

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



594



Conception et Production Industrielle

Présenté par : **Kahlassene Mohamed**

Master

=====

Etude du comportement mécanique du PEHD 80

=====

Sous la Direction de :

Dr. KHAROUBI M

Année universitaire 2010/2011

Remerciement



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 Monsieur KHAROUBI Mounir qui a dirigé ce travail avec intérêt et compétences, et qui m'a conseillé tout le long de cette période.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à M^{elle} HAMLAOUI Nacira et M^{elle} KADDECHE Mounia, Enseignantes au département de Génie mécanique pour leurs soutiens.

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

J'adresse aussi mes remerciements au personnel du laboratoire de l'Entreprise nationale Polymed de Skikda, pour m'avoir accueillie, ainsi que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.

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



Introduction

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires.

Le plus souvent synthétiques, quelque fois naturels, ils doivent cet essor à leur large gamme de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers.

C'est la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, qui est à l'origine de cette diversité.

On rencontre les polymères dans les petits objets usuels de la maison, les appareils électroménagers, et aussi en tant que matériaux de construction, en revêtements et peintures, dans les emballages, les pneus, les fibres textiles, les produits médicaux, chirurgicaux, prothèses, produits d'hygiène, articles de loisirs, pièces de structures dans les véhicules de transport, les équipements électriques, les circuits électroniques, les matelas-mousses, les colles. Ils s'infiltrèrent aussi dans l'alimentation, les produits cosmétiques, le ciment, etc...[1].

Les tubes en polyéthylène haute densité font partie de ces produits polymères. Ils sont utilisés dans le transport et la distribution de gaz naturel, ils couvrent 80% des réseaux actuels, leur flexibilité fiabilité des jonctions, et résistance aux agents chimiques assurent des canalisations économiques est sûres, la durée de vie de ces canalisations est supérieur à 50 ans [2].

Les essais mécaniques normalisés (traction, flexion, torsion, fatigue) ont pour objectif de déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux de base ou des joints soudés. La connaissance de celles-ci permet de valider l'utilisation d'un matériau ou d'un assemblage soudé pour une application industrielle donnée [3].

Les essais de traction permettent de déterminer qualitativement si un matériau est fragile ou ductile, rigide ou souple. Ils permettent aussi de quantifier certaines propriétés mécaniques telles que le module d'élasticité, la résistance maximale ou la contrainte et l'allongement à la rupture en traction [4].

L'objectif assigné à ce travail est la contribution à l'étude du comportement mécanique d'un polyéthylène haute densité de grade 80 soumis à des sollicitations statiques, en tenant compte de l'influence de soudure sur le comportement mécanique. Pour atteindre ce but nous avons jugé nécessaire d'organiser ce travail comme suite :

Dans le **premier chapitre** nous avons présenté des généralités sur les polymères point de vue : définitions, propriétés et modes de fabrication des matériaux étudiés.

Le deuxième chapitre est consacré principalement à un certain nombre de travaux de recherche réalisés sur le comportement mécanique expérimentale des polymères.

Le troisième chapitre est réservé à notre contribution à l'étude du comportement est la variation des propriétés mécaniques du PEHD à travers la paroi du tube chargé en traction dans le cas d'éprouvettes longitudinales saines, soudés et transversales.

Table des matières

Introduction.....	8
 Chapitre I : généralité sur les polymères	
I.2 Définition des polymères	11
I.2.1 Les polymères.....	11
I.2.2 Microstructure et morphologie des polymères semi-cristallins.....	11
I.2.3 Exemples de polymères usuels.....	12
I.2.4 Famille des polymères.....	13
I.2.4.1 Le thermoplastiques.....	13
a) Les amorphes.....	13
b) Les cristallins.....	13
I.2.4.3 Les élastomères.....	14
I.2.4.4 Les polymères naturels.....	14
I.3 Fabrication et transformation	14
I.3.1 Le raffinage et le vapocraquage.....	15
I.3.2 Formation des macromolécules.....	15
I.3.2.1 Polymérisation.....	15
I.3.2.2 Copolymérisation.....	15
I.3.2.3 Polycondensation.....	16
I.3.2.4 Polyaddition.....	16
I.3.2.5 Réticulation.....	16
I.3.3 ADDITIFS et ADJUVANTS.....	16
I.3.3.1 ADDITIFS.....	17
I.3.3.2 ADJUVANTS.....	17
I.3.4 Techniques de transformation.....	17
I.3.4.1 L'extrusion.....	18
I.3.4.2 Le calandrage.....	18
I.3.4.3 L'injection.....	19
I.4 Les polyéthylènes.....	19
I.4.1 Polyéthylène haute densité (PEHD)	20
I.4.2 Propriétés est caractéristiques des polyéthylènes hauts densité.....	21

Chapitre II : Etude bibliographique

II.1 Travail de Hamlaoui Nacira.....	25
II.2 Travail Bouteldja Rassim.....	29
III.3 Travail de Arieby Rida.....	32

Chapitre III : Etude expérimentale

III. Procédure expérimentales.....	37
III.1. Matériaux étudiés.....	37
III.2. Le procédé de soudage bout à bout.....	37
III.2.1. Les étapes du soudage bout à bout.....	38
III.2.2. Le banc de soudage.....	38
III.3. Préparation des éprouvettes.....	39
III.4. Banc d'essais.....	41
III.4.1 Déroulement des essais.....	41
III.4.2 Résultats obtenus.....	42
III.4.3 Analyses et discussion des résultats.....	45
Conclusion.....	47
Référence bibliographique.....	49

Chapitre I

Généralités

I.2) Définition des polymères :

I.2.1) Les polymères :

Les polymères sont des macromolécules obtenues par la répétition d'une unité constitutive comportant un groupe d'atomes lié par des liaisons covalentes. Les polymères organique sont synthétisé au départ des monomères qui sont des molécules réactives de faible masse molaires, par polymérisation ou par polycondensation ce qui engendre des structures macromoléculaires.

Les polymères sont généralement caractérisé par une structure microcristalline disperser dans une phase amorphe l'importance de la fraction cristalline varie fortement d'un polymère a l'autre. Ainsi le polyéthylène linéaire atteint un taux de cristallinité supérieure à 85%. En raison de préséance de ramifications le taux de cristallinité du polyéthylène ramifié n'est plus que de 50% environ dans les polymères a chaines rigides, comme le poly(éthylénectéréphtalate) (PET) le taux de cristallinité est de l'ordre de 30 a 40% [4]. Les polymères sont légers et très facile à mettre en forme. Ils sont des isolants électriques et thermiques, rigides et ne supportent pas, la plupart du temps des températures supérieures à 200 C° [5].

I.2.2) Microstructure et morphologie des polymères semi-cristallins:

La cristallinité de ce type de polymères résulte d'empilements réguliers de chaines macromoléculaires. Ces macromolécules ne peuvent être entièrement régulières, l'ordre ne peut être totale et il ya coexistence des phases amorphe et cristalline.

Cette microstructure a d'abord été décrite à l'aide d'un modèle dit de «micelles à franges», dans lequel les zones cristallines sont représentées par des séquences ordonnées ou les chaines sont alignées (**Figure I.1-a**). La taille des zones cristallines, ou celle des micelles, y est estimée à 5-50 nm. Compte tenu de leur longueur, les macromolécules peuvent faire partie de plusieurs cristallites orientées aléatoirement. Un autre modèle représentatif de la structures des polymères est apparu dans les années soixante, confirment ainsi la notion de repliement des chaines (**Figure I.1-b et I.1-c**). On peut distinguer deux configurations: Le repliement serré (**Figure I. 1-b**) et le repliement désordonné (**Figure I.1-c**). Dans ce dernier cas, une même chaine peut donc participer à la fois à la phase amorphe et à la phase cristalline, contrairement au premier mode de repliement ou la chaine participe seulement à la phase cristalline [6].

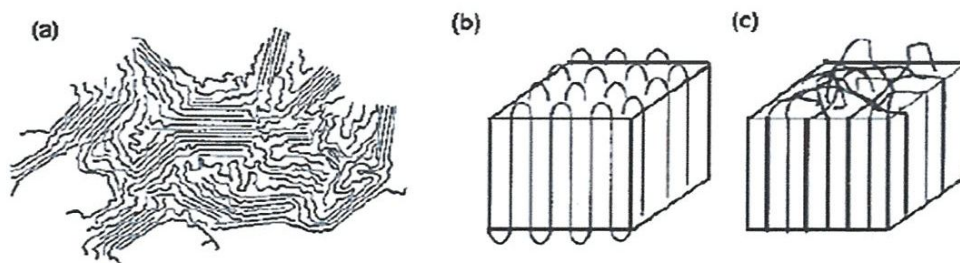


Figure 1.1 Arrangement des chaînes a) micelles frangées, b et c) repliements successifs serrés et désordonnés

I.2.3) Exemples de polymères usuels:

Dans le (Tableau I.1) illustre des exemples usuels des polymères [2].

Polymères usuels	désignation	C. chimique	Domaine d'emploi
polyéthylène	PE	$H_2C=CH_2$ $\left[\begin{array}{c} -C-C- \\ \quad \\ H_2 \quad H_2 \end{array} \right]_n$	C'est le matériau d'emballage par excellence
polypropylène	PP	$H_2C=CH$ CH_3 $\left[\begin{array}{c} -C-C- \\ \quad \\ H_2 \quad CH_3 \end{array} \right]_n$	C'est un plastique dur, on le retrouve dans tous les matériaux de plomberie.
Le polychlorure de vinyle	PVC	$H_2C=CH$ Cl $\left[\begin{array}{c} -C-C- \\ \quad \\ H_2 \quad Cl \end{array} \right]_n$	utilisés pour la fabrication des chaussures synthétiques et des disques
Le polytétrafluoroéthylène	PTFE	$F_2C=CF_2$ $\left[\begin{array}{c} -F-F- \\ \quad \\ F \quad F \end{array} \right]_n$	Ce polymère est plus connu sous le nom de Téflon (anti-adhésif).
Le polystyrène	PS	$H_2C=CH$ Ph $\left[\begin{array}{c} -C-C- \\ \quad \\ H_2 \quad Ph \end{array} \right]_n$	On s'en sert pour les emballages.
Le poly oxyde d'éthylène	POE	H_2C-CH_2 O $\left[\begin{array}{c} -C-C-O- \\ \quad \\ H_2 \quad H_2 \end{array} \right]_n$	On l'utilise en cosmétique
Le poly méthacrylate de méthyle	PMMA	$H_2C=C$ CH_3 $O=C-OCH_3$ $\left[\begin{array}{c} -C-C- \\ \quad \\ H_2 \quad COOCH_3 \end{array} \right]_n$	On l'utilise pour la fabrication de Plexiglas.
Les polyamides	PA	H_2N-CH_2-COOH $\left[\begin{array}{c} O \\ \\ -N-CH_2-O- \end{array} \right]_n$	fabrication de fibres synthétiques

Tableau I.1 Exemple de polymères usuels.

