectué à l'aide du logiciel testxpert figure (3.4). Ces essais ont été effectués au Laboratoire de Mécanique et Structure de l'université de Guelma.



**Figure 3.4** Banc d'essais

### 3-5 Caractérisation du PEHD 80

Pour caractériser le matériau considéré, une série d'essais de tractions est effectuée en traction statique jusqu'à rupture du matériau à température ambiante, les éprouvettes sont conditionnées selon la norme NFT 51-074, la vitesse d'essai est réglée à 100 mm/min conformément à la norme NFT 51-074.

#### 3-5-1 Résultats obtenus

Les courbes de comportement contrainte-déformation obtenues expérimentalement sont illustrées à la figure (3.5). Le tableau (3.1) regroupe les caractéristiques mécaniques expérimentales déduites des courbes de comportement contrainte-déformation.



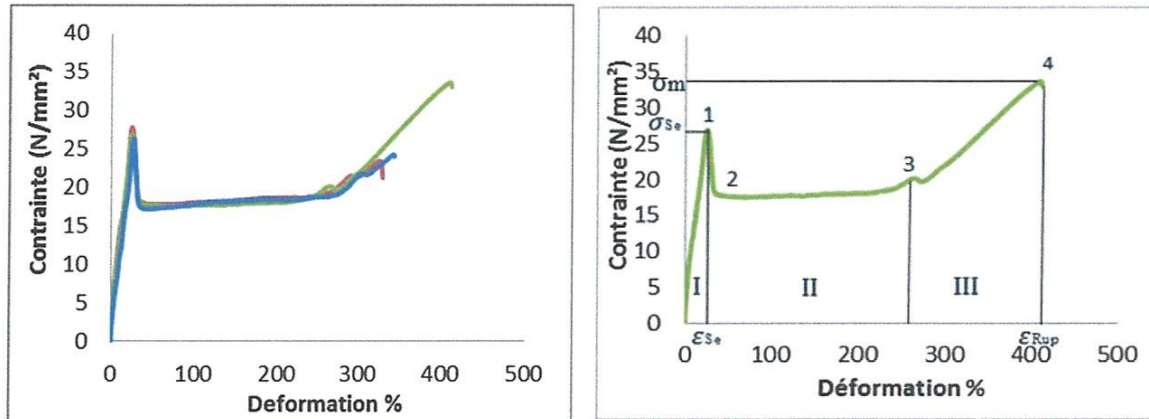


Figure 3.5 Courbes de comportement mécanique expérimental en traction du PEHD 80,  $V = 100$  mm/min.

$\sigma_{Se}$ : Contrainte au seuil d'écoulement;

$\epsilon_{Se}$ : Déformation au seuil;

$\sigma_m$ : Résistance à la rupture;

$\epsilon_{Rup}$ : Déformation à la rupture  $\sigma_m$ .

N°	E (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\epsilon_e$ %	$\epsilon_{rup}$ %
1	226,66	27,45	24,03	405,81
2	214,87	26,35	24,34	399,08
3	148,19	25,73	26,21	339,07
Valeurs moyennes	196,57	26,51	24,86	381,32

Tableau 3.1 Valeurs expérimentales des propriétés mécaniques du PEHD 80.

### 3-5-2 Analyse des résultats

Le comportement mécanique du PEHD 80 sous une sollicitation de traction est présenté par la courbe contrainte-déformation à vitesse constante figure (3.5). Cette courbe est typique à celle des polymères semi-cristallins [20], elle présente trois zones distinctes:

La première zone (I) il s'agit de la déformation élastique réversible du matériau due à la phase amorphe, où la contrainte augmente avec l'augmentation de la déformation d'une façon linéaire au début de la courbe, puis une perte de linéarité jusqu'au point d'écoulement. Qui correspond au seuil de plasticité déterminé par la contrainte d'écoulement ( $\sigma_e$  point 1). Cette perte de linéarité est due à des effets viscoélastiques [21]. Suivie d'une diminution brusque de la contrainte portion (1-2), à ce stade il y a initiation d'une striction se forme jusqu'à stabilisation. La zone (II) est caractérisée par une déformation plastique, qui se produit à contrainte plus au moins constante, ce palier est dû essentiellement à la propagation de la striction le long de l'échantillon jusqu'au taux naturel de déformation et à une réorientation à

grande échelle des chaînes macromoléculaires amorphes et des lamelles cristallines et au glissement des molécules par bandes de cisaillement [22,23].

Avant rupture, la courbe contrainte-déformation monte jusqu'au point 4 (zone III). La déformation redevient homogène grâce à un durcissement structural lié à l'orientation des chaînes macromoléculaires dans le sens de l'étirage et l'augmentation de la fraction fibrillaire du matériau [21].

### 3-6 L'influence du milieu agressif sur les propriétés mécaniques

#### 3-6-1 Procédure expérimentale

L'objectif est de regarder l'influence des milieux chimiques sur les propriétés mécaniques du polyéthylène à température ambiante, cette caractérisation sur la base d'environnements chimiques est utile pour évaluer l'importance de couplage physico-mécanique.

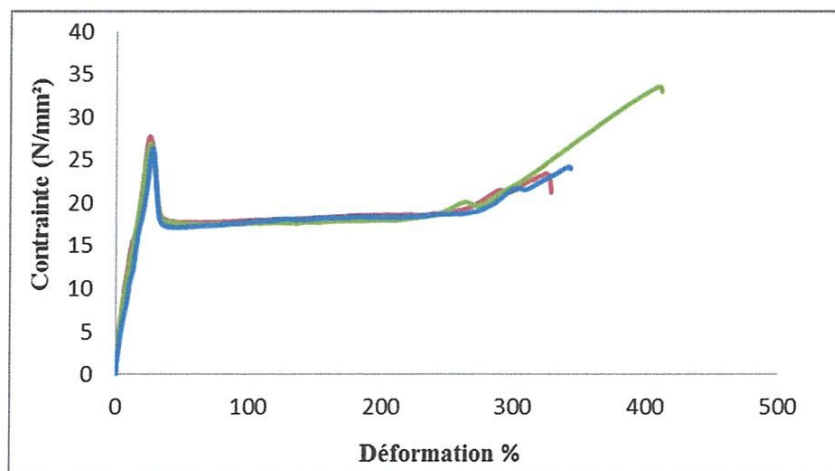
Les éprouvettes sont préparées selon la norme (paragraphe 3.3). Le tableau 3.2 regroupe les différents milieux d'émersions.

