



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département de Automatique et électromécanique

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: : Sciences et Technologies

Filière: Électromécanique

Spécialité: Maintenance Industrielle

Thème

**EFFET DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES
PROPRETES MECANIQUE DES TUBES EN HDPE
DESTINES AU TRANSPORT DU GAZ NATUREL.**

Soutenu publiquement le 11/06/2021

Par
ZITA Belkacem

Devant le jury composé de:

Mr. ZITANI Brahim.	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
Mr. AKERMI Faouzi	MAA	Univ. Ghardaïa.	Encadreur
Mr. BENDAOUI Massaoud	MCB.	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2020/2021

REMERCIEMENTS

Il est de mon devoir d'adresser mes remerciements à Allah pour m'avoir donné le courage et la force pour accomplir ce modeste travail.

Mes premières pensées se dirigent tout naturellement vers mon promoteur Monsieur AKERMI FAOUZI pour le formidable encadrement qu'il m'a accordé tout au long de ce travail. Je ne peux que le remercier, non seulement pour ses compétences scientifiques, mais aussi pour ses qualités humaines et pour la confiance qu'il m'a toujours témoignée.

Je tiens aussi à exprimer ma grande reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la
Responsabilité...merci MERE.

À celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage
...merci PERE.

Ma très chère seule sœur.

À MONSIEUR AKERMI FAOUZI pour Ses efforts.

À MONSIEUR BAKAR BALKACEM pour Ses conseils.

À MONSIEUR BENKHLIFA ABD EL LATIF pour son aide.

À mes frères et a toute ma famille.

A tous mes amis et camarades de classe et particulièrement ma
promotion.

ZITA BELKACEM

Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet différents environnements (environnement sec, environnement aride, environnement semi-aride,..) Sur les propriétés mécaniques des tubes de transport de gaz naturel en polyéthylène haute densité. L'approche est basée sur des essais de traction (contraintes – déformation). La préparation des éprouvettes standards de traction a nécessité des opérations d'usinage dans des conditions spéciales. Les résultats obtenus indiquent qu'on peut stocker des tubes en polyéthylènes dans différents environnements à des périodes bien déterminées.

Pour bien caractériser l'effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques des tubes en polyéthylène : on peut procéder à des essais (traction, choc, flexion, compression,) mais a des périodes bien déterminés et espacés de tels sortes a suivre les variations ponctuels.

Mots clés : environnement, polyéthylène, essais, traction, effet.

Abstract

The objective of this study is to determine the effect of different environments (dry environment, arid environment, semi-arid environment, etc.) on the mechanical properties of high-density polyethylene natural gas transport tubes. The approach is based on tensile tests (stress - strain). The preparation of standard tensile specimens required machining operations under special conditions. The results obtained indicate that polyethylene pipes can be stored in different environments at specific times.

To properly characterize the effect of the environment on the mechanical properties of polyethylene pipes: it can carry out tests (traction, shock, bending, compression, etc.) but has well-defined and spaced periods of such kinds to follow ad hoc variations.

Keywords: environment, polyethylene, tests, traction, effect.

ملخص

المهدف من هذه الدراسة هو تحديد تأثير البيئات المختلفة (بيئة جافة ، بيئة قاحلة ، بيئة شبه قاحلة ، إلخ) على الخواص الميكانيكية لأنابيب نقل الغاز الطبيعي من البوليإيثيلين عالي الكثافة. يعتمد النهج على اختبارات الشد (الإجهاد - الانفعال). يتطلب إعداد عينات الشد القياسية عمليات تصنيع تحت ظروف خاصة. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أنه يمكن تخزين أنابيب البوليإيثيلين في بيئات مختلفة في ازممنة محددة.

لتوصيف تأثير البيئة بشكل صحيح على الخواص الميكانيكية لأنابيب البوليإيثيلين: يمكن إجراء الاختبارات (الشد ، والصدمة ، والانحناء ، والضغط ، وما إلى ذلك) ولكن لها فترات محددة جيداً ومتباعدة من هذه الأنواع لمتابعة الاختلافات بدقة.

الكلمات المفتاحية : المحيط , البوليإيثيلان, التجارب, الشد, تأثير

Dédicaces		
Remerciement		
Résumé		
Table Des Matières		
Liste Des Figures		
Liste Des Tableaux		
INTRODUCTION GENERALE		01
CHAPITRE I Présentation de l'entreprise Plastub		
1.	Introduction	04
2.	L'usine Plastub	04
	a. L'administration :	04
	b. L'atelier de production :	04
	c. Laboratoire de contrôle de la qualité :	05
	d. Dépôt de stockage :	05
3.	La chaîne de production des tubes en PVC :	05
	a. Le turbo-mélangeur	05
	b. L'extrudeuse :	07
	c. Le calibreur et les BAC :	07
	d. Le dateur marqueur :	08
	e. La tireuse :	08
	f. Mètreur :	09
	g. La scie de découpe :	09
	h. La partie de toulipage et le met du joint :	10
4.	La chaîne de production de PEHD :	10
5.	Les vérifications au cours de la production :	11
6.	Les tests effectués dans le laboratoire du contrôle de la qualité :	11
7.	Test de l'indice de fluidité à chaud (Melt Flow Rate) MFR:	12
8.	Le test du temps d'induction de l'oxydation OIT :	13
9.	Le test de la résistance à la pression :	14
10.	Conclusion	15
CHAPITRE II : Généralités sur les polymères		
1.	Introduction	17
2.	Définitions	18
3.	Processus d'élaboration	18
4.	Classification des polymères	19
5.	Les différents types des polymères	19
	a. Les thermoplastiques	17
	b. Les thermodurcissables	24
	c. Les élastomère	24
6.	Comportement Mécanique Des Polymères	25

CHAPITRE III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie		
1.	Introduction	27
2.	Application des plastiques en tuyauterie	27
3.	Polyéthylène PE	28
4.	Types de polyéthylène	29
5.	Mise en œuvre du PE	29
6.	Domaines d'applications des polyéthylènes :	30
	6. 1. Extrusion des films :	31
	6. 2. Injection :	31
	6. 3. Extrusion- soufflage des corps creux :	31
	6. 4. Extrusion des tubes :	31
	6. 5. Câblerie :	31
7.	Procèdes de fabrication des tubes en matière plastique :	32
	7.1. Tubes extrudés	32
	7.2. Tubes stratifiés :	32
	7.3. Tubes coulés:	32
	7.4. Tubes centrifugés:	32
8.	Classification des tubes en PE	33
9.	Raison d'utilisation des tube en PE :	33
10.	Application des tubes en PE	34
	10.1. Tuyaux pour de l'eau potable	34
	10.2. Tuyaux de gaz	34
	10.3. Tuyaux pour l'arrosage	35
	10.4. Tuyaux sous pression pour des eaux recyclées	35
	10.5. Conduites subaquatiques	36
	10.6. Tuyaux pour protection de câbles.	36
	10.7. Autres applications de tuyaux en PE	37
CHAPITRE IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE		
1.	Introduction	39
2.	Préparation des éprouvettes	39
	a. Matériau	39
	b. Eprouvettes	40
	c. Conditionnement de test :	42
	d. La vitesse d'essai :	42
3.	Procédure expérimentale	42
4.	Machine d'essai	43
5.	Partie calcul	45
	5.1. Contrainte en traction, σ	45
	5.1.1. Contrainte au seuil d'écoulement ; contrainte d'écoulement, σ_y	45
	5.1.2. Résistance en traction à la rupture, σ_B	46
	5.1.3. Résistance en traction, σ_M	46

	5.2. Déformation, ε	46
	5.2.1. Déformation en traction au seuil d'écoulement, ε_y	46
	5.3. Déformation nominale à la traction, ε_t	46
	5.3.1. Déformation nominale à la rupture en traction, ε_{tB}	47
	5.3.2. Déformation nominale à la résistance en traction, ε_{tM}	47
	5.4. Module d'élasticité en traction ; module de Young, E	47
	5.5. Coefficient de Poisson, μ	48
6.	Résultats	49
7.	Discussion	53
8.	Conclusion	54
CONCLUSION GENERALE		56
BIBLIOGRAPHIE		58

Liste De Tableaux

N°	Titre de tableaux	Page
Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tyuauterie		
Tableaux .III.1	Longueur (en kilomètre) de tubes principaux utilisés dans la distribution de gaz par matériau et par diamètre	27
Tableaux. III.2	Propriétés mécaniques et thermiques des polyéthylènes	29
Chapitre IV : Effet de l’environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE		
Tableaux .IV.1	Différentes propriétés mécaniques obtenues par le Win test	52

LISTE DES FIGURES

N°	Titre de figure	Page
CHAPITRE I Présentation de l'entreprise Plastub		
Figure I.1	Pyramide hiérarchique des chaque équipes de la production	04
Figure I.2	La figure montre le turbo-mélangeur et le refroidisseur	06
Figure I.3	Montre l'extrudeuse	07
Figure I.4	Le dateur marqueur	08
Figure I.5	La tireuse.	09
Figure I.6	La scie.	09
Figure I.7	Plastomètre	13
CHAPITRE II : Généralités sur les polymères		
Figure II.1	Grandes étapes de la fabrication des plastiques	18
Figure II.2	Polymère amorphe	20
Figure II.3	Polymères semi-cristallins	21
Figure II.4	Schéma représentant : (a) la structure d'une lamelle cristalline formée par repliements successifs de chaîne polymère, (b) empilement des lamelles cristallines, (c) vue globale du sphérolite.	22
Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE		
Figure IV.1	Tube en HDPE	40
Figure IV.2	Le sens de découpage des spécimens dans le tube	41
Figure IV.3	Eprouvette haltère de traction selon la norme ISO 6259-3 Type1	41
Figure IV.4	Machine d'essai de traction " Testometric "	44
Figure IV.5	Dispositif d'amarrage	45
Figure IV.6	Courbe types contrainte/déformation	48
Figure IV.7	Essai de traction sur éprouvettes neuves	49
Figure IV.8	Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Ghardaïa	50
Figure IV.9	Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Tébessa	50
Figure IV.10	Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Adrar	50
Figure IV.11	Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Djelfa	51
Figure IV.12	Essai de traction sur éprouvettes enterrées pendant 16 mois à Djelfa	51
Figure IV.13	Essai de traction sur éprouvettes enterrées pendant 16 mois à Tébessa	52

Introduction Générale

Introduction générale

Les polymères, appelés communément "matériaux plastiques", sont indissociables dans l'environnement et dans la vie pratique. Ils sont imposés dans tous les domaines de nos activités : des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques industrielles, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires. Le plus souvent synthétiques, quelquefois 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. Les polymères thermoplastiques, thermodurcissable et les élastomères ne sont pas utilisés industriellement dans les mêmes proportions. Seuls seront traités dans cette partie les polymères thermoplastiques, leurs synthèses, leurs formulations, leurs techniques de mise en forme, leurs microstructures et enfin leurs principales propriétés micromécaniques et mécaniques.

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. Les polymères sont des substances constituées de grandes molécules formées par la répétition d'un même motif composé d'une ou de plusieurs unités de base. Le nombre moyen de ces unités de base (monomères) dans les molécules finales (polymères) est le degré de polymérisation. Si ce degré de polymérisation est élevé, on parle de hauts polymères, lorsqu'il est faible, le composé est une oligomère [1]. L'utilisation des polymères est devenue de plus en plus courante dans de multiples domaines d'activités. Le choix d'un matériau polymère se fait désormais parmi un large éventail d'espèces polymères associées à de nombreuses possibilités de mise en forme. La légèreté et le faible coût des polymères en font des matériaux de large diffusion, chaque domaine d'activité exploitant des propriétés spécifiques répondant à leur cahier des charges. La stabilité de ces propriétés dans le temps est un facteur déterminant pour une utilisation industrielle. Selon leurs propriétés, les polymères se divisent généralement en trois grandes familles : les élastomères, les thermoplastiques (chaînes non réticulées) et les thermodurcissables (chaînes réticulées). Les polymères thermoplastiques sont répartis également en polymères amorphes et en polymères semi-cristallins

C'est ainsi que les polymères semi-cristallins ont pour la plupart une ténacité élevée qui répond aux exigences de produits devant résister à des conditions d'utilisation sévères (impact, fluage, fatigue, etc.). Parmi ces matériaux, nous nous sommes intéressés au polyéthylène à haute densité (PEHD) qui reçoit une attention accrue depuis de nombreuses années. En effet, il est considéré comme un matériau modèle pour l'étude scientifique du comportement mécanique de cette classe de polymère.

Dans **Le premier chapitre** nous avons présenté l'entreprise Plastub dans la wilaya de Ghardaïa, dont nous avons réalisé cette étude.

Le deuxième chapitre est un bref rappel sur les polymères en général ; tels que mise en œuvre, procédé de fabrication et types des polymères.

Le troisième chapitre concerne une étude bibliographique sur les polyéthylènes dont : leurs types, domaines d'application, ...etc

Le quatrième chapitre concerne une étude des propriétés mécaniques déduites par l'essai de traction sur des éprouvettes dans différents environnements.

Enfin, dans la conclusion générale nous avons résumé et interprété tous les résultats obtenus sur l'effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques des tubes en PE

Chapitre I

Présentation de l'entreprise Plastub

1. Introduction :

Ce chapitre constitue la partie pratique de ce modeste travail, nous allons voir comment produire un tube en PVC et en PEHD, comment ça marche et suivre la chaîne de production d'après un stage dans l'usine de PLASTUB GHARDAIA et on verra aussi comment donner la fiabilité au tube avant l'expédition vers le client, et les tests réalisés dans le laboratoire pour assurer la conformité du tube aux normes chimiques et mécaniques.

2. L'usine Plastub :

C'est une usine spécialisée dans la fabrication par extrusion des tubes en plastique de PVC et PEHD de différents diamètres destinés à l'utilisation dans le domaine d'assainissement et du transport des fluides en pression en particulier l'eau.

L'usine se trouve dans la zone industrielle BOUNORA GHARDAIA, elle occupe une surface de 6 Ha et se compose de quatre compartiments essentiels :

- L'administration
- L'atelier de production
- Laboratoire de contrôle de qualité
- Dépôt de stockage

a. L'administration :

Elle comporte le bureau du Président Directeur Générale PDG, le bureau du personnel, et enfin le bureau des finances et de la comptabilité.

b. L'atelier de production :

Il contient quatre machines extrudeuses, trois pour le PVC et une pour le PEHD, il y a trois équipes des employés pour assurer la production, ils travaillent par un système de 8 heures et permanence, chaque équipe suit la pyramide suivante :

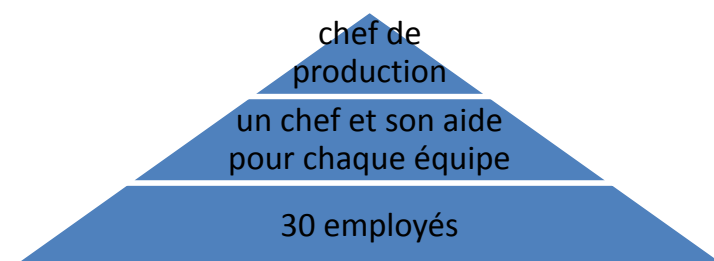


Fig. I. 1. Pyramide hiérarchique des équipes de la production.

c. Laboratoire de contrôle de la qualité :

Il est certifié par l'IANOR, est responsable de la garantie de la qualité du produit par un équipement spécifique, on verra dans ce travail comment arriver à la meilleure qualité du produit.

d. Dépôt de stockage :

C'est une surface qui s'étend autour de l'atelier de production généralement à l'abri des rayons du soleil, où les employés transportent les tubes finis à cette zone en les triant selon le type, le diamètre et la pression nominale.