I.2.4) Famille des polymères:

Ces matériaux se répartissent en plusieurs famille, les thermoplastiques, les thermodurcissable, les élastomères est les polymères naturelles, dont la structures, les propriétés physiques, chimique et de mise en œuvre sont très différentes.

I.2.4.1) Les thermoplastiques

Chaque monomère possède deux points d'accrochage. On obtient un assemblage linéaire de monomère (**Figure I.2.a**). Le polymère est symbolisé avec 4 unité monomères, mais en pratique il en possède un beaucoup plus grand nombre, peuvent aller de 30 000 à 2 500 000 unités. La cohésion de la structure est garantie grâce aux nœuds. Au manque de mobilité des chaînes, les unes par rapport aux autres. Le matériau peut être assimilé à un «plats de spaghettis» [7].

Les thermoplastiques sont constitués de macromolécules linéaire ou ramifiée (**Figure I.2.b I.2.c**) qui se ramollissent à la chaleur est pouvons être mise en forme de façon réversible, le recyclage est possible (polystyrènes, polyéthylène) [8].

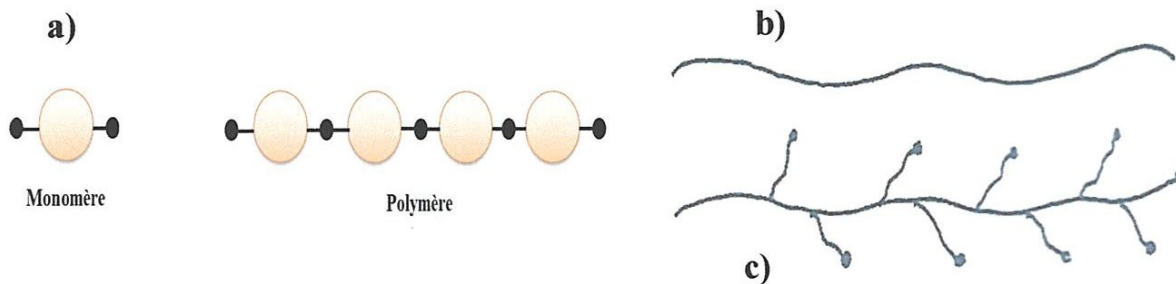


Figure I.2 Macromolécule du thermoplastique a) monomères, b et c) macromolécules linéaire ou ramifiée.

Les molécules des polymères linéaires ont des masses très variables. La dispersion des masses moléculaires et l'organisation de la matière fait que le thermoplastique n'ont pas de point de fusion bien défini. On distingue deux formes de celle-ci :

- **a) Les amorphes** n'ont pas d'ordre moléculaire apparent, bien qu'il existe des amorphes orientés et d'autres non orientés. Ils sont généralement caractérisés par un faible retrait au fluage et sont difficile à étirer (PS, ABS, PMMA, PC, PPO, PPS, PVC).
- **b) 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 [5].

I.2.4.2) Les thermodurcissables

Sont fabriqués (on mélangeant deux constituants (une résine et un durcissant), quand le monomère a au moins de 3 points d'accrochage, on obtient un réseau tridimensionnel et fortement réticulé dont les macromolécules vont dans les trois directions de l'espace (**Figure I.3**). Dans ces matériaux l'énergie de cohésion inter chaînes est généralement beaucoup plus élevée (20-30 KJ/mol) leur structure est quasiment toujours amorphe, en générale une résistance mécanique et surtout thermique nettement supérieure à celle des thermoplastiques [7]. Leur mise en forme est irréversible, le recyclage est impossible (Phénoplastes, polyester) [8].



Figure I.3 Macromolécule d'un thermodurcissable.

I.2.4.3) Les élastomères

Sont des polymères quasiment linéaires, avec des ponts occasionnels, dans lequel les liaisons secondaires sont fondues à température ambiante. Les ponts fournissent au matériau une «mémoire» de forme, qu'il retrouve une fois déchargé [5]. La macromolécule est en trois dimensions réticulées. Le recyclage est impossible (Silicones, Polychlorobutadiène) [8].

I.2.4.4) Les polymères naturels

Le polyisoprène (caoutchouc) est un polymère naturel, de même que la cellulose et la lignine, principaux constituants du bois et de la paille, ainsi que les protéines de la laine et de la soie [5].

I.3) Fabrication et transformation :

La grande majorité des polymères est actuellement élaborée à partir du pétrole selon le procédé suivant (**Figure I.4**) :

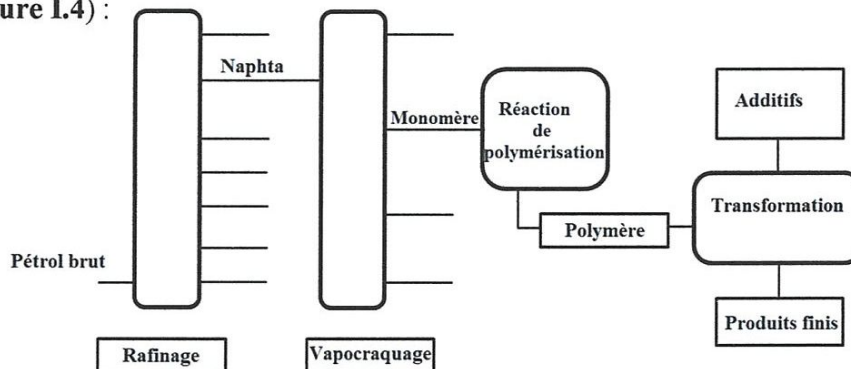


Figure I.4 Etapes d'obtention des polymères

I.3.1) Le raffinage et le vapocraquage :

Le pétrole brut est raffiné et donne différentes fractions après distillation. La fraction d'essences légères, appelée naphte ou naphtha, est isolée pour être ensuite " craquée " (distillée) à la vapeur. Cette opération permet d'obtenir les molécules chimiques indispensables à la fabrication des polymères, les monomères : éthylène, propylène, butadiène. [9]

I.3.2) Formation des macromolécules:

I.3.2.1) Polymérisation:

La macromolécule est réalisée à partir de plusieurs types de petites molécules qui vont être enchaînées les unes aux autres par liaison chimique. Le processus s'appelle la polymérisation. La macromolécule obtenue s'appelle polymère. Si toutes les molécules sont des molécules simples, elles s'appellent monomères (**Figure I.5**).

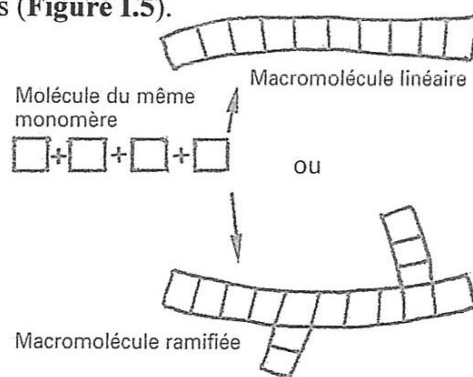


Figure I.5 Polymérisation

I.3.2.2) Copolymérisation

L'enchaînement de deux macromolécules de types différents peut être réalisé. Il permet d'obtenir de nouvelles macromolécules dans lesquelles les éléments de base se trouvent alternés (**Figure I.6**). Le mélange des monomères s'appelle la copolymérisation et la nouvelle macromolécule, un copolymère. La quantité de molécules 1 ou 2 à l'intérieur de la composition permet d'obtenir un matériau très différent [8].

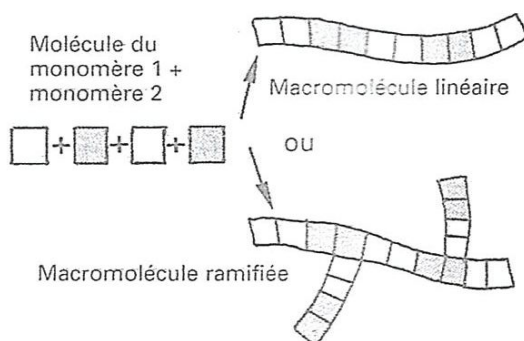


Figure I.6 Copolymérisation

I.3.2.3) Polycondensation

La polycondensation est réalisée plus lentement que la polymérisation, mais l'enchaînement produit des résidus gazeux ou liquides (**Figure I.7**).

I.3.2.4) Polyaddition

La polycondensation, lorsqu'elle ne produit pas de produits résiduels, gazeux ou liquides, elle s'appelle polyaddition (**Figure I.7**) [8].

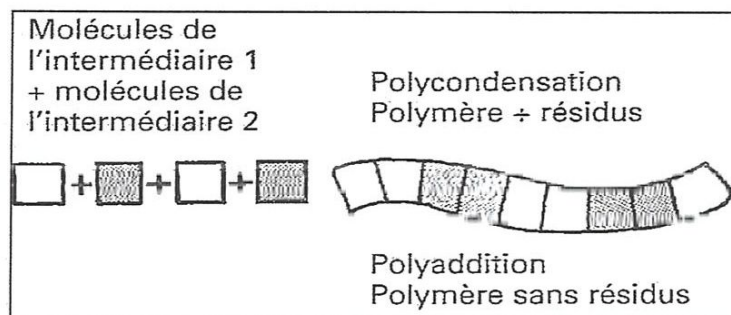


Figure I.7 Polycondensation + polyaddition

I.3.2.5) Réticulation

La réticulation correspond à la formation d'un ou de plusieurs réseaux tridimensionnels, par création de liaisons entre les chaînes macromoléculaires d'un polymère. Les structures réticulées sont généralement préparées à partir de pré polymères linéaires ou ramifiés de faible masse molaire (issus d'une polymérisation partielle), réticulés sous l'action de la chaleur en présence d'un catalyseur/durcisseur [10].