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			HCL			HNO <sub>3</sub>			EAU	AIR
Concentrations	1%	10%	20%	1%	10%	20%	1%	10%	20%		
Nombre d'éprouvettes	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

**Tableau 3.2** différents milieux chimiques

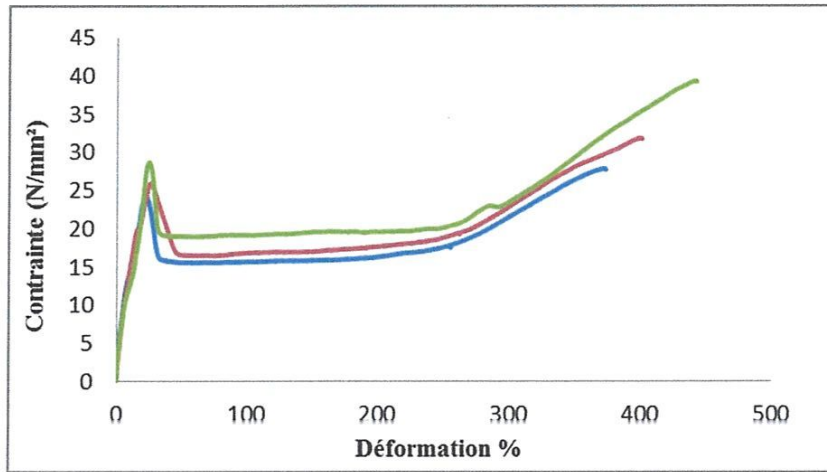
#### 3-6-2 Résultats obtenues

Les courbes de comportement contrainte-déformation en fonction des différents milieux agressifs sont reportées successivement figure (3.6).

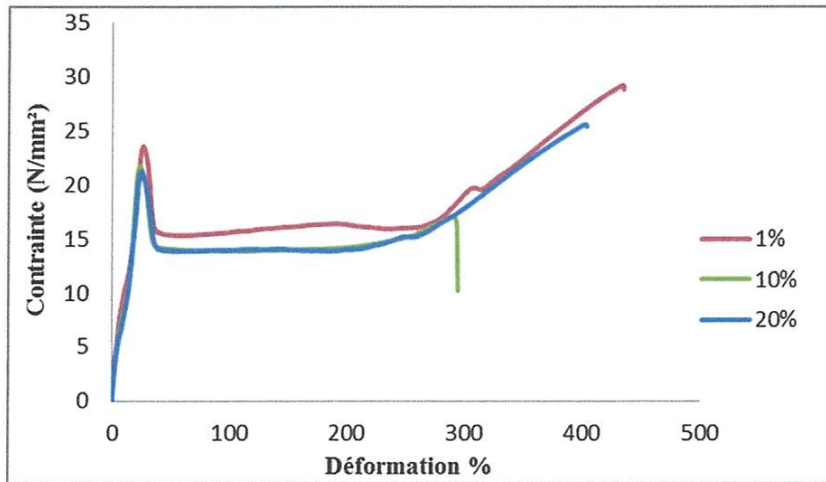


a) Air libre

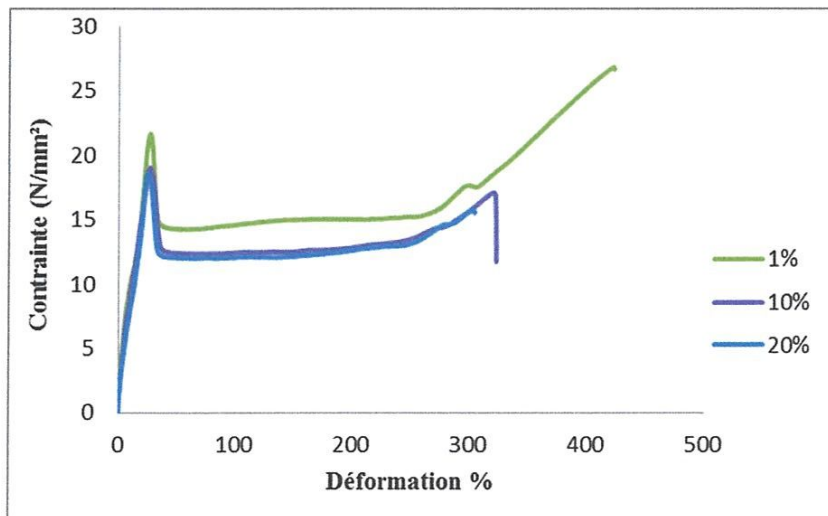




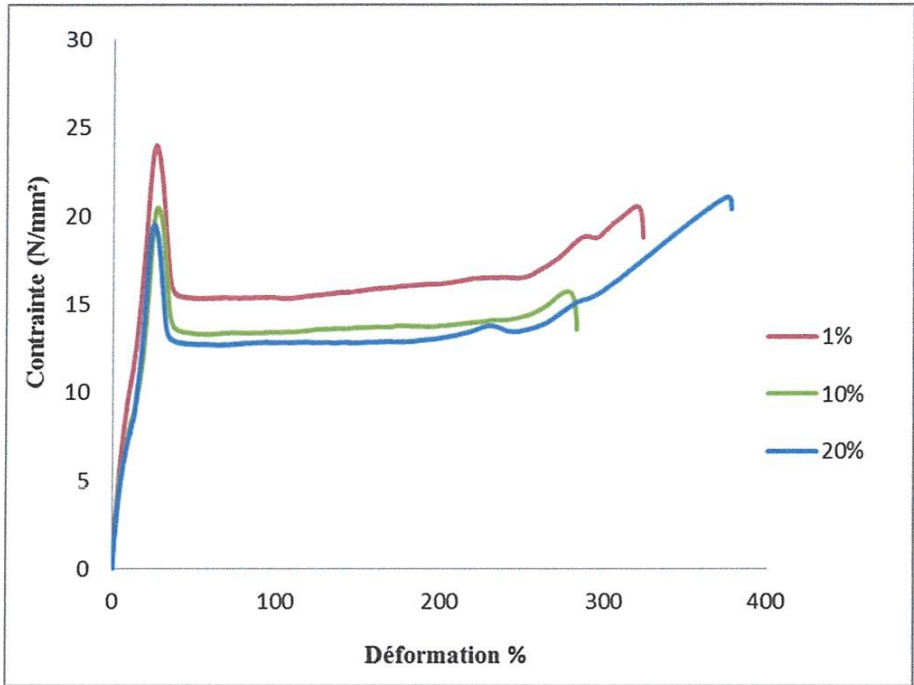
b) Eprouvettes immergées 45 jours dans l'eau distillée