3. La chaîne de production des tubes en PVC :

Dans la chaîne de production, on va voir tous les équipements principaux pour fabriquer un tube, et le rôle de chaque machine, et son emplacement dans la chaîne.

a. Le turbo-mélangeur :

Les matières premières sont de la forme des poudres qu'il faut les mélanger dans le turbo mélangeur ci-dessous (figure 1. 2) à une température inférieure ou égale à 120 °C pour le mélange de PVC à une vitesse de rotation de 1500 tours par minute, puis ils se refroidissent jusqu'à 45 °C dans le refroidisseur (la figure 1. 2).

Deux cellules de stockage reçoivent plusieurs cycles de mélange où l'une est réservé pour le mélange destiné à la fabrication des tubes assainissement et l'autre pour le mélange des tubes de pression si nécessaire (selon les besoins de la fabrication ou la commande des clients).



Fig. I. 2. La figure montre le turbo-mélangeur et le refroidisseur.

Pour le PVC il y'a deux qualités (deux types de tubes) qui se différent dans la préparation du mélange

PVC ASSAINISSEMENT:

PVC: 375 kg

Ca CO₃: 84 kg

Stabilisant: 11 à 12 kg

Noir de carbone: 3 à 4 g

PVC PRESSION:

PVC: 375 kg

Ca CO₃: 21 kg

Stabilisant: 11 à 12 kg

Noir de carbone: 3 à 4 g



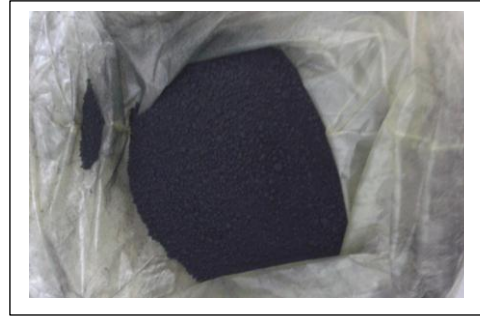
CaCO₃



PVC



Stabilisant



Noir de carbone

b. L'extrudeuse :

Le mélange entre dans l'extrudeuse à des températures des résistances bien définis pour former une pâte en PVC malaxé à l'aide des vices synchronisé et inversement tournés dont leurs dents se croisent afin d'assurer une homogénéité parfaite de la pâte, avec un débit de machine convenable et avec une vitesse bien déterminée de tirage.

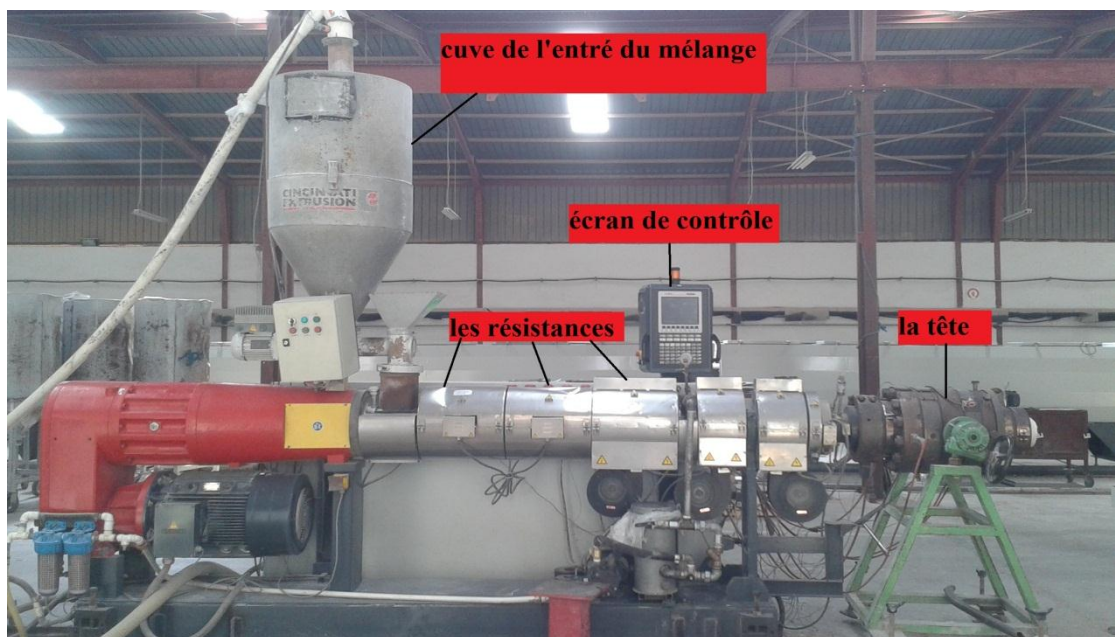


Fig. I. 3. Montre l'extrudeuse.

c. Le calibreur et les BAC :

La pâte passe par la tête de l'extrudeuse puis dans le calibreur (l'entrée de premier BAC) où elle prend la première forme d'un tube, et ce qu'il maintien cette forme c'est la création du

Chapitre I : Présentation de l'entreprise Plastub

vide stable au tour du tube dans le BAC et le refroidissement par de l'eau froide pulvérisée qu'elle ne doit pas frapper le tube directement (ça influence sur le diamètre).

Si la température de tube ne baisse pas un deuxième ou plusieurs wagons (BAC) de refroidissement sont nécessaires afin de consolider la forme de tube.

d. Le dateur marqueur :

Il s'agit d'un disque tournant à des inscriptions apparentes changeables selon le besoin et selon la production et à l'aide d'un ruban d'encre qui passe entre le disque et le tube ses informations s'inscrit sur le produit (des informations sur le fabricant, la norme, le type de produit, la pression que le tube peut supporter, la date et le lot).

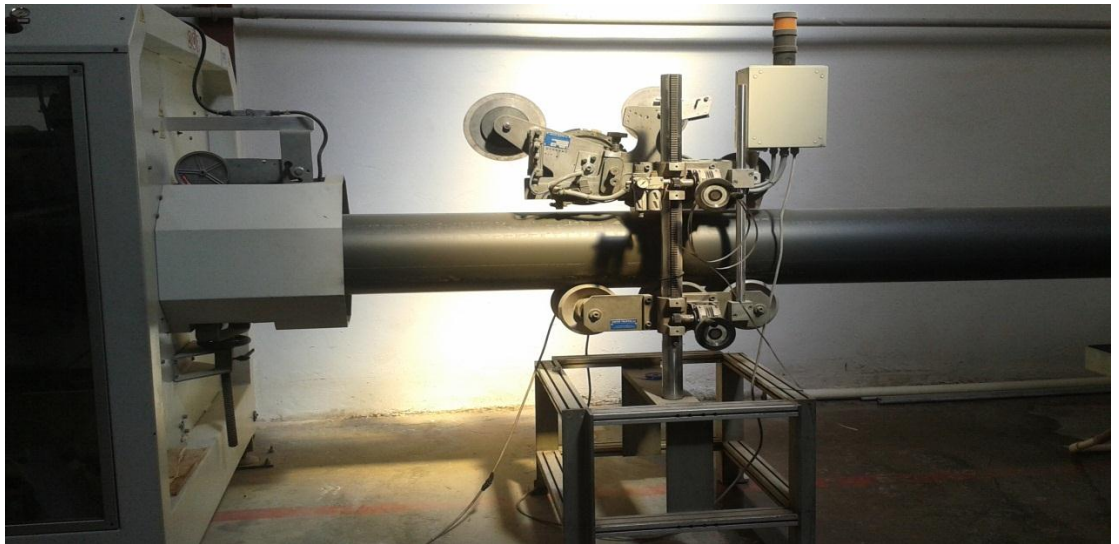


Fig. I. 4. Le dateur marqueur

e. La tireuse :

C'est un mécanisme pour mobiliser horizontalement le tube dans la chaîne de fabrication, et se compose de plusieurs chaînes roulantes qui s'enferment à la force pneumatique sur la circonférence du tube, les chaînes roulantes touche le tube avec des gommés et le tire vers la sortie par une vitesse bien déterminé.



Fig. I. 5. La tireuse.

f. Mètreur :

Un dispositif pour mesurer la longueur du tube (une roue), actionne la scie de découpe à chaque longueur du tube voulu (par exemple 6m ou 12m...), elle se trouve généralement à l'entrée de la tireuse et après le dateur (voir la figure n° (dateur marqueur)).

g. La scie de découpe :



Fig. I. 6. La scie.

Il y'a deux type de lamelles (scies) une verticale pour le découpe du tube et une latérale pour marquer le chanfrein dont elle est déterminé selon l'épaisseur de chaque tube.

h. La partie de toulipage et le met du joint :

C'est la partie finale où un four électrique chauffe l'une des deux extrémités de chaque tube pour lui donner une souplesse afin de pouvoir y mettre un joint en caoutchouc (renforcé à l'intérieure par du fer) et donner au tube la forme qui lui permet l'emboîtement dans son précurseur, en utilisant un sorte de moule on l'appelons mandrin qu'on fait rentrer dans la partie chaude du tube pour qu'il prenne ses flexions et ses courbures, le trempage dans de l'eau froide et l'injection de l'eau au tour du tube durcisse cette petite partie pour qu'elle garde sa forme définitivement.

4. La chaine de production de PEHD :

- On applique les tests de l'OIT, l'MFR et la masse volumique avant d'utiliser la matière première de PEHD, afin de voir le comportement de cette matière avant l'extrusion.
- Les tubes en PEHD sont fabriqués d'une seule résine au contraire de celle du PVC qui se fabriquent à partir d'un mélange, ce qui nous permet de mettre directement la matière première (PEHD granulé) dans la machine d'extrusion sans passer par l'étape de turbo-mélangeur.
- Ensuite, la production des tubes en PEHD prend le même sort que les tubes en PVC une fois est dans l'extrudeuse (le même types des machines (le calibreur, les bacs de refroidissement, l'extrudeuse, le marqueur, la roue de mesure de la longueur, à l'exception de la scie qui est rectangulaire et non pas un disque, le nombre des bacs de refroidissement (vue que l'épaisseur des tubes en PEHD est plus important que celle en PVC, leurs refroidissement nécessite plusieurs bacs) et qu'ils ne sont pas besoin de jointage aux extrémités car on peut procéder à la soudure pour fabriquer d'eux un réseau de transport des fluides).

Remarque :

Le tube de PEHD demande plus de trois BAC de refroidissement c'est pour ça qu'on remarque que la ligne de production est plus longue que le PVC.

5. Les vérifications au cours de la production :

- Un contrôle de la qualité est recommandé à effectuer et des mesures de diamètre à l'aide d'un cyclométrie, et de l'épaisseur du tube à plusieurs endroits sur son circonflexe (si on divise imaginativement le circonflexe sur huit régions on doit prendre l'épaisseur de chaque région) chaque une heure de production à l'aide d'un pied à coulisse ou un palmer ou encore calipers en anglais , afin de contrôler les résistances et la pression de l'air ainsi que la vitesse de tirage ou le pourcentage de marche de la machine puisque tout ça influence sur l'épaisseur final du tube.
- Un contrôle visuel des surfaces externe et interne afin d'assurer que le tube soit en parfaite état.
- Un contrôle de l'emplacement du joint si nécessaire ou de coller.
- Un contrôle de l'emboiture et les mesures si elles sont dans les normes.
- Une tolérance d'ovalisation à respecter où le diagonal le plus grand moins le plus petit doit répondre aux normes.
- La mesure de la longueur des tubes et ajustement des paramètres de découpe si nécessaire.
- Une vérification dernière avant la livraison de la conformité de la production notamment une vérification d'un éventuel défaut ou un début de cassure pendant le transport vers la zone de stockage ou pendant ce dernier et une dernière vérification de la quantité produite est recommandé et constituent les tâches quotidiennes d'un contrôleur de la qualité.

6. Les tests effectués dans le laboratoire du contrôle de la qualité :

- Chaque production doit être contrôlé dans le laboratoire par des séries de tests (test de traction ; test de choc à 0 °C ou à – 20 °C ; le test de la résistance à la pression interne à une température constante; l'indice de fluidité à chaud « MFR » et le test de l'induction de l'oxydation « OIT », ainsi la masse volumique pour la matière première en PEHD).

7. Test de l'indice de fluidité à chaud (Melt Flow Rate) MFR:

L'indice de fluidité c'est un paramètre nécessaire pour connaître la vitesse d'extrusion d'une résine en PEHD, c'est pour ça la norme **ISO 1133** nous a exigé la conformité à cet indice.

Et pour faire ce test il faut utiliser un plastomètre

Description et principe d'un plastomètre:

Les plastomètres ont été spécialement conçus pour une mesure simple et précise des indices de fluidité en masse MFR (ou Melt Flow Rate) et des indices de fluidité en volume MVR (Melt Volume Rate). La gamme de melt flow ou plastomères va du simple système de mesure manuel aux systèmes de mesure d'indice de fluidité semi automatisés à poids multiples. Les plastomètres sont conformes et permettent de répondre aux normes comme la norme ISO.

Le plastomètre se compose d'un canal d'essais qui est exactement chauffé à une température conventionnelle, d'une filière de diamètre calibré et d'un piston d'essais avec poids appliqué à son extrémité supérieure. Le matériau à tester est chargé dans le canal d'essais. Après un temps de préchauffe donné, le matériau est extrudé au travers la filière au moyen de la force appliquée sur le piston. L'extruda est coupé à intervalles constants, puis pesé. Le résultat est l'indice de fluidité en masse (MFR), calculé à partir de la masse extrudée par 10 minutes.



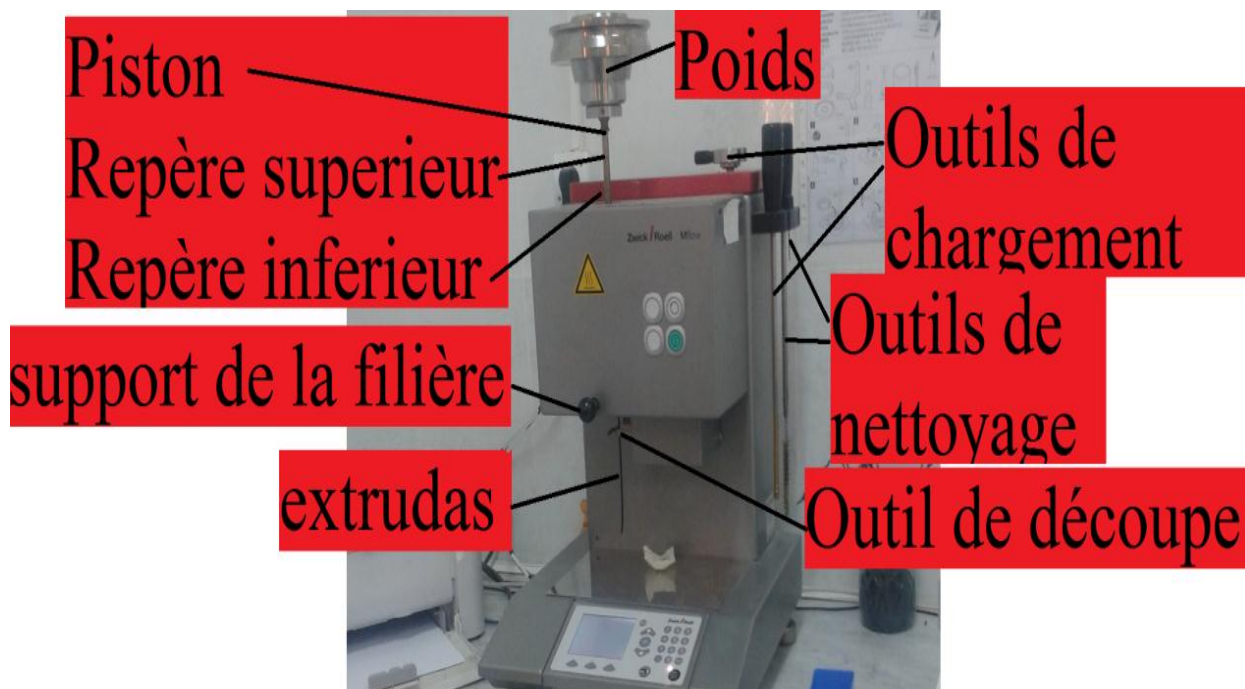


Fig. I. 7. Plastomètre.

