

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1
Faculté de Technologie
Département de Génie Des Procédés



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER 2
en Génie Des Procédés
Option : Technologie Des Matériaux

Thème

**Effet de la régénération d'un polyéthylène
sur les propriétés physico-chimiques des
tubes plastiques PEHD**

Réaliser par :

Mr. SANA ABDELBASET

Dirigé par :

Mr. TOUIL DJAMEL MC univ Blida

Blida 2015

Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir illuminé le chemin de savoir et pour tout ce qu'il m'a donné.

A la mémoire de mon père

Au être le plus chère, ma mère

A mes très chères frères et sœurs : Aicha, Rokaya, Asia, Noura, Fatiha, Kamel et Ali

Une pensée particulière pour une personne très chère : Rofida

A mes nièces et neveux : Akram, Manel, Sabah, Sérine, Sajed, Abdelrrahmane, Bakhta, Warda, Karima, Kheira, Mohamed, Ossama, Ali et kacem

A tous mes amis, particulièrement : Dada, Hocine, Benchuita, Nabil, Abdelkader, Hamid, Sofiane, Said, Abdellatif, Aissa, Mebrouk , Mokhtar, Màmamar , Fathi, Djamel, lahwal, Abdelaziz, Azoz et Kadi.

A mes cousins et cousines

A toute la famille Sana et Drici

A tous mes collègues de travail

A mes tantes et oncles.

A toutes ces personnes, je dédie ce travail.

SANA Abdelbaset

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier Allah, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

A mon chemin de sucée et mon guide ma mère.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude :

A notre promoteur Mr. Djamel TOUIL, Maître de conférences à département de chimie industrielle université de Blida, pour son suivi durant la période de préparation de ce mémoire, ainsi que pour son aide et ses conseils qui nous ont été très précieux.

Egalement, je remercie monsieur le directeur A. Mourad pour son accueil au niveau de la société de production des tubes plastiques CANAPEHP de Ain Oussera - Djellfa.

Aux les ingénieurs au niveau de la société de production des tubes plastiques CANAPEHP: Benyahya.Sadek et Sori.Mousa, pour leurs orientations.

Nous adressons aussi nos remerciements aux membres du jury président et examinateurs pour avoir accepter d'examiner et de juger ce travail.

Merci pour tout le personnel du département de chimie industrielle d'université de Blida. Et l'usine CANAPEHP de Ain Oussera, responsables, techniciens et ingénieurs

Enfin, tous ceux qui de prés ou de loin ont contribué à la réalisation du travail et la finalisation de ce mémoire trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus distinguées.

الملخص:

إن هذا العمل التجريبي يهدف إلى :

دراسة بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأنايبب البلاستيك (PEHD), المصنوعة من المادة الخام النقية متعدد الإيثيلين عالي الكثافة غير المستعملة .

ثم نقوم بدراسة التغيرات في هذه الخصائص بدلالة نسب من متعدد الإيثيلين معاد الاستعمال مضافة إلى متعدد الإيثيلين الخام النقي.

Résumé :

Nous étudions les propriétés physico-chimiques des tubes plastiques en (PEHD) de matière première vierge polyéthylène en haute densité. Ensuite, nous étudions des changements de ces propriétés en fonction des pourcentages de polyéthylène régénérer incorporer.

Abstract:

We study the physic-chemical properties of plastic pipes (HDPE) virgin raw material high density polyethylene.

Then, we study changes in these properties as a function of the percentage of polyethylene regenerate incorporate.

Sommaire

Sommaire

Lise d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale 1

Partie théorique

Chapitre I : Généralités sur le Polyéthylène

Introduction..... 3

I.1 Processus de fabrication de polyéthylène 3

I.1.1 Distillation 4

I.1.2 Vapo-craquage 5

I.1.3 Polymérisation 5

I.1.3.1 Le procédé « haute pression » 6

I.1.3.2 Les procédés « basse pression » (procédés Ziegler-Natta)..... 6

I.1.3.3 Procédé moyenne densité 8

I.1.4 Granulation 8

I.2 Structure et classification de polyéthylène 9

I.3 Propriétés du polyéthylène 11

I.3.1 Propriétés caractéristiques du polyéthylène 11

I.4 Les avantages et les inconvénients du polyéthylène..... 12

I.4.1 Les avantages..... 12

I.4.2 Les inconvénients 13

I.5 Utilisation 13

I.6 Recyclage et régénération du polyéthylène	14
I.6.1 Ecologie et économie du recyclage du polyéthylène.....	15
I.6.2 Logos du recyclage (anneau de Möbius).....	16
Conclusion	16

Chapitre II : Les tubes en PEHD

Introduction.....	17
II.1 fabrication des tubes en PEHD.....	17
II.1.1 Mécanismes du la fabrication des tubes en PEHD.....	18
II.1.2 Types de PE utilisés	19
II.1.2.1 PE 100	19
II.1.2.1 PE 80	19
II.2 Propriétés des tubes en PEHD	21
II.2.1 Dimensions des tubes en PEHD	21
II.2.2 Propriétés mécaniques des tubes en PEHD	22
II.2.2.1 Rigidité	22
II.2.2.2 Longévité	22
II.2.2.3 Dureté	23
II.2.2.4 Résistance à la compression	23
II.2.2.5 Comportement au choc.....	23
II.2.2.6 Résistance mécanique à l'écrasement	23
II.2.2.7 Résistance à la fissuration sous contrainte	23
II.2.2.8 Résistance à la propagation rapide des fissures	24
II.2.2.9 Résistance à l'abrasion	24

II.2.2.10 Ductilité et flexibilité	24
II.2.2.11 Module Young.....	25
II.2.3 Propriétés physique des tubes en PEHD	26
II.2.3.1 Caractéristiques thermiques et climatiques des tubes en PEHD.....	26
II.2.3.2 Tenue à la pression à 20 °C.....	26
II.2.3.3 Influence de la température de fluide.....	27
II.2.3.4 Conductibilité électrique	27
II.2.4 Caractéristiques chimiques des tubes en PEHD.....	28
II.2.4.1 Résistance chimique.....	28
II.2.4.2 Corrosion.....	28
II.3 Les applications des tubes en PEHD.....	30
II.4 Paramètres influençant la fabrication des tubes en PEHD.....	31

Partie expérimental

Chapitre III : Matériels utilisés et Protocole Expérimental

Introduction.....	32
III.1 Matériaux utilisés.....	32
III.1.1 Le polyéthylène PE.....	32
III.1.2 Le polyéthylène régénérer.....	32
III.1.3 Les tubes en PEHD	33
III.1.4 Elaboration des mélanges : PE vierge + PE régénéré.....	33
III.2. Détermination du l'indice de fluidité à chaud de polyéthylène	34
III.2.1 Dispositif expérimental.....	34
III.2.2 Protocole expérimental.....	35
III.3. Test de détermination de la masse volumique	35

III.3.1 Mesure de la masse volumique	35
III.3.2 Protocole expérimental.....	36
III.4. Essai de traction	37
III.4.1 Dispositif expérimental.....	37
III.4.2 Protocole expérimental	38
III.5. Le test de la résistance à la pression hydraulique interne	38
III.5.1 Dispositif expérimental.....	38
III.5.2 Protocole expérimental	39
Conclusion	40

Chapitre IV : Résultats et Interprétations

Introduction.....	41
IV.1 Détermination de l'indice de fluidité IFM	41
IV.1.1 Analyse de mesure de l'indice de fluidité	41
IV.1.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge sur l'indice de fluidité.....	42
IV.2 Détermination de la masse volumique MV	42
IV.2.1 Analyse de mesure de la masse volumique	42
IV.2.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge	43
IV.3 Détermination des caractéristiques en traction	43
IV.3.1 La contrainte maximale	43
IV.3.1.1 Effet du polyéthylène vierge.....	43
IV.3.1.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge.....	44
IV.3.2 L'allongement à la rupture.....	44
IV.3.2.1 Effet du polyéthylène vierge	44
IV.3.2.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge	45
IV.3.3 Module de Young	46
IV.3.3.1 Effet du polyéthylène vierge sur le Module de Young.....	48
IV.3.3.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge sur le Module de Young.....	49
IV.3.4 L'effet de matières régénérées sur l'essai de traction.....	50
IV.4 Test de la résistance à la pression hydrostatique interne	50

IV.4.1 Résistance à la fissuration sous contrainte.....	50
IV.4.2 La résistance à la pression hydrostatique interne	51
Conclusion	54
Conclusion générale	55
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

PE : Polyéthylène

PEHD: Polyéthylène haute densité

PEBD: Polyéthylène base densité

C₂H₄ : Ethylène

d : Densité

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PETBD : Polyéthylène à très basse densité

PEBDL : Polyéthylène à base densité linéaire

PEMD : Polyéthylène moyenne densité

PEUHPM : Polyéthylène à masse molaire très élevée

PER : Polyéthylène réticulé

PERHD : Polyéthylène réticulé à haute densité

MRS : Minimum Required Strength

S : **Résistance hydrostatique à long terme à 20 °c**

M : La masse molaire

M₀ : Masse du Motif élémentaire

DP : Degré de polymérisation

DN : Diamètre nominal

DE : Diamètre extérieur

SDR : Rapport Dimensionnel Standard

PN : Pression nominal

PMA : Pression maximale admissible

RCS : Rigidité circonférentielle spécifique

RCP: Rapid Crack Propagation

Φ : Diamètre de tube

Ohm : Unité de mesure de la résistance électrique

IFM : Indice de fluidité en masse

MV : Masse volumique

MI : Melt index

ΔL : Allongement

F: Force

ASTM: American Society for Testing Material

ISO: Organisation internationale de standardization

EN: Norme européenne

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Valeurs de MRS et S pour différentes matières de PE	10
Tableau I.2: Prescription sur la matière de base (PEHD).....	12
Tableau II.1: Désignations du PE durant ces dernières années.....	20
Tableau II.2: Relation entre SDR et PN à 20 °C	22
Tableau II.3: Pressions admissibles selon le SDR	27
Tableau II.4: Caractéristiques du polyéthylène	29
Tableau III.1 : Résistance chimique des canalisations PEHD	33
Tableau III.2 : Préparation des échantillons	34
Tableau IV.1 : Module de Young de chaque échantillon.....	46
Tableau IV.2 : Résultats de tous les essais pour les trois échantillons.....	53

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Formule développée de l'éthylène.....	3
Figure I.2 : Molécule de polyéthylène.....	4
Figure I.3 : Procédé de fabrication de polyéthylène.....	4
Figure I.4 : Formule semi-développée du polyéthylène	5
Figure I.5 : Structure d'un catalyseur de type Ziegler-Natta	6
Figure I.6 : Procédé Basse Pression : catalyse de Ziegler Natta	7
Figure I.7 : Mécanisme de polymérisation par catalyse Ziegler-Natta	7
Figure I.8 : Granulés de PEHD.....	8
Figure I.8 : Granulés de PEBD.....	8
Figure I.10 : Différentes formes de polyéthylène.....	10
Figure I.11 : PEHD mise en forme : tube pour distribution d'eau.....	13
Figure I.12 : Image microscopique de PEHD recyclé	14

Figure I.13 : Schéma de cycle de vie de produits et de déchets	15
Figure I.14 : Logos du recyclage signalent le type de plastique	16
Figure II.1: Image du produit fini.....	18
Figure II.2 : Processus de fabrication des tubes en PEHD_.....	19
Figure II.3 : Histoire du PE pour tubes pression.....	20
Figure II.4 : Représentation du niveau de la contrainte admissible de différents types de PE.	21
Figure II.5: Test RCP (Rapid Crack Propagation).....	24
Figure II.6: Diagramme contrainte-déformation d'un matériau ductile	25
Figure II.7: Tube PEHD pour distribution d'eau potable	30
Figure III.1: Appareillage de mesure de l'indice de fluidité	34
Figure III.2 : Appareil de mesure de la masse volumique.....	36
Figure III.3 : Schéma de l'essai de traction	37
Figure III.4 : Bac d'eau pour mesurer la résistance à la pression	39
Figure IV.1 : Evolution de l'indice de fluidité en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré incorporé.....	41
Figure IV.2 : Evolution de la Masse volumique en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré incorporé.....	42

Figure IV.3 : Contrainte maximale du PE vierge et mélange PE vierge avec PE régénéré.....	44
Figure IV.4 : Allongement à la rupture du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré.....	45
Figure IV.5 : Courbe contrainte /allongement à la rupture du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré.....	47
Figure IV.6 : Module de Young du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré.....	49
Figure IV.7 : Temps max d'atteinte de la rupture en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré.....	51
Figure IV.8 : Relation entre la contrainte minimum requise appliquée et le temps à 80 ° C.....	52

Introduction

Introduction

Le polyéthylène est incontestablement le type de polymère le plus répandu dans l'industrie des tubes plastiques. L'incidence économique de la fabrication des tubes en PEHD est léger, en raison de leur bas prix de revient comparé aux thermodurcissable, la simplicité de fabrication (généralement par extrusion), des frais d'entretien, et de l'énergie électrique. D'une part, le polyéthylène usagé est éliminé sans danger pour l'environnement ; de plus la consommation de pétrole est réduite de manière considérable. Chaque tonne de pétrole consommée pour la fabrication des tubes en polyéthylène peut être mise à profit une seconde fois, pour la fabrication de ciment ou la production de chaleur dans un système de chauffage à distance.