Un polymère réticulé est un polymère dont certaines de ses chaînes sont reliées entre elles par des ponts chimiques covalents.

La plupart des polymères doivent être réticulés avant leur utilisation. En effet, un polymère est un liquide et pour le maintenir en place, il faut le réticuler [2].

I.3.3 ADDITIFS et ADJUVANTS:

Différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés physiques et chimiques de la matière (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures).

Les dosages des différents composants doivent être précis. L'action de la chaleur assure la transformation vers la matière première définitive [8].

I.3.3.1) ADDITIFS

Les additifs entrent pour plus de 10 % dans la composition du produit fini.

- **Plastifiants:** les plastifiants sont des solvants lourds, qui incorporés au polymère de base, modifient sa structure.

Le polymère modifié peut donner un matériau souple et flexible au lieu d'un matériau rigide.

-**Charges et renforts:** les charges et renforts sont utilisés en grande quantité dans le polymère pour diminuer son coût et augmenter la résistance mécanique du Produit fini.

Exemple: fibre de verre.

-**Agents gonflants :** les agents gonflants sont utilisés pour conférer une structure cellulaire – allégée au matériau après sa mise en forme.

La transformation est réalisée sous l'action de la chaleur ou par réaction chimique.

I.3.3.2) ADJUVANTS

Les adjuvants entrent pour moins de 10 % dans la composition du produit fini, parfois moins de 1 %.

-**Colorants et pigments:** les colorants solubles sont introduits dans le polymère, les colorants insolubles sont mis sous forme de dispersion au moment de la transformation de la matière plastique.

-**Lubrifiants:** les lubrifiants sont destinés à faciliter la mise en œuvre de la matière en particulier au cours de l'injection, ils réduisent le frottement entre la matière et l'acier de l'outillage.

Ils sont utilisés entre 1 à 2 % de la matière d'œuvre.

-**Stabilisants:** les stabilisants sont destinés à ralentir ou retarder une transformation de la matière.

Exemple: coloration aux ultraviolets.

-**Fongicides:** les fongicides sont destinés à empêcher l'attaque des polymères par des organismes vivants.

Ils sont utilisés pour les résines cellulosiques et vinyliques plastifiées et l'acétate de vinyle.

I.3.4) Techniques de transformation:

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 [8].

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.

I.3.4.1) L'extrusion:

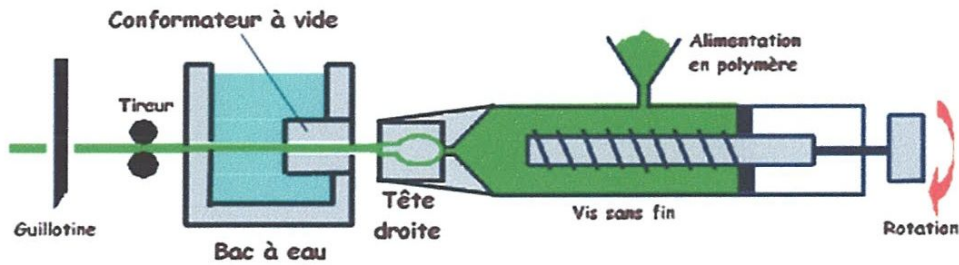


Figure I.8 Extrudeuse

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 "filrière", qui donne la forme finale à la section de l'extrudât. Le produit extrudé est refroidi et coupé en longueur (Figure I.8).

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

I.3.4.2) Le calandrage:

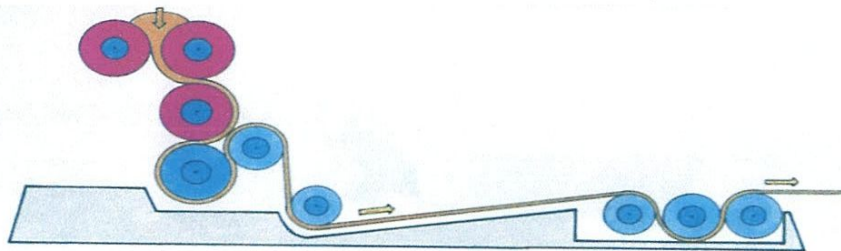


Figure I.9 Calandre

Une autre technique pour la fabrication de feuilles est le calandrage (Figure I.9). 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.

I.3.4.3) L'injection :

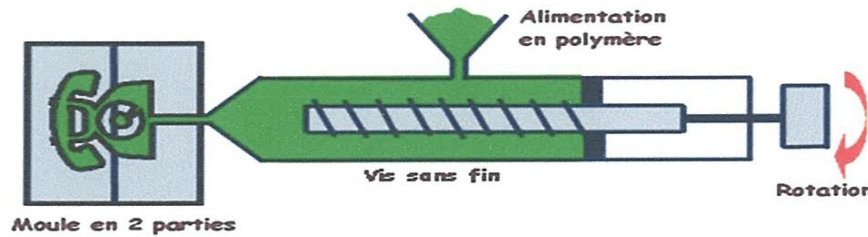


Figure I.10 Presse d'injection

L'injection est une technique de production de pièces détachées en plastique (**Figure I.10**). 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 [9].

I.4) Les polyéthylènes

Le choix du polyéthylène (PE) (en fait des copolymères d'éthylène à faible proportion de butène ou hexène voire d'octène) pour la fabrication des tubes de distribution du gaz découle des nombreux avantages technico-économiques procurés par ce matériau. Le PE est un matériau léger, ce qui facilite les opérations de manutention et de mise en œuvre sur le terrain.

Il possède une bonne résistance à la corrosion, quelles que soient les conditions au sol, ce qui permet d'éviter les surcoûts dus à l'application d'une protection passive ou active. De plus, les systèmes en PE supportent les effets des mouvements du sol dus aux instabilités et aux grandes variations de température. Du fait de leur bonne résistance à la fissuration, les canalisations en PE présentent un degré de fiabilité élevé dans des conditions d'utilisations normales. Dans ces conditions leur durée de vie est estimée à plus de 50 ans à la base de courbe de régression construite à partir d'essais accélérés en pression hydraulique.

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 I.11**), simplement avec la chaîne d'atomes de carbone longue de plusieurs milliers d'atomes.

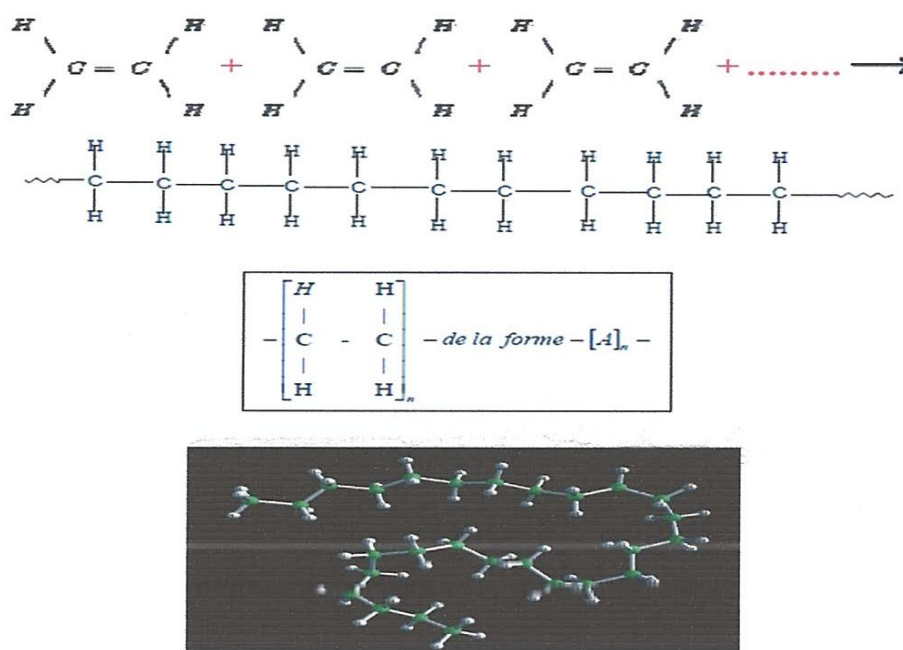


Figure I.11 Structure moléculaire du polyéthylène (tranche de polyéthylène)

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 : CO_2 , CO , N_2 , NH_3 ... peut jouer le rôle d'inhibiteurs de polymérisation, en rompant les chaînes de polymères, au point d'ébullition à -140°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 [14].

Les polyéthylènes existent sous les formes suivantes :

- ✓ Matière première à usage générale : pates, poudres à mouler.
- ✓ Demi-produit: plaque, films et feuilles, fils et fibres.
- ✓ Produit finis: préparés par moulage, compression, injection, extrusion et coulée.

I.4.1) Polyéthylène haute densité (PEHD)

Le polyéthylène est un matériau thermoplastique obtenu par polymérisation de l'éthylène (C_2H_4) menant à des macromolécules composées de la répétition d'un motif monomère (CH_2CH_2), Le polyéthylène à haute densité (PEHD) est un polymère linéaire ne comportant

aucune ramification courte et une fraction de branches longue très faible, les ramifications ont des tailles très dispersées[6].

Le PEHD est obtenue par une polymérisation basse pression, la cristallinité de ce polymère peut atteindre 90%, la densité peut être abaissée par copolymérisation avec de faible quantité de d'oléfines telle que propylène, butène, ou hexène.

Ces modifications accroissent les performances du PEHD en ce qui concerne les applications sous contraintes : récipient moulés, revêtement des câbles [11].