8. Le test du temps d'induction de l'oxydation OIT :

Aussi comme le MFR le OIT c'est un test exigé par la norme **ISO 1133**, ce test nous permet de connaître l'oxydation de PEHD pendant 50 ans.

Pour faire ce test il faut utiliser un calorimètre différentiel d'analyse (DSC) ou analyse thermique différent.

Ce test s'applique sur la matière première (granulé) ou les produits finis (tubes) en PEHD

Le principe :

On admet qu'une résine de polyoléfine utilisée pour la fabrication du tubée /ou de raccords doit contenir des additifs comprenant un ou plusieurs antioxydant et d'autre stabilisants

L'essai mesure le temps pendant lequel l'additif, constitué d'antioxydant, de stabilisants et d'autres produits contenus dans une éprouvette, inhibe l'oxydation lorsque

Chapitre I : Présentation de l'entreprise Plastub

l'éprouvette est maintenue iso-thermiquement à une température spécifiée dans un courant d'oxygéné.

Le progrès de l'oxydation est surveillé en mesurant la différence de flux de chaleur (DQ°) ou les différences de température (DT) entre la cellule contenant l'éprouvette et la cellule de référence d'un analyseur thermique et en enregistrant cette différence par rapport au temps écoulé.

Le temps d'induction à l'oxydation est ensuite déduit à partir de cet enregistrement comme la durée pendant laquelle la différence de flux de chaleur ou de température reste constante entre la cellule de l'éprouvette et la cellule de référence.

Cette durée peut donner une indication sur le niveau d'antioxydant efficace résiduel et sur le temps pendant lequel l'éprouvette peut être exposée dans de l'oxygène pur à la température de l'essai avant le déclenchement de la dégradation thermique. Dans des conditions atmosphériques normales, cette durée sera plus longue.

Selon la matière et la condition de fabrication du tube ou du raccord, les dimensions et la condition d'emploi, les méthodes de prélèvement et la préparation des éprouvettes peuvent être déterminantes pour la cohérence des résultats et leur signification.

9. Le test de la résistance à la pression :

Le fait d'appliquer les normes de ce test est pour but d'avoir une idée sur la résistance des tubes à la pression d'eau interne constante (pression hydrostatique) reçoit durant 50 ans au minimum à une température constante dans le laboratoire en un temps réduit (on accélère les conditions qu'un tube peut subir durant sa vie estimée de 50 ans en un rien du temps (temps du test)).

Ce test s'applique aux tubes thermoplastiques destinés au transport des fluides (comme les tubes de PVC et les tubes en PEHD)

Le test est exigé par les normes suivantes :

- La norme algérienne : **NA7713**
- La norme européenne : **EN921 de 1994**
- La norme ISO : **ISO 3126 de 2005**

10. Conclusion

D'après notre stage dans l'usine Plastub, et suivant le matériel utilisé dans le procédé de fabrication des tubes que ce soit en polyéthylène ou on PVC, et même les machines utilisées pour tester la fiabilité des tubes. On a appris le maximum d'informations et on a conclut que cette usine est un plus pour notre wilaya économiquement et même scientifiquement pour nos étudiants

Chapitre II

Généralités sur les polymères

1. Introduction :

Depuis des siècles, nous utilisons les polymères naturels, tirés des végétaux et des animaux, tels que le bois *le caoutchouc, le coton, la laine, le cuir et la soie ainsi que les protéines, les enzymes, les amidons et la cellulose qui jouent un rôle important dans les processus biologiques et physiologiques des végétaux des animaux. Les outils de la recherche scientifique moderne ont permis de déterminer la structure moléculaire de ce groupe de matériaux et de mettre au point de nombreux polymères synthétisés à partir de petites molécules organiques. Les polymères représentent une classe de matériaux de plus en plus importante. Ils concurrencent les matériaux traditionnels, métaux et matériaux minéraux, grâce à :

- leur faible densité alliée à des propriétés thermomécaniques de plus en plus élaborées ;
- leur faible coût de production ;
- leurs propriétés très spécifiques (cas des polymères fonctionnels) ;
- leur possibilité de recyclage, au moins en ce qui concerne les matières thermoplastiques.

Un matériau est appelé plastique, qu'il soit naturel ou synthétique, quand après avoir été déformé par une action externe (température + contrainte, pression, ...), il conserve la forme acquise après la fin de cette action. Il vient du mot grec plastikos qui signifie modelable. Scientifiquement il a le nom polymère, qui veut dire en grec plusieurs unités. C'est un matériau organique composé essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Dans les années 1920, Hermann Staudinger a démontré qu'il était formé de longues chaînes moléculaires qualifiées de macromolécules, elles-mêmes formées d'une répétition de molécules élémentaires appelées monomères (motifs, éléments de base, mères). Ainsi la molécule de polyéthylène est formée de l'association en chaînes du motif $-CH_2-CH_2-$ provenant de l'éthylène C_2H_4 . Le nombre de motifs n qui est entier, peut être extrêmement élevé jusqu'à 10^6

Chapitre II : Généralités sur les polymères

La méthode d'élaborer le polymère à partir de monomères ou macromolécules est appelée la polymérisation

2. Définitions :

Polymère : c'est un ensemble de macromolécules issus d'assemblage covalent de motifs identiques appelé monomère [2]

Monomère : molécules de base qui réagit par des réactions dites de polymérisation. Le monomère peut être un composé organique insaturé, un composé organique comportant un ou plusieurs fonctions réactives [2]

Polymérisation : La polymérisation, qui désigne la réaction chimique de fabrication des macromolécules. Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère [3]

3. Processus d'élaboration :

Actuellement les matières plastiques sont essentiellement produites à partir de la pétrochimie (on pourrait également utiliser la carbochimie, mais il est plus facile d'utiliser un liquide ou un gaz). On opère suivant le cycle suivant :

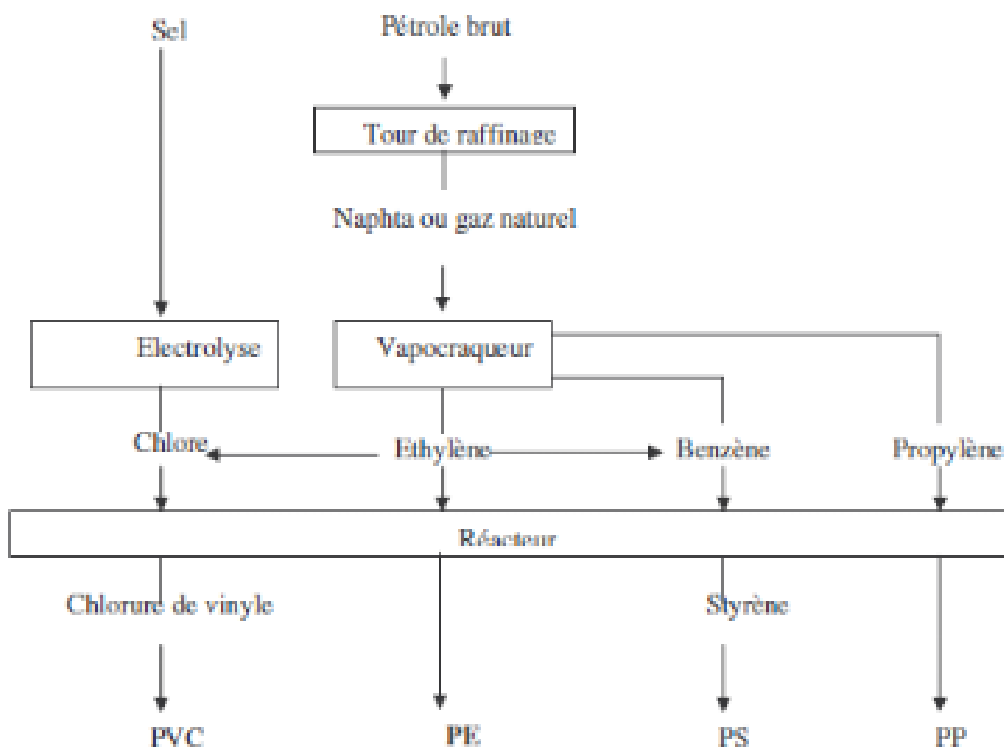


Fig. II.1. Grandes étapes de la fabrication des plastiques [4]

4. Classification des polymères :

Les polymères peuvent être classés selon leurs origines :

- ✓ Polymères naturels (bio polymère) : bois et fibre végétale, laine, cuire
- ✓ Polymères artificiels : sont obtenus par modification chimique d'un polymère naturel d'origine :
 - ❖ Végétale : la cellulose est extraite, entre autres, du bois et du coton puis transformée en ester de cellulose et éther de cellulose
 - ❖ Animal : la caséine extraite du lait mélangée au formaldéhyde donne de la galalithe
- Polymère synthétique polymère préparé par polymérisation de monomères : polystyrène

En plus de leur origine, les polymères peuvent être classés selon les critères suivants :

- ❖ Selon leur stabilité thermique
- ❖ Selon leur conductivité thermique et/ou électrique
- ❖ Selon le nombre de liaisons entre les unités constitutives
- ❖ Selon leur cristallinité (amorphe ou semi-cristallin)
- ❖ Selon leur état physique (liquide ou solide)
- ❖ Selon Élastomères)
- ❖ Selon la régularité de l'enchaînement de motifs
- ❖ Selon le nombre de type d'unités répétitives (homopolymères, copolymères)
- ❖ Selon leur masse moléculaire (Oligomères : masse moléculaire inférieure à 2000g/mol, Polymères : masse moléculaire supérieure à 2000g/mol),
- ❖ Selon la composition chimique
- ❖ L'architecture de leur chaîne (branché, linéaire)
- ❖ Selon leur mise en œuvre (thermoplastiques, thermodurcissables [5]).

5. Les différents types des polymères

a. Les thermoplastiques

On peut trouver des matériaux polymères sous plusieurs formes de thermoplastiques, thermodurcissables, et élastomères. Un thermoplastique est un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique.

Chapitre II : Généralités sur les polymères

Ces polymères peuvent cristalliser thermoplastes amorphes ou thermoplastes semi-cristallins comme le polyéthylène (PE), le poly (chlorure de vinyle) (PVC) ou le polystyrène (PS) sont mis en forme par diverses techniques comme l'injection, l'injection-soufflage et l'extrusion ou le rotomoulage .

Dans la majorité des cas, le polymère ayant la forme désirée récupère son état partiellement cristallin ou amorphe après refroidissement [6]

Les polymères amorphes

Les chaîne macromoléculaires peuvent être organisées de façon aléatoire dans l'espace et constituent ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est en théorie équivalente à un liquide « figé » sans ordre moléculaire à orientations macromoléculaires préférentielles (Figure 2.2)

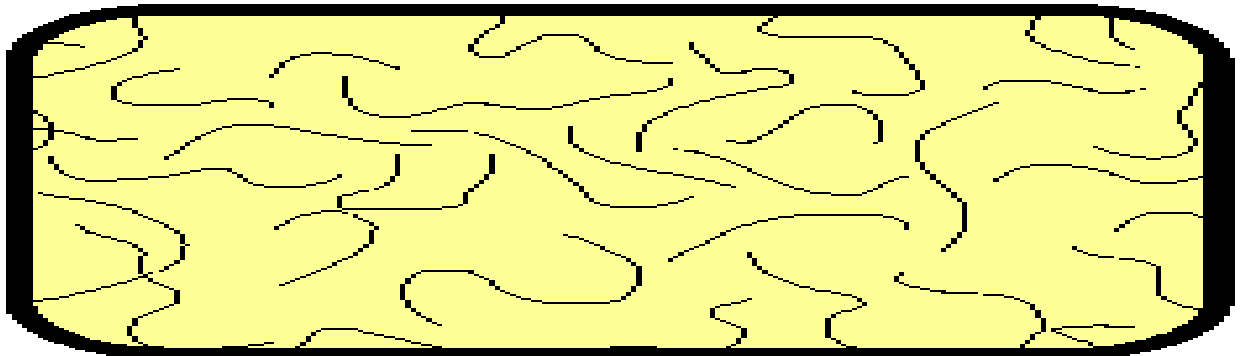


Fig. II. 2. polymère amorphe

Les polymères semi-cristallins

Ils sont constitués de phases cristallines et de phases amorphes du même polymère. Leur microstructure est souvent complexe, et en conséquence la description de leur propriétés aussi [7]. Leurs propriétés mécaniques sont généralement bonnes (Figure 2.3).

Exemple : La matière plastique des gobelets jetables est plus résistante à la déchirure dans la direction circonférentielle que dans la direction des génératrices, ce qui manifeste une anisotropie des propriétés mécaniques.

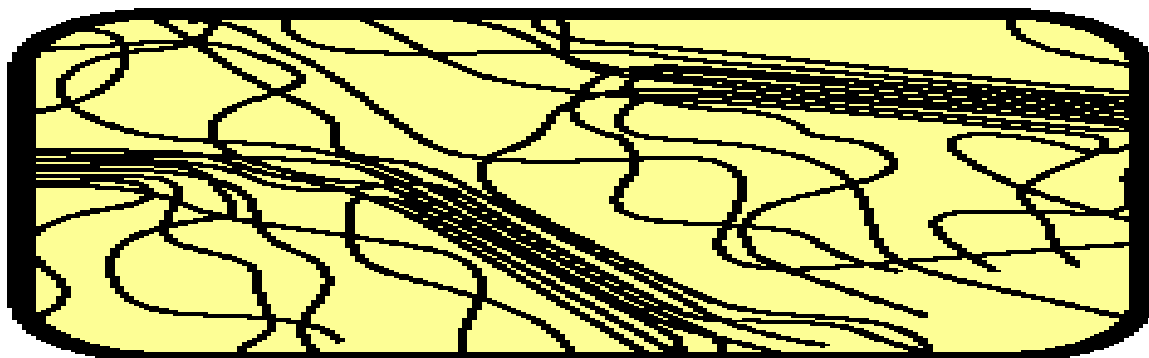


Fig. II. 3. Polymères semi-cristallins

La morphologie semi cristallin :

La morphologie semi-cristalline des polymères est unique dans la nature de par la coexistence de deux phases : la phase cristalline et la phase amorphe. Cette structure a d'abord été interprétée par le modèle des micelles à franges (« fringed micelles »)⁴, dans lequel les zones cristallines sont représentées par des séquences ordonnées où les chaînes sont alignées parallèlement les unes aux autres (Figure 1.1). Dans ce modèle, la taille des zones cristallines, ou celle des micelles, est estimée à 5-50 nm. Comme la longueur d'une chaîne est typiquement plus grande, une macromolécule peut faire partie de plusieurs cristallites, orientés au hasard et également traverser des zones moins ordonnées.

Bien que longtemps accepté, le modèle des micelles frangées ne permettait pas de rendre compte des structures cristallines observées par microscopie optique sur des échantillons polymères cristallisés à partir du fondu. Ces structures, appelées « sphérolites », étaient déjà observées en minéralogie et dans des études de cristallisation de nombreuses substances simples. Les sphérolites représentent des entités symétriques essentiellement de forme sphérique ayant des propriétés de biréfringence. Les caractéristiques morphologiques de ces structures comme, par exemple, l'orientation tangentielle des chaînes, ne pouvaient pas être expliquées dans leur ensemble par le modèle des micelles frangées.