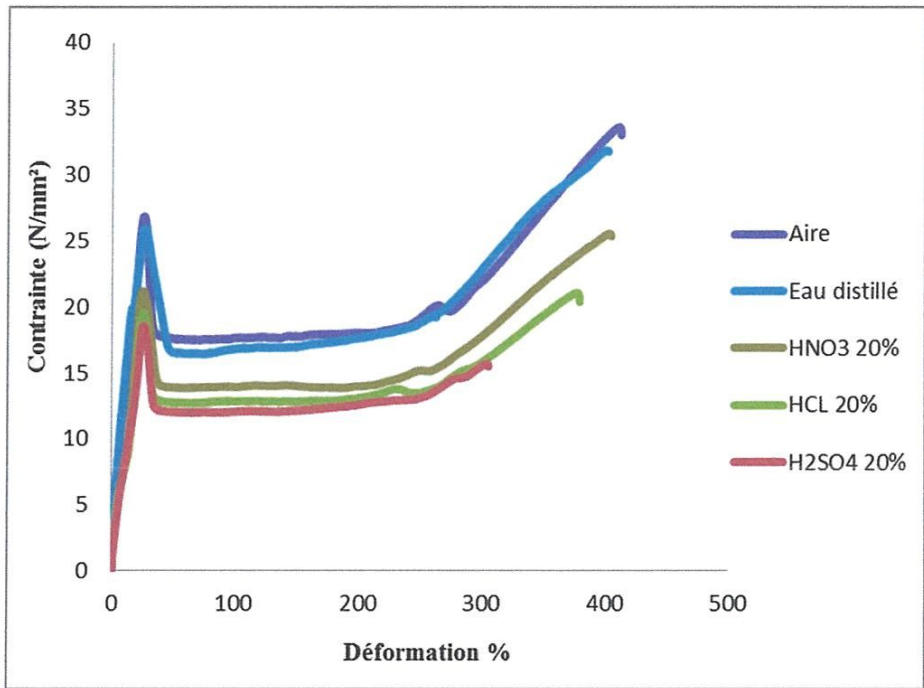
c) Eprouvettes immergées 45 jours dans l'acide chlorhydrique (HCL)



d) Eprouvettes immergées 45 jours dans l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



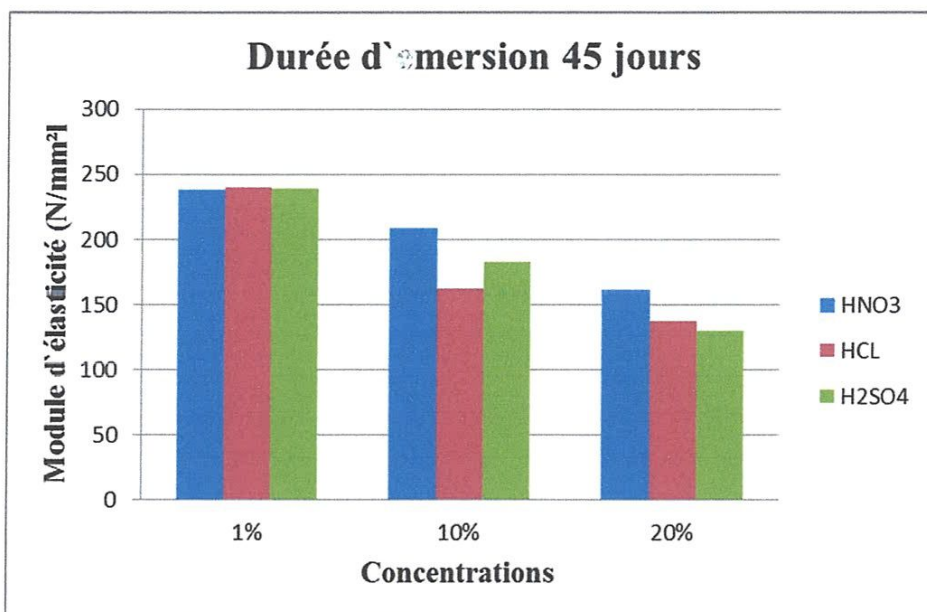
c) Echantillons immergés 45 jours dans l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>)



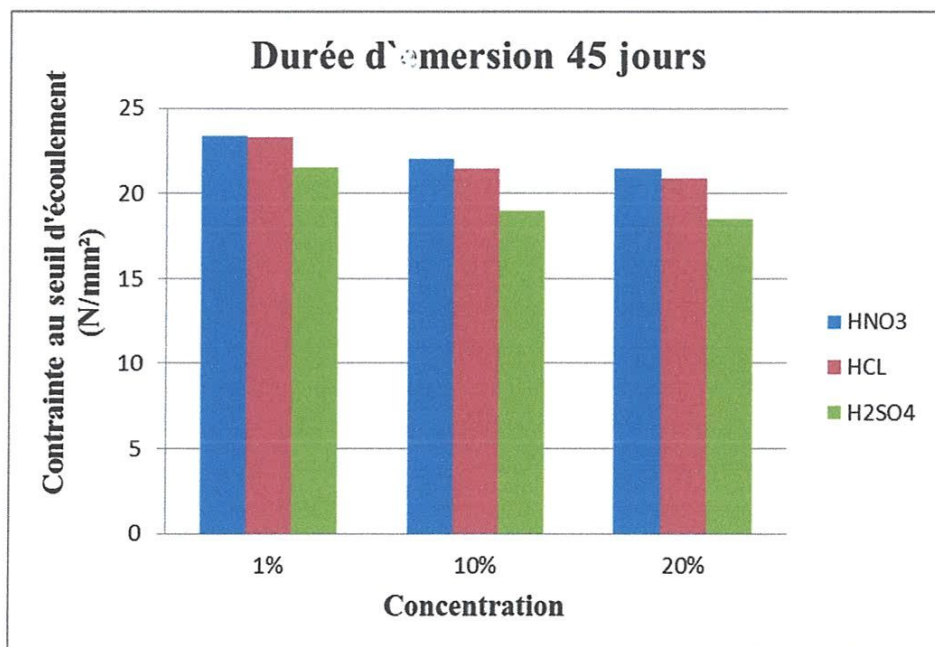
f) Différents milieux

**Figure 3.6** Courbes de comportement mécanique expérimental contrainte-déformation en traction pour différents milieux agressifs

L'étude de ces courbes a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques de ce matériau en fonction de la concentration figure (3.7) et les différents milieux figure (3.8).