Le PEHD, de motif ($\text{CH}_2 - \text{CH}_2$) et de masse molaire 28g/mole, possède une configuration en zigzag, (**Figure I.12-b**). La phase cristalline est de structure orthorhombique de paramètres $a=0,741 \text{ nm}$, $b = 0,494 \text{ nm}$, $c = 0,255 \text{ nm}$, (**Figure I.12-a**),

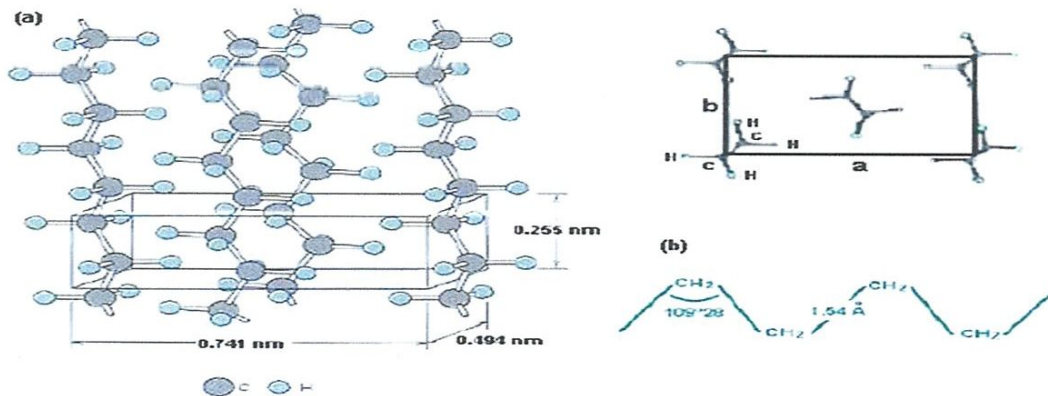


Figure I.12 a) maille élémentaire du PE, b) configuration du PE

I.4.2) 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 illustre les valeurs indicatives des caractéristiques mécaniques, physiques et thermiques d'un PEHD (**Tableau I.2**).

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

Tableau I.2 Propriété du PEHD [2]

Les caractéristiques physico-chimiques importantes pour la technologie des polythènes haut densité sont :

- La masse moléculaire moyenne
- La répartition des masses moléculaires
- Le degré de ramification
- Le degré de réticulation
- La cristallinité (densité)

L'influence respective de chaque un de ses paramètres sur le domaine d'application du PEHD est indiqué par le (Tableau I.3).

Caractéristique physico-chimiques	Applications
• Masse moléculaire élevé	• Tuyauteries
• Masse moléculaire très élevée	• Profilés
• Polymolécularité faible	• Bouteille revêtements des câbles
• Ramification courtes	• Diminution de la rigidité
• Ramification longue	• Accroissement de l'élasticité du polymère fondu
• Réticulation contrôlée	• Revêtement de câble
• Cristallinité (densité)	• Augmentation de la rigidité et dureté

Tableau I.3 Corrélations entre caractéristiques physico-chimique est applications du PEHD [12]

Points forts	Limites d'utilisation
<ul style="list-style-type: none">• Excellente résistance au choc.• Excellentes caractéristique diélectrique.• Bonne tenue thermique et rigidité.• Inertie chimie.• Qualité alimentaire.• Soudage thermique facile.	<ul style="list-style-type: none">• Sensibilité au phénomène de fissuration sous tension (stress-cracking).• Tenue à chaud limitée.• Retrait important au moulage.• Soudage haute fréquence impossible.• Collage très difficile.• Sensibilité aux ultra-violets.

Tableau I.4 Propriétés distinctives-limites d'utilisation [11]

Chapitre II

Etude bibliographique

II.1 Hamlaoui.N à étudier le comportement mécanique sous sollicitation cyclique. 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 de fatigue. Le mode de caractérisation le plus courant des propriétés mécaniques des matériaux est l'essai de traction normalisé à vitesse d'allongement constante. Il est cependant bien connu que lorsqu'un solide est soumis à une sollicitation cyclique, la rupture peut se produire pour des valeurs de la contrainte maximale bien inférieure à la charge de rupture et de même à la limite élastique : c'est le phénomène de fatigue [5].

Des méthodologies de recherche ont été appliquées afin d'étudier les facteurs influents des résultats du comportement mécanique à savoir le mode d'obtention des échantillons d'essai soit par usinage ou coupant le tube en forme de bande de dimension égale avec un plateau diviseur sur une fraiseuse puis usiné la forme de l'éprouvette par une machine à (CN), le deuxième mode consiste à obtenir les pièces par déformation plastique en exerçant une pression sur l'emporte-pièce placé au milieu de la face intérieure du tube, l'usinage nécessite au préalable une optimisation du régime de coupe par une planification d'une série d'expérience basée sur la méthode univariée. Une attention particulière a été donnée à l'influence des paramètres de coupe sur la température dans la zone de coupe de l'éprouvette et sur le fini de la pièce, la température des surfaces ne doit pas dépasser les 40° afin de conserver ces caractéristiques mécaniques pour les essais, les résultats obtenus ont montré que la profondeur de passe est le facteur prépondérant sur la valeur mesurée de la température de coupe, par contre pour le fini de surface, les facteurs déterminants par ordre d'importance sont l'avance, la profondeur de passe et la vitesse de coupe.

Pour pouvoir montrer l'influence du mode d'obtention des éprouvettes sur les résultats obtenus (**Figure II.1**), des prélèvements pour 2 séries de cinq éprouvettes de mode d'obtention différent, usinage et déformation plastique sont sollicités en traction jusqu'à la rupture du matériau.

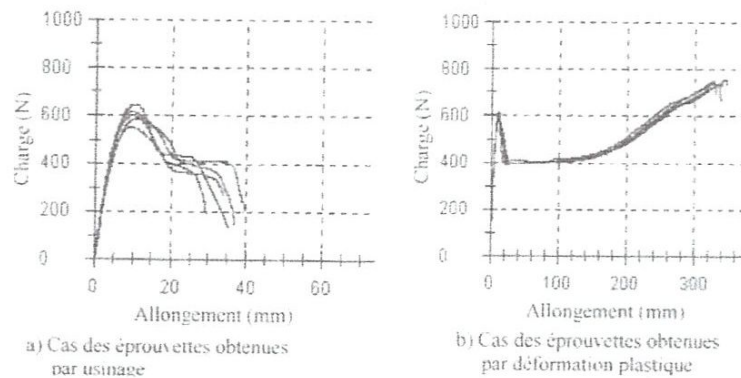


Figure II.1 Courbes de comportement expérimental charge - allongement en traction (Pour 100mm/min).

Les modules d'élasticité sont calculés dans un intervalle de déformation [0.05 - 0.25]% selon la norme ISO 527-1 :1993 (F). Le (Tableau II.1) regroupe les valeurs expérimentales moyennes des caractéristiques mécaniques obtenues.

	Eprouvettes obtenues par fraisage	Eprouvettes obtenues par déformation plastique
$E(N/mm^2)$	188.8	197.022
$\sigma_e (N/mm^2)$	21.89	21.86
$\varepsilon_{\sigma_e} \%$	31.3	31.42
$\varepsilon_{rup} \%$	106.3	1012
$L_{Rup} (mm)$	35.08	333.22

Tableau II.1 Valeurs moyenne des caractéristiques mécaniques.

Le comportement mécanique du PEHD 80 soumis a une sollicitation de traction à vitesse constante présente des courbes contraintes -déformations typique à celle des polymères semi cristallins. L'examen des éprouvettes avant et après essais montre un allongement et un alignement des macromolécules dans le sens de l'étirement.

L'étude de l'influence de la vitesse de chargement sur les caractéristiques mécanique sont aborder pour Cinq valeur de vitesse de chargement allant de 1 a 500 mm/min les résultats obtenues on fait apparaître la forte dépendance des propriétés mécaniques a la vitesse de chargement, cette dépendance est liée au caractère viscoélastique régissent le comportement mécanique des polymères, plus la vitesse augmente le module d'élasticité et les contraintes au seuil d'écoulement accroisse, les courbes (Figure II.2) montrent pour une gamme de vitesse testé, le comportement mécanique de se matériau passe d'un comportement rigide et donc un

module d'élasticité élevé et une déformation à la rupture faible, pour une vitesse de 500mm/min à un comportement ductile son module élastique faible et l'allongement notable. Pour une vitesse de 1mm/min, la nature du comportement est lié au rapport du temps du mouvement propre du matériau et la durer du chargement.

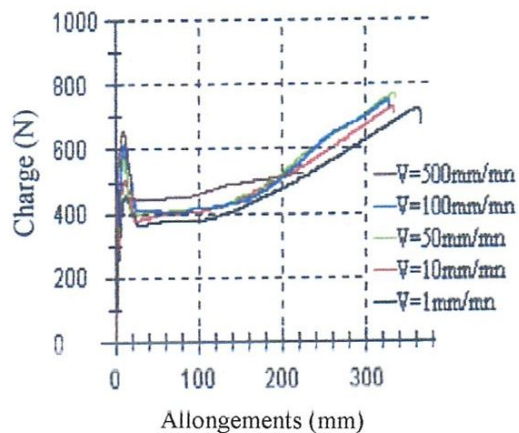


Figure II.2 Courbe de comportement mécanique expérimental charge-allongement en traction pour différentes vitesses, pour $v = 1$ à 500mm/min

La caractérisation cyclique est effectuée dans des conditions de température spécifique ($T=17^{\circ}\text{C}$) à une vitesse d'essai de 10 mm/min en déplacement imposé pour un nombre de cycle allant de 1 à 10000 cycles suivi d'une traction jusqu'à rupture pour trois niveaux de chargements. Les courbes de comportement mécanique obtenus montrent que le polyéthylène haute densité présente un comportement élastique comme la plupart des polymères, traduit par une boucle hystérésis large pour le premier cycle et se rétrécisse pour les suivants, montrant que le matériau a acquis une certaine déformation liée aux glissements des chaînes les une sur les autres et que le matériau a subi un adoucissement des les premiers cycles et décroît progressivement pour les cycles suivants. L'augmentation de l'allongement s'accompagne d'une baisse de la charge de cyclage au moins pour les 1000 premiers cycles, en dépassant ce nombre, une stabilité apparente est enregistrée en terme de charge et d'allongement.

Le cyclage de PEHD 80 a conduit à une augmentation de trois fois le module initial par contre une diminution de la force du seuil d'écoulement et de la force maximale ainsi que les allongements correspondants au seuil d'écoulement.

L'augmentation du niveau de chargement mène à une augmentation sensible de la charge et de l'allongement au cours du cyclage.

Les tracés de l'évolution de la charge en fonction du temps ont montrés trois phases de comportements : la première zone est caractérisée par une diminution rapide de la charge qui

devienne progressive pour la zone II. Par contre la zone III se distingue par une stabilité cyclique. Ces constatations sont valables pour les trois niveaux de chargement.