Un autre modèle de la structure des polymères est apparu dans les années 1957-1960, à la suite de l'étude des monocristaux formés en solution diluée entreprise par Schlesinger⁵, Keller⁶ et Jaccodine⁷. Ces études ont confirmé la notion de repliement de chaînes (Fig. 1.2.a) introduite auparavant par Storks⁸, qui a écrit : “the macromolecules are folded back and forth upon themselves in such a way That adjacent sections remain parallel”. On peut distinguer deux modèles extrêmes de repliements des chaînes macromoléculaires. D'une part,

il y a un modèle de repliements serrés (« adjacent reentry »)⁹ dans lequel la chaîne se replie à la surface de la lamelle pour former une boucle en occupant le site voisin. D'autre part, il y a un modèle de repliements désordonnés (« random switchboard »)¹⁰ dans lequel une chaîne peut se replier à la surface de la lamelle en formant une boucle moins serrée et rentrer en un point plus éloigné.

Les lamelles cristallines, ayant typiquement une épaisseur d'environ 10 nanomètres, ont généralement tendance à s'empiler lors de la cristallisation pour former des paquets lamellaires, ou fibrilles (Fig. 1.2.b). Ainsi, une chaîne de polymère peut participer à plusieurs lamelles. Les sphérolites sont décrits dans le cadre de ce modèle par un arrangement radial des fibrilles formées à partir d'un centre de nucléation (Fig.1.2.c). Dans ce modèle, les zones amorphes vont se retrouver entre les sphérolites de même que dans les régions interlamellaires et interfibrillaires . Les propriétés relatives à ces différentes régions seront abordées plus loin

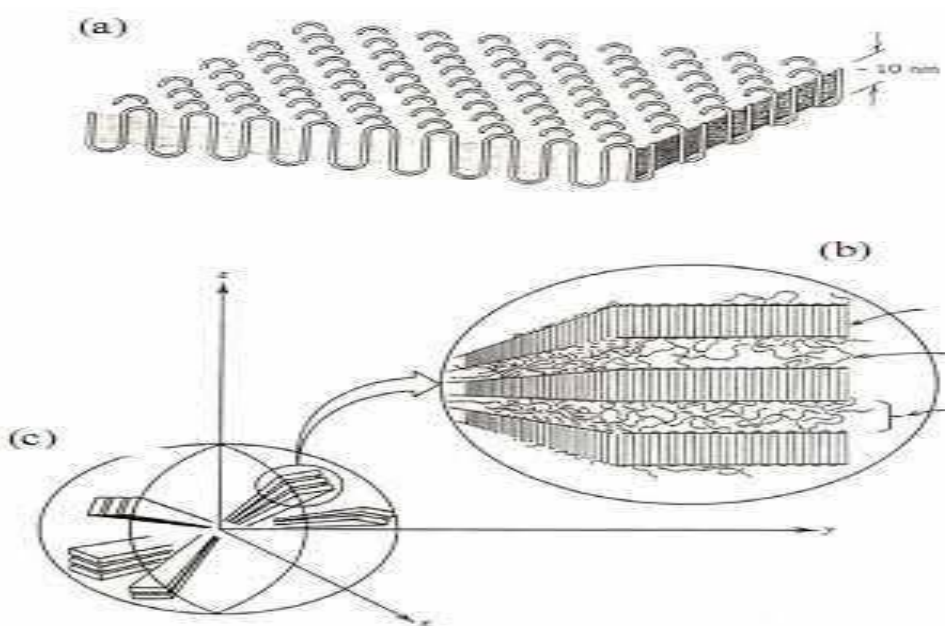


Fig. II. 4. Schéma représentant: (a) la structure d'une lamelle cristalline formée par repliements successifs de chaîne polymère, (b) empilement des lamelles cristallines, (c) vue globale du sphérolite.

Outre cette organisation lamellaire et sphérolitique , il existe encore une organisation locale à l'échelle atomique qui est caractérisée par un ordre à longue portée (maille cristalline). Les paramètres structuraux de cette organisation (paramètres de la maille) sont

Chapitre II : Généralités sur les polymères

encore plus petits que l'épaisseur de la lamelle cristalline, il existe une large gamme de méthodes qui permettent d'explorer la morphologie semi-cristalline à différents niveaux. Parmi les techniques expérimentales les plus utilisées à cette fin on peut citer la microscopie optique en lumière polarisée (POM), la microscopie électronique à transmission (TEM), la microscopie de force atomique (AFM), ainsi que les techniques de diffusion des rayons X aux petits angles (SAXS) et aux grands angles (WAXS). Bien que limitée par sa résolution, la POM permet d'apporter des informations importantes sur la structure cristalline au niveau sphérolitique et sur l'orientation locale des cristaux à travers leurs propriétés de biréfringence¹¹.

Cette technique est également un moyen usuel pour la mesure des vitesses de croissance cristalline¹². Contrairement à la POM, la technique TEM permet quant à elle de caractériser la morphologie cristalline avec une résolution spatiale beaucoup plus importante.

La découverte des cristaux polymères avec des chaînes repliées a été faite notamment au moyen de cette technique^{13,14}. Cependant, le TEM est une technique à caractère destructif et cela en raison de l'interaction forte entre le faisceau électronique et le matériau. Le TEM nécessite la préparation particulière d'échantillon, comme par exemple la coloration (« staining »), afin d'obtenir un contraste suffisant entre les phases cristallines et amorphes^{15,16}. L'analyse par le TEM est donc néfaste pour la plupart des molécules organiques et constitue souvent une analyse de l'échantillon « post mortem ».

Les techniques de diffusion des rayons-X permettent d'apporter des informations sur la structure des phases à différentes échelles spatiales^{17,18}. Les mesures WAXS offrent la possibilité d'étudier l'ordre cristallin à l'échelle de l'angström, tandis que les mesures SAXS permettent d'analyser la structure développée au-delà de quelques nanomètres et donc au niveau lamellaire et fibrillaire. Cependant, cette dernière technique présente le désavantage de fonctionner dans l'espace réciproque.

L'analyse des données SAXS nécessite l'utilisation de modèles structuraux pour extraire les paramètres morphologiques. Les résultats ainsi obtenus sont parfois ambigus et dépendent fortement du choix du modèle structural. Par exemple, le modèle unidimensionnel de la structure semi-cristalline, constitué de couches cristalline et amorphe alternantes, conduit à une ambiguïté dans l'attribution des deux distances principales de la structure semi-cristalline, à savoir, l'épaisseur lamellaire (L_c) et l'épaisseur de la phase amorphe interlamellaire (L_a)¹⁹. De nos jours, la famille des microscopies à sonde locale, « scanning

probe microscopies » (SPM), est devenue complémentaire aux traditionnelles microscopies TEM et POM. En particulier, l'utilisation de l'AFM s'avère bien appropriée pour l'étude de la morphologie polymère²⁰. En effet, elle permet de visualiser les détails de la structure semi-cristalline et cela à tous les niveaux d'organisation²¹. L'AFM est une technique non-destructive permettant d'obtenir des informations sur la topographie superficielle de l'échantillon. Aujourd'hui cette technique est équipée d'accessoires permettant de faire des mesures en faisant varier la température²². Le développement de cette technique a contribué à la physique des polymères et plus particulièrement à l'étude de la cristallisation et de la fusion des polymères en surface ²³.

b. Les thermodurcissables

Un thermodurcissable est un produit poudre à mouler solide, ou résine liquide transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble que l'on qualifie de thermo durci. Il est souvent d'usage, dans l'industrie, d'employer abusivement le terme thermodurcissable pour désigner à la fois le système réactif initial. Soluble et fusible et le produit final et infusible. Le réactif initial peut être composé d'un monomère ou d'un mélange de monomères (résine, aminoplastes, siclons, etc.), ou plus fréquemment d'un mélange de polymère linéaire de faible masse molaire et de monomère (résine époxy, résines polyesters insaturés...etc.). La mise en œuvre des thermodurcissables est donc moins aisée que celle des thermoplastiques car il faut impérativement effectuer la mise en forme en même temps que la réaction chimique de réticulation. Cependant, le thermodurcissable présente une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevées que les thermoplastiques [8]

c. Les élastomères

Un élastomère est un polymère linéaire ou ramifiée transformé par vulcanisation en un réseau tridimensionnel faiblement réticulé infusible et insoluble. Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchoutique, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous l'action de contrainte mécaniques. Ils peuvent atteindre de très grands allongements, tout en étant capables de retrouver leur géométrie initiale en restituant au milieu l'énergie qui leur a été fournie lors de la déformation [9].

6. Comportement Mécanique Des Polymères

Tous les polymères ont une large gamme de comportements mécaniques : fragiles aux basses températures, ils deviennent plastiques, puis viscoélastiques, puis encore caoutchoutiques, et enfin visqueux au fur et à mesure que la température augmente. Il est connu que les métaux et les céramiques ont aussi des comportements mécaniques variables, mais leur variation au voisinage de la température ambiante est insignifiante à cause de leurs températures de fusion élevées. Avec les polymères, les choses sont différentes : entre -20 °C et $+200\text{ °C}$, un polymère peut passer par tous les états mécaniques cités ci-dessus ; ce faisant, son module et sa résistance à la traction peuvent varier d'un facteur supérieur à trois ordre de magnitude (10^3). L'état mécanique d'un polymère dépend de sa masse moléculaire et de la température ; ou, plus précisément, de l'écart entre sa température et T_g , température de transition vitreuse [2.2]. Chaque état mécanique correspond à un certain domaine de température réduite représentée par T/T_g .

Certains polymères comme le PMMA, et de nombreux époxydes, sont fragiles à la température ambiante parce que leur température de transition vitreuse est élevée et que la température ambiante est seulement $0,75 T_g$. D'autres sont viscoélastiques, comme les polyéthylènes ; pour ceux-ci, la température ambiante est environ $1,0 T_g$. D'autre encore, comme le polystyrène, sont des élastomères ; pour ceux-là, la température ambiante est bien au-dessus de T_g (environ $1,5 T_g$) [2.2]. Ainsi, il vaut mieux représenter les propriétés des polymères non pas en fonction de la température T , mais plutôt de T/T_g , puisque c'est ce qui détermine en fait l'état mécanique correspondant.

A basse température, le mouvement des chaînes macromoléculaires est bloqué, et le polymère est dans un état vitreux, dur et relativement fragile (plateau vitreux). A partir de la température de transition vitreuse (température à laquelle les liaisons faibles commencent à fondre), l'agitation thermique est suffisante pour que la chaîne puisse se déformer ; le polymère, qui devient alors de plus en plus souple, se comporte comme un caoutchouc (plateau caoutchoutique), faible module d'élasticité et très grande déformation élastique. Dans le domaine caoutchoutique, l'agitation thermique rend les chaînes très déformables ; toutefois, à cause de leur enchevêtrement, leur déplacement relatif se produit difficilement.

A une température supérieure à celle du plateau caoutchoutique, la rigidité du polymère s'effondre, et celui-ci se comporte comme un liquide visqueux (écoulement visqueux). Lorsqu'on refroidit un tel polymère, il reprend un comportement caoutchoutique puis vitreux : ce type de polymère est dit thermoplastique (le cas des PE).

Chapitre III

Le polyéthylène et son utilisation en tyuauterie

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie

1. Introduction

Depuis les années 70, une grande partie des lignes de distribution de gaz ont été réalisées en plastique, souvent de polyéthylène (PE), parfois de chlorure polyvinylique (PVC) [10]. Le Tableaux 3.1 donne les longueurs du réseau principal de canalisation en services par diamètre et matériau respectivement, utilisés dans la distribution du gaz naturel en 1998. Les matériaux comparés sont l'acier, la fonte, PVC et le PE [11].

Tableau.III.1 : Longueur (en kilomètre) de tubes principaux utilisés dans la distribution de gaz par matériau et par diamètre [10, 11].

Matériau	Diamètre du principal en mm						Total en km par matériau
	Ignoré	50,8 ou moins	50,8 à 101,6	101,6 à 203,2	203,2 à 304,8	Plus de 304,8	
Acier	158	478 371	261 216	150 396	39 641	9 609	939 392
Fonte	3	2 969	32 235	29 794	5 864	3 201	74 067
Poly (chlorure de vinyle)	11	29 889	4 435	304	3	0	34 643
Polyéthylène	92	540 242	141 867	25 358	377	26	707 962
Autres	0	8 016	2 676	1 804	299	145	12 941
Total par la taille	164	658 335	274 913	129 032	28 698	8 066	1 099 208

2. Application des plastiques en tuyauterie

Les tuyaux plastiques ont été utilisés pour la première fois par les Allemands, au milieu des années 1930, dans des réseaux sanitaires d'évacuation. Leur emploi est maintenant très diversifié et largement répandu dans les pays industrialisés [12]. Le transport souterrain de l'eau et d'égout a connu plutôt le béton, l'argile vitrifiée et l'acier. Cependant, il y a une

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie

grande variété de tubes plastiques souterrains comme le PVC et le polyéthylène à haute densité. Deux tubes du même matériau fonctionnent différemment selon leurs diamètres respectifs, utilisations, techniques d'installation, géométrie du fossé, matière et environnement de remblai et conditions de fonctionnement [13]. Une autre application concerne le transport d'eau chaude est le (XPE). Ce dernier est un tube extrudé en polyéthylène réticulé utilisé pour le transport d'eau chaude. Les études montrent que la réticulation supprime la transition ductile-fragile, mais ne modifie pas de manière significative le comportement dans les zones ductiles [14].

Les plastiques sont les tubes de choix pour les lignes de distribution de gaz à basse pression. Tandis que les composites et les plastiques sont employés pour les lignes d'écoulement, de collecte et de distribution. Actuellement, ils sont acceptés dans les systèmes de transmission à haute pression de gaz naturel pour des états d'étude. En raison de la facilité d'enroulement en plus petits diamètres et de transport, les composites et les plastiques sont un produit de substitution économique pour le tube d'acier. Cependant il y a eu un essai limité d'un mélange d'acier/composite dans une application de canalisation à transmission de gaz naturel. Les résultats de cette recherche indiquent qu'il y a quelques obstacles qui doivent être franchi pour fabriquer un tube de composite à grand diamètre comme un choix permanent pour le transport du gaz naturel à haute pression dans l'avenir [10].

3. Polyéthylène PE

Le polyéthylène « PE » est un polymère thermoplastique de grande diffusion, fait partie de la famille des polyoléfines. IL est issu de la polymérisation de l'éthylène gazeux sous des conditions spécifiques (température et pression), en présence d'un système catalytique.

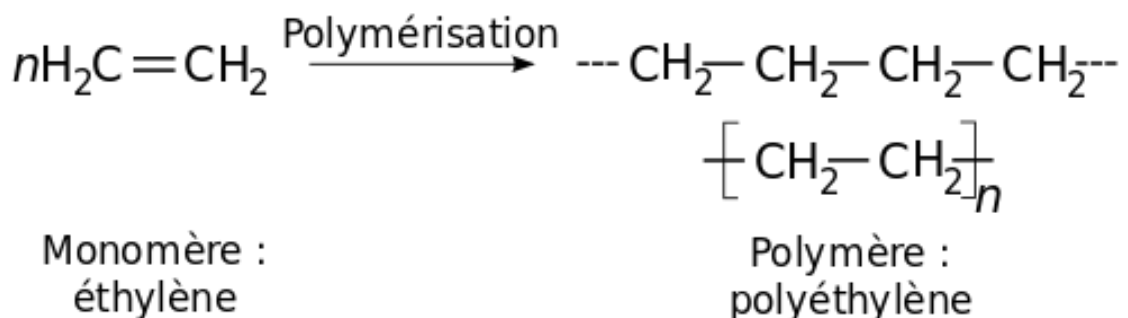


Fig. III. 1. Polymérisation de polyéthylène

Les premiers procédés de fabrication ont été effectués à des pressions et des températures très élevées et le produit ainsi obtenu a été d'abord utilisé pour l'isolation des câbles de télécommunication. Des développements ont été ensuite apportés à ces procédés

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie

permettant d'opérer à des conditions modérées et d'obtenir des polyéthylènes de structure moléculaire différente, et par conséquent de propriétés nettement différenciées. Ceci a permis d'élargir énormément leurs domaines d'applications [15].