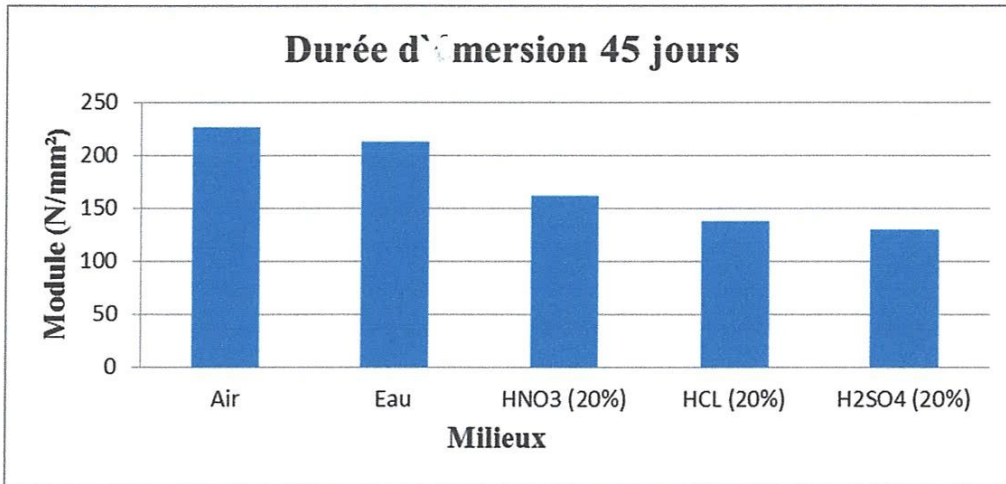


a) Variation de E en fonction de la concentration

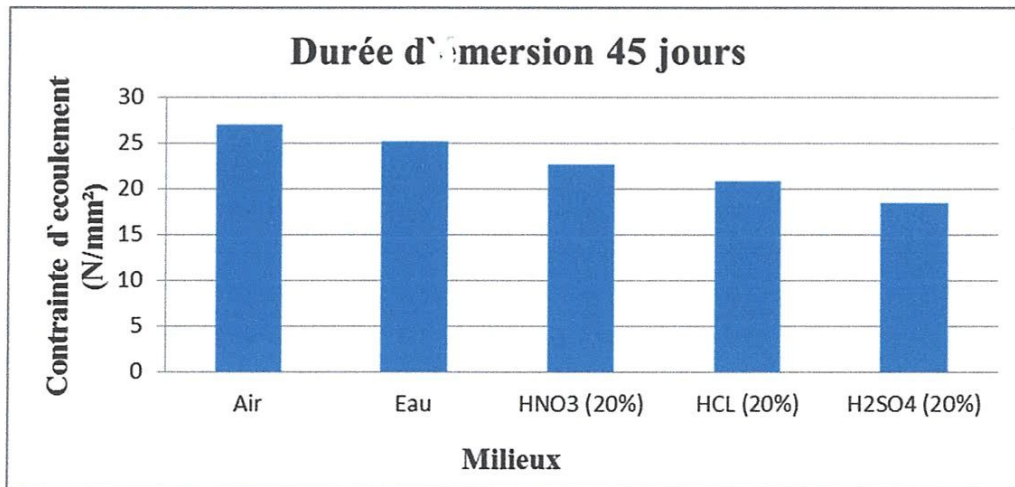


b) Variation de  $\sigma_e$  en fonction de la concentration

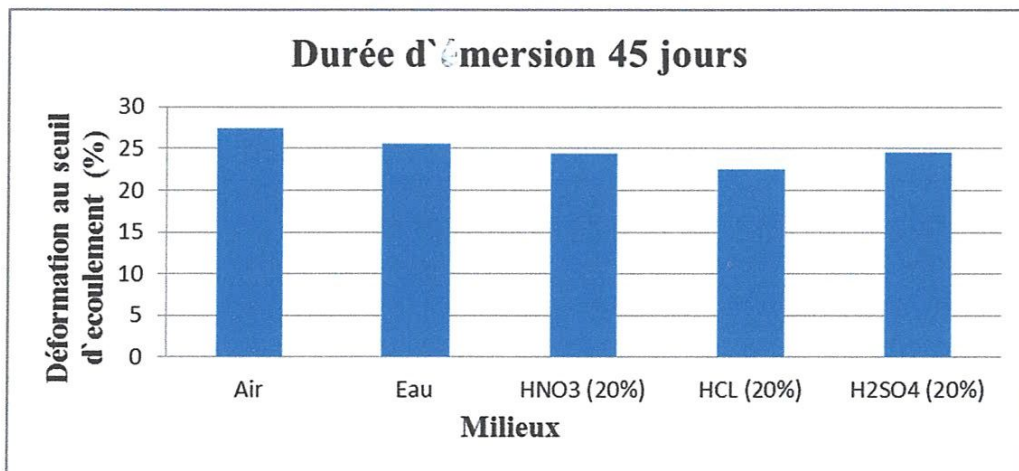
**Figure 3.7** Variation des caractéristiques mécaniques du PEHD 80 en fonction de la concentration