Aussi, au cours de ces dernières, le recyclage et la réutilisation des tubes en (PEHD) usés ont pris de plus en plus d'importance. Avec un taux d'incorporation de l'ordre d'environ de 5 %. les connaissance générales et techniques acquises en laboratoire on permis de formuler un ensemble important de recommandation sur les propriétés physico-chimiques couramment utilisé en tubes plastique en polyéthylène. La régénération d'un polyéthylène, peut modifier ces propriétés physico-chimiques.

L'objectif de ce travail est d'analyser des propriétés physico-chimiques des tubes plastiques (PEHD) du polyéthylène vierge. Ensuite nous étudions des changements de ces propriétés en fonction des pourcentages d'un polyéthylène régénérer incorporer.

Le plan de notre travail comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre : est consacré à la description le polyéthylène, et plus Particulièrement du polyéthylène qui nous intéresse dans le cadre de cette mémoire, le polyéthylène en haute densité PEHD.

Introduction générale

Le deuxième chapitre : nous avons présenté dans ce chapitre l'aspect morphologique des tubes plastiques en PEHD, ainsi que le mécanisme de leur fabrication. On a décrit aussi les principales propriétés mécaniques et chimiques.

Le troisième chapitre : est consacré à la présentation du matériel utilisé et à la description de la méthodologie expérimentale suivie dans cette étude.

Le quatrième chapitre : illustre les résultats expérimentaux significatifs et leurs interprétations. Enfin les enseignements essentiels tirés de cette étude sont résumés dans une conclusion.

Partie

Théorique

Chapitre I

Généralité sur le polyéthylène

Introduction

Le polyéthylène est une matière thermoplastique du groupe polymère semi-cristallin, il est issu de la polymérisation de l'éthylène (C_2H_4) gazeux (figure I.1), produit en laboratoire par déshydratation de l'alcool, ou industriellement par craquage thermique (des gaz naturels, ou des fractions d'huiles légères) [1]. Son emploi le plus fréquent est sous forme des granulats utilisés pour la fabrication des sacs plastiques, des bouteilles d'emballage et des tubes plastiques.

Il en existe de nombreux types mais ceux-ci sont généralement classés dans deux grandes familles qui se définissent en fonction de leur masse volumique :

- polyéthylènes basse densité ou PEBD : $0,92 \text{ g/cm}^3 < \rho < 0,94 \text{ g/cm}^3$.
- polyéthylènes haute densité ou PEHD : $0,95 \text{ g/cm}^3 < \rho < 0,97 \text{ g/cm}^3$.

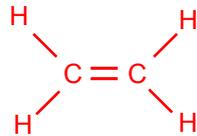


Figure I.1 : Formule développée de l'éthylène

I.1 Processus de fabrication du polyéthylène

Un polyéthylène (figure I.2), est un produit provenant de la distillation d'un pétrole brut dans une colonne de fractionnement, avec du craquage en présence de vapeur d'eau, qui donne un certain nombre de produits de bas en haut de la colonne. Parmi ces produits on a l'éthylène, avec la polymérisation de ce produit on obtient le polyéthylène tel qu'illustré en figure I.3.

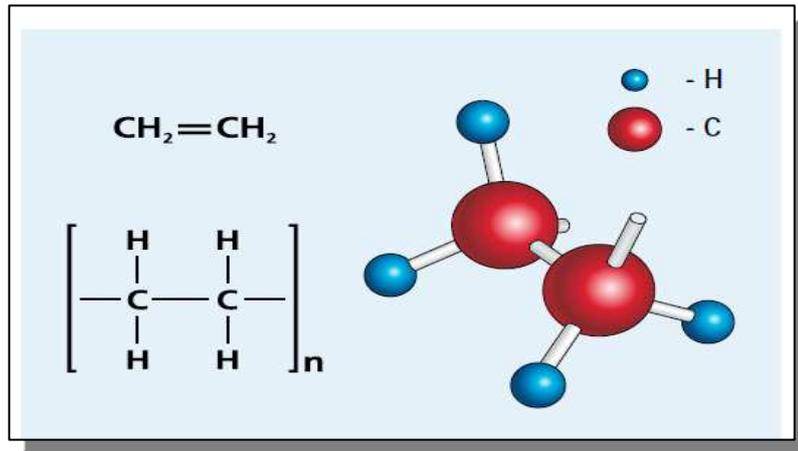


Figure I.2 : Molécule de polyéthylène

I.1.1 Distillation

Le pétrole brut chauffé à 400 °C et introduit dans une colonne de fractionnement dans laquelle les produits se condensent à différents niveaux en fonction de leur densité, en bas les bitumes, en haut les gaz. La « coupe » NAPHTA qui nous intéresse se condense à 160 °C entre le kérosène et l'essence. C'est un liquide incolore [2].

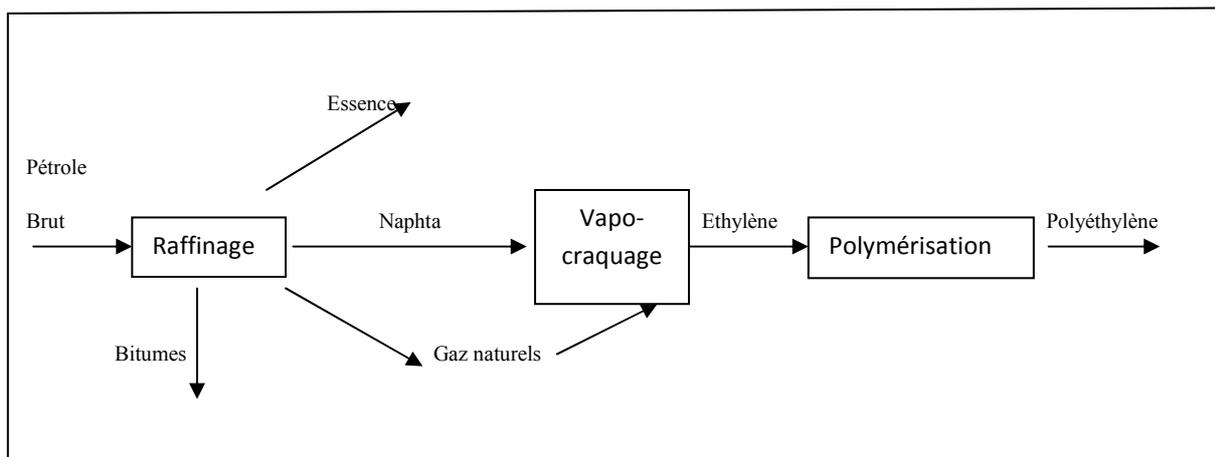


Figure I.3 : Procédé de fabrication de polyéthylène

Des procédés entièrement différents sont utilisés pour la synthèse du polyéthylène lors de la polymérisation :

I.1.3.1 Le procédé « haute pression »

Est historiquement le plus ancien (1933), ce procédé en masse ou en émulsion nécessite de comprimer l'éthylène gazeux à plus de 1000 bars et à une température de 150 à 200 °C.

Ces procédés conduisent à un polyéthylène radicalaire comportant des ramifications difficilement cristallisables, soit linéaire, ce qui améliore la tenue mécanique, en particulier la résistance à la déchirure. Il est nommé **Polyéthylène Base Densité (PEBD)** [3].

I.1.3.2 Les procédés « basse pression » (procédés Ziegler- Natta)

Un mécanisme probable est proposé en figure I.7. Il est basé sur l'utilisation de catalyseurs (l'exemple le plus typique pour la synthèse de PEHD, présenté en Figure I.5). Et nécessitent des pressions faibles de 40 à 60 bars et à température de 60 à 120 °C [4]. Ils permettent d'obtenir des chaînes macromoléculaires linéaires plus facilement cristallisables. Le PE plus cristallin que PEBD, donc plus dense, est appelé **Polyéthylène Haute Densité (PEHD)** [3].

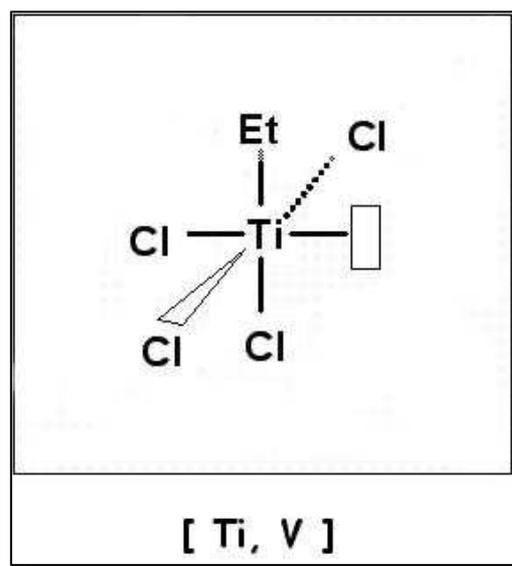


Figure I.5: Structure d'un catalyseur de type Ziegler-Natta

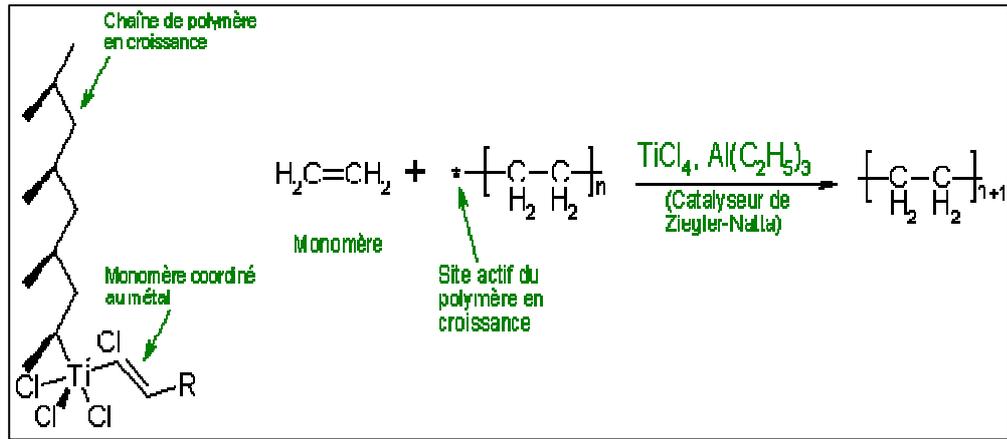


Figure I.6: Procédé Basse Pression : catalyse de Ziegler Natta

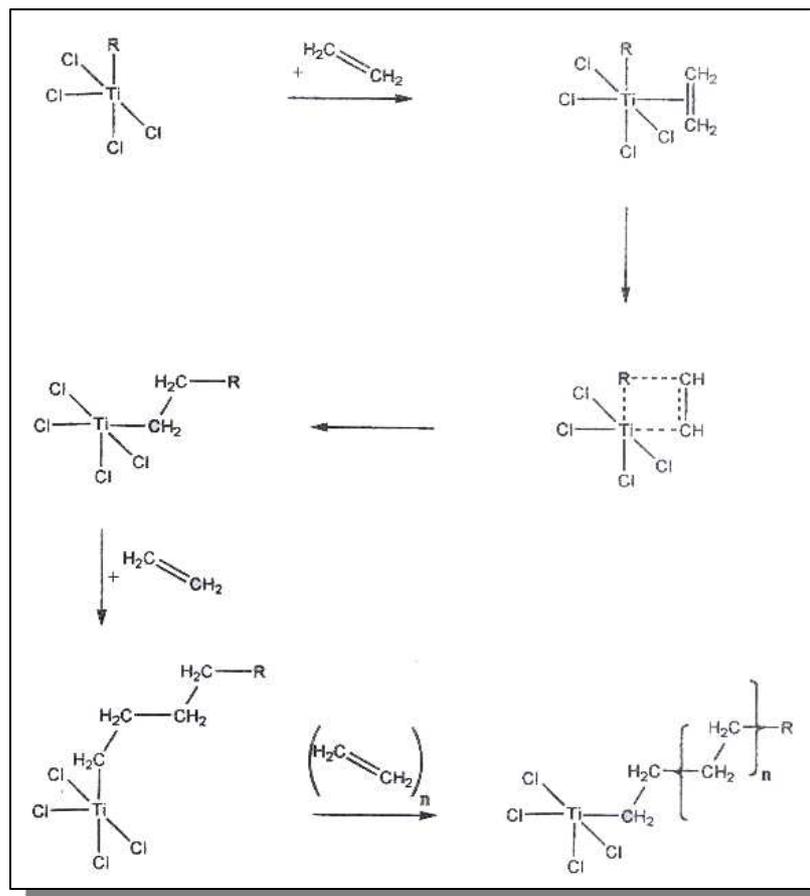


Figure I.7: Mécanisme de polymérisation par catalyse Ziegler-Natta [17]

I.1.3.3 Procédés moyenne densité

Réalisé soit par mélange des deux précédents, soit par polymérisation directe [4].

I.1.4 Granulation

Cette poudre est différents produits destinés à améliorer les performances du matériau (stabilisants, plastifiants) et de colorant. Le mélange est chauffé dans une granulatrice qui fabrique les granulés. (figure I.8 et I.9) [2].



Figure I.8: Granulés de PEHD



Figure I.9: Granulés de PEBD

I.2 Structure et classification de polyéthylène

Les polyéthylènes peuvent être [5] :

- linéaires ou branchés (ou ramifiés), classés selon :
 - leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes sur les chaînes moléculaires :
 - ✓ PETBD, polyéthylène à très basse densité.
 - ✓ PEBDL, polyéthylène à base densité linéaire.
 - ✓ PEBD, polyéthylène base densité.
 - ✓ PEMD, polyéthylène moyenne densité.
 - ✓ PEHD, polyéthylène haute densité.
 - leur masse molaire :
 - ✓ polyéthylène à masse molaire très basse
 - ✓ polyéthylène à masse molaire élevée
 - ✓ PEUHPM, polyéthylène à masse molaire très élevée
- réticulés : PER, polyéthylène réticulé. Presque tous les PER sont faits à partir de polyéthylène à haute densité (HDPE) :
 - PERHD, polyéthylène réticulé à haute densité.