4. Types de polyéthylène

Suivant les procédés de polymérisation d'éthylène, on obtient deux types distincts de polyéthylène:

- Les procédés à haute pression : fournissant le polyéthylène à basse densité (PEBD)
- Les procédés à basse pression : fournissant un polymère légèrement plus dense, le polyéthylène à haute densité (HDPE).

Les propriétés les plus importantes de ces types sont rassemblées dans le Tableau I.3.

Tableau.III.2 : Propriétés mécaniques et thermiques des polyéthylènes [16].

Propriété	PEBD	PEHD
Masse volumique (g/cm ³)	0.91–0.94	0.95–0.98
Module de Young (20°C, 100s) (GPa)	0.15–0.24	0.55–1.00
Résistance à la traction (MPa)	7-17	20-30
Ténacité (20°C) (MPa m ^{1/2})	1-2	2-5
Température de transition vitreuse T _g (°K)	270	300
Température de ramollissement T _s (°K)	355	399
Chaleur massique (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	2250	2100
Conductivité thermique (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0.35	0.52
Coefficient de dilatation thermique (M K ⁻¹)	160-190	150-300

Les propriétés des polyéthylènes dépendent des paramètres structuraux comme la cristallinité, la masse volumique et la distribution des masses molaires, de la conception de la pièce et des conditions d'utilisation comme la durée des charges appliquées, la nature des contraintes de sollicitation et la température. L'introduction de branchements courts dans la chaîne carbonée, favorisant l'encombrement stérique, abaisse la masse volumique du HDPE et sa cristallinité.

5. Mise en œuvre du PE

Pendant la mise en œuvre, le polymère est mélangé à différents produits (stabilisants, lubrifiants, plastifiants, charges..) pour élaborer une formulation qui se présente le plus souvent sous forme de poudre ou de granulés. Cette formulation est ensuite fondue (cas des polymères semi cristallins ou plastifiés (cas des polymères amorphes), à la fois par conduction thermique depuis

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tyuauterie

Les parois de l'outillage de mise en forme et par dissipation d'énergie mécanique. Cette matière thermoplastique très visqueuse est ensuite forcée dans un outillage qui va donner une première forme au produit (tube, film...), elle est ensuite mise en forme et alors refroidie, dans certain cas étirée ou bi-étirée, pour obtenir le produit final. De ce processus de mise en forme, des paramètres d'étirage et de refroidissement vont dépendre la structure cristalline du polymère et de l'orientation de la phase amorphe. Etant donné leur faible conductivité thermique et leur viscosité élevée, les matériaux polymères ne se laissent pas mettre en œuvre comme des matériaux traditionnels. Il faut en effet provoquer leur fusion, puis les mettre sous une pression suffisante pour pouvoir les forcer au travers des outillages de mise en forme.

Les machines d'extrusion sont des équipements de mise en œuvre les plus utilisés et au travers desquelles, la plus grande quantité de matières thermoplastiques est mise et forme. Les éléments actifs de ces machines sont une ou plusieurs vis enfermées dans un Foureau, dont la température peut être contrôlée par des éléments chauffants et refroidissant. Ces vis sont entraînées par un moteur électrique (parfois hydraulique) à vitesses variables au travers d'un réducteur et d'un dispositif d'accouplement [17].

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 sans fin assurant le transport et l'homogénéisation de la masse fondue. Cette masse plastique est ensuite pressée à travers une matrice d'extrusion ou une filière, qui donne la forme finale à la section de l'extrudat. Le produit extrudé est refroidi puis coupé en longueur.

Le PEHD peut être transformé par d'autres techniques :

- Extrusion de films par technique "Chill – Roll";
- Production de fils et de fibres à partir de film extrudé – soufflés (fibrillation) ;
- Production de fils par filage.

6. Domaines d'applications des polyéthylènes :

La diversité de propriétés du PE lui confère un très large domaine d'applications, et par conséquent une des premières places dans le monde, parmi les autres matières plastiques. Parmi ses applications on a :

6. 1. Extrusion des films :

L'extrusion des films représente le débouché le plus important du PEBD. Ces films sont destinés à :

- l'emballage : sacs, sachets, emballage de palettes (film thermo rétractable), etc... ;
- l'usage agricole : serres [18,19].

6. 2. Injection :

- articles ménagers : seaux, bols, cuvettes, etc... ;
- bouchons : bouteilles, boîtes ;
- matériel médical : seringues, sondes, etc... ;
- jouets ;
- raccords de tuyauterie [18,19].

6. 3. Extrusion- soufflage des corps creux :

- emballage des produits alimentaires, exemple : les bouteille de lait ;
- récipients pour les lessives et les détergents liquides ;
- containers, cuves et citernes pour les paraffines [18,19].

6. 4. Extrusion des tubes :

- irrigation et distribution de l'eau potable ;
- plomberie ;
- transport du gaz et des liquides corrosifs [18,19].

6. 5. Câblerie :

Le polyéthylène est utilisé pour le gainage des câbles principalement les câbles téléphoniques. L'isolation des câbles électriques de forte à basse et moyenne tension s'effectue avec le PE réticulé par le peroxyde ou le silane [19]

7. Procèdes de fabrication des tubes en matière plastique :

7.1. Tubes extrudés

Le processus d'extrusion met en forme l'aluminium en chauffant une billette et en la faisant traverser sous pression une ouverture de la filière, donnant lieu jusqu'à cinq kilomètres de produits extrudés à partir d'une billette en aluminium [21].

7.2. Tubes stratifiés :

Leur fabrication s'effectue à partir d'une feuille de papier, d'une étoffe textile, ou d'un tissu de verre, préalablement imprégnés d'une solution de matière plastique, par trempage ou projection au pistolet. L'enroulement sous tension de la feuille autour d'un mandrin donne naissance à un rouleau dont l'épaisseur varie avec le nombre de tours. Ce rouleau est ensuite polymérisé et aggloméré par passage dans une étuve, ou mieux par moulage dans un moule approprié, serré entre les plateaux chauffants d'une presse hydraulique. Des tubes stratifiés peuvent être fabriqués à froid avec certaines matières plastiques liquides dont la prise est obtenue par mélange avec un catalyseur.

7.3. Tubes coulés:

Ce procédé de fabrication est peu employé. La matière plastique, se présentant sous forme liquide (solution, émulsion, polymérisation incomplète), est versée dans un moule adéquat dans lequel elle se refroidit, soit à froid grâce à un catalyseur convenable, soit à chaud par introduction du moule dans une étuve, soit par les deux moyens combinés.

7.4. Tubes centrifugés:

Ce procédé est utilisé avec les polyméthacrylates . La matière est projetée par centrifugation contre un moule cylindrique chauffé, animé d'un mouvement de rotation. Le tube est retiré après refroidissement.

Divers autres moyens de fabrication de tubes en matières plastiques ont été proposés et sont même parfois en essai semi-industriel. Une autre tendance exploite les armatures tissées en forme de tubes, dont la résistance mécanique est considérable et qui sont noyées ensuite dans le plastique, pour obtenir l'étanchéité, la rigidité, la résistance à la corrosion [20].

8. Classification des tubes en PE

Tous les tubes plastiques ont une classification qui dicte les propriétés primaires du matériau à base de sa résine.

Selon la norme ASTM D-3350, les tubes sont classés suivant leur densité, indice de fusion, module de flexion, résistance à la traction au seuil de l'écoulement plastique, résistance à la fissuration sous contrainte, résistance hydrostatique à 23°C, stabilisateurs de pigments et stabilité aux rayons ultraviolets. L'essai hydrostatique de design (HDB) est une évaluation de la plus importante propriété. Cet essai renseigne sur les propriétés à long terme du matériau. En référence aux normes ISO, le polyéthylène est défini par la MRS, (Minimum Required Strength) : qui est la résistance minimale que le polyéthylène doit garantir après 50 ans de service à une température de 20°C. Celle-ci s'appelle aussi résistance hydrostatique à long terme à 20°C.

Les tubes sont caractérisés aussi par le rapport dimensionnel standardisé SDR (Standard Dimension Ratio) qui est le nombre arrondi exprimant le rapport du diamètre extérieur minimal à l'épaisseur nominale moyenne mesurée directement sur le tube [22]

9. Raison d'utilisation des tube en PE :

Les réseaux de canalisations modernes sont, pour la plupart, constitués de tuyaux en polyéthylène. Cela est dû à ses caractéristiques qui sont très intéressants pour les professionnels de l'assainissement et du BTP. Premièrement, en ce qui concerne ses propriétés mécaniques, il est très apprécié pour l'étanchéité du réseau de canalisations qui l'utilise [25].

Les sections de tuyau sont parfaitement soudées. Un des risques les plus importants en plomberie est le coup de bélier (surpression provoquée par la variation brusque de la vitesse du liquide). Avec le PEHD, ce risque diminue considérablement. Aussi, il peut encaisser des chocs importants. Cette propriété est très recherchée car les travaux de chantiers nécessitent souvent de provoquer des secousses [23].

Puis, il y a aussi la résistance chimique. En effet, ce matériau résiste bien aux eaux usées domestiques diverses, aux de lessives, aux acides. Grâce à l'absence de toxicité dans le PEHD, il peut être utilisé pour le transport des liquides alimentaires et de l'eau potable. C'est pourquoi, le réseau de distribution publique l'utilise beaucoup. Il est aussi intéressant de noter

qu'en tant que matière synthétique le tuyau en polyéthylène est un mauvais conducteur de chaleur. Ce qui est un grand avantage.

10. Application des tubes en PE

10.1. Tuyaux pour de l'eau potable

Celui-ci a été le premier domaine d'application de tuyaux en polyéthylène et il continue à être le plus important.

La résistance au coup de bélier des tuyaux en polyéthylène augmente considérablement par rapport aux autres matériaux à cause de leur grande élasticité et flexibilité. Leur intérieur lisse évite la formation d'incrustations et la perte de charge par frottement est presque nulle, donc ils sont insensibles au gel.

Les tuyaux en polyéthylène ont été agréés pour l'approvisionnement de populations, réseaux de distributions, raccordements et conduites subaquatiques enterrées. Aujourd'hui, presque tous les raccordements des maisons sont en polyéthylène.

10.2. Tuyaux de gaz

L'utilisation de tuyaux en PE pour des canalisations enterrées de distribution de combustibles gazeux jusqu'aux 10 bars, constitue au présent une technique généralisée dans le secteur gazier.

Les tuyaux en PE 80 de moyenne intensité en couleur jaune et ceux en PE 100 SDR 17.6 en couleur jaune-orange de même que ceux en couleur noire avec des bandes jaunes-oranges, répondent à l'exigence d'une signalisation durable de tuyaux de gaz.

Le PE est un composant de faible polarité, donc il présente une grande résistance aux agents chimiques. Il est inerte à l'eau, aux bases, aux acides inorganiques non-oxydants, aux solutions salines et à la corrosion externe par des sols agressifs.

Les gaz combustibles transportés en phase gazeuse, n'affectent pas les tuyaux en PE. En phase liquide, ceux-ci peuvent les absorber, pour produire une perte de résistance mécanique qui est compensée par l'emploi d'épaisseurs adéquates.

Le faible module d'élasticité, bien moindre que celui d'autres matériaux, permet de disposer de tuyaux dans des rouleaux et des bobines, des installations avec des tronçons

courbes et la possibilité d'employer des technologies sans tranchée NO-DIG, de même que pour l'interruption de gaz par pincement.

10.3. Tuyaux pour l'arrosage

Le besoin d'utilisation rationnelle de l'eau a déterminé le développement de différents systèmes d'arrosage adéquats pour chaque plantation.

Les tuyaux en PE, à cause de leur poids réduit, requièrent peu d'ouvriers pour leur transport et leur pose. Les raccords rapides, surtout ceux qui sont conçus pour ces tuyaux, permettent un montage facile.

Les tuyaux en PE sont employés pour des installations d'arrosage par aspersion, par micro-irrigation goutte à goutte et par micro-arrosage. Un système de réglage et de contrôle adéquat permet de doser l'eau et les engrais qui peuvent être comportés.

- ✓ **Tuyaux pour le transport de solides**
- ✓ **Tuyaux pour des conduites d'eaux recyclées**

Toute l'eau de la Terre est recyclée, elle est employée à nouveau par des cycles naturels. Cependant, l'expression "eaux recyclées" signifie des eaux usées envoyées de nos maisons, des commerces ou des industries au moyen d'un tuyau vers une station d'épuration (EDAR) où elles sont traitées jusqu'au niveau de qualité appropriée pour l'usage prévu où pour la méthode de mise en décharge. Dès lors, l'eau recyclée est envoyée directement par un système de distribution spécifique pour son utilisation en arrosage ou en réfrigération industrielle

10.4. Tuyaux sous pression pour des eaux recyclées

La capacité résistante de tuyaux en PE aux coups de bélier, permet de les dimensionner normalement à partir de la pression de travail.

La facilité d'adaptation au profil du terrain grâce à sa flexibilité, rend possible de les installer presque sans accessoires, en plus de garantir une longue durée à cause de sa résistance à la corrosion et à l'usure par abrasion.

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie

Le transport sous pression des eaux usées par des tuyaux en PE est réalisé de plus en plus, surtout dans des aires faiblement bâties, où il y a une grande distance entre le lieu où ces eaux sont produites (villages, urbanisations, camping, etc.) et la station d'épuration (EDAR).

10.5 . Conduites subaquatiques

L'emploi de tuyaux en PE dans la mise en œuvre de conduites subaquatiques a augmenté considérablement, pour dépasser l'utilisation de matériaux traditionnels avec des avantages indubitables.

Lorsque les tuyaux en PE sont employés dans des émissaires sous-marins, leur principal avantage est la possibilité d'exécution et de mouillage de longs tronçons de tuyaux installés dans des tranchées ouvertes au préalable et ensuite couvertes ou mis directement sur les fonds marins sans préparation spéciale du matériel au préalable. L'utilisation de longs tronçons permet une réduction importante du nombre d'opérations de mouillage avec réduction de coûts ajoutés. Donc, une réduction de risques dans les opérations d'enfoncement [20].

Une application très intéressante de tuyaux en PE est constituée par des conduites subaquatiques enterrées pour traverser des rivières, des canaux, des lacs ou des bras de mer à cause de la flexibilité naturelle, ils s'adaptent parfaitement à l'itinéraire voulu pour être employés comme :

Tuyaux sous pression, par exemple pour des conduites d'eau potable, pour la prise d'eau de mer, etc.

10.7. Tuyaux pour protection de câbles.

Tuyaux libres de pression ou de très faible pression, par exemple, des émissaires sous-marins des eaux usées.

Le comportement du polyéthylène, nommé viscoélastique, est tout à fait différent des matériaux élastiques. Dans les matériaux élastiques, le rapport entre les tensions et les déformations (dans certaines limites) est linéaire et indépendant du temps (lorsque la tension est annulée, le matériel reprend sa forme initiale).

Cela n'est pas le cas des matériaux thermoplastiques, ils sont affectés par des phénomènes de déformations plastiques, caractérisés par des déformations non-proportionnelles aux tensions, dépendent du temps et de la température. Si les tensions continuent, la déformation

Chapitre III : Le polyéthylène et son utilisation en tuyauterie

par le fluage (creep ratio) du matériel qui peut être cassé en raison de la diminution progressive de sa résistance mécanique [22].