a) Variation de E en fonction de milieu

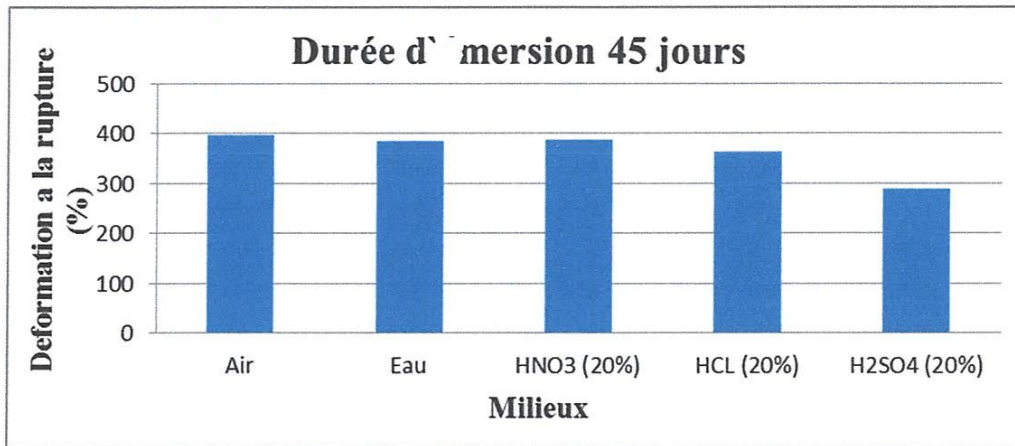


b) Variation de  $\sigma_c$  en fonction de milieu

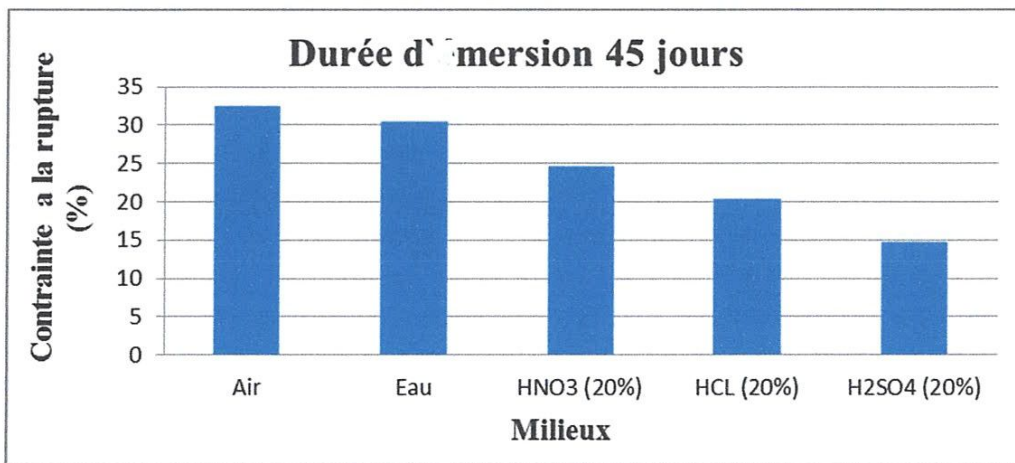


c) Variation de  $\epsilon_c$  en fonction de milieu

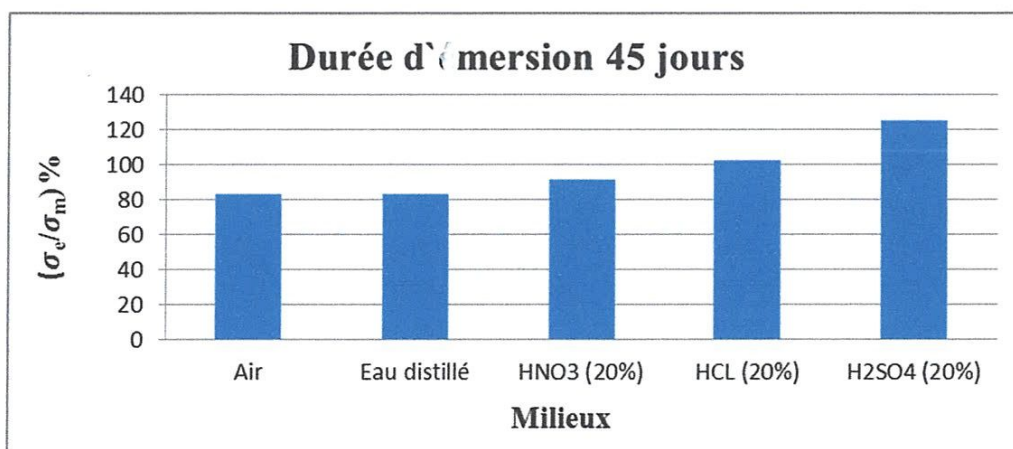




d) Variation de  $\epsilon_{Rup}$  en fonction de milieu



e) Variation de  $\sigma_m$  en fonction de milieu



f) Variation de  $(\sigma_e / \sigma_m) \%$  en fonction de milieu

**Figure 3.8** Variation des caractéristiques mécaniques du PEHD 80 en fonction de différents milieux

### 3-6-3 Discussion

Les courbes de comportement mécanique contrainte-déformation figure (3.6) ont fait apparaître la forte dépendance des caractéristiques mécaniques du polyéthylène haute densité (PEHD 80) aux différentes concentrations des solutions chimiques. Il ressort de ces résultats que les valeurs des modules d'élasticité et des contraintes aux seuils d'écoulement diminuent avec l'augmentation de la concentration figure (3.7). Le dépouillement des résultats expérimentaux montre clairement que les valeurs du module et de la contrainte au seuil d'écoulement dans le cas de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) passent successivement de 239 N/mm<sup>2</sup> à 130,20 N/mm<sup>2</sup>, de 21,51 N/mm<sup>2</sup> à 18,48 N/mm<sup>2</sup> par l'effet de la concentration (1%, 10% et 20%). Cet affaiblissement est affirmé également pour tous les acides néanmoins étudiés. La comparaison inter solution permet la mise au point d'un ordre décroissant de l'influence de chaque acide sur la valeur du module. L'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) représente le milieu le plus dégradant dont la réduction est de 45%, suivi de l'acide chlorhydrique (HCL) 42% et en dernier l'acide nitrique ( $HNO_3$ ) 32%. La résistance du polyéthylène haute densité 80 aux agressions d'acides diminue à mesure qu'augmente la concentration de l'agent agressif.

La superposition des courbes de comportement contrainte-déformation figure (3.6 f) illustre la différence de l'intensité de dégradation et d'attaque du milieu environnant qui se traduit par une chute des propriétés mécaniques du PEHD80. Ces résultats mettent en évidence que la valeur du module d'élasticité est réduite de 42% par rapport aux éprouvettes testées à l'air libre, alors que la contrainte au seuil d'écoulement diminue de 31%. On peut observer aussi que la déformation au seuil d'écoulement et à la rupture varient d'une manière considérable. La matière est rendue moins résistante par l'effet de différents acides par ce qu'elle a subi une dégradation chimique. Cette situation peut être expliquée par le fait que la rupture de liaisons (scission primaire) qui permet ensuite la diffusion de l'oxygène et par conséquent l'altération de la structure et les propriétés mécaniques du matériau [3].

### 3-7 L'effets du milieu environnant sur la masse du PEHD 80

L'intérêt de mesures de la masse tant que moyen de détection de la dégradation des polymères, réside dans la simplicité de la méthode.

#### 3-7-1 Matériel utilisé

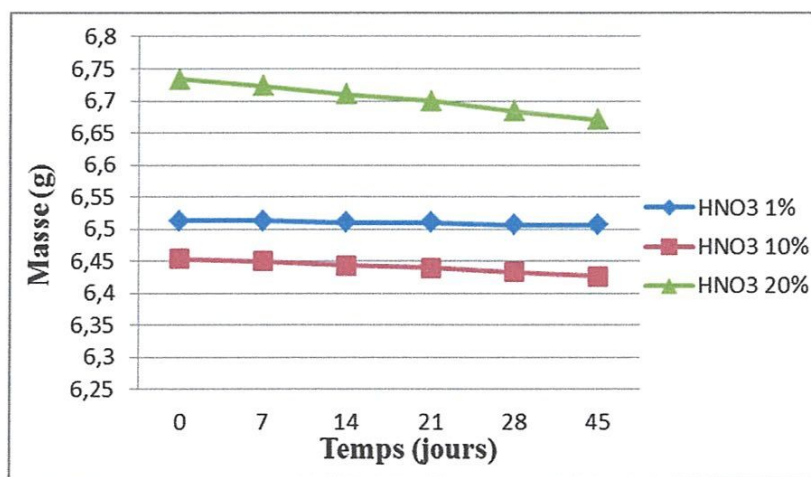
Nous avons utilisé une balance (Soehnle 2873.20 homologuée) de précision de (0,01 g) la taille de plateau: 175 x 155 mm figure (3.9).