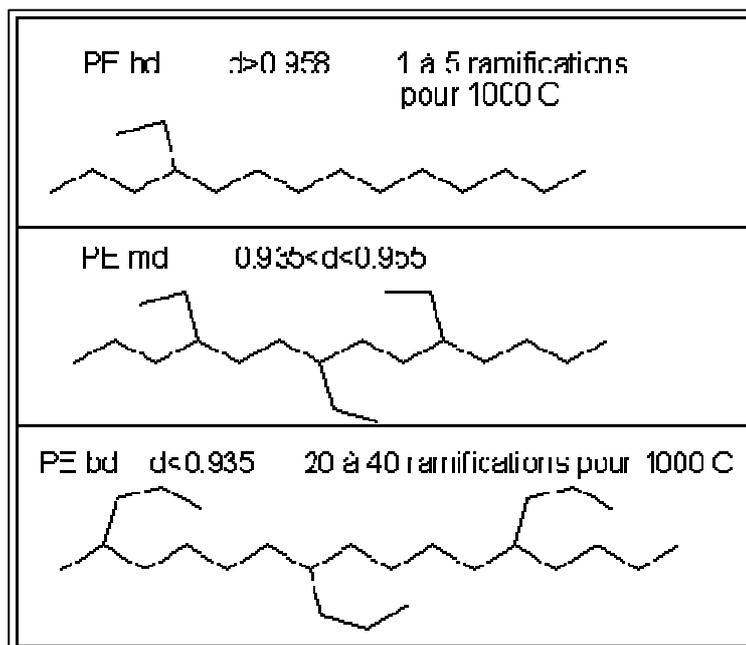


Figure I.10: Différentes formes de polyéthylène

Plus de ça, les différentes gammes de polyéthylène sont classées selon leur résistance à long terme (MRS Minimum Required Strength) (tableau I.1).

Tableau I.1 : Valeurs de MRS et S pour différentes matières de PE [6]

Désignation de PE	Classification suivant ISO	Contrainte minimale requise MRS en MPa	Résistance hydrostatique à long terme à 20 °c S en MPa
PEHD 3ème génération	PE 100	10,0	8,0
PEHD 2ème génération	PE 80	8,0	6,3
PEHD 1ème génération	PE 63	6,3	5,0
PEBD	PE 40	4	3,2
PEBD	PE 32	3,2	2,5

Aussi, la masse molaire M d'une macromolécule est égale au produit de la masse M_0 du Motif élémentaire par le degré de polymérisation DP :

$$\boxed{M = M_0 \cdot DP} \dots\dots\dots (I.1)$$

Lorsque l'échantillon polymère est polymoléculaire, on le caractérise par son degré de polymérisation moyen en nombre $n DP$, égal au rapport du nombre de motifs élémentaires au nombre total de macromolécules de toutes tailles, contenues dans cet échantillon. S'il existe i espèces de macromolécules, chacune est caractérisée par :

- son degré de polymérisation DP_i
- sa masse molaire $M_0 DP_i$
- le nombre N_i de macromolécules qui le constituent

I.3 Propriétés du polyéthylène

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique, translucide, chimiquement inerte (il est plus résistant aux oxydants forts que le polypropylène), facile à manier et résistant au froid.

Le PEBD est plus ramifié que le PEHD, ce qui signifie que les chaînes s'assemblent moins bien entre elles. Les forces intermoléculaires de type Van Der Waals sont donc plus faibles. Il en résulte un taux de cristallinité moindre, une plus faible densité, une malléabilité et une résistance aux chocs plus élevées. En revanche, le PEHD est plus rigide [7].

Aussi, Sa température de transition vitreuse est très basse (voisine de $-110\text{ }^\circ\text{C}$) et son point de fusion peut selon les grades atteindre à $140\text{ }^\circ\text{C}$, mais sa résistance mécanique fléchit nettement dès $75\text{ à }90\text{ }^\circ\text{C}$. Contrairement au polypropylène, la température d'utilisation ne peut excéder le point d'ébullition de l'eau. Sa nature paraffinique explique sa grande inertie chimique [5].

I.3.1 Propriétés caractéristiques du polyéthylène

- Température maximale d'emploi : $105\text{ }^\circ\text{C}$
- Température de fragilisation : $-50\text{ }^\circ\text{C}$
- Aptitude à la micro-onde : oui
- Couleur : translucide ou blanc naturel

- Très bonne résistance chimique aux acides, aux alcools aliphatiques, aux aldéhydes, aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques
- Faible résistance aux agents oxydants
- Polyféline semi-cristalline
- Bonne flexibilité
- Il est régénéré et recyclé sous forme de granulés.

Tableau I.2: Prescription sur la matière de base (PEHD)

Caractéristiques	Méthodes	Paramètres d'essai	Unités de mesure	Valeurs mesurées
densité de référence	EN ISO 1183	23 °C	kg/m ³	> 930
indice de fluidité.	EN ISO 1183	190 °C 5 kg.	g/10min	< 1,6
Résistance à la Pression				
interne 165h (64 mPa)	EN ISO 1167	80 °C	bar	Pas de défaillance
Résistance à la Pression				
interne 1.000h (62,8 mPa)	EN ISO 1167	80 °C	bar	Pas de défaillance

I.4 Les avantages et les inconvénients du polyéthylène [8]

I.4.1 Les avantage

- mise en œuvre aisée
- excellentes propriétés d'isolation électrique
- résistance aux chocs
- grande inertie chimique
- qualité alimentaire

I.4.2 Les inconvénients

- perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.
- sensibilité aux UV en présence d'oxygène
- sensibilité à la fissure sous contrainte
- mauvaise tenue à la chaleur
- collage difficile
- retrait important

I.5 Utilisation

Le polyéthylène est un polymère de synthèse très employé. Il compose notamment la moitié des emballages plastiques (films à usage alimentaire, agricole, sacs plastiques ...), et tubes plastique (figure I.11).



Figure I.11 : PEHD mise en forme : tube pour distribution d'eau

➤ Lorsque le sac se froisse facilement sous la main, avec un bruit craquant, un touché « mécanique », et revient plus ou moins spontanément à sa forme d'origine, il s'agit du PEHD (PE haute densité).

➤ Lorsque le touché est plus « gras », que le plastique se froisse sans bruit, se perce facilement avec le doigt, il s'agit du PEBD (PE basse densité).

Les principales applications du PEHD sont des produits rigides : flacons, bouteilles, jerricans, réservoirs de carburant d'automobiles, etc.

Les principales applications du PEBD sont des produits souples : sacs, films, sachets, sacs poubelles, récipients souples, etc.

I.6 Recyclage et régénération de polyéthylène

Au cours de ces dernières années, le recyclage et la réutilisation des produits usés en PE ont pris de plus en plus d'importance. Avec sa structure chimique simple, le PE prime sur la plupart des autres matériaux grâce à son aptitude à la régénération simple (figure I.12).

En matière revalorisation (recyclage), l'industrie est constamment à la recherche de nouvelles méthodes permettant d'intégrer dans le cycle énergétique les produits usés en matière synthétique de façon aussi écologique que possible [2].



Figure I.12 : Image microscopique de PEHD recyclé

Actuellement, on distingue deux types de réutilisation du PE :

- Le Recyclage matériel : le PE usé est collecté par l'industrie du PE, puis transformé en granulés servant de base à la fabrication de nouveaux produits en PE.
- Le recyclage thermique : il repose sur la valorisation énergétique des déchets en matière synthétique [2].

La figure I.13 est expliquée le cycle de vie d'une matière recyclé

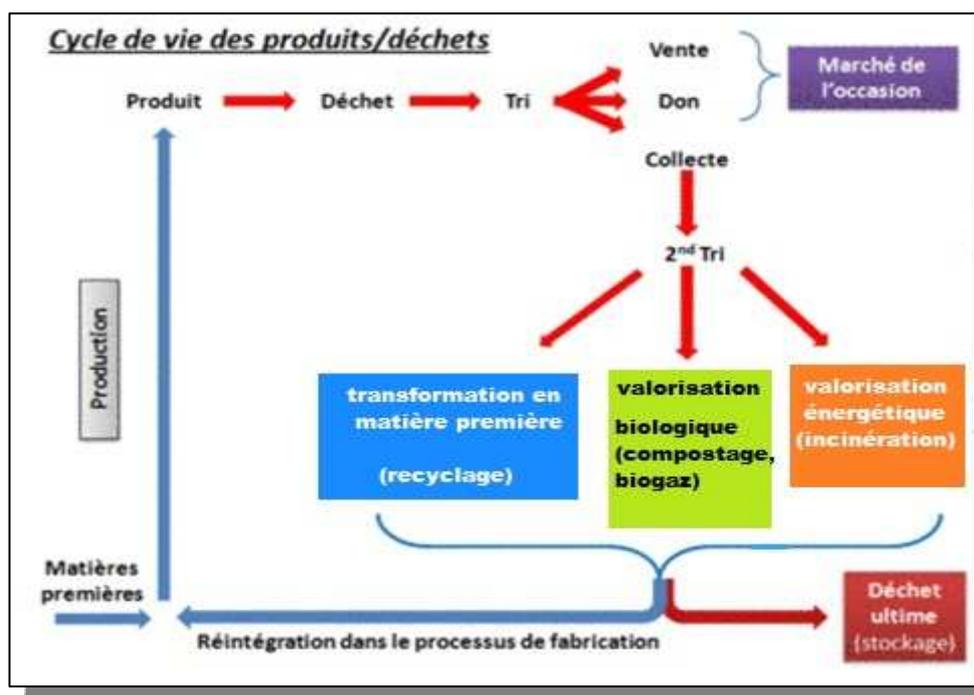


Figure I.13: Schéma de cycle de vie de produits et de déchets [9]

I.6.1 Ecologique et économie du recyclage

Le problème de l'incinération des plastiques, produits à base d'hydrocarbures fossiles, est l'émission de CO₂ et de fumées polluantes qui doivent à leur tour faire l'objet d'un retraitement.

Aussi, Une tonne de PE recyclé représente 0,61 tonne de pétrole brut et 0,2 tonne de gaz naturel et 10,96 MWh soit 2,29 tonnes d'équivalent CO₂ évitées.

Pour le PEHD, cela représente 0,51 tonne de pétrole brut et 0,31 tonne de gaz naturel et 7,98 MWh soit 1,53 tonne d'équivalent CO₂ évitée.

Au total, 21% des emballages plastiques sont recyclés [9].

I.6.2 Logos du recyclage (anneau de Möbius)

Vous avez sûrement déjà remarqué ces logos sur le recyclage, que l'on retrouve sur les emballages de vos produits. Quelle est leur signification ? (figure I.14).

Le plus important est l'anneau de « Möbius », qui symbolise un cycle sans fin de recyclage. Sa présence indique que le produit est recyclable. Parfois, un pourcentage figure en son centre, il signifie que le produit contient déjà ce pourcentage de matériaux recyclés [9].

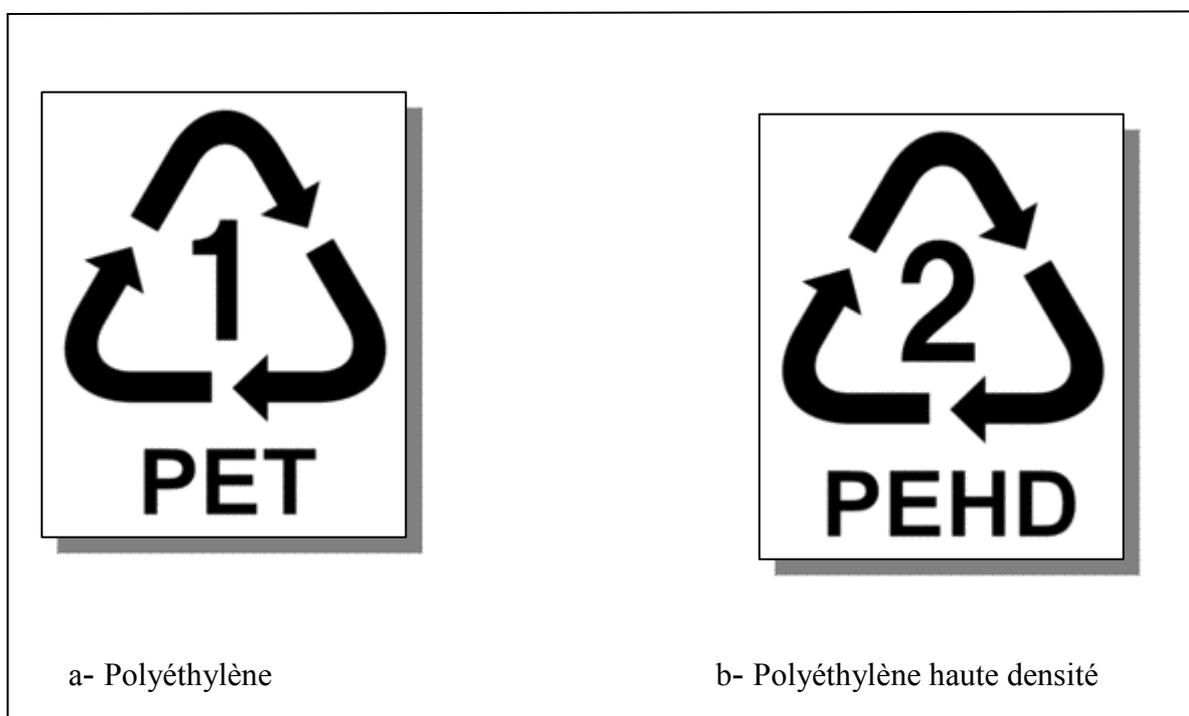


Figure I.14 : Logos du recyclage signalent le type de plastique

Conclusion

Le polyéthylène est incontestablement le type de polymère le plus répandu dans l'industrie des produits plastiques pour une très grande gamme d'utilisation grâce à leurs caractéristiques. Par conséquent, il a une structure simple, ce qui en fait un très bon candidat pour le recyclage, ce qui justifie qu'on cherche l'effet de sa régénération.