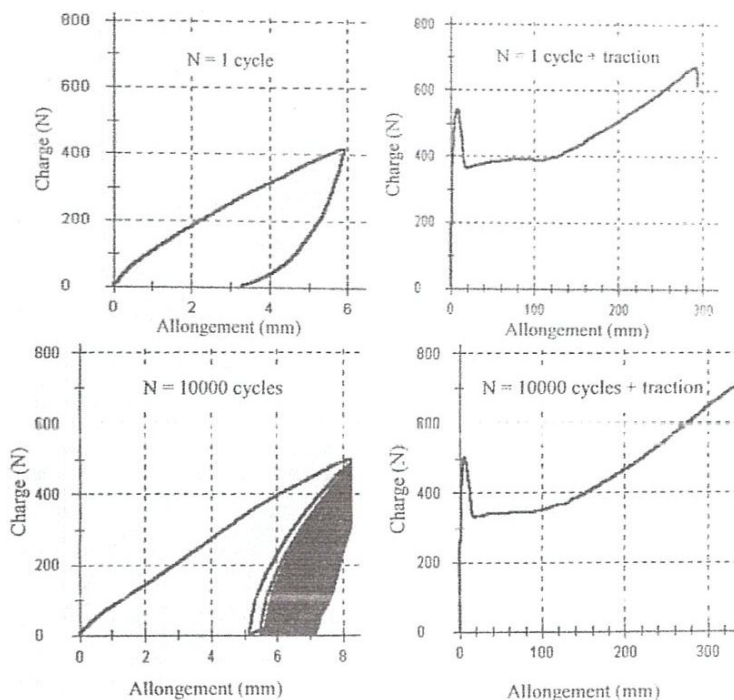


Figure II.3 Courbes de comportement expérimental charge – allongement du PEHD 80 en traction cyclique et statique (pour $v = 10\text{mm/min}$ et $N_{\text{chargement}} = 0.7 \Delta L_{se}$)

Les observations au microscope optique de la structure du PEHD 80 avant et après cyclage pour différents niveaux (Figure II.4), de chargement et différents nombres de cycles ont montrés que les chaînes macromoléculaires s’orientent parallèlement à l’axe de traction, et que le degré d’alignement des chaînes est fonction du niveau de chargement.

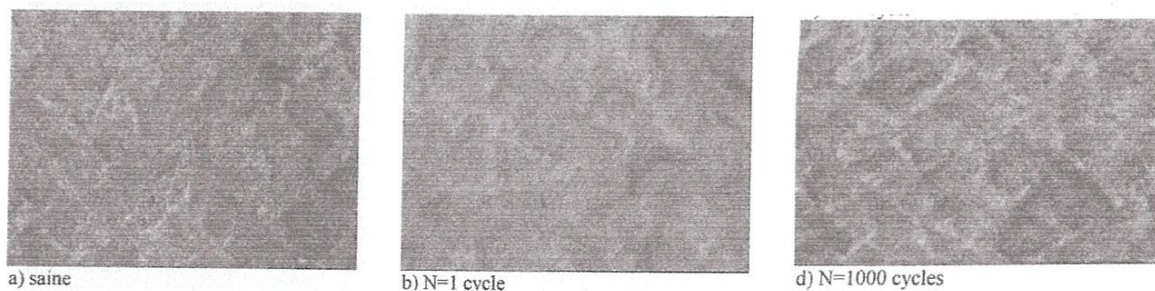


Figure II.4 Structures du PEHD avant et après cyclage.

II.2 Bouteldja.R à étudier le comportement mécanique sous sollicitation cyclique du polymère PEHD, c'est la suite de l'étude entamé par Hamlaoui N. Dans le cadre de la caractérisation du PEHD plusieurs méthodes expérimentales sont faites dans l'intérêt d'avoir des explications de son comportement L'or des différentes sollicitations mécanique.

Le premier essai statique traduit une charge croissante jusqu'à l'écart maximal, les tests sont réaliser sur les échantillons sous température ambiante et à la vitesse d'essai imposé à 2 mm/min. l'analyse des résultats obtenue on été faite sur le graphe pour les éprouvettes entaillées en v de 2 mm de profondeur avec et sans fissures (**Figure II.5**) et (**Tableau II.2**) [2].

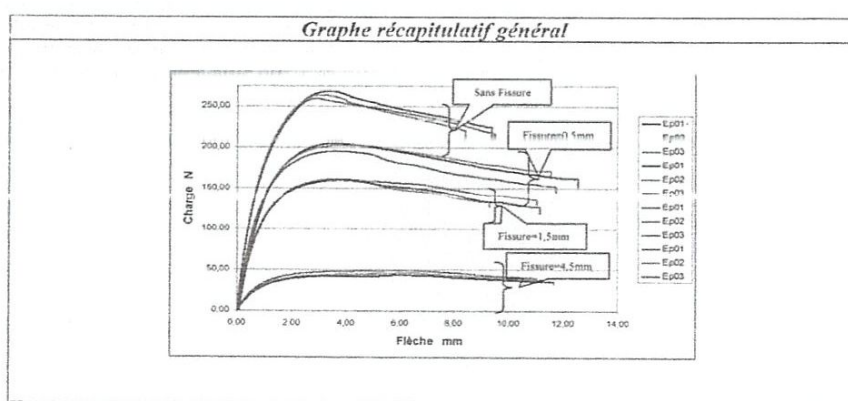


Figure II.5 Courbes récapitulatives charges-flèches en flexion 3 points statique Eprouvettes entaillées en V de 2mm de profondeur Saines et fissurées pour $V = 2\text{mm/min}$

Eprouvettes	FMax (N)			
	a = 0	a = 0.5 mm	a = 1.5 mm	a = 4.5mm
01	269.020	204.969	159.858	43.522
02	263.648	202.604	160.487	45.946
03	259.716	195.358	161.117	49.169
Moyenne	264.128	200.977	160.487	46.212

Tableau II.2 Eprouvettes entaillées avec et sans fissures

Les résultats obtenu par l'essai statique on fait apparaître une très faible dispersion des résultats pour chaque famille d'éprouvettes testées, ces résultats montrent la maîtrise des techniques

expérimentale employées, ce qui est remarquable aussi c'est (l'augmentation de la valeur de la fissure qui entraîne une diminution du ligament à casser et donc une baisse de la valeur de la charge à la rupture.

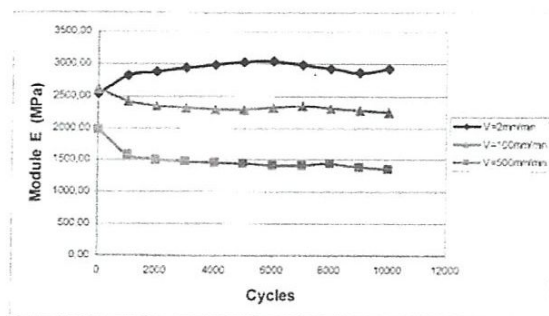
Dans le cas des surfaces fissurées après essai le plus remarquable est l'absence des modifications de structure des surfaces entaillées, par contre l'alignement des macromolécules commence à la surface fissuré et se propage dans la matière de l'éprouvette.

Les résultats de l'essai statique ont servi comme base pour la fixation des paramètres d'essai de flexion cyclique. Les niveaux de chargement qui sont retenues sont (0.6 ; 0.7 et 0.8) de la charge à la limite élastique ($NCH : F/FE$) pour un nombre de cycle de 100, 1000, 10000 par niveaux de chargement et par longueur de fissure, une fois que les valeurs des Flèches ont été déterminées est introduites à la machine, l'essai peut être lancé, les capteurs de force et de déplacement permettant de suivre l'évolution du comportement mécanique du matériau au cours du cyclage .

Pour les résultats obtenues lors d'essai cyclique l'influence de l'augmentation de la vitesse d'essai entraîne une dégradation du module d'élasticité longitudinale ce qui engendre un ramollissement du matériau. L'influence du niveau de chargement sur l'évolution du module d'élasticité du matériau se comporte de deux façons: un durcissement à faible vitesse et un ramollissement à vitesse élevée pour la même longueur de fissure.

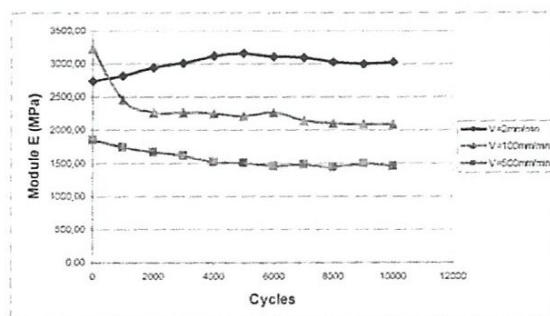
Les essais de flexion 3 points cyclique mènent à une dégradation de la valeur du module des premiers cycles pour vitesse d'essai élevée et pour les niveaux des chargements considérés, cette remarque est valable pour des longueurs de fissure de 0.5 et 1.5 mm. Pour une fissure de 4.5 le matériau se ramollit dès les premiers cycles pour les différentes vitesses et différents niveaux des chargements retenus (**Figure II.6**).

Pour les faibles vitesses et fissure (2 mm/min et 0,5 mm) le matériau se durcit dès les premiers cycles et tend à se stabiliser pour la suite du cyclage. Pour des vitesses plus élevées de 100 et 500 mm/min le matériau présente un ramollissement dès les premiers cycles, puis une stabilité des chaînes macromoléculaires conduisant à un comportement stationnaire du matériau, et l'augmentation de la vitesse entraîne une meilleure organisation des chaînes macromoléculaires.



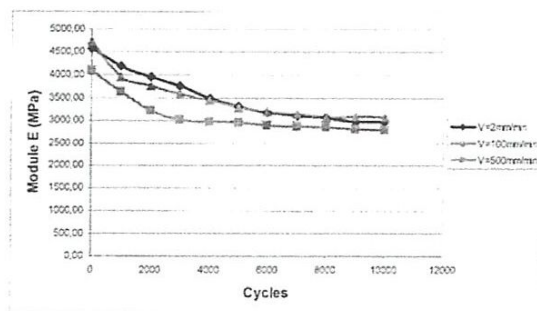
a- $F=0.6 \cdot F_c$.

a) $a=0.5$ mm



a- $F=0.6 \cdot F_c$.

b) $a=1.5$ mm



a- $F=0.6 \cdot F_c$.

c) $a=4.5$ mm

Figure II.6 Influence de la vitesse d'essais sur l'évolution du module d'élasticité en flexion trois points cyclique $N= 10000$ cycle

Les observations (**Figure II.7**), montre que les premiers mécanismes des ruptures apparaissent au fond des fissures (zone blanchâtre) et que cette zone est plus étendue pour les faibles fissures. Pour ce qui est de la structure du matériau nous remarquons que l'augmentation de la vitesse entraîne une meilleure organisation des chaînes macromoléculaires.