Figure 3.9 balance de mesure de la masse

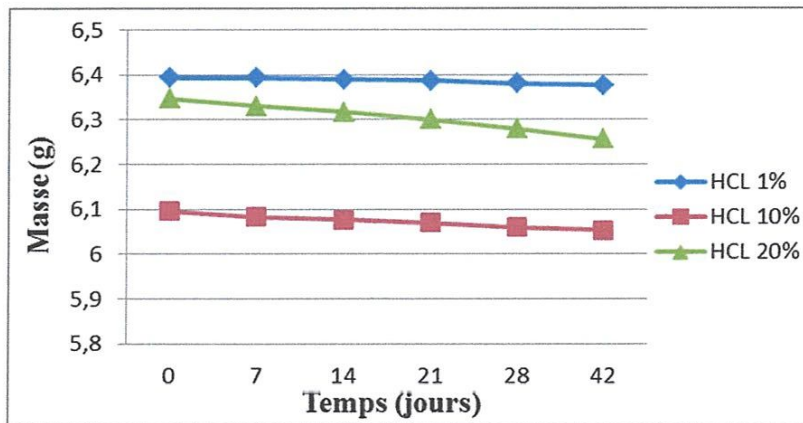
#### 3-7-2 Résultats obtenus

Les courbes de variation de la masse en fonction de la concentration des différents milieux agressifs sont reportées successivement figure (3.10 a, b, c et d)

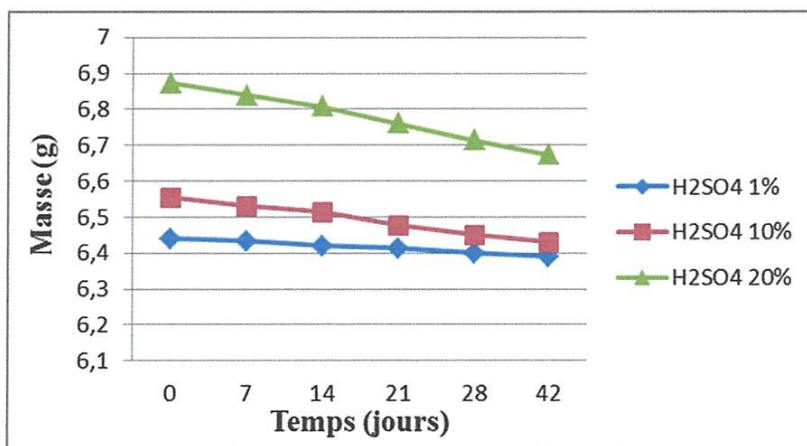


a) Variation de la masse en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ )

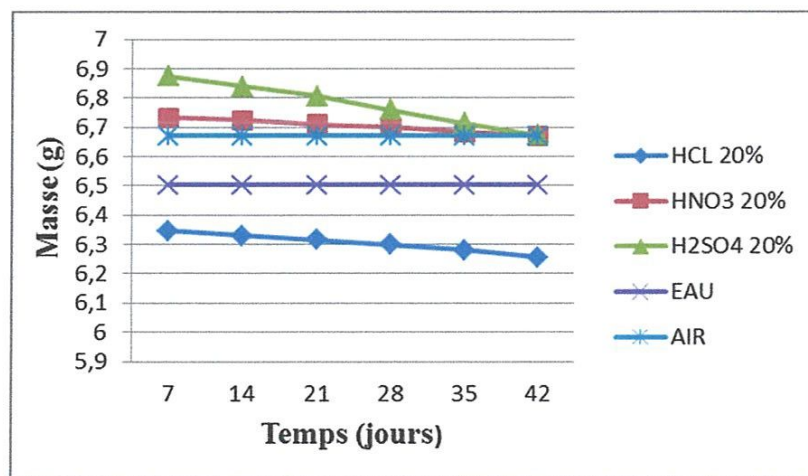




b) Variation de la masse en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide chlorhydrique (HCL)



c) Variation de la masse en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide sulfurique (H2SO4)



d) Variation de la masse des éprouvettes en fonction des différents milieux

Figure 3.10 Influence des différents milieux sur la masse du PEHD 80



### 3-7-3 Discussion

Les courbes de variation de la masse en fonction du temps montrent l'influence de la concentration du milieu d'immersion sur la masse du PEHD 80 figure (3.10 a, b et c). L'analyse des résultats met en évidence une diminution notable de la masse pour les acides de forte concentration (20%). Par contre l'eau distillée et l'air n'ont pas d'effet remarquable sur la variation de la masse.

La superposition des courbes figure (3.10 d) montre clairement que l'acide sulfurique a un pouvoir dégradant dont la réduction est de 2,90% par rapport à la valeur initial de la masse avant immersion. La diminution de la masse peut se produire lorsque le fluide élimine des composants de bas poids [24].

### 3-8 L'influence du milieu tensioactif sur l'état de surface du PEHD 80

La mesure de la rugosité c'est un autre moyen pour voir la dégradation du polyéthylène haute densité destiné à la distribution de l'eau potable dans les différents milieux.

#### 3-8-1 Matériel utilisé

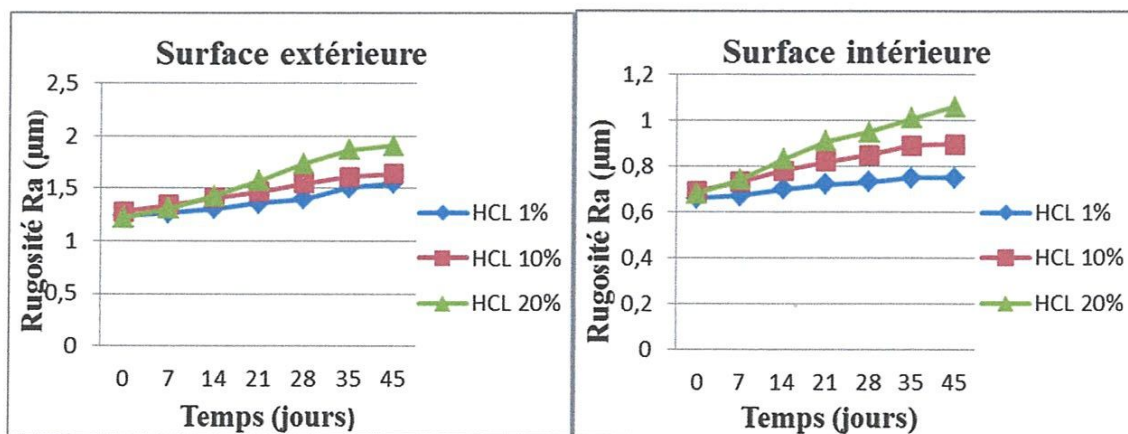
Pour mesurer le critère de la rugosité (Ra), nous avons utilisé un rugosimètre (2D) SurfTest SJ 201 (Mitutoyo) figure (3.12 a, b, c, et d). Ce dernier est constitué d'une pointe en diamant (palpeur), avec un rayon de pointe de  $5\mu\text{m}$  se déplaçant linéairement sur la surface mesurée.