Chapitre II

Les tubes en PEHD

Introduction

Les applications des systèmes de canalisations en polyéthylène haute densité (PEHD) sont variées, elles concernent les réseaux de l'eau potable, du gaz, du drainage et de l'assainissement.

Le PEHD est le plus inerte chimiquement de tous les matériaux bruts en plastique, et est par conséquent extrêmement résistant aux produits chimiques et à la corrosion. Les eaux agressives issues des sols à haute teneur en sulfate et celles à faible dureté n'attaqueront pas les tubes en PE. Ces tubes sont par conséquent résistants à une large gamme d'eaux industrielles et de produits chimiques, et présentent un avantage pour la durée de vie à long terme des systèmes et pour les coûts de fabrication.

A cause de leur surface interne lisse comme un miroir, les tubes en PEHD présentent de faibles pertes de charge. L'absence d'accumulation de dépôts intérieurs les rend idéaux pour la construction de systèmes d'assainissement. Cela présente un avantage de résistance à long terme important pour les tubes PEHD par rapport aux tubes en ciment ou en métal, Une durée de vie de plus de 70 ans et prévisible lorsque l'on décide d'utiliser le PEHD [10].

II.1 Fabrication des tubes en PEHD

Les premières canalisations en PE ont été posées dans le nord de l'Allemagne après la seconde guerre mondiale, en terrains fortement salins. Elles ont révélé les qualités de ce produit qu'a été, de puis, amélioré de manière considérable en termes de performances et pour la simplicité des techniques d'assemblages et de pose [2].



Figure II.1: Image du produit fini

II.1.1 Mécanismes de la fabrication des tubes en PEHD

Le tube PE est généralement fabriqué par extrusion. Les granulés sont placés dans une machine appelée boudineuse ou extrudeuse. Cette machine chauffe le granulé, le transforme en pâte à environ de 230 °C et le pousse à travers un outillage de forme.

Le tube y est calibré en diamètre extérieur et en épaisseur. Il transite dans une anceinte de refroidissement par circulation ou aspersion d'eau, puis dans une étireuse qui maintient le tube tendu.

Aussi la vitesse de défilement de l'étireuse est adaptée pour assurer au tube une épaisseur régulière, en fonction de la vitesse du tube sortant de l'extrudeuse.

Le tube PE reçoit, au moment de cette fabrication, un marquage de repérage situé tous les mètres, en creux par poinçonnage et dépose la peinture par jet d'encre [2].

La figure II.2 présente de façon schématique toute ces étapes :

- I- Préparation de la matière première (MP)
- II- Extrusion
- III- Mise en profil
- IV- Calibrage
- V- Finitions et emballages

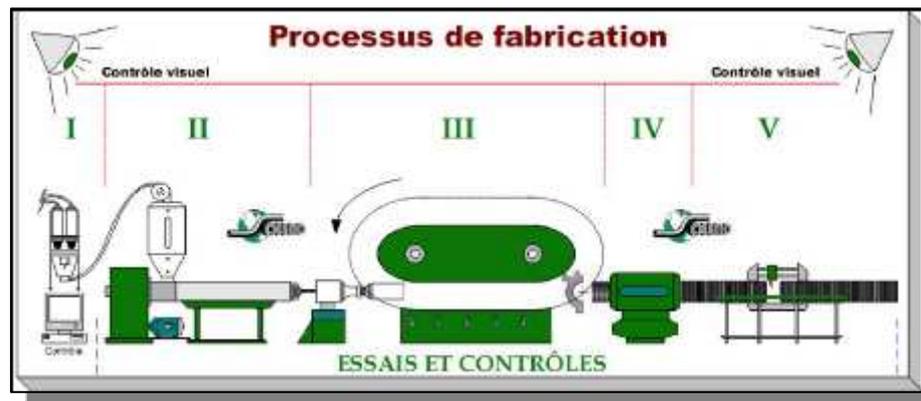


Figure II.2: Processus de fabrication des tubes en PEHD [11].

II.1.2 Types de PE utilisés

Pour les applications courantes, les PE 80 et 100 sont les plus utilisés

II.1.2.1 PE 100

Polyéthylène Haute Densité avec pour Classe de Résistance, PE 100, référence au tube ayant un minimum de 50 années de résistance de 10 MPa. Ceci permet des opérations à des pressions allant jusqu'à 16 bars. Le PE 100 présente les meilleures propriétés mécaniques des polyéthylènes destinés au transport d'eau commercialisée à ce jour.

II.1.2.1 PE 80

Polyéthylène Moyenne Densité avec pour Classe de Résistance, PE 80, référence au tube ayant un minimum de 50 années de résistance de 8 MPa. Ceci permet des opérations à des pressions allant jusqu'à 12 bars. Le PE 80 est encore disponible sur le marché du tube d'adduction d'eau. Il présente néanmoins des propriétés mécaniques nettement inférieures à celles d'un PE100.

Tableau II.1. Désignations du PE durant ces dernières années

Ancien désignation	Nouvelle désignation
PEFD	PE 40
PEMD	PE 80
PEHD	PE 63, PE 80 2 ^{ème} génération, PE 100 3 ^{ème} génération

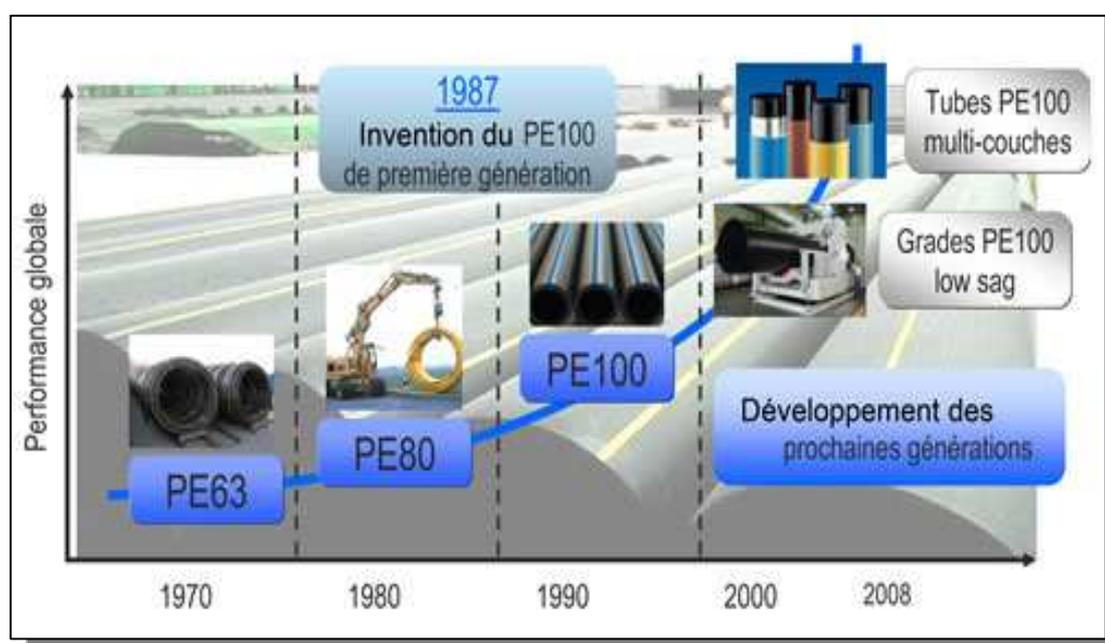


Figure II.3 : Histoire du PE pour tubes pression

Contrainte admissible

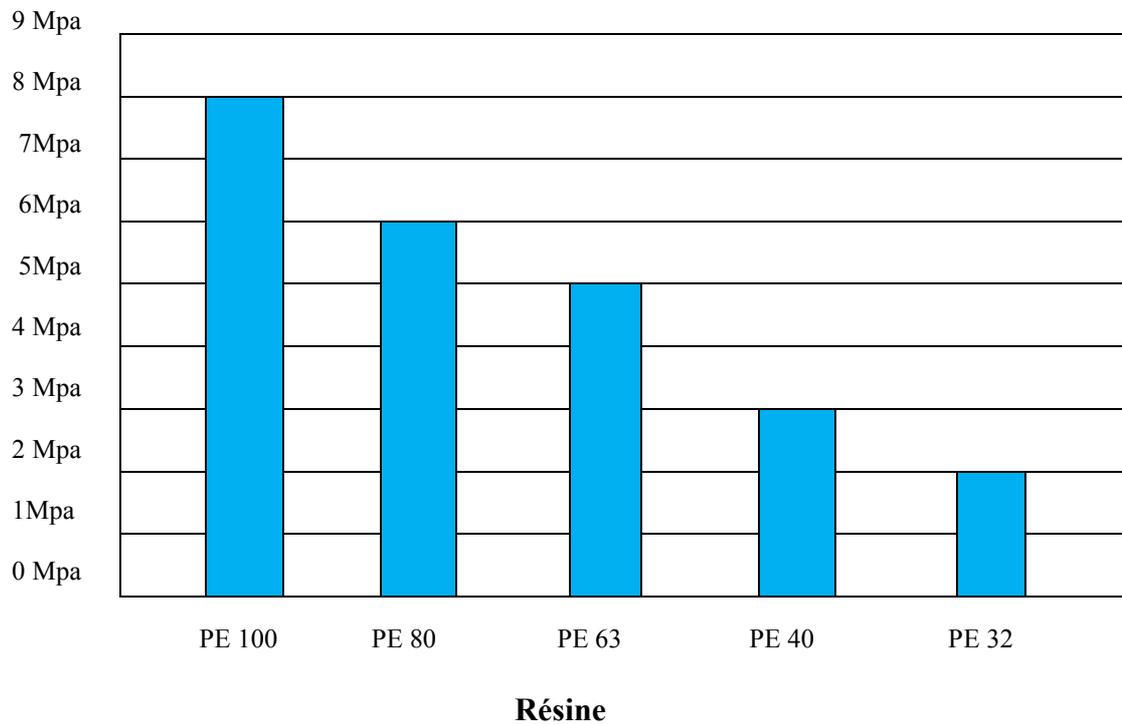


Figure II.4 : Représentation du niveau de la contrainte admissible de différents types de PE [2].

II.2 Propriétés des tubes en PEHD

II.2.1 Dimensions des tubes en PEHD

L'industrie conserve deux moyens pour définir les dimensions d'un tube. L'une utilise le diamètre nominal (DN). Elle est utilisée couramment pour les tubes en acier ou en fonte.

L'industrie du plastique utilise couramment le diamètre extérieur ou DE [10].

➤ **Rapport Dimensionnel Standard (SDR)**

Pour une matière et une pression donnée (PN) le rapport des dimensions nominales des tubes (diamètre et épaisseur) est constant.

Cette constante est désignée sous le sigle SDR qui se traduit par (Rapport Dimensionnel Standardisé) :

$$\boxed{\text{SDR} = D_e / e} \dots\dots\dots \text{(II.1)}$$

Où :

De : diamètre extérieur du tube

e : épaisseur du tube

À 20 ° C la relation entre SDR et PN pour l'adduction d'eau est illustrée par tableau ci-dessous :

Tableau II.2. Relation entre SDR et PN à 20 °C [6]

SDR	PN	
	PE 80	PE 100
9	16	20
11	12,5	16
13,6	10	12,5
17,6	8	10
26	5	6,3

II.2.2 Propriétés mécaniques des tubes en PEHD

Le système d'une canalisation en PEHD se caractérise principalement par les propriétés suivantes [12]:

II.2.2.1 Rigidité

La rigidité d'une pièce en polyéthylène haute densité est d'autant plus élevée que la cristallinité du polymère est importante ; dans une moindre mesure, elle baisse quand la masse molaire augmente.

II.2.2.2 Longévité

La structure des tubes leur procure une haute résistance à la déformation. Le polyéthylène haute densité (PEHD), utilisé depuis plus de 50 ans, a fait ses preuves et continue à offrir d'innombrables perspectives grâce à l'évolution constante des techniques de fabrication des matières premières, des tubes, raccords et accessoires. Des normes internationales, telle que la norme ISO/TR 9080, permettent, à partir de mesures mécaniques en température, d'extrapoler la durée de vie jusqu'à 100 ans !

II.2.2.3 Dureté

Le polyéthylène haut densité a une dureté relativement faible (il est rayé par l'ongle). Sa dureté varie relativement peu d'une résine à l'autre et augmente avec la cristallinité

II.2.2.4 Résistance à la compression

Déformation de 5% du diamètre sous force de 450 N

II.2.2.5 Comportement au choc

La résistance au choc varie en sens inverse de la rigidité. La résistance au choc d'une pièce en polyéthylène haute densité est d'autant meilleure que :

- sa masse molaire est plus élevée (mais sa transformation est plus difficile)
- sa cristallinité est plus faible (mais sa rigidité également)
- la température est plus élevée (mais la rigidité décroît fortement avec la température)
- la distribution des masses molaires est plus étroite (pour les pièces injectées), les tensions internes étant plus faibles.