Au cours du temps, les tensions disparaissent par le phénomène de relâchement qui maintient les tensions

Les tuyaux en PE ont des propriétés qui les rendent spécialement indiquées pour l'utilisation dans des conduites subaquatiques, avec une capacité de transport de différents types de fluides. Ils sont flexibles, ils ont un faible poids, longue durée, inertes, inodores, inoxydables, atoxiques, insolubles, résistants à la plupart d'agents chimiques avec des excellentes résistances à l'impact et à l'abrasion [24]

10.8. Autres applications de tuyaux en PE

- Conduites et sous- conduites pour télécommunications
- Tuyaux annelés en PE pour la protection de câbles (TPC)
- Tuyaux pour l'installation sans tranchée (NO-DIG)
- Tuyaux en PE pour drainage
- Tuyaux pour la protection de conduites de chauffage
- Tuyaux pour la réfrigération de lignes électriques

Chapitre IV

Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

1. Introduction

L'essai de traction est un test mécanique statique, il fait partie de la famille des essais indépendantes du temps (comme le choc, la dureté...).

En effet c'est le seul qui procure un état de contrainte uni axial et qui n'exige donc pas une interprétation par le calcul en méthode inverse.

Son succès vient du fait qu'il est aisé à mettre en œuvre et que les résultats obtenus sont très facilement interprétables [26].

En premier lieu il permet de déterminer des caractéristiques normalisées des matériaux, souvent exigées dans les cahiers des charges ; limites d'élasticité, charges et allongement de rupture. En second lieu, on en déduit la relation rationnelle entre contrainte et déformation. En dépit de sa simplicité l'essai de traction demande quelques précautions dans sa réalisation et dans son utilisation [27].

2. Préparation des éprouvettes

a. Matériau

Pour cette étude, on a utilisé un tube en polyéthylène de haute densité (PEHD) extrudé et pigmenté, destiné au transport de gaz naturel.

Le tube prend le marquage suivant [28] :

STPM CHIALI PE 100 200*11.4 Gaz 4 - 150711 - lot N°= 277 BGE 15

Tel que :

STPM CHIALI : La désignation commerciale du fabricant ;

PE 100 : Le symbole d'identification du polyéthylène :

100 : MRS =100

200*11.4 : Les dimensions du tube:

200 : Diamètre extérieur nominal;

11.4 : Epaisseur nominale;

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

Gaz4 : L'application visée (Gaz) sous une pression maximale de service (4 bars) ;

150711 : La date de fabrication 15 Juillet 2011 ;

Lot N°= 277 : Le numéro du lot de fabrication ;

BGE 15 : L'origine de la matière première.



Fig. IV.1. Tube en HDPE

b. Eprouvettes

Les éprouvettes utilisées dans ce chapitre sont préparées à partir d'un tube en PEHD 100 représenté ci-dessus. Fig. 4.1.

Prélèvement dans le tube :

Prélever des bondes dans le tube, sans chauffage et sans aplatissement de celui-ci, de telle manière que leurs axes soient parallèles à l'axe du tube et que leurs emplacements soient conformes selon diamètre extérieur nominal

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

On découpe des bondes de 150 mm de longueur

Les éprouvettes sont usinées sur une fraiseuse suivant la norme ISO 6259-3 type 1 (prescrit une méthode de détermination des caractéristiques en traction de tubes en polyoléfines (polyéthylène, polyéthylène réticulé, polypropylène et polybutène) et, des propriétés mécaniques

On note que pendant l'usinage on a travaillé avec des faibles profondeurs de passe pour éviter la déformation et l'échauffement des éprouvettes cherchées.

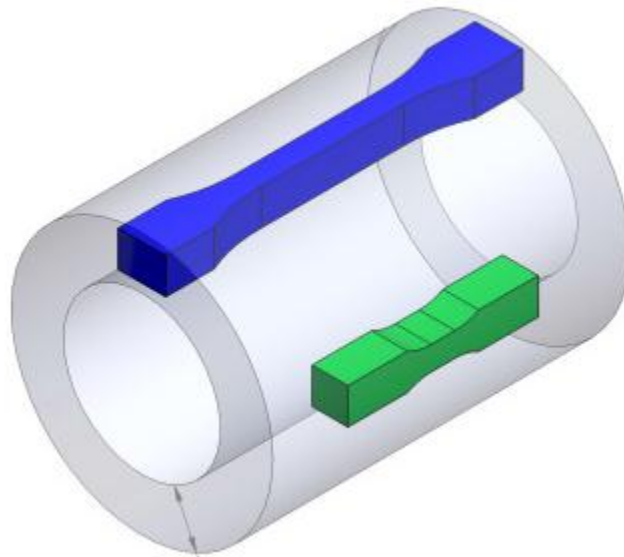


Fig. IV.2. Le sens de découpage des spécimens dans le tube

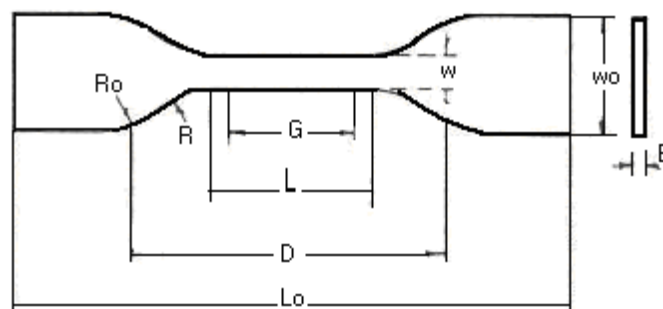


Fig. IV.3. Eprouvette haltère de traction selon la norme ISO 6259-3 Type 1 [29]

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

Avec :

w : Largeur de la partie étroite	10±0.2
L : Longueur de la partie étroite parallèle.	60±0.5
w_0 : Largeur aux extrémités, min.	20±0.2
L_0 : Longueur totale, min.	150
G : Longueur de référence.	50±0.5
D : Distance initiale entre mâchoires.	115±0.5
R_0 : Rayon externe.	60
B : Epaisseur de l'éprouvette	Celle de tube

Les dimensions sont en millimètres

c. Conditionnement de test :

Il faut assurer toujours d'avoir une température de 23±2°C dans le laboratoire, dans notre cas les éprouvettes ont été testées à 24.5°C

d. La vitesse d'essai :

Elle dépend de la matière constitutive et de l'épaisseur du tube, la norme exige une vitesse de 50 mm/ min.

3. Procédure expérimentale

Pour étudier l'effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques des tubes en PEHD, on a découpé des lots des éprouvettes :

- Un lot de 5 éprouvettes à tester neufs
- Un lot de 5 éprouvettes à tester exposées à l'air libre pendant 16 mois à Tébessa
- Un lot de 5 éprouvettes à tester exposées à l'air libre pendant 16 mois à Djelfa
- Un lot de 5 éprouvettes à tester exposées à l'air libre pendant 16 mois à Adrar
- Un lot de 5 éprouvettes à tester exposées à l'air libre pendant 16 mois à Ghardaïa

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

- Un lot de 5 éprouvettes à tester enterrées pendant 16 mois à Tébessa
- Un lot de 5 éprouvettes à tester enterrées pendant 16 mois à Djelfa

Ceux-ci menées aux essais mécaniques de traction sur une machine conçue pour tester les polymères (traction, compression, fatigue, fluage,...) appelée "Testometric" conforme à la norme ISO 6259.

Tout ces tests sont faits dans les mêmes conditions avec une vitesse de déformation constante 50 mm/ min et à la température de 24.5 °C.

Les résultats sont obtenus directement sur l'écran d'un PC par l'intermédiaire d'un logiciel winTest Analysis qui commande la machine.

4. Machine d'essai

La machine utilisée pour tester ces éprouvettes est une machine universelle récente d'utilisation facile et flexible ; " Testometric". La Testometric n'est pas seulement une machine universelle, c'est aussi un système d'essai modulaire.

La machine contient une cellule de déplacement et une cellule de force, celle-ci est montée avec les amarrages supérieurs sur la traverse mobile (en forme de col de cygne) qui se déplace selon un guidage sans jeu. Voir Figure 4.5

La machine Testometric peut être commandée manuellement grâce au perpitre de commande manuelle ou par ordinateur (utilisation du logiciel win Test Analysis). Le PC et le logiciel correspondant assurent le traitement des valeurs mesurées et le control du déroulement des essais. La charge maximale d'essai de cette machine Testometric est 50 KN.

Dispositif d'amarrage

Selon la majorité des normes en vigueur, un essai n'est valable que si la rupture de l'éprouvette ne se produit pas dans le dispositif d'amarrage ou à proximité immédiate de celui-ci.

Les mâchoires utilisées dans notre cas sont les mâchoires à vis qui sont particulièrement adaptées aux plastiques rigides, feuilles et films plastiques, en essai de traction, de fluage, de sollicitation cyclique et essai de compression sur éprouvette en haltère.

Les caractéristiques de ces mâchoires sont :

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

Capacité de la machine	50 kN
Plage de vitesse	0,00001 à 1000 mm / min
Course de la traverse (à l'exclusion des poignées)	950 mm
Distance entre les colonnes mm	420 (options de cadre large disponibles)

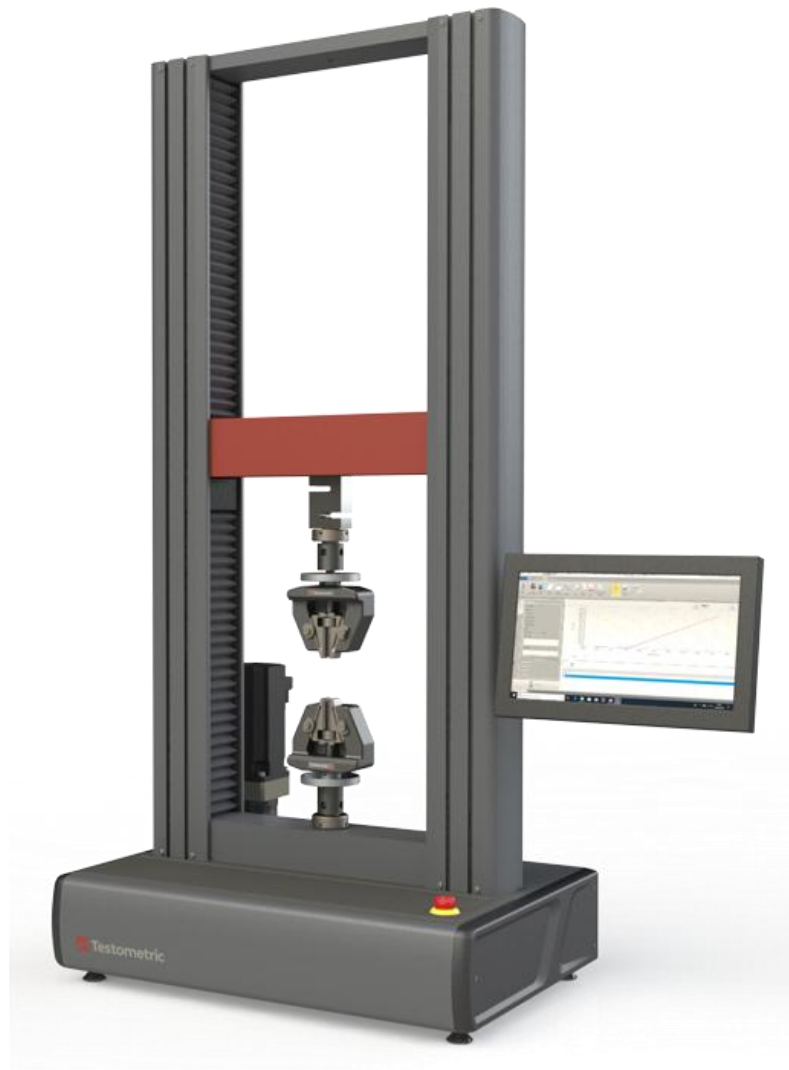


Fig. IV.4. Machine d'essai de traction " Testometric "



Fig. IV.5. Dispositif d'amarrage

5. Partie calcul

5.1. Contrainte en traction, σ

Force mesurée concernée de traction, en Newtons par unité de surface de la section transversale initiale de la longueur de référence, supportée par l'éprouvette à chaque instant de l'essai, en millimètres carrés [30].

Elle est exprimée en méga pascals (MPa)

5.1.1. Contrainte au seuil d'écoulement ; contrainte d'écoulement, σ_y

Première contrainte pour laquelle un accroissement de la déformation se produit sous un accroissement de la contrainte [30]

Elle est exprimée en méga pascals (MPa).

5.1.2. Résistance en traction à la rupture, σ_B

Contrainte en traction au moment de la rupture de l'éprouvette.

Elle est exprimée en méga pascals (MPa).

5.1.3. Résistance en traction, σ_M

Contrainte maximale en traction supportée par l'éprouvette pendant l'essai en traction.

Elle est exprimée en méga pascals (MPa) [30].

5.2. Déformation, ε

Accroissement de la longueur par unité de longueur initiale de la longueur de référence.

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension ou en pourcentage (%).

Elle est utilisée pour des déformations jusqu'au point d'écoulement.

$$\varepsilon = \Delta L_0 / L_0$$

$$\varepsilon(\%) = 100 * \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

où

L_0 : Longueur de référence de l'éprouvette, en millimètres ;

ΔL_0 : Accroissement de la longueur de l'éprouvette entre les repères de référence, en millimètres.

5.2.1. Déformation en traction au seuil d'écoulement, ε_y

Déformation en traction correspondant à la contrainte d'écoulement.

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension ou en pourcentage (%).

5.3. Déformation nominale à la traction, ε_t

Accroissement de la longueur initiale par unité de longueur de la distance entre les mâchoires (séparation des mors).

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension ou en pourcentage (%).

Elle est utilisée pour des déformations au-delà du point d'écoulement.

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

Elle représente l'allongement relatif total qui se produit sur la longueur libre de l'éprouvette[5].

$$\varepsilon_t = \Delta L / L$$

$$\varepsilon_t (\%) = 100 \dots$$

où

L : Distance initiale entre mâchoires, en millimètres ;

ΔL : Accroissement de la distance entre mâchoires, en millimètres.

5.3.1. Déformation nominale à la rupture en traction, ε_{tB}

Déformation nominale en traction correspondant à la contrainte en traction à la rupture, lorsque la rupture de l'éprouvette se produit après l'écoulement [30].

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension ou en pourcentage (%).

5.3.2. Déformation nominale à la résistance en traction, ε_{tM}

Déformation nominale à traction correspondant à la résistance en traction, si cela se produit après le seuil d'écoulement.

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension ou en pourcentage (%).

5.4. Module d'élasticité en traction ; module de Young, E

Rapport de la différence de contrainte σ_2 moins σ_1 à la différence des valeurs de déformations $\varepsilon_2 = 0.0025$ moins $\varepsilon_1 = 0.0005$.

Il est exprimé en méga pascals (MPa).

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

où :

σ_1 : Contrainte, en méga pascals, mesurée à la valeur de déformation $\varepsilon_1 = 0.0005$;

σ_2 : Contrainte, en méga pascals, mesurée à la valeur de déformation $\varepsilon_2 = 0.0025$.

5.5. Coefficient de Poisson, μ

Rapport négatif de la déformation ε_1 selon l'un des deux axes perpendiculaires à la direction de la poussée, dans la partie linéaire de la courbe de déformation longitudinale.

Elle est exprimée comme un rapport sans dimension.

$$\mu_n = \varepsilon_n / \varepsilon$$

où

ε : Déformation dans la direction longitudinale ;

ε_n : Déformation dans la direction normale [50].