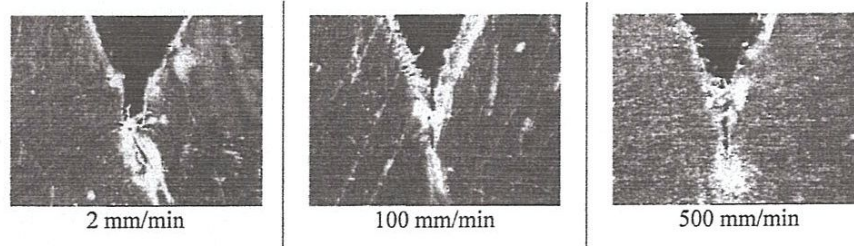


Figure II.7 Ruptures et mécanismes observé sur un échantillon d'éprouvettes testé

III.3 Ariéby.R à 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 [6].

Le PEHD utilisé a été livré sous forme de plaque extrudée de 6 mm d'épaisseur dans la quelle les éprouvettes de traction sont usinés par fraisage, selon différentes directions ($\alpha=0,30,45,60,90^\circ$) par rapport à la direction d'extrusion (**Figure II.8**), les éprouvette ont été sollicitées après un traitement de recuit a 120° durant 2h pour relâcher les contraintes résiduelles.

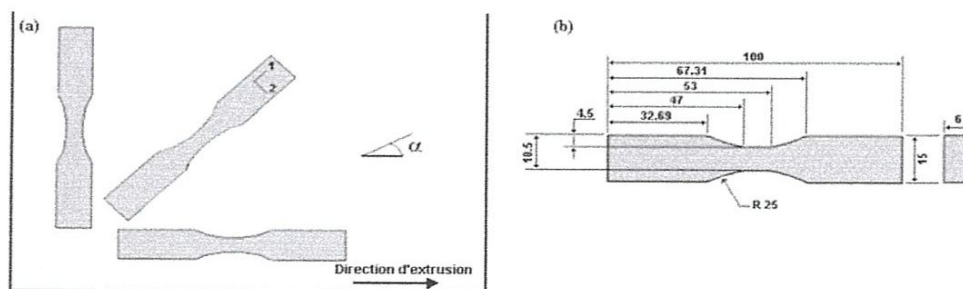


Figure II.8 a) Prélèvement des éprouvettes de traction selon la direction α ; b) géométrie finale des éprouvettes.

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 appliqué 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 a 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 II.9**)

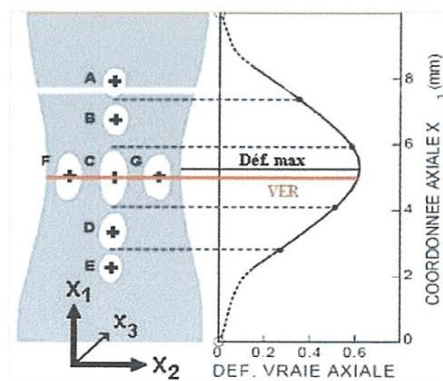


Figure II.9 Interprétation schématique des 7 taches

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° . 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 α par rapport à la direction de l'extrusion.

La technique de 7 taches est réalisée pour une orientation α donnée, il marque deux éprouvettes identiques 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 II.10**) de cette façon il peut corroborer les données 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.

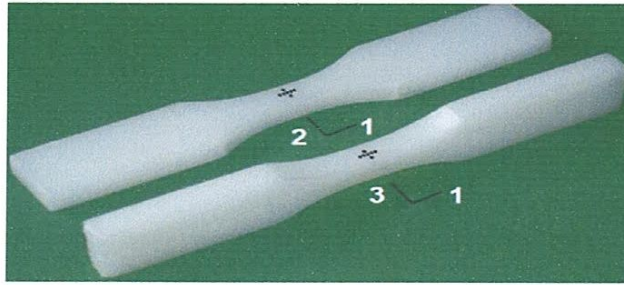


Figure II.10 Marquage (2x7 tache) des éprouvettes de traction permettant l'estimation des déformations dans les directions 1, 2, 3

L'évolution du module de Young apparent en fonction de la direction de prélèvement α , 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 $\varepsilon \approx 0.5$. 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.

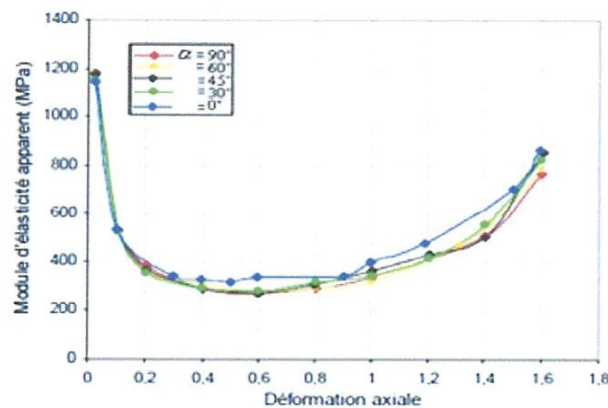


Figure II.11 Evolution du module de Young apparent dans la direction 1 en fonction de la déformation ε_{12} pour les différentes orientations d'éprouvettes

Différents modes des déformations peuvent coexister et se développés au sein d'un polymère semi-cristallin sous sollicitation mécanique, ces processus des déformations débouchent rapidement lors de la traction sur une localisation macroscopique (striction). Pour permettre d'observer les champs des déformations locaux, une morphologie particulière des parties utiles des éprouvettes ont été choisies : 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 importante. 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 élastiques) se superpose le mécanisme d'orientation des chaînes macromoléculaires (consolidation).

Chapitre III

Etude expérimentales

III.) Procédure expérimentales

III.1) Matériaux étudiés

Pour notre étude les matériaux considérés sont des tubes en polyéthylène de haute densité (PEHD 80), de diamètre extérieur 125 mm et intérieure 100 mm, saines et soudés (**Figure III.1**). Ces tubes sont destinés à la distribution de gaz naturel supportant une pression nominale en service de 4 bars, ils sont de fabrication algérienne (Sotuplast-chlef).

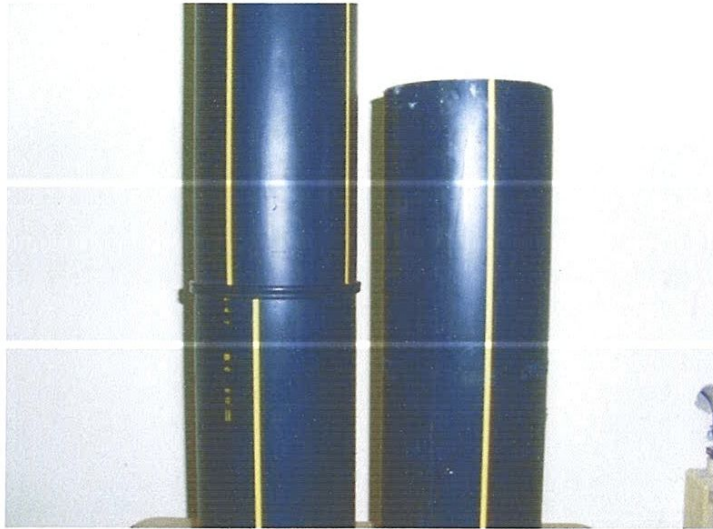


Figure III.1 Tube en PEHD sain et soudé

III.2) Le procédé de soudage bout à bout

Le soudage bout à bout est une technique d'assemblage des thermoplastiques par la fusion des extrémités de deux éléments tubulaires au moyen d'une plaque chauffante, appelée miroir [15].

Les soudures sont caractérisées par l'apparition d'un bourrelet, ou cordon de soudure (**Figure III.2**).

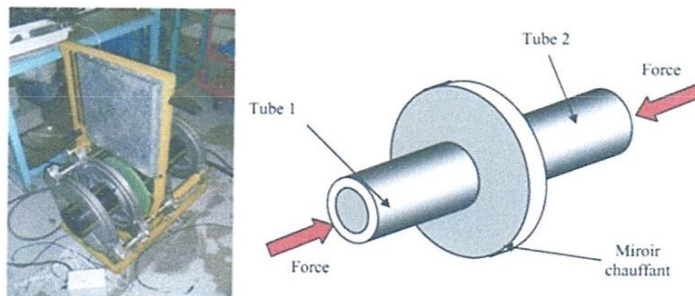


Figure III.2 Chauffage des tubes lors du soudage bout à bout.

III.2.1) Les étapes du soudage bout à bout

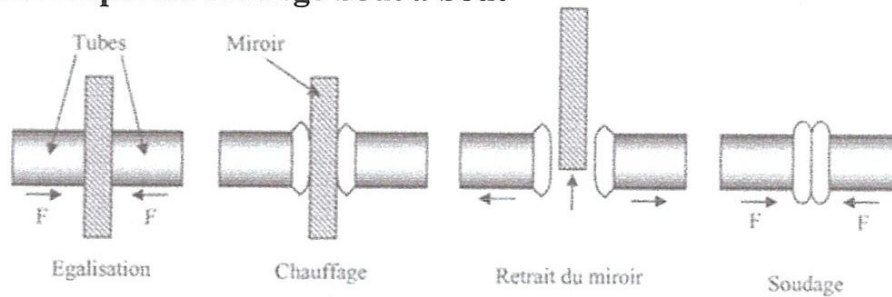


Figure III.3 Les étapes du soudage bout à bout

Phase 1 : Egalisation

Cette étape a pour objectif de s'assurer que la totalité de la surface du tube est en contact avec le miroir chauffant. Les deux pièces à souder sont plaquées contre le miroir avec une certaine pression (0,18 MPa). Cette étape dure quelques secondes, le temps qu'une fine couche de polymère ait le temps de fondre. C'est ici que le cordon de soudure commence à se former.