Aussi, l'excellent comportement au choc à froid du polyéthylène haute densité est lié à sa température de transition vitreuse de l'ordre de - 110°C.

II.2.2.6 Résistance mécanique à l'écrasement

Ces tubes respectent les caractéristiques mécaniques mentionnées dans la norme EN 13476 correspondant aux tubes structurés. La résistance à l'écrasement est déterminée par la rigidité circonférentielle spécifique (RCS), qui dépasse pour ce type de tubes les 8 kN/m² permettant ainsi leur utilisation à des profondeurs supérieures à celles requises par les matériaux conventionnels.

II.2.2.7 Résistance à la fissuration sous contrainte

Lors de la manipulation sur chantier des tubes des défauts de surface peuvent apparaître. Pour les polyéthylènes de 1ère génération, ces défauts pouvaient être générateurs de fissuration lente et déboucher sur des ruptures fragiles.

Les dernières générations de polyéthylène montrent une grande amélioration de la résistance à la fissuration lente. L'apparition de fissuration sous tension est grandement retardée.

Un test de laboratoire est réalisé sur des tubes entaillés à une température de 80°C, soumis à une pression de 4,6 MPa [6].

II.2.2.8 Résistance à la propagation rapide des fissures

La propagation rapide des fissures est un phénomène causé par un choc sur un tube sous pression. Cette résistance est définie par le test RCP (Rapid Crack Propagation). Ce test démontre une tenue du PE 100 jusqu'à 10 fois supérieurs à celle d'un tube en PE 80, et nettement meilleure que celle obtenue avec des matériaux métalliques, tel que l'acier par exemple [6].

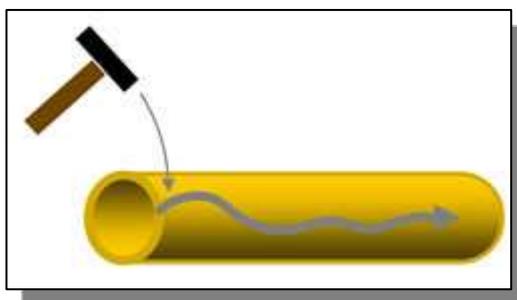


Figure II.5: Test RCP (Rapid Crack Propagation)

II.2.2.9 Résistance à l'abrasion

La surface paraffinique du polyéthylène lui assure un faible coefficient de friction. Les tubes en polyéthylène ont ainsi une excellente résistance à l'abrasion.

Par rapport aux autres tubes traditionnellement utilisés dans le domaine du transport de l'eau, l'utilisation de tubes en polyéthylène permet d'augmenter considérablement la durée de vie des canalisations vis-à-vis de l'abrasion. Les conduites peuvent être utilisées dans de nombreux cas où l'abrasion est un problème important (transport d'eaux chargées en sable ou en gravier) [6].

II.2.2.10 Ductilité et flexibilité

La ductilité du PE permet aux réseaux de bien résister aux vibrations et contraintes liées aux mouvements de terrain. Le tube est flexible; ainsi il s'adapte parfaitement à des conditions de pose nécessitant des changements de direction et des tracés difficiles. Le tube PE s'adapte aussi au mouvement du sol. Sa structure annulaire en polyéthylène lui confère

une flexibilité et lui permet de s'adapter aux mouvements du sol pour corriger les éventuelles mauvaises conditions de pose en évitant les fissures.

II.2.2.11 Module Young

✓ Définition

Le module Young, défini par la loi de HOOK, est une grande caractéristique du matériau qui permet de déterminer la relation entre la contrainte et la déformation. L'élasticité est définie par la formule suivante [2] :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{..... (II.2)}$$

Où :

σ : contrainte

ε : déformation relative

E : module Young

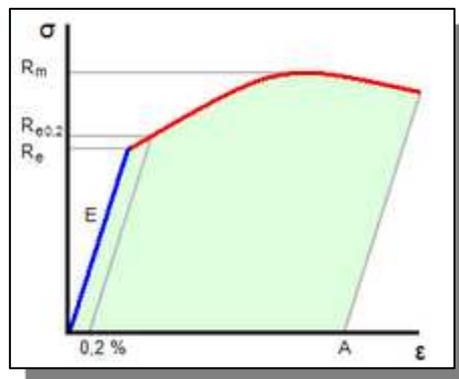


Figure II.6: Diagramme contrainte-déformation d'un matériau ductile

Le module de Young est la contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau (il doublerait donc de longueur), si l'on pouvait l'appliquer réellement : dans les faits, le matériau se déforme de façon permanente, ou se rompt, bien avant que cette valeur ne soit atteinte.

II.2.3 Propriétés physique des tubes en PEHD

II.2.3.1 Caractéristiques thermiques et climatiques des tubes en PEHD

➤ Dilatation

Sous l'effet d'une variation de température, le tube en polyéthylène aura tendance à se dilater ou à se rétracter. La variation de température entraînera en plus ou en moins une variation de longueur ΔL calculée par la formule suivante :

$$\Delta L = L \alpha \Delta t \dots\dots\dots (II.3)$$

Où :

L : longueur considérée

ΔL : variation de longueur

Δt : variation de température

α : coefficient de dilatation

Le coefficient de dilatation du PEHD est égal à 2,10 m/m/°C, c'est-à-dire 0,2 mm/m/°C [6].

➤ Tenue à l'UV

Une exposition aux UV trop longue peut entraîner une diminution sensible des qualités intrinsèques du matériau. Le polyéthylène noir comporte du noir de carbone qui lui permet d'augmenter de manière considérable cette tenue aux UV. Ainsi le PEHD a une remarquable stabilité au vieillissement, susceptible de lui conférer une période allongée en stockage [6].

➤ Tenue au gel

La grande souplesse du tube en polyéthylène lui permet de bien résister au gel. Le polyéthylène se prête à la déformation due au gel puis reprend sa forme initiale au dégel. Le tube polyéthylène peut être posé à une température ambiante pouvant aller jusqu'à 50°C [6].

II.2.3.2 Tenue à la pression à 20 °C

Le tableau II.3 résume, en fonction du SDR, les valeurs de la pression maximale admise par les tubes PEHD à 20°C [6].

Tableau II.3. Pressions admissibles selon le SDR [6]

Φ tube PE (mm)	SDR 11 (bar)		SDR 17 (bar)	
	PE 80	PE 100	PE 80	PE 100
du 20 au 630	12,5	16,0	8,0	10,0

II.2.3.3 Influence de la température de fluide

Le dimensionnement d'un tube PE est effectué pour une température du fluide de 20°C. Une température plus basse améliore la tenue du tube, une température d'utilisation plus haute implique d'utiliser un coefficient de détimbrage pour le dimensionnement de la canalisation [6].

La pression PMA est alors calculée de la manière suivante :

$$PMA = f(t).f(a).PN \dots\dots\dots (II.4)$$

Où :

PMA : Pression maximale admissible

F(t) : facteur de détimbrage dû à la température

F(a) : facteur de détimbrage dû aux conditions internes et environnementales de fonctionnement.

PN : pression nominale

II.2.3.4 Conductibilité électrique

Le polyéthylène est un matériau électro-isolant (résistance transversale supérieur à 106 Ohm.cm). Sa résistance transversale est d'environ 1015 Ohm.cm. Cette propriété rend le polyéthylène totalement insensible aux courants vagabonds.il permette concevoir le réseau sans se soucier de l'évolution future de l'environnement [2].

II.2.4 Caractéristiques chimiques des tubes en PEHD

II.2.4.1 Résistance chimique

Les tubes PEHD ont une bonne tenue chimique pour les cas les plus courants. Ils résistent aux sels, aux acides et aux alcalis en solutions aqueuse diluées. De nombreux solvants peuvent être acceptés jusqu'à 50°C.

La résistance chimique des tubes en polyéthylène dépend des paramètres suivants :

- Le milieu,
- La concentration de l'effluent,
- La température,
- La charge.

De plus, Le polyéthylène possède l'une des meilleures tenues chimiques de l'ensemble des matières synthétiques. Il présente l'avantage d'avoir un résiste généralement très bien dans des gammes importantes de concentration et de température, aux acides, aux eaux usées (ménagères ou industrielles) [2].

II. 2.4.2 Corrosion

Le polyéthylène présente d'avantage d'être totalement inerte chimiquement pour les plages des températures conventionnelles. Ainsi, son utilisation garantit une pérennité maximale à la conduite et à son dimensionnement. En effet, il ne se concorde pas, ne se pique pas et ne rouille pas [2].

Tableau II.4. Caractéristiques du polyéthylène [6]

Paramètre	Méthode d'essai	PE 80	PE 100	Unité
Caractéristiques physiques				
Masse volumique	EN ISO 1183	949 à 956	956 à 961	kg/m ³
Indice de fluidité MFI (190°C, 5 kg)	EN ISO 1133	0,7 à 1	0,2 à 0,5	g/10min
Caractéristiques mécaniques				
Module d'élasticité	DIN 53457	≈ 900	≈ 1200	N/mm ²
Charge à la rupture	ISO 6259	≈ 24	≈ 24	N/mm ²
Allongement à la rupture	ISO 6259	>500	>500	%
Dureté Shore à 20°C	ISO 868	57	59	–
Résilience IZOD S.I à 23°C	ASTM D 256	>600	>600	J/m ²
Caractéristiques thermiques				
Conductibilité thermique à 23°	DIN 52612	0,40 à 0,45	0,40 à 0,45	W/m.k
Dilatation linéaire	DIN 53752	1,6 à 2* 10 ⁻⁴	1,6 à 2* 10 ⁻⁴	°K ⁻¹
Autres propriétés				
% en poids de noir de carbone	ISO 6964	2,0 à 2,5	2,0 à 2,5	%
Dispersion du noir de carbone	ISO 18553	≤ 3	≤ 3	–
Stabilité à l'oxydation à 200°C	EN 728	–	–	min
Coefficient rugosité hydraulique		0,01 jusqu'à DN 200 0,05 pour DN ≥ 200		
Résistivité électrique	DIN 53842	≥ 1017	≥ 1017	Ω/cm

II. 3 Les applications des tubes en PEHD

Les efforts d'innovation consentis depuis, pour améliorer la matière polyéthylène et partant ses performances, ont été décisifs dans le choix des professionnels. Le retour d'expérience positif a contribué également dans cette diversification des domaines d'applications suivantes :

- La distribution d'eau potable (figure II.7)
- La distribution de gaz
- L'assainissement sous pression
- Le dessalement de l'eau de mer
- Les réseaux anti-incendie



Figure II.7: Tube PEHD pour distribution d'eau potable

II.4 Paramètres influençant la fabrication des tubes en PEHD

Le processus de fabrication des tubes en PEHD est influencé par de nombreux facteurs, dont ces principaux sont :

- la fluidité
- la masse volumique
- la fissuration
- la pression
- la température
- le type de gamme du PE

Partie

Expérimental

Chapitre III

Matériels utilisés et protocole expérimenta

Introduction

Les expériences effectuées sur la matière et le tube PEHD sont comme suit :

- l'indice de fluidité en masse (IMF)
- la masse volumique (MV)
- l'essai de traction
- le test de la résistance à la pression hydraulique interne

III.1 Matériaux utilisés

Différents matériaux sont utilisés :

- Le polyéthylène
- Le polyéthylène régénérer
- Tube PEHD 160×14,6 PN16
- PE 100 noir
- Eprouvette de 15 cm du tube PEHD

III.1.1 Le polyéthylène PE

Un PE 100 de couleur noir est utilisé dans nos expériences. Et plus particulièrement du polyéthylène qui nous intéresse pour réaliser nos expériences, le polyéthylène en haute densité PEHD.

III.1.2 Le polyéthylène régénérer

Nous rectifions des tubes PEHD corrompus par l'opération de broyage afin d'obtenir de matière régénérée pour l'utilisé dans des pourcentages 5% et 10 % comme une matière régénéré incorporé.

III.1.3 Les tubes en PEHD

Les dimensions et pression nominal de produit fini qui utilisé sont 160X14,6 PN16. En ce qui concerne leur résistance chimique et d'une manière très simplifiée, les canalisations PEHD, sont classifiées selon les groupes suivants :

Tableau III.1 : Résistance chimique des canalisations PEHD

Groupes de substances à 20°C	PEHD
Acides, faibles ou dilués	Très bonne résistance chimique
Acides, forts ou concentrés	Très bonne résistance chimique
Acides / agents oxydants	Résistance chimique faible
Lessives alcalines	Très bonne résistance chimique
Alcools aliphatiques	Très bonne résistance chimique
Cétones	Résistance chimique bonne à restreinte
Aldéhyde	Très bonne résistance chimique
Esters	Résistance chimique bonne à restreinte
Hydrocarbures aliphatiques	Très bonne résistance chimique
Hydrocarbures aromatiques	Très bonne résistance chimique
Hydrocarbures halogénés	Résistance chimique bonne à restreinte
Ether	Résistance chimique bonne à restreinte

III.1.4 Elaboration des mélanges : PE vierge + PE régénéré

Avant d'effectuer nos expériences, notre travail a été effectué selon trois lots de production des tubes PEHD dans l'usine de production des tubes plastiques CANAPEHP Ain Oussera. Djelfa. Algérie. Le polyéthylène vierge à été mélangé avec du polyéthylène régénéré à différents taux : 100/0, 95/5, 90/10 suivant les désignations et quantités présentées en tableau III.2

Tableau III.2 : Préparation des échantillons

Echantillon	à 0%	à 5%	à 10%
% polyéthylène	100	95	90
% polyéthylène régénérer	0	5	10

III.2 Détermination de l'indice de fluidité à chaud de polyéthylène

III.2.1 Dispositif expérimental

Le plastomètre (Melt Index), représenté sur la figure III.1, est un test de contrôle qualité qui mesure l'écoulement d'une résine à travers une filière. C'est le taux de polymère fondu, en gramme, qui est exclu par la filière capillaire en 10 minutes, poussé par une charge spécifique. L'unité est le gramme par 10 minutes. La masse spécifique pour tester des résines polyéthylènes est 2,16kg. Mais on rencontre aussi des essais réalisés avec des masses de 5kg (MI5), ou 21,6kg (High Load Melt Index, HLMI), fonction de la viscosité de la résine à tester. L'essai a lieu à une température de 190°C. Ce test est régi par la norme ASTM Standard D1238 [13].