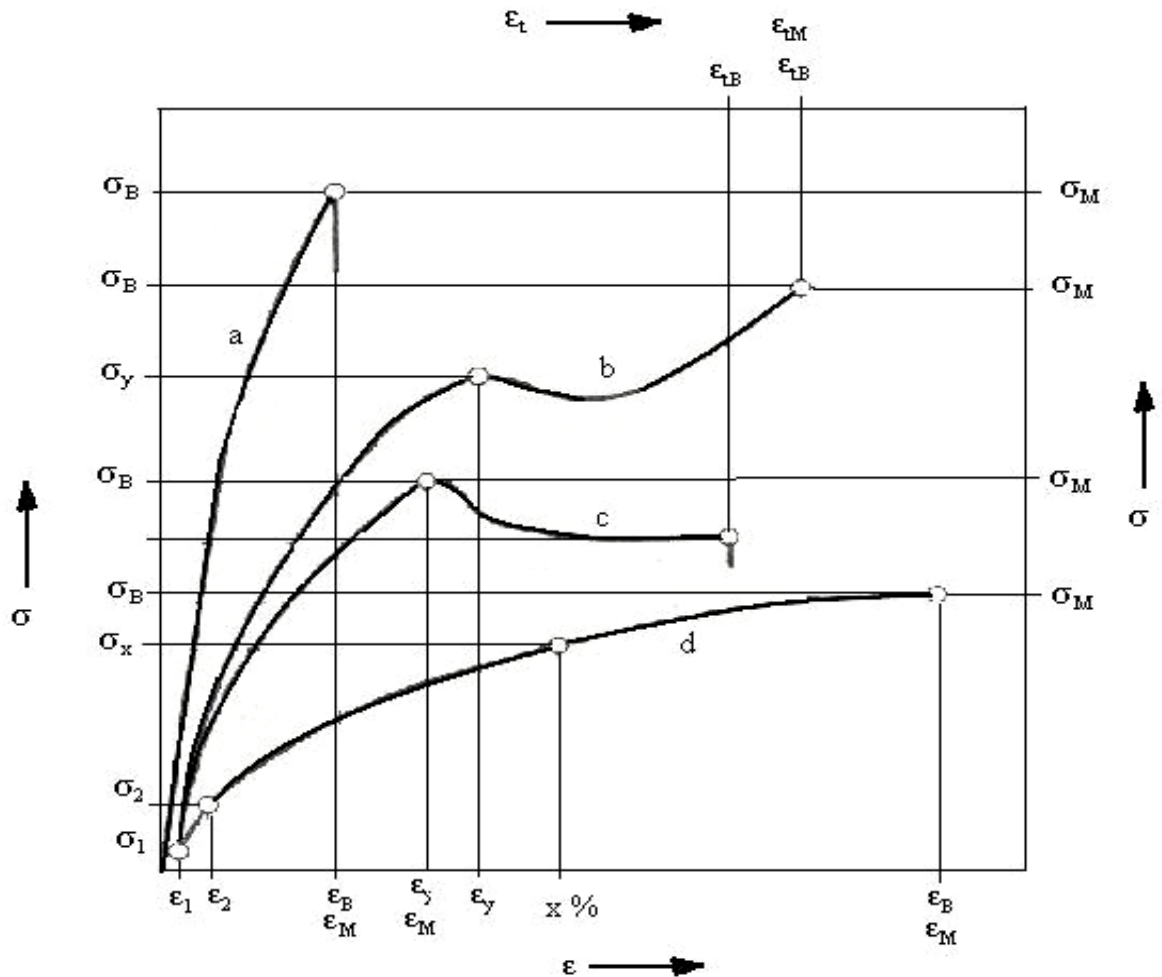


Fig. IV. 6. Courbe types contrainte/déformation [5]

- | | |
|----------------------|--|
| <i>Courbe a</i> | <i>Matières fragiles</i> |
| <i>Courbe b et c</i> | <i>Matières ductiles avec seuil d'écoulement</i> |
| <i>Courbe d</i> | <i>Matières ductiles sans seuil d'écoulement</i> |

6. Résultats

A l'aide des résultats obtenus par le logiciel Win Test Analysis installé à l'ordinateur qui commande la machine "Testometric", on a obtenu les courbes contraintes - déformation pour chaque lot de cinq spécimens et les propriétés mécaniques correspondantes.

Les deux Figures 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, montrent les courbes contraintes – déformations enregistrées pendant l'étirement d'éprouvettes pour chaque lots d'éprouvettes; Au début la contrainte augmente avec la déformation selon une zone quasi-linéaire, puis elle diminue où on observe la localisation d'une striction dans un seul endroit de l'éprouvette. Au-delà la stabilisation des courbes correspond à la propagation de la striction ; où la contrainte est relativement constante le long d'un palier (> 500 % de déformation), mais elle présente quelque fois des altérations sous forme de petit pics, ceux-ci correspond aux petites strictions qui se manifestent et se disparaissent rapidement au cours de la propagation de la striction initiale. Le palier se termine dans la plus part des cas par une diminution de la contrainte ; dans ce point la striction disparaît totalement et l'éprouvette devient homogène comme étant une nouvelle éprouvette dont sa section est inférieure à celle de l'éprouvette originale. Puis la contrainte remonte avec la déformation selon une quasi droite, elle continue d'augmenter suivant d'autres droites dont des pentes diminuent progressivement. La dernière droite arrive à son maximum et se termine par un petit crochet où la rupture survient.

Dans quelques Figures on vue que trois éprouvettes parmi les cinq ont connues une rupture avant de continuer le cycle, et cela dues aux défauts de préparation de celles-ci pendant l'usinage.

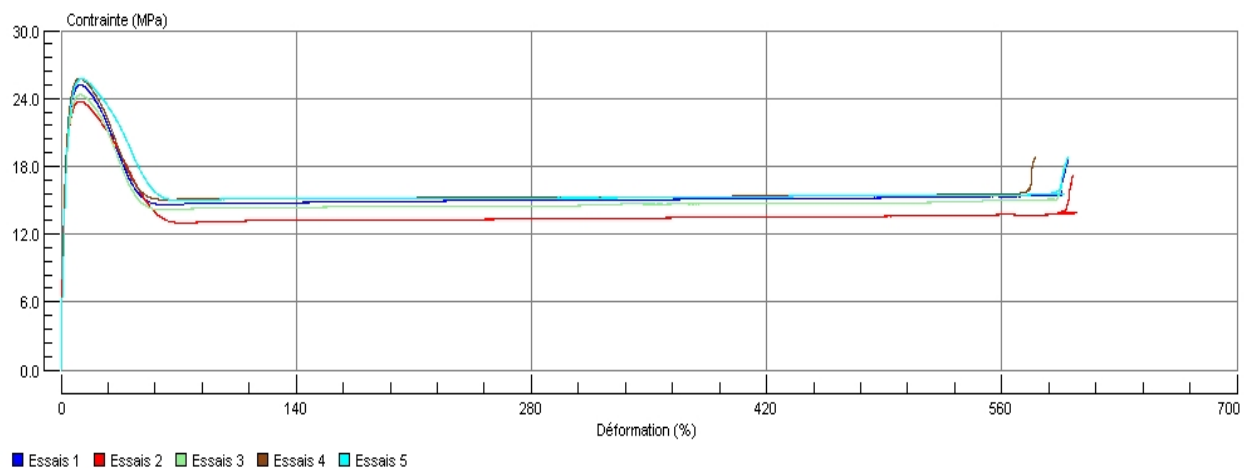


Fig. IV.7. Essai de traction sur éprouvettes neuves

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

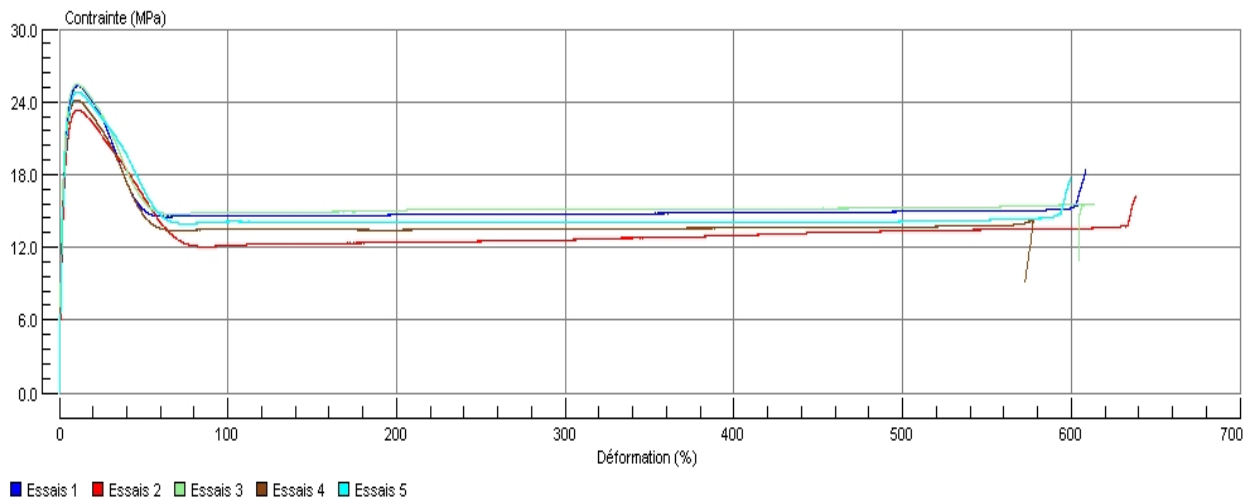


Fig. IV.8. Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Ghardaïa

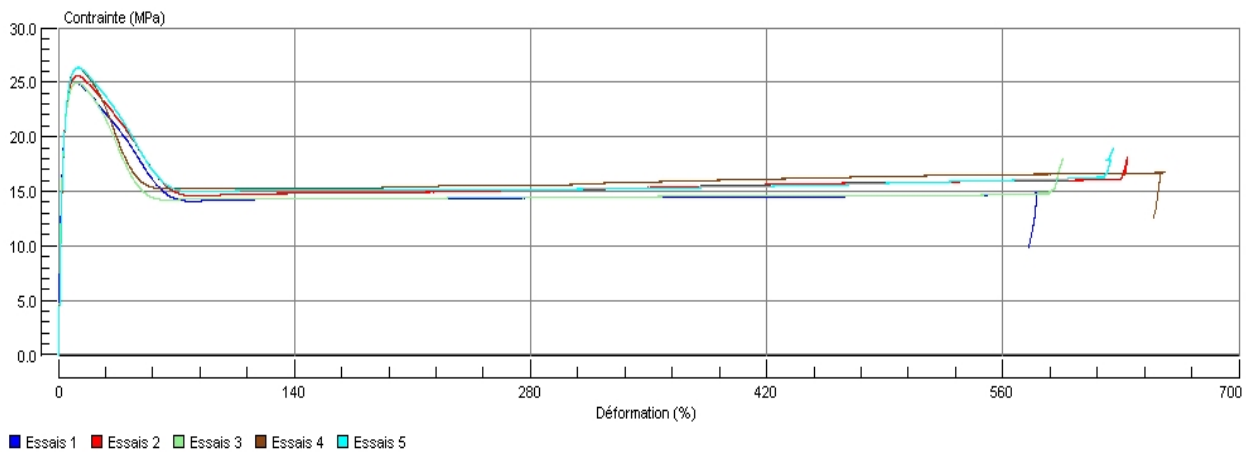


Fig. IV.9. Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Tébessa

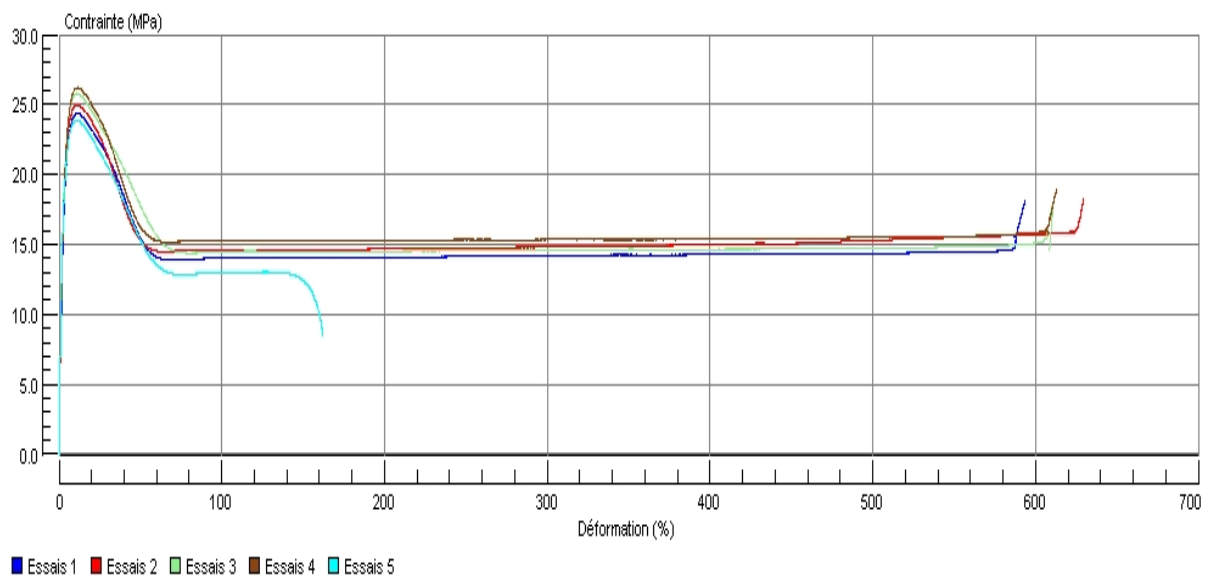


Fig. IV.10. Essai de traction sur éprouvettes exposées a l'air libre pendant 16 mois à Adrar

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

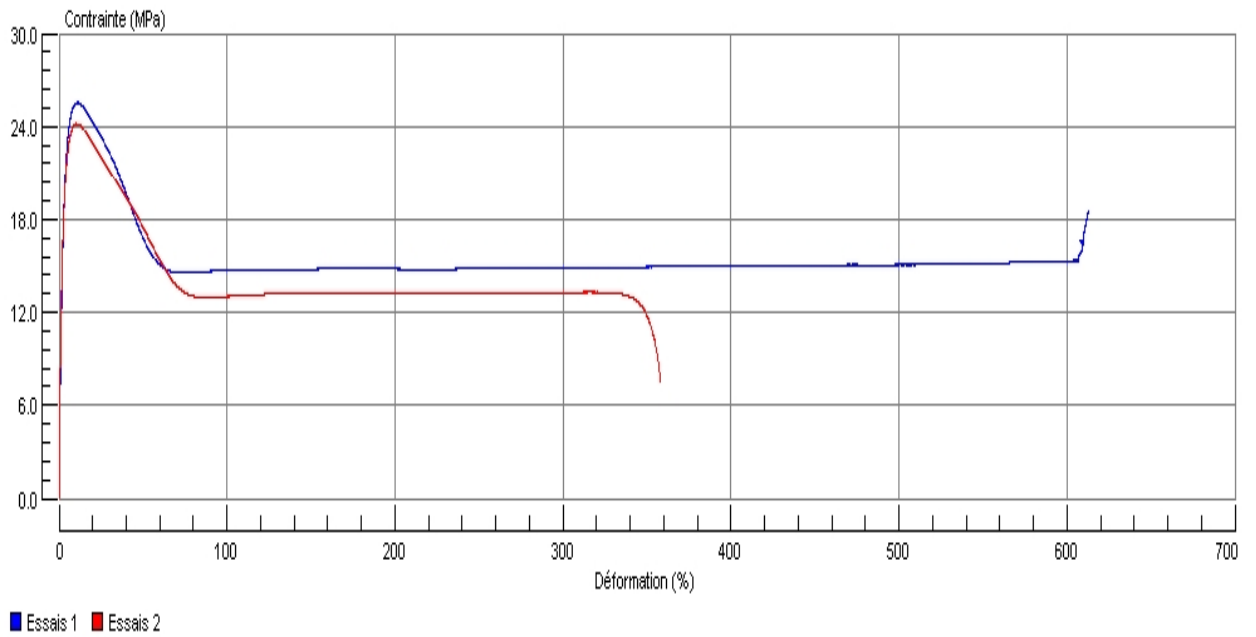


Fig. IV.11. Essai de traction sur éprouvettes exposées à l'air libre pendant 16 mois à Djelfa