Phase 2 : Chauffage

Les deux tubes sont laissés en contact avec le miroir mais la pression appliquée est très faible, de l'ordre de (0,01 MPa), afin de s'assurer que les tubes restent en contact avec le miroir. Cette étape a pour but l'élargissement de la couche de polymère fondu, nécessaire au soudage. Le chauffage se termine lorsque l'on considère que l'épaisseur de polymère fondu obtenue est suffisante pour former une soudure de bonne qualité.

Phase 3 : Retrait du miroir

Les tubes sont écartés du miroir afin de pouvoir le retirer. Sa durée doit être la plus courte possible pour limiter l'écoulement et le refroidissement du polymère fondu en contact avec l'air ambiant.

Phase 4 : Soudage

C'est la dernière étape durant laquelle les deux tubes sont plaqués l'un contre l'autre avec une certaine pression que l'on maintient jusqu'à ce que la soudure se solidifie. Durant cette étape, la matière s'écoule latéralement donnant la forme définitive du bourrelet.

III.2.2) Le banc de soudage

Nous avons utilisé un banc de soudage industriel du commerce, appelé *Plastifuse*, pour réaliser les soudures. Il s'agit d'une machine automatique qui réalise le cycle de soudage, l'opérateur intervenant uniquement aux différents contrôles (alignement, planéité des surfaces), au nettoyage des pièces (pour s'assurer que la surface de soudage est exempte de saletés) et à la mise en place des outils annexes (miroir, rabot). Ce banc est constitué d'un bâti auquel sont fixés des mors qui serviront à maintenir les tubes en place (Figure III.4.a). L'un des tubes est fixe et l'autre peut se

déplacer horizontalement grâce à un vérin hydraulique dirigé par un boîtier de contrôle (**Figure III.4.b**). Le boîtier de contrôle sert à paramétrer l'ensemble des étapes du cycle de soudage en termes de pression et de durée des étapes et en terme de température de miroir. C'est lui qui une fois le cycle lancé, gère l'intégralité du procédé automatiquement, de la phase d'égalisation à la phase de soudage [15].

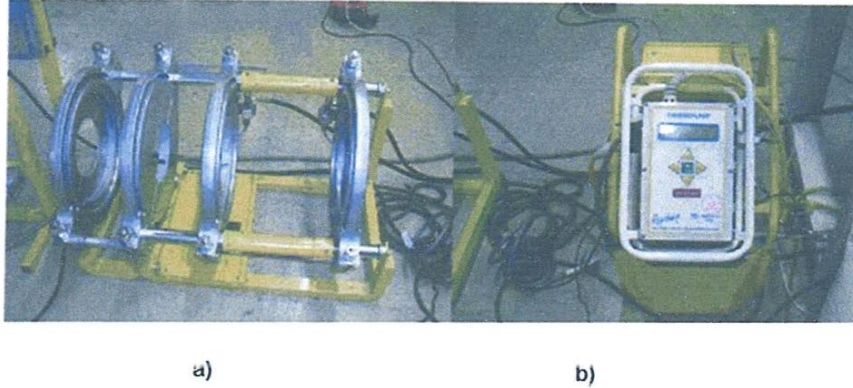


Figure III.4 Banc de soudage (a) et boîtier de contrôle (b)

III.3) Préparation des éprouvettes

La première étape consiste à réduire l'épaisseur de tube jusqu'à 5 mm, cette opération est réalisée sur un tour (**Figure III.5**)

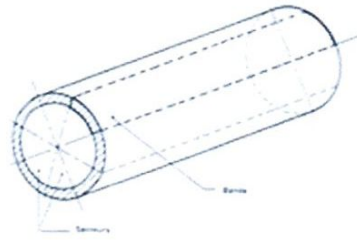


Figure III.5 Montage du tube pendant l'usinage.

L'exécution de l'opération est réalisée sur un tour universel de type TOS SN 40C dotée d'un moteur électrique d'une puissance de 6.6 KW. La deuxième étape consiste à découper des anneaux qui vont servir pour les l'éprouvettes transversal, puis en découpe des bandes de dimension égales le long de la circonférence des deux tubes restante (sein et soudé) à l'aide d'une scie à ruban la (**Figure III.6**) montre la répartition et l'obtention des bandes est les anneaux.



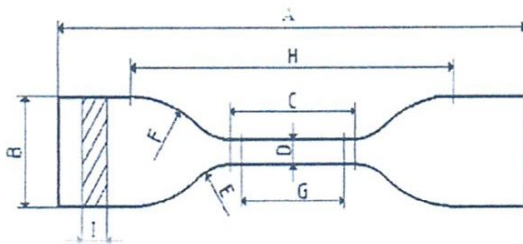
Anneaux



bandes

Figure III.6 Bandes longitudinales et anneaux.

Les éprouvettes de traction sont fabriqué selon à la norme ISO 527-1 :1995. Dont les dimensions et la forme géométrique sont reportés sur la (Figure III.7).



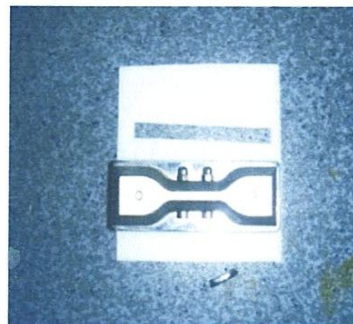
A: Longueur totale minimale	115
B: Largeur des extrémités	25 + 1
C: Longueur de la partie calibrée	33 + 2
D: Largeur de la partie calibrée	6 + 0.4
E: Petit rayon	14 + 1
F: Grand rayon	25 + 2
G: Distance entre repères	25 + 1
H: Distance initiale entre mors	80 + 5
I : Epaisseur celle du tube mais < 13mm	

Figure III.7 Dimension des éprouvettes normalisées

Ces éprouvettes sont obtenues par déformation plastique (Figure III.9), Des bandes de (160 x28) mm² au laboratoire de l'entreprise national polymed de Skikda. A l'aide d'une presse pneumatique de marque CEST, équipé d'un emporte-pièce (Figure III.8).

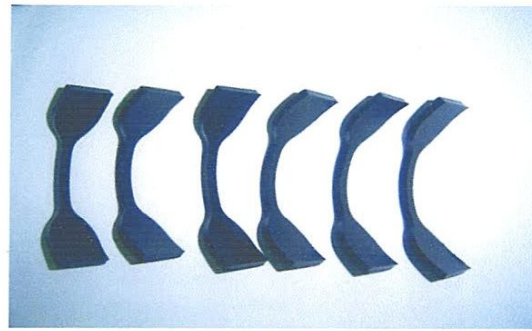


(CEST) Presse



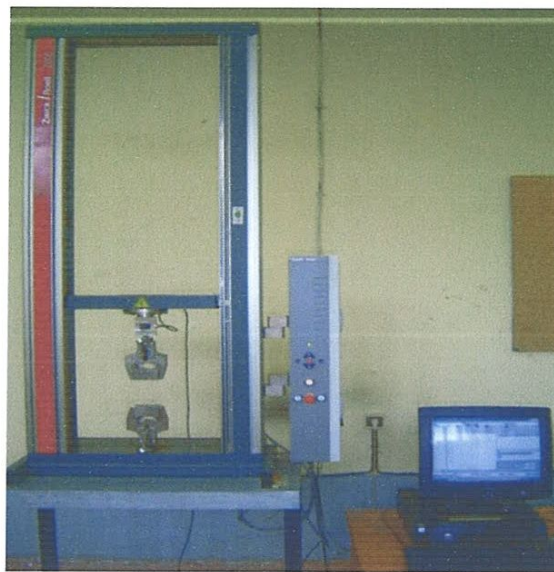
pneumatique Emporte pièce

Figure III.8 Presse CEST et emporte pièce

*Longitudinales saines**Transversales saines***Figure III.9** *Eprouvettes d'essais*

III.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 III.10**).

**Figure III.10** *Banc d'essais*

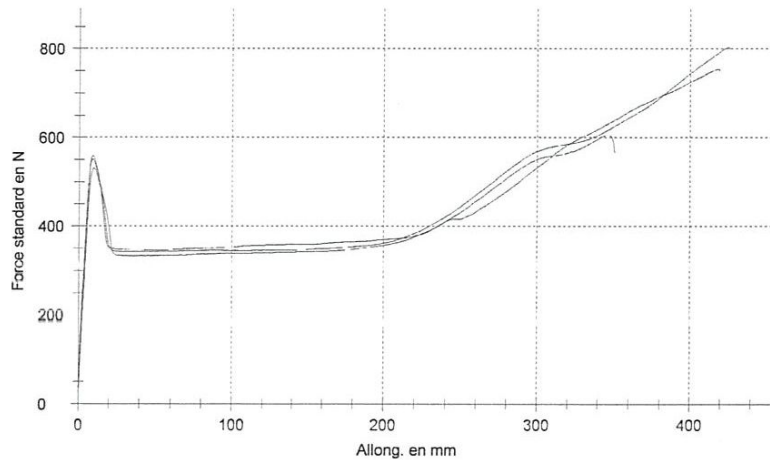
III.4.1) Déroulement des essais

Des essais de traction sur des éprouvettes saines (longitudinales, transversales) et soudés ont été effectués jusqu'à la rupture du matériau à température ambiante. Ces essais ont été effectués au laboratoire de mécanique et structure de l'université de Guelma.

III.4.2) Résultats obtenus :

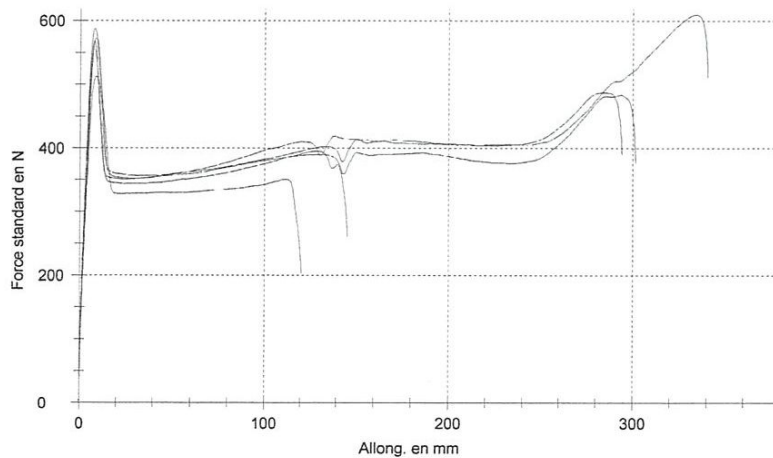
Les courbes de comportement mécanique charge-allongement des éprouvettes longitudinales saines, soudés et transversales sont représentées successivement (**Figure III.11, III.12, III.13**).