Figure III.1: Appareillage de mesure de l'indice de fluidité

D'autre part, Le (IFM) est une indication de la viscosité du polymère, et donc de sa masse molaire moyenne.

III.2.2 Protocole expérimental

En fixant les conditions opératoires précédemment définies, la température de l'essai est 190 °C. On va peser 5 g comme une charge nominal puis le mettre dans le cylindre. Puis on va comprimer l'échantillon en exerçant une pression manuelle au moyen de l'outil de compactage, Au bout de 240 secondes de préchauffage de l'échantillon, et on place la charge sur piston et le laisser descendre sous l'action de la pesanteur.

L'extrudât obtenu à la première coupe doit être écarté, Quand le repère inférieur de la tige du piston atteint le bord supérieur du cylindre commencer à récupérer les extrudats coupés successivement à des intervalles de temps de 240 secondes. On arrêter le découpage lorsque le repère supérieur de la tige du piston atteint le bord supérieur du cylindre et nous nettoyons le cylindre, la filière et le piston.

Après refroidissement, on passe à peser individuellement les extrudats au minimum de (04), et on calcule leurs masse moyenne. Ainsi l'indice de fluidité en masse (IFM), les valeurs sont exprimé en grammes pour 10 minutes est mesuré voir l'annexe.

III.3 Test de détermination de la masse volumique

III.3.1 Mesure de la masse volumique

L'état de division d'un produit peut aussi être quantifié par la valeur de sa masse volumique. La balance (figure III.2), est utilisée pour déterminer la masse volumique d'un matériau plastique, se composent d'une plaque de support, d'étriers, de béciers en verre, d'un thermomètre, de supports pour solides flottants et non flottants et une bouteille d'agent mouillant.

La densité d'un matériau est, pour les solides et les liquides, le rapport de la masse volumique de ce matériau à celle de l'eau. Pour les gaz, la densité est calculée en rapport avec la masse volumique de l'air.



Figure III.2: Appareil de mesure de la masse volumique

III.3.2 Protocole expérimental

Le principe de mesure de la masse volumique repose sur la préparation du kit de densité en tenant compte des conditions de test

-Température de laboratoire (23 ± 2) C°

Tout d'abord on appuie sur (CF) pour effacer les anciennes valeurs mémorisées. et je régle les paramètres. Puis on accroche la corbeille et la plonge dans l'eau. puis on tare la balance et dépose l'échantillon sur la corbeille de la balance, et sans oublier de mémoriser la valeur de pesée avec la touche (Wa). Après tout ça on va déposer l'échantillon sous la corbeille de la balance dans le liquide, et on mémorise la valeur absolue de la poussée hydrostatique (Wf1) affichée avec un signe négatif.

Finalement on affiche la masse volumique avec la touche densité. Ou bien on calcule la densité avec une formule voir l'annexe.

III.4 Essai de traction

L'essai de traction est l'essai mécanique le plus fréquemment utilisé. Il consiste à soumettre une éprouvette du matériau à étudier à une traction et à mesurer l'allongement ΔL correspondant à une force F appliquée.

III.4.1 Dispositif expérimental

Une machine de traction voir l'annexe, est constituée d'un bâti portant une traverse mobile. L'éprouvette de traction, vissée ou enserrée entre des mors, selon sa géométrie, est amarrée à sa partie inférieure à la base de la machine et à sa partie supérieure à la traverse mobile (dans le cas d'une machine mécanique) ou au vérin de traction (dans le cas d'une machine hydraulique). Le déplacement de la traverse vers le haut réalise la traction. Une machine de traction comporte une cellule de charge, qui permet de mesurer l'effort appliqué à l'éprouvette (figure III.3) et le déplacement de l'éprouvette peut être suivi de diverses façons. Les dispositifs expérimentaux sont généralement asservis et peuvent être pilotés à vitesse de montée en charge, à charge constante, à vitesse de déformation constante, etc. selon ce qui peut être proposé par le système de pilotage.

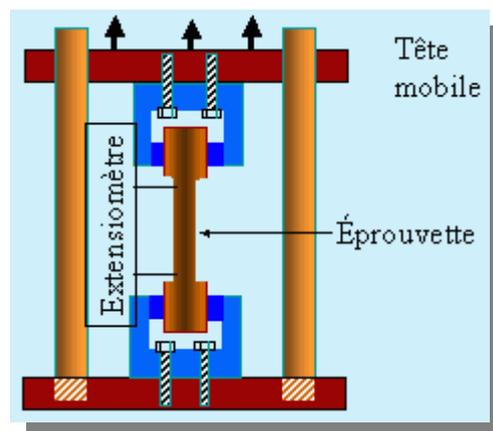


Figure III.3 : Schéma de l'essai de traction

III.4.2 Protocole expérimental

Tous d'abord on va préparer l'éprouvette de 15 cm de longueur, de 2,5 cm de largeur et 1 mm d'épaisseur. L'essai de traction a été effectuée de Prélever l'éprouvette au milieu des bandes découpées dans le tronçon du tube, et on va Réaliser l'éprouvette par fraisage (la fraise est équipée d'un programme), Puis on Mesure la largeur et l'épaisseur minimale de la partie centrale de l'éprouvette et les enregistrer sur le testeur. On arrive à Monter l'éprouvette dans la machine de test de traction, serrer les mors, et on mettre la machine en marche. Lorsqu'on arrive à la rupture de l'éprouvette on arrêter le test et on lire sur l'écran la valeur de la contrainte au seuil d'écoulement et l'allongement a la rupture.

La contrainte au seuil d'écoulement et l'allongement de rupture sont calculée par le programme de l'appareil. Les calcules sont trouvé dans l'annexe.

III.5 Le test de la résistance à la pression hydraulique interne

Le comportement dans le temps, sous pression intérieure, des matières plastiques est certainement la caractéristique la plus importante. Il s'agit là de la prévision de la durée de vie d'un tube sous pression intérieure. La pression crée un état de tension dans la paroi du tube. La résistance correspondante se calcule à partir de la pression intérieure et des dimensions du tube.

III.5.1 Dispositif expérimental

L'essai consiste à déterminer la capacité d'une pièce à résister à un fluide sous pression liquide ou gazeux, pendant une période. Par une machine constitué de bain d'eau (figure III.4), des flexibles pour le raccordement de l'échantillon et un régulateur des paramètres (Blue Line).



Figure III.4 : Bac d'eau pour mesurer la résistance à la pression

III.5.2 Protocole expérimental

Un échantillon de tube est mis sous pression dans un bac d'eau à une température définie 80° C soumis à une pression de 5,4 MPa, avec les emboutes et par les flexibles, l'échantillon il été bien raccordé.

Et avant de démarrer le test il faut régler le Blue Line suivant les paramètres ci-dessous :

- température 80° C
- durée de test 165 h
- Temps de conditionnement 6h
- la pression de test 10,84 bar

Et on observe l'évolution de ses caractéristiques en fonction du temps.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit la méthodologie expérimentale et le matériel utilisé pour la préparation, les quarts tests de la matière première et des tubes PEHD. Dans le chapitre suivant les résultats seront présentés et interprétés.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

Introduction

Ce chapitre est consacré à la représentation des résultats expérimentaux et leurs interprétations.

IV.1 Détermination de l'indice de fluidité IFM

IV.1.1 Analyse de mesure de l'indice de fluidité

Afin de représenter clairement le processus de mesure de l'indice de fluidité, en fonction de polyéthylène vierge et de ses deux pourcentages de polyéthylène régénéré est représentée en figure IV.1 suivante. On voit bien que l'indice de fluidité augmente sans l'introduction de la matière régénérée incorporer dans la région 0-5%. Pour un indice de fluidité supérieure à 0,240 g/10min, l'augmentation est moins rapide et les résultats de mesure de IFM après ce point est presque le même. Ceci peut être interprété par la dégradation des molécules sous l'effet mécanique et thermique [14].

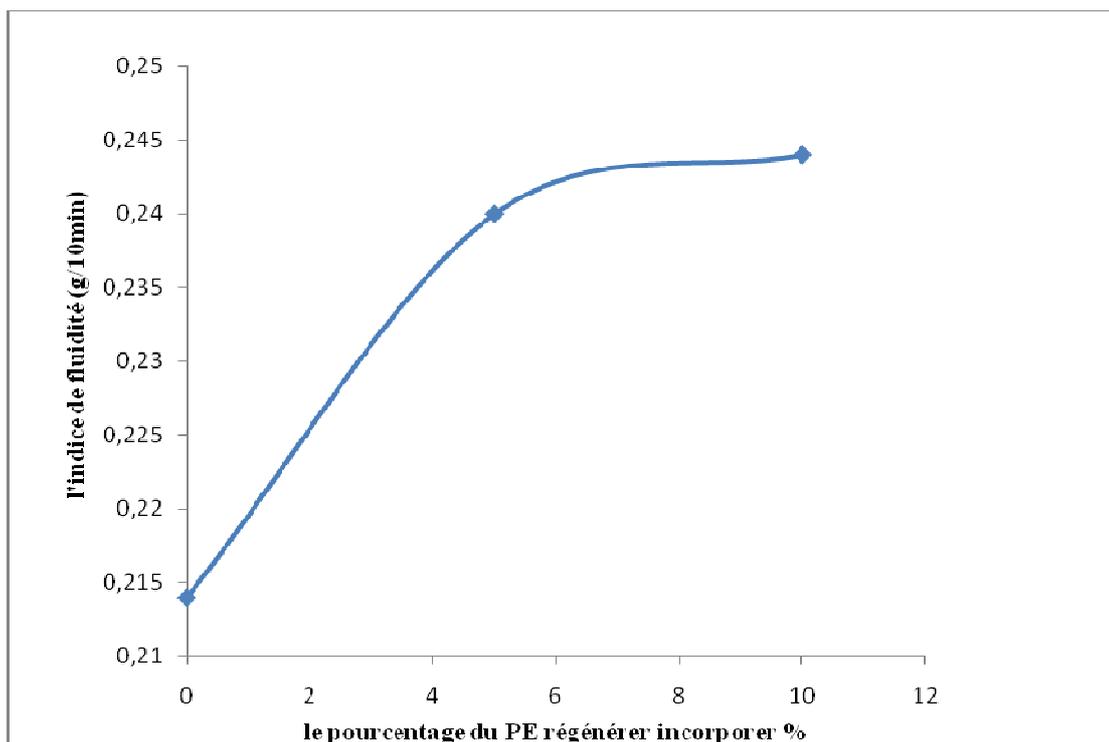


Figure IV.1 : Evolution de l'indice de fluidité en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré incorporé

IV.1.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge sur l'indice de fluidité

Les ruptures des chaînes du polyéthylène font diminuer la masse molaire après chaque recyclage. On remarque que l'addition de polyéthylène régénéré stabiliser l'IFM. Cela est du à l'augmentation de la fraction des chaînes longues provenant du polyéthylène incorporé. Ce qui augment la masse molaire [15] et crée des enchevêtrements. Ces enchevêtrements freinent l'écoulement des chaînes donc augmentant la viscosité qui à son tour de diminuer l'indice de fluidité

IV.2 Détermination de la masse volumique MV

IV.2.1 Analyse de mesure de la masse volumique

La figure IV.2 est représentée la masse volumique de polyéthylène vierge et mélange polyéthylène vierge avec polyéthylène régénéré. Il est remarqué une stabilité de la masse volumique dans la région 0% à 5%. Lorsque le polyéthylène régénéré incorporé est plus de 5 %, la masse volumique est diminuée légèrement.

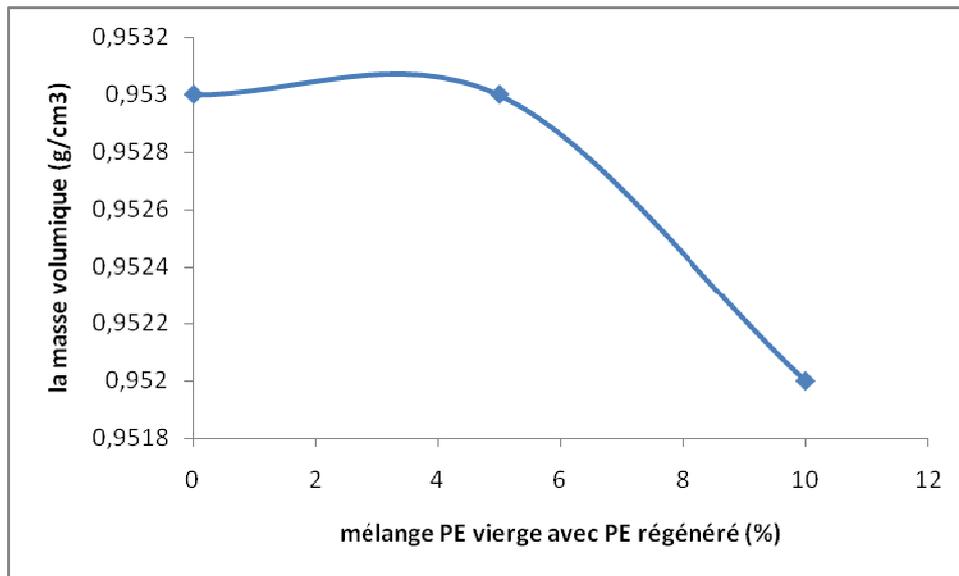


Figure IV.2 : Evolution de la Masse volumique en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré incorporé

IV.2.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge

On voit bien que la masse volumique diminue légèrement, cela peut être interprété par la dégradation des molécules sous l'effet mécanique et thermique, en conséquence la variation de taux de cristallinité qui dépend du taux d'isotacticité et des conditions de mise en œuvre.