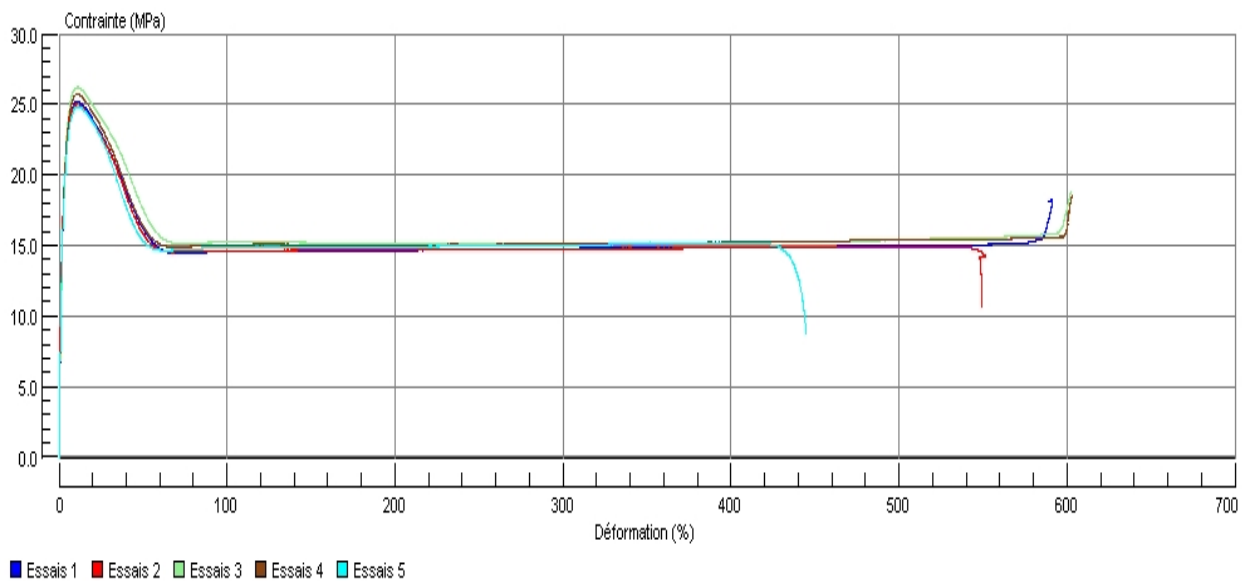


Fig. IV.12. Essai de traction sur éprouvettes enterrées pendant 16 mois à Djelfa

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

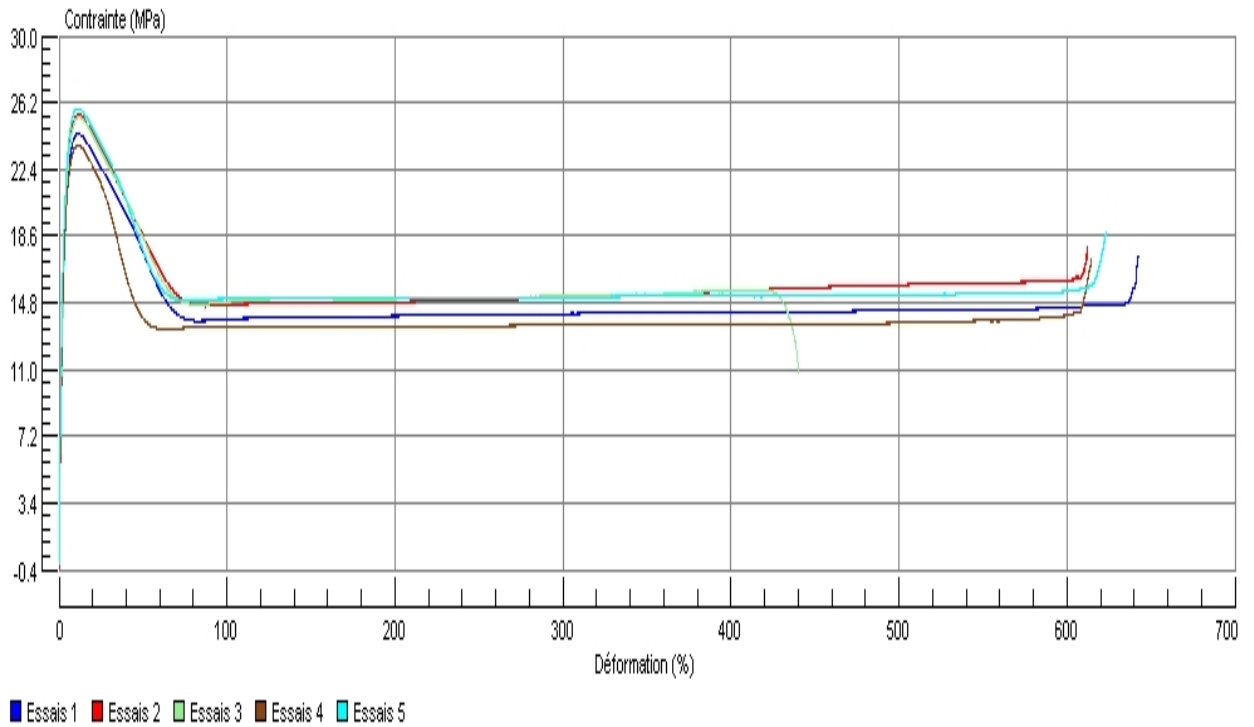


Fig. IV.13. Essai de traction sur éprouvettes enterrées pendant 16 mois à Tébessa

Tableau IV.1. Différentes propriétés mécaniques obtenues par le Wintest

	Allongement à la rupture (mm)	Contrainte au seuil d'écoulement (N/mm ²)	Déformation à la rupture(%)
Tube exposé à l'air libre (Ghardaïa)	303.63	24.43	607.26
Tube exposé à l'air libre (Djelfa)	242.63	24.84	485.27
Tube exposé à l'air libre (Tébessa)	309.25	25.62	618.49
Tube exposé à l'air libre (Adrar)	260.89	25.04	521.78
Tube neuf	298.09	24.94	596.19
Tube sous-sol (Tébessa)	293.29	24.97	586.59
Tube sous-sol (Djelfa)	279.33	25.39	558.66

7. Discussion

Les courbes contraintes nominales – déformations nominales obtenues par les essais de traction ont une allure semblable à celles rencontrées dans la littérature [26, 31, 32, 33].

Dans toutes les Figures, l'allure est presque la même dans la première zone qui est quasi-linéaire, cette partie concerne la déformation élastique où le comportement suit la loi de Hooke [34]. Cette déformation est assumée par la phase amorphe et liée à la distorsion des liaisons de Van der waals. La contrainte arrive à un maximum et commence de diminuer dès la formation d'une striction au centre ou aux extrémités de l'éprouvette, la striction se stabilise et se propage tout au long de l'éprouvette.

Pendant toute cette phase, la contrainte d'étirage est sensiblement constante, mais elle adopte quelques fluctuations (pics) qui sont attribuées aux petites strictions qui apparaissent pendant l'étirement et forment des petits faisceaux de matière comprise entre les strictions initiales et nouvelles. L'apparition d'un pic correspond en général à la disparition d'un faisceau de matière. Toute fois, une striction se forme, la charge diminue ; l'étirement d'un faisceau de matière comprise entre deux strictions requiert une augmentation de la contrainte dans cette phase, les cristallites se déforment plastiquement et subissent un cisaillement plastique localisé dans des plans de glissements ; cisaillement d'une partie du matière cristallisée par rapport à l'autre. Le durcissement plastique est dû pour une faible part à la consolidation de cette plasticité cristalline, mais d'avantage aux effets entropiques de l'orientation moléculaire dans la phase amorphe puis dans les cristallites eux même. Aux plus fortes déformations plastiques, les chaînes subissent aussi une orientation progressive de sorte que leur distorsion ultérieure devient de plus en plus difficile (durcissement plastique). Ce qui requiert l'augmentation de la contrainte et les cristallites finit par se fragmenter en une texture fibreuse fortement anisotrope alignée dans le sens de la traction [34]. La rupture ne survient pas des mécanismes d'endommagement (formation des craquelures).

Les propriétés mécaniques obtenues sont comparables à celle trouvées dans la littérature [35], Tableau 3.1.

Pour quelques courbes représentées, on observe que certain spécimen parmi les cinq était remarqué avant d'accomplir l'étape après durcissement, cela est dû à la présence de défauts liés aux modes de préparation de celles-ci.

Les différentes propriétés mécaniques a vérifier sont cités dans le tableau 3.1. D'après ces résultats obtenus on remarque que les propriétés mécaniques ont des valeurs presque

Chapitre IV : Effet de l'environnement sur les propriétés mécaniques (en traction) des tubes en HDPE

semblables notamment : l'allongement à la rupture, contrainte au seuil d'écoulement et la déformation à la rupture.

8. Conclusion

Bien que les éprouvettes utilisées dans notre étude aient une géométrie correspond à celle rencontrée dans la littérature, selon la norme ISO 6259-3 type 1 et les courbes obtenues sont aussi semblables à celles des différentes études ; donc des propriétés mécaniques comparables à celles de la littérature.

Pour un tube en PEHD obtenu par extrusion, si l'on fait des prélèvements d'éprouvettes dans des tubes laissés aux différentes climat d'Algérie (Tébessa, Djelfa, Ghardaïa et Adrar) et même enterrés a différentes sols.

D'après les résultats obtenues on conclut qu'on peut laisser ces tubes au moins pendant une année sans perdre leurs propriétés mécaniques et let tubes restent en bon états.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans cette étude pratique les résultats obtenus ont permis de souligner les points suivants :

Le développement rapide des matériaux polymériques (polyéthylène) nécessite des caractérisations à différents environnements surtout résistances mécaniques à cause de son utilisation dans des domaines très dangereux comme le transport du gaz naturel.

Le stockage ou l'exposition des tubes en polyéthylène haute densité a différents environnements ; d'après la littérature nécessite des conditions spéciales, par contre notre étude a nous permis de conclure qu'il est possible de stocker ces tubes aux moins d'une période d'une année et que les propriétés restent inchangeables.

Pour bien étudier l'effet de l'environnement réel sur les propriétés mécaniques des tubes en polyéthylène : on peut procéder à préparer plusieurs échantillons pour différents essais (traction, choc, flexion, compression,...) et l'exposer a des environnement bien précis et programmer des tests a des espacements bien déterminer pendant une large période d'exposition ; au delà qu'on parle des résultats a exploiter.

Bibliographie

- [1] Document usine plastub, 2010
- [2] A. Boudet ; voyage au cœur des matières plastiques ; CNRS Edition 2003
- [3] : cours de Pr. BENRABAA Rafik (IAP : institut algérien du pétrole), 2015
- [4] Jean Bost, Matières plastiques, chimie application, Technique et documentation, paris, 1980.
- [5] Cours matériaux polymériques et composite ; chapitre I Définition des polymères industriels M2 génie des procédés des matériaux, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2018.
- [6] : Bertrand LANGRAND « comportement et modélisation des assemblages ponctuels » Bm7805, 2005, technique de l'ingénieur.
- [7] A. Peterlin, Molecular model of drawing polyethylene and polypropylene, Journal of materials science, 1971b, 6(6), p. 490-508.
- [8] Gottfried W. Ehrenstein, Fabienne Montagne matériaux polymères : structure, propriétés et application ; Hermès Science publication, 2000.
- [9] M. Reyne. Technologie des plastiques, HERMES, Paris, 1998
- [10] N. Kiass, Etude et analyse de l'effet des contraintes résiduelles sur le comportement des tubes en polyéthylène haute densité sous un chargement de traction monotone, Thèse de Magister, université d'annaba, 2001.
- [11] N.G. Thompson, Gas Distribution, Appendix J, Dublin, Ohio (2002).
- [12] A. Blaga, CBD-219-F, National research council Canada (1982).
- [13] N. Baer, Canadian Consulting Engineer, **39**, 41 (1998).
- [14] C. Munier, E. Gaillard-Devaux, A. Tcharkhtchi, et J. Verdu, J. Mater. Sci., **33**, 625 (1998).
- [15] J. Quet, "Polyéthylène Linéaire", Paris, Technique de l'Ingénieur, J6540, 1992, P1-7
- [16] J. Bost, Matières plastiques II, Technologie-plasturgie, Technique et documentation, Paris, 1982.
- [17] H. H. Kausch, N. Heymans, C. J. Plummer, P. Decroly, Matériaux polymères : Propriétés mécaniques et physiques Principe de mise en œuvre. Lausanne 2001.
- [18] J-P. Trotignon, J. Verdu, M. Pepiraud et A. Dobracginsky, "Précis des Matières Plastiques", Paris, Nathan Ed, 1996, p53-59.
- [19] J. Bost, "Matières Plastiques", Tome 1, 2ème Ed., Paris, Lavoisier Ed, 1985, 443p.
- [20] N. Kiass, Nouvelle approche expérimentale de la variabilité des propriétés mécaniques des tubes HDPE-80, Thèse de Doctorat, Annaba 2005
- [21] <https://www.hydro.com/fr-FR/aluminium/products/tubes-de-precision/tubes-extrudes/>
19:16 24/05/2021

- [22] M. Kaddeche, Etude des déformations résiduelles et des propriétés mécaniques des tubes épais en HDPE-80 et HDPE-100, Thèse de magister, Guelma 2006.
- [23] <https://www.devis-plomberie.info/les-tubes-en-polyethylene-indispensables-pour-les-reseaux-de-distribution-deau-potable/>
- [24] Par Soudure Plastique | septembre 9th, 2014 | 01. Tuyaux en matière plastique, 02. Tuyaux en polyéthylène (PE), 09 NO-DIG (IbSTT), 07.
- [25] F AKERMI, Etude de la relation entre les propriétés mécaniques et l'hétérogénéité des tubes extrudés en HDPE 100 de transport de gaz naturel par des essais de traction et d'impact mécanique, Thèse de Magister, université d'Annaba, 2005.
- [26] Bernard Deriquehem, Pratiques des plastiques et composites, choix, contrôle, production, qualité, DUNOD, Paris, 2002
- [27] Dominique Francois, Essais mécaniques et lois de comportement, HEMES science, 2001
- [28] Document pédagogique, Guide pour la formation sur la technique polyéthylène, SONELGAZ, 2018
- [29] Norme ISO 6259-3 Type 1, essais de traction sur tube en PE
- [30] Norme ISO 527 -1 : 1996 ? Plastiques – Détermination des propriétés en traction, Partie 1 ; Principe généraux
- [31] D. S .Li. H. Garmastani, R. G. Alambo, S. R. Kalidindi, The role of crystallinity in the crystallographic texture evolution of polyethylene during tensile deformation, Polymer; 44 5355- 5367, 2003
- [32] Frank R. Volgstadt, George W. David, Basic mechanical properties of pe, Tenth plastic fuel gas pipes symposium, AGA, 1987
- [33] J. Pabiot, Essais thermomécaniques et rhéologiques à l'état solide, Technique de l'ingénieur, Traité plastiques et composites, A3510, 1999
- [34] Norme ISO 527 -2 : 1996, Plastiques – Détermination des propriétés en traction, Partie 2 ; Conditions d'essai des plastiques.
- [35] M. Biron, propriétés des thermoplastiques, Tableaux