- Pour les éprouvettes saines sens longitudinal.



*Figure III.11 courbes de comportement mécanique en traction PEHD 80
Éprouvettes saines pour ($V= 100\text{mm/min}$).*

-Pour les éprouvettes soudés sens longitudinal.



*Figure III.12 courbes de comportement mécanique en traction PEHD 80
Éprouvettes soudé pour ($V= 100\text{mm/min}$).*

-Pour les éprouvettes saines sens transversal.

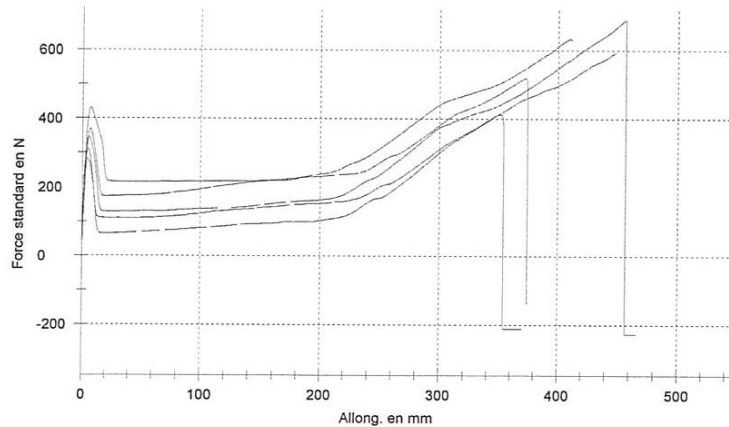


Figure III.13 courbes de comportement mécanique en traction PEHD 80
Éprouvettes transversal pour ($V= 100\text{mm/min}$).

Les tableaux (III.1, III.2, III.3) regroupe les caractéristiques mécanique expérimentales déduites des courbes de comportement charge allongement, nous avons calculé les modules d'élasticités longitudinaux en utilisant la relation de Hooke généralisée reliant les contraintes aux déformations :

Avec

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.1)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.2)$$

Où

σ : La contrainte de traction en [MPa] ; F: la force appliquée en [N] ; A : la section initiale de l'éprouvette en [mm^2]. Le module d'élasticité recherché est calculé dans intervalle de déformation de [0.0005 à 0.0025] selon la norme ISO 527-1 à partir de la relation (1.3). Les résultats des calculs effectués sont reportés sur les tableaux (III.1, III.2, III.3).

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (1.3)$$

Où

E : est le module de Young recherché en [MPa] ;

σ_1 : est la contrainte mesurée à la valeur de déformation $\varepsilon_1 = 0.0005$

σ_2 : est la contrainte mesurée à la valeur de déformation $\varepsilon_2 = 0.0025$

-Pour les éprouvettes saines sens longitudinal

	A	L0	Module	Rm	Allong. à Fmax	FR	Allong. à rupture
Nr	mm ²	mm	N/mm ²	N	mm	N	mm
1	27,14	33,01	189,72	753,94	418,33	748,00	419,66
2	27,73	33,01	178,88	803,13	424,99	798,94	425,99
3	26,55	33,01	115,61	605,26	346,13	566,33	350,79
Valeurs moyennes	27,14	33,01	161,41	720,78	396,48	704,43	398,81

Tableau III.1 Valeur expérimentales des propriétés mécanique du PEHD 80 éprouvettes saines

-Pour les éprouvettes soudés sens longitudinal

	A	L0	Module	Rm	Allong. à Fmax	FR	Allong. à rupture
Nr	mm ²	mm	N/mm ²	N	mm	N	mm
1	31,27	33,01	159,91	573,05	8,99	374,80	301,32
2	30,09	33,01	180,48	609,46	334,16	511,00	340,49
3	28,32	33,01	169,05	511,32	8,16	186,59	124,16
4	28,32	33,01	144,40	527,43	9,16	212,24	182,16
5	29,50	33,01	137,07	657,98	354,16	613,55	357,49
Valeurs moyennes	29,50	33,01	158,18	575,85	142,93	379,64	261,13

Tableau.III.2 Valeur expérimentales des propriétés mécanique du PEHD 80 éprouvettes soudés

-Pour les éprouvettes saines sens transversal.

	A	L0	Module	Rm	Allong. à Fmax	FR	Allong. à rupture
Nr	mm ²	mm	N/mm ²	N	mm	N	mm
1	29,50	33,08	102,46	633,97	410,69	627,92	411,69
2	27,73	33,06	94,94	517,62	371,99	-	-
3	32,45	33,03	142,61	687,81	456,16	-	-
4	27,73	33,14	154,45	413,68	350,99	-	-
5	31,57	33,08	104,84	595,12	448,63	595,12	448,63
Valeurs moyennes	29,80	33,08	119,86	569,64	407,69	611,52	430,16

Tableau.III.3 Valeur expérimentales des propriétés mécanique du PEHD 80 éprouvettes transversales

III.3.3) Analyses et discussion des résultats

Les courbes de traction obtenues sur des éprouvettes en PEHD 80 (saines, soudés et transversale). (Figure III.11 a III.13), montrent un comportement en grande déformation classique, c'est courbes présents trois zones distinctes.

- **La première** : c'est la zone dite élastique où la contrainte est proportionnelle à la déformation c'est la partie linéaire de la courbe jusqu'au point inflexion pour les éprouvettes saines la charge au point d'écoulement et de l'ordre de 550N. On retrouve pratiquement la même valeur pour les éprouvettes longitudinale soudées, cependant à une valeur moyenne de 380N pour les éprouvettes transversales.

- **La seconde zone** : qui a pour origine le point d'écoulement ou commence la perte de rigidité et l'apparition d'une zone de striction généralement au milieu de l'éprouvette suivi d'un palier de plasticité où la déformation augment a une charge quasi constant (de l'ordre 350N pour les éprouvettes longitudinales, saines et soudés et de l'ordre de 200N pour les éprouvettes transversales, la zone de striction se propage le long de la longueur, cette zone est le lieu d'une réorganisation structurale à grande échelle des chaînes macromoléculaires amorphes, et des lamelles cristallines et au glissement des molécules par bandes de cisaillements. Lors de la propagation de la striction pour les éprouvettes longitudinales soudés le long du palier de plasticités, on remarque une diminution de la charge quand la striction atteint la zone soudé certain éprouvettes ce rompent, Alor qu'on remarque une augmentation de la charge jusqu'à la charge de palier et la zone de striction se propage de nouveau. Cette chute de charge (contrainte) et due au procédé de soudage car la matière va se refroidit de façon différente, suivant la localisation de la soudure, l'extérieure se refroidit plus rapidement que le cœur, ce qui est entraine des microstructures variée [13].

- **Pour la troisième zone** : elle commence après le palier de plasticité, la déformation augmentent plus rapidement que la charge jusqu'à atteindre la charge maximale qui varie de [600 à 800] N pour les éprouvettes saines longitudinales, de [480 à 650] N pour les éprouvettes longitudinales soudés et de [413 à 687] N pour les éprouvettes transversales, cette zone est le lieu d'un durcissement lié à la formation d'une texture d'orientation de lamelles cristallines, consécutive à leur rotation plastique sous l'effet du cisaillement entracristallin [5].

A la fin de l'essai la charge diminue mais la déformation augmente jusqu'au point de rupture de l'éprouvette.

Conclusion

Conclusion :

Ce travail que nous venons de présenté traite l'étude du comportement mécanique de PEHD.

L'objectif fixé est de comparer le comportement mécanique dans le sens longitudinal et transversal, puis de comparer le comportement mécanique des éprouvettes longitudinales saines et soudées.

- La comparaison du comportement mécanique des éprouvettes longitudinales et transversales nous montre que le PEHD n'a pas les mêmes caractéristiques mécaniques pour le module de Young. Le module de Young dans le sens transversal est de 75% dans le sens longitudinal.
- Le comportement mécanique des éprouvettes longitudinales saines et soudées est le même, nous avons les même caractéristiques mécaniques, sauf que dans la zone du palier de plasticité l'apparition d'un décrochement qui conduit à la ruine des éprouvettes dans certain cas.

Référence bibliographique

Référence Bibliographique

- [1] **Techno-science**, URL : <http://www.techno-science.net/?onglet=articles&article=23>.
- [2] **Bouteldja.R**, « Contribution à l'étude du comportement mécanique sous sollicitation cyclique d'un polymère haut densité », Mémoire de magister, Université 08 Mai 1945, Guelma, 2009.
- [3] **isgroupe**, URL : <http://www.isgroupe.com/essai-mecaniques-normalises.htmlsite>.
- [4] **Kausch.H.H, Heymans.N, plummer.j, declory.P, Heymans, Plummer, Decroly**, « Traité des matériaux : Matériaux polymères, propriétés mécaniques et physiques », Tome14, Lausanne, 2001.
- [5] **Hamlaoui.N**, « Etude expérimental de comportement mécanique des polymères PEHD 80 soumis à des sollicitations statique et cyclique », Mémoire de magister, Université 08 mai 1945 Guelma, 2009.
- [6] **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.
- [7] **Kessler.J, Chauvel.H, Bourgeois.R**, « Memotech génie des matériaux », Educative, 2001.
- [8] **Corbet.C**, « Memotech matière plastique », Educativre, 2001.
- [9] **Haddad.N**, « Etude du comportement Mécanique du Polymère PEHD 100 », Mémoire d'ingénieur, Université 08 Mai 1945, 2009.
- [10] **Wikipédia** URL : <http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9articulation>
- [11] **Arlie.J.P**, « Les thermoplastique de grand tonnage », thecnip, 1987, **Google livre**, URL : <http://books.google.com/books?hl=fr>.
- [12] **G.Chrétien, D.Hatat**, « Initiation au plastiques et au composites », Technique et documentation, 1986.
- [13] **M.OLIVIER HEHN**, « Analyse expérimentale et simulation thermomécanique du soudage bout a bout de tubes de polyéthylène, thèse doctorat », école des mines, Paris
- [14] **KURZ W, MERCIER J.P, ZAMBELLI G**, « Traité des matériaux : introduction A la science des matériaux », Tome 1, Lausanne, 1991.