A cause de ces deux phases (cristaux + zones amorphes), on peut considérer que le PE est un matériau composite. À l'état non vitreux, la matrice amorphe est très ductile et les cristaux sont résistants à la charge mécanique.

IV.3 Détermination des caractéristiques en traction

Plusieurs grandeurs peuvent être définies grâce au test traction

IV.3.1 La contrainte maximale

IV.3.1.1 Effet du polyéthylène vierge

La figure IV.3 représente la contrainte maximale du polyéthylène et mélange polyéthylène vierge avec polyéthylène régénéré. Il est noté une diminution de la contrainte au seuil dans la région 0% jusqu'à 5%. Cela est dû aux dégradations subies et plus précisément aux ruptures des chaînes qui diminuent le nombre d'enchevêtrement garant de l'élasticité du polyéthylène d'une part à la diminution de la masse molaire citée plus haut réduit le volume libre qui assure le mouvement de chaîne absorbant l'énergie de la force de traction subie [16], il est le garant de l'élasticité du polyéthylène.

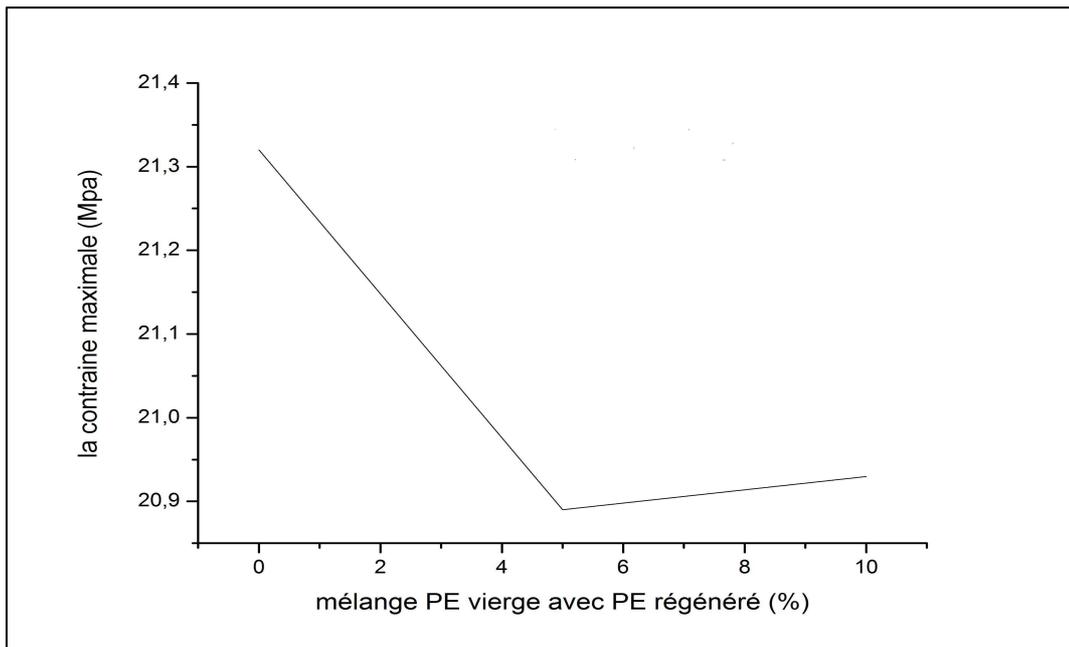


Figure IV.3 : Contrainte maximale du PE vierge et mélange PE vierge avec PE régénéré

IV.3.1.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge

L'introduction du polyéthylène régénéré dans le polyéthylène vierge (figure IV.3) à un taux de 5% fixe la contrainte. lors que on ajoute du polyéthylène régénéré de taux de 10%, Il est à remarquer que la contrainte est augmente de moins importante, cela est du à la longueur des chaines de polyéthylène qui par les enchevêtrements apportés crée une résistance à la traction imposée.

IV.3.2 L'allongement à la rupture

Plusieurs auteurs considèrent l'allongement à la rupture est la grandeur pertinente pour détecter la fragilisation lors d'essai de traction uniaxiale. Sachant que de la longues de chaines enchevêtrées permettent d'atteindre de grandes déformation, le matériau a un comportement ductile.

IV.3.2.1 Effet du polyéthylène vierge

La figure IV.4 représente l'allongement à la rupture du polyéthylène et mélange polyéthylène vierge avec polyéthylène régénéré incorporé.

Il est remarqué une diminution de l'allongement à la rupture. Cela est du aux dégradations subies et plus précisément aux ruptures des chaînes qui diminuent la masse molaire moyenne et la distribution sachant que l'allongement à la rupture en est strictement dépendent. Autre conséquence est la diminution de nombre d'enchevêtrement qui retiennent les chaînes et assurent l'élasticité du polyéthylène.

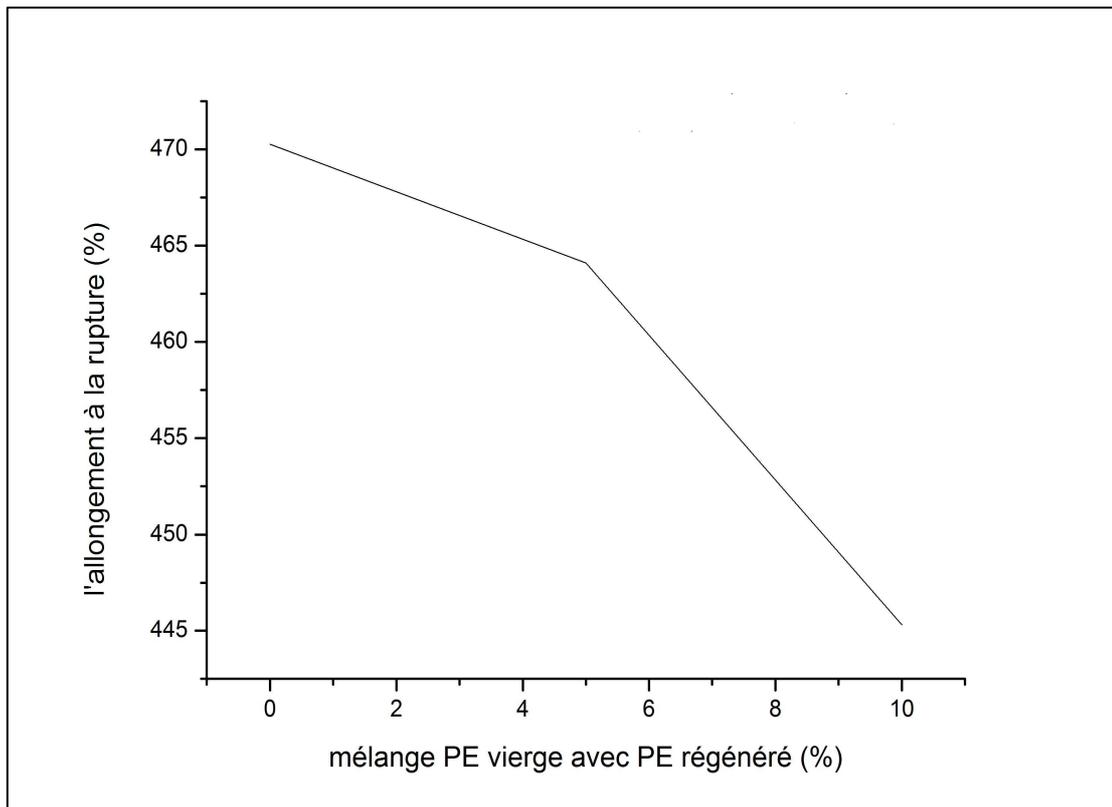


Figure IV.4 : Allongement à la rupture du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré

IV.3.2.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge

L'introduction du polyéthylène régénéré dans le polyéthylène vierge (figure IV.4) nuire l'allongement à la rupture après chaque augmentation de taux d'incorporation de polyéthylène régénéré, car la longue des chaînes du polyéthylène fait quand l'introduction de chaînes de polyéthylène régénéré moins longue nuire son allongement à la rupture.

IV.3.3 Module de Young

L'élasticité ou Module de Young est déterminé en prenant la pente à l'origine de la courbe (figure IV.5) contrainte/allongement du test de traction, comme indiqué dans le tableau IV.1

Exemple de calcul :

Selon le tableau IV.2. Et Pour l'échantillon à 0 % on a :

$$\text{L'élasticité} = \frac{\text{le contrainte } (\sigma)}{\text{l'allongement } (\epsilon)} = \frac{21.32}{470.27} = 0.04534 \text{ MPa} \quad \dots\dots(\text{IV.1})$$

Tableau IV.1 : Module de Young de chaque échantillon

Les échantillons (%)	Module de Young (MPa)
Echantillon à 0 %	0,04534
Echantillon à 5 %	0,04501
Echantillon à 10 %	0,047

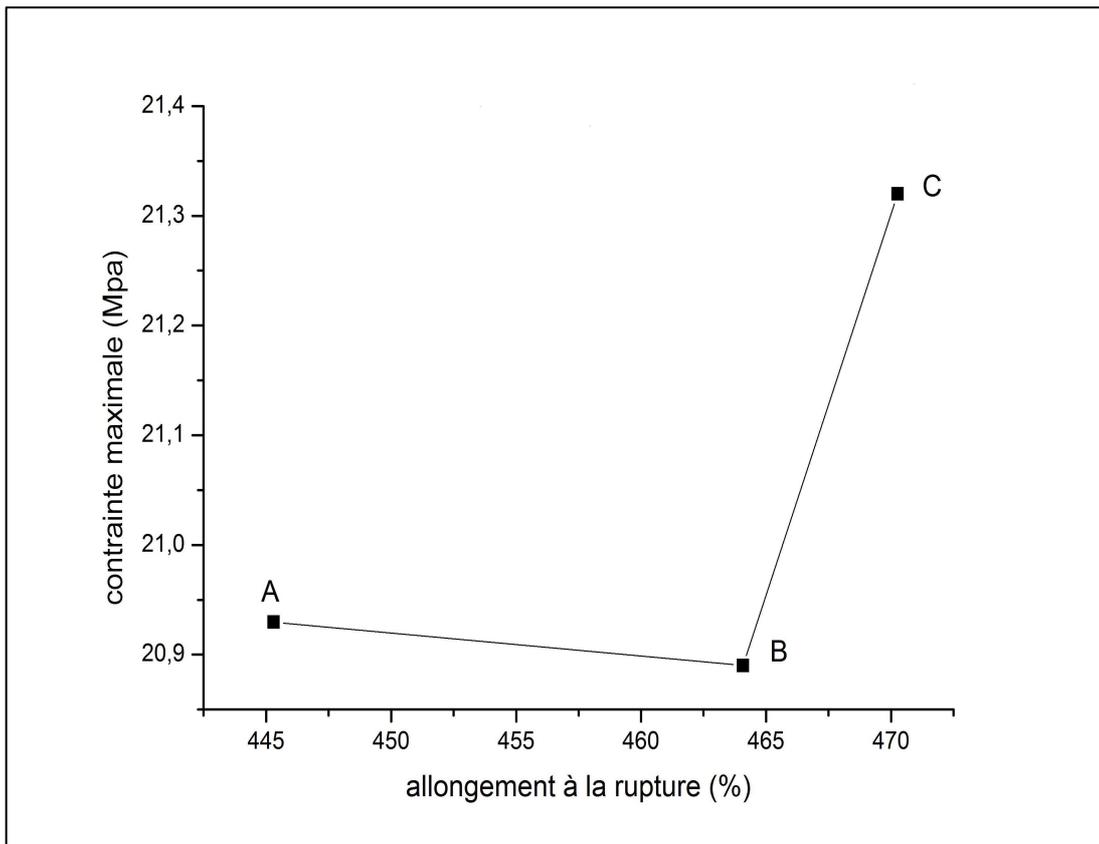


Figure IV.5 : Courbe contrainte /allongement à la rupture du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré

La figure II.5 montre l'allure typique de la courbe contrainte-allongement. Donc à partir de cette courbe, on peut décrire les différents types de déformations :

- Au point A débute la striction qui correspond à une déformation hétérogène du matériau qui s'amorce sur un défaut au niveau de l'éprouvette (des défauts structuraux tels que des dislocations, des structures en bloc, les frontières intercrystallines dans le cristal, des structures globulaires ou fibrillaires ou des couches amorphes dans les polymères peuvent tous conduire à une distribution non uniforme de la contrainte).

- Dans la région A - B, la striction se forme jusqu'au taux naturel de déformation.
- Au-delà de point B, la déformation redevient homogène grâce à un durcissement structural lié à l'orientation des chaînes macromoléculaires dans le sens de l'étirage.

IV.3.3.1 Effet du polyéthylène vierge sur le Module de Young

La figure IV.6 représente l'allongement à la rupture du polyéthylène et mélange polyéthylène vierge avec polyéthylène régénéré incorporé. Le module qui est un indicateur de la robustesse du polyéthylène après chaque passage par l'extrudeuse.