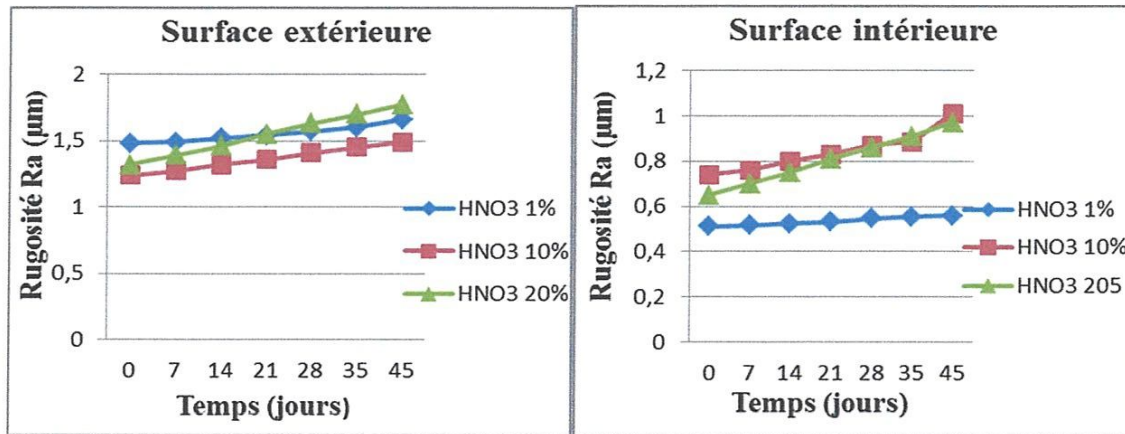
Figure 3.11 Rugosimètre SurfTest SJ 201

#### 3.8.2 Résultats obtenus

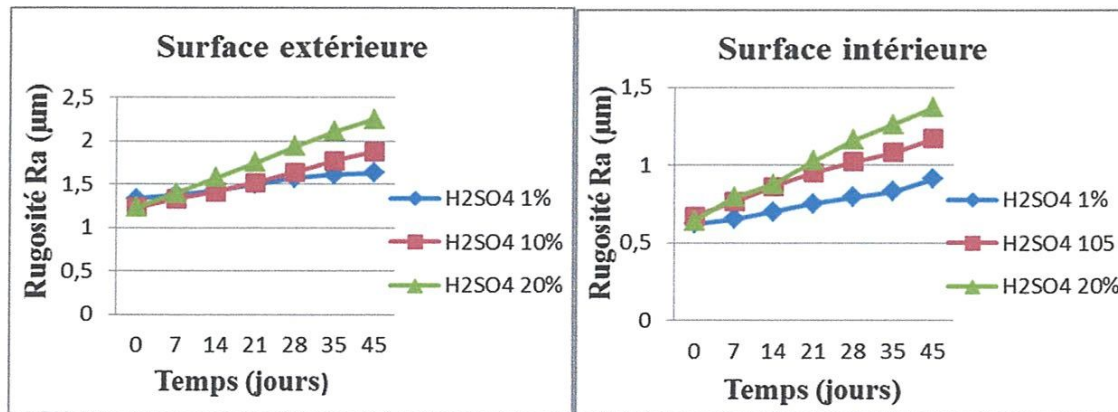
Les courbes de l'évolution de Ra en fonction de la concentration des différents milieux agressifs sont reportées successivement figure (3.12.a, b, c et d).



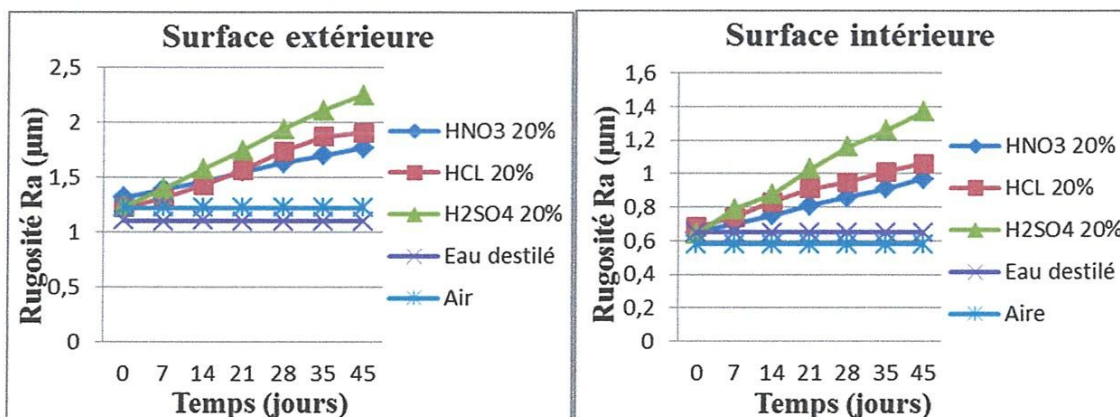
a) Evolution de Ra en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide chlorhydrique (HCL)



b) Evolution de Ra en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>)



c) Evolution de Ra en fonction du temps pour les éprouvettes immergées dans l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)



d) Evolution de Ra en fonction du temps pour les différents milieux

Figure 3.12 Influence des différents milieux sur la rugosité (Ra) de surfaces (extérieure et intérieure) du PEHD 80

### 3-8-3 Analyse des résultats

La figure (3.12) présente l'évolution du critère de la rugosité Ra en fonction des milieux agressifs. On remarque que les acides ont un effet néfaste sur la rugosité des surfaces (extérieure et intérieure) du polyéthylène haute densité 80.

La superposition des courbes figure (3.12.d) montre qu'il y a pas de variation du critère Ra pour les éprouvettes laissées à l'air libre ainsi que celles immergées dans l'eau distillée. Par contre une augmentation notable du Ra pour les acides à forte concentration. On peut enregistrer aussi que la surface extérieure est la plus affectée par les acides dont la dégradation est de 78% par rapport à la surface intérieure 48%.



# **Conclusion Générale**

Cette étude s'est située dans le cadre de la contribution à la connaissance du comportement mécanique expérimental d'un polymère semi-cristallin soumis à des sollicitations de traction et aux différents milieux agressifs. Le mode de caractérisation le plus courant des propriétés mécaniques des matériaux est l'essai de traction normalisé à vitesse d'allongement constante.

Le comportement mécanique du PEHD 80 soumis à une sollicitation de traction à vitesse constante présente des courbes contraintes - déformations typiques à celles des polymères semi -cristallins.

Etude de l'influence des différents milieux a montré que les environnements contenant des acides affectent négativement le comportement mécanique du PEHD80. Les acides à forte concentration attaquent chimiquement les PEHD et provoquent une dégradation sensible en termes de propriétés mécaniques, de masse et de rugosité. Par contre l'eau distillée et l'air libre n'ont aucun effet notable néanmoins pour les 45 jours de contact.

Le classement des acides d'après le degré d'agressivité, on peut conclure que l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) montre beaucoup d'influence sur les propriétés mécaniques du polyéthylène haute densité par rapport aux autres acides. On observe une augmentation de l'endommagement dans le cas de ce dernier, où le module d'élasticité est réduit de 42%, la déformation à la rupture 27%, une diminution de la masse de 3% et une augmentation de la rugosité de 78% de la surface extérieure par rapport à la surface intérieure 48%. Ce qui représente un sérieux problème pour les réaux en polyéthylène.

# **Références Bibliographique**

- [1] Cas recherche Institut Pipeline statistique, distribution and transformation, annual Mileage totals, Chicago 2002 <http://www.gri.org/pub>(accessed January 2002)
- [2] **M. Ishikawa and I. Narisawa**, *Crazing in semicrystalline thermoplastics*, *Advances in polymer science*, 1990, 91/92, p. 353-391
- [3] **J.P.Mercier et E.Maréchal**, *Traité des matériaux, chimie des polymères*, Lausanne,1996.
- [4] **Wikipédia URL** : <http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9tification>
- [5] **Technique de l'ingénieur**, « Polyéthylène haute densité PE-HD », A 3315, mise à jour 2000
- [6] **F. VIVIER** Les Polymères, Travaux Pratiques IUT Créteil-Vitry Mesures Physiques (1ère année), Janvier 2006
- [7] **Dessarth A.**, « usinage des matières plastiques des matériaux composites et des élastomères », CETIM, 1996.
- [8] **CHRISTIAN Oudet** «Polymères: Structure et propriétés: Introduction, » Auteur: Edition: MASSON
- [9] **Julien CAZENAVE** Le compromis rigidité/durabilité du Polyéthylène Haute Densité en relation avec la structure de chaîne, la microstructure et la topologie moléculaire issues de la cristallisation. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, 2005, 134 p.
- [10] **Technique de l'ingénieur**, «Introduction aux plastique et composites en mécanique», B 5 170, mise à jour 2000
- [11] [http://search.4shared.com/q/CCAD/1/TPII\\_SyntheseNylonLP](http://search.4shared.com/q/CCAD/1/TPII_SyntheseNylonLP)
- [12] **Corbet.C.** Memotech matière plastique. Educavivres, 2001.
- [13] **kurz W., Mercier J.P., Zambelli G.**, « Contribution à l'étude du comportement mécanique sous sollicitation cyclique d'un polymère haut densité », Tome, Lausanne 1995
- [14] **Hamlaoui.N.**, « Etude expérimentale de comportement mécanique des polymères PEHD 80 soumis à des sollicitations statique et cyclique », Mémoire de magister, Université de Guelma 08 Mai 1945
- [15] **J.-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobraczynski, M. Piperaud**, *Précis MATIERES PLASTIQUES, structure- propriétés, mise en œuvre, normalisation*, Nathan, Paris, 1984.
- [16] **Bernard Deriquehem**, *Pratique des plastique et composites*, Dunod, 2003.
- [17] **N. Kiass, R. Khelif, L. Boulanouar, K. Chaoui** « Experimental Approach to Mechanical Property Variability through a High-Density Polyethylene Gas Pipe Wall »,2004 DOI 10.1002/app.21713



- [18] **Fatmi.L, A.Rouili, N.Hamlaoui**, « Cyclic loading effect on the mechanical behavior and morphology of the high density polyethylene », ISSN 1392-1207. MECHNIKA. 2007. Nr.5. (67)
- [19] **Araiby.R**, « Caractérisation mécanique et modélisation thermodynamique du comportement anisotrope du polyéthylène à haute densité. Intégration des effets d'endommagement », Thèse doctorat, université de Nancy, 2007.
- [20] **CHRETIEN G., HATAT D.**, « Initiation aux plastiques et aux composites », Lavoisier technique et documentation, 1990.
- [21] **A. Peterlin**, *Molecular model of drawing polyethylene and polypropylene*, Journal of materials science, 1971b, 6(6), p. 490-508.
- [22] **DESSARTHE A.**, « Usinage des polymères », Techniques de l'ingénieur, BM 7 426, Mise à jour 2000.
- [23] **GUIGON M.**, « brochure de cours: polymères M Q 04 », Fond documentaire royale, Compiègne.
- [24] **Technique de l'ingénieur** « Essais mécaniques des plastiques Caractéristiques à long terme et ténacité », AM 3 513, mise à jour 2000

## Résumé

La présente étude entre dans le cadre de la contribution à la connaissance du comportement mécanique expérimental du polymère semi-cristallin (PEHD 80) destiné à la fabrication des tubes de distribution de l'eau potable.

L'identification et la compréhension de l'évolution des propriétés mécaniques et la corrélation des résultats avec le milieu environnant sont désignées comme objectif de cette étude.

Les courbes de comportement mécanique contrainte-déformation sont divisées en trois zones distinctes conformes à celles des polymères semi-cristallins.

Cette étude montre que les acides ont un pouvoir dégradant important qui fragilise le polyéthylène haute densité de grade 80.

Le paramètre masse est introduit pour mesurer la dégradation du polymère vu la simplicité de la méthode.

Le critère rugosité est utilisé pour déduire l'altération en surface des tubes enfouis et montrer la différence en comportement entre la surface intérieure et la surface extérieure dans le milieu acide et neutre.

**Mots clés:** polyéthylène, milieux agressifs, propriétés mécaniques, masse, rugosité.