Cela est dû aux dégradations subies et plus précisément les ruptures des chaînes qui augmentent le nombre de fins de chaînes et diminuent la masse molaire moyenne dont le module est dépendant puisque le module diminue quand la masse molaire diminue, de plus le nombre d'enchevêtrements des chaînes diminue qui est le garant de l'élasticité du polyéthylène.

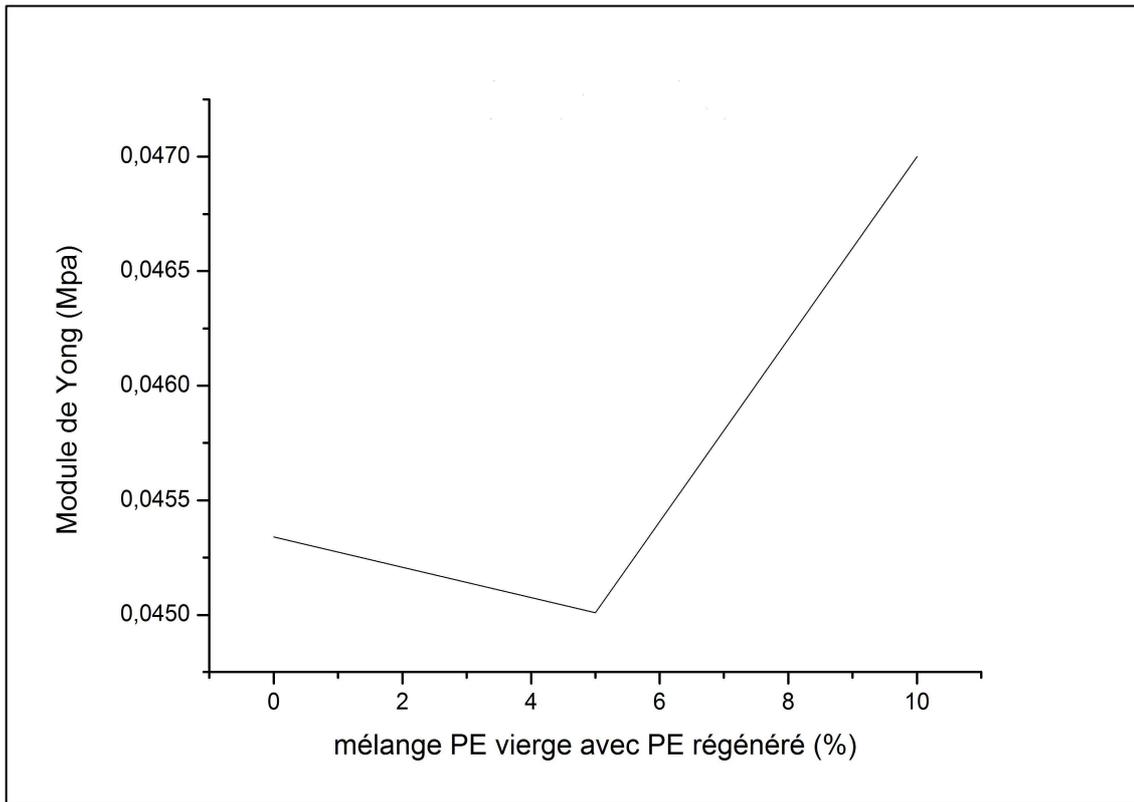


Figure IV.6 : Module de Young du PE vierge, et mélange PE vierge avec PE régénéré

IV.3.3.2 Effet du mélange PE régénéré avec PE vierge sur le Module de Young

L'introduction du polyéthylène régénéré dans le polyéthylène vierge améliore le module montré dans la figure IV.6. Cela est dû aux chaînes du polyéthylène introduites qui par les enchevêtrements créés donne de la robustesse à l'ensemble.

Le module de Young de polyéthylène fortement réticulé est faible mais est une fonction croissante de la déformation.

IV.3.4 L'effet de matières régénérées sur l'essai de traction

Si on considère que le polyéthylène n'est pas continu (mêlé avec PE régénéré) donc :

- les champs de contraintes qui se présentent en pratique sont bien éloignés du cas idéal. En effet, à chaque phase présente est alors associée une évolution du champ de Contrainte et de déformation avec le problème posé par les discontinuités.

-Le passage d'un matériau à un autre provoque une concentration de contrainte par endroits.

IV.4 Test de la résistance à la pression hydrostatique interne

D'autre expérience a été réalisée dans le laboratoire, afin de montrer l'effet du polyéthylène régénéré incorporé.

IV.4.1 Résistance à la fissuration sous contrainte

La figure IV.7 représente l'évolution du temps maximal d'atteinte à la rupture en fonction du mélange PE vierge avec PE régénéré. On remarque que pour chaque augmentation du temps maximal d'atteinte à la pression on n'observe aucune rupture, ceci peut être interprété par la résistance à la rupture du polyéthylène grâce à la dureté de leurs liaisons, et ce n'est pas de leur type de matière.

Donc l'introduction de polyéthylène régénéré n'a aucun effet sur la rupture ou la fissuration.

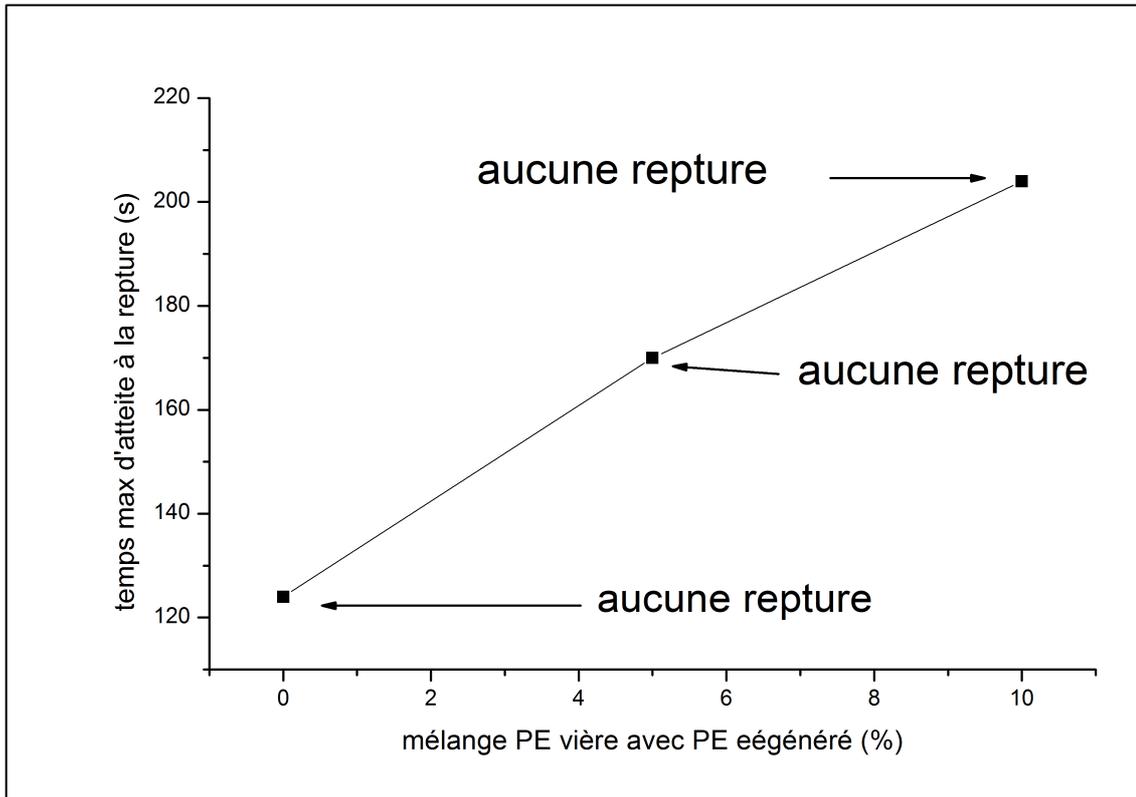


Figure IV.7 : Temps max d’atteite de la rupture en fonction du mélange PE vierge avec PE régénééré

IV.4.2 La résistance à la pression hydrostatique interne

Pour les différents domaines d'application, on tient compte d'un coefficient global d’exploitation (facteur de sécurité 1,25 pour l’eau suivant EN 12201).

Sachant que la résistance à la pression hydrostatique à long terme est définie par la contrainte minimum requise à long terme MRS, selon la relation suivante :

$$S = MRS / C \dots\dots\dots (IV.2)$$

D'où :

S : la résistance à la pression hydrostatique à long terme

MRS : la contrainte minimum requise à long terme

C : coefficient de sécurité

Les calculs et les expériences faits pendant les cinquante dernières années démontrent qu'une durée d'utilisation d'au moins cent ans est assurée.

La figure IV.8 représente la relation entre la contrainte minimum requise appliquée et le temps à rupture.

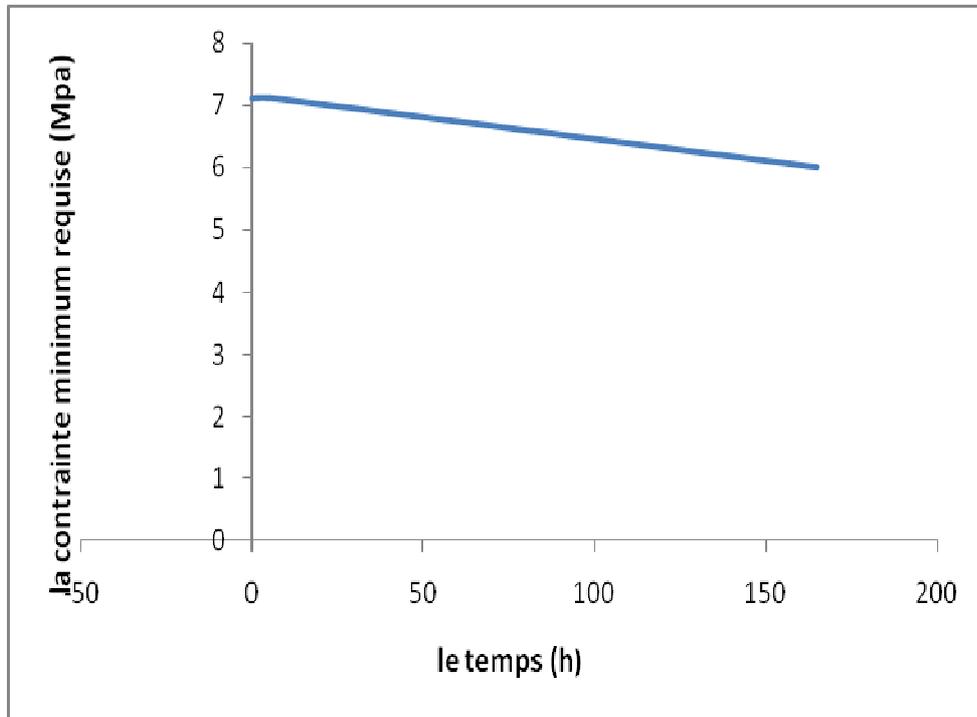


Figure IV.8 : Relation entre la contrainte minimum requise appliquée et le temps à 80 ° C

On constate que le comportement dans le temps, sous pression intérieure et le polyéthylène régénéré n'ont aucun effet sur la durée de vie d'un tube PEHD. Pour de différents temps de test (figure IV.8), on n'observe aucune rupture. Cela peut être interprété le type et les caractéristiques physico-chimiques de polyéthylène qui ont grandes résistance à la pression hydrostatique, c'est-à-dire le type de rupture est ductile. se concrétise quand l'énergie de déformation au sein du tube est supérieure à celle requise pour entraîner la fissure.

À partir de ce critère énergétique, il est possible d'obtenir la relation entre la contrainte agissant sur le tube (ou la pression de service) et les dimensions du tube pour la transition entre la propagation et l'arrêt de la fissure.

D'autre part résistance à la pression dépend de plus de la température et du corps à l'intérieur du tube PEHD. Donc l'introduction de polyéthylène régénéré n'a aucun effet sur la durée de vie de tube PEHD.

Par ailleurs, le tableau IV.2 donne les résultats de tous les essais par rapport aux taux de polyéthylène régénéré incorporé.

Tableau IV.2 : Résultats de tous les essais pour les trois échantillons

Les échantillons	Mesure de la masse volumique (g/cm ³)	L'indice de fluidité (g/10 min)	Test de traction		Test pression (type de rupture)
			Contrainte maximale (MPa)	Allongement à la rupture(%)	
Echantillon à 0%	0,953	0,214	21,32	470,27	Aucune rupture
Echantillon à 5%	0,953	0,240	20,89	464,09	Aucune rupture
Echantillon à 10%	0,952	0,244	20,93	445,30	Aucune rupture

Conclusion

Dans Ce chapitre nous avons décrit la présentation, la discussion et l'analyse des différents résultats obtenus lors de l'étude. On trouve que l'incorporation de polyéthylène régénéré dans le polyéthylène vierge stabiliser leurs propriétés physico-chimiques mais sans les recouvrir entièrement. Ainsi, suivant la tolérance aux utilisations, ces mélanges peuvent trouver (pour les meilleurs d'entre eux) une seconde vie.

Conclusion

Conclusion générale

Dans cette étude nous nous sommes intéressé à une analyse simultanée de plusieurs essais, tels que l'indice de fluidité, la masse volumique, l'essai de traction et le test pression du polyéthylène et du mélange polyéthylène vierge avec polyéthylène régénéré, et du tube PEHD.

Des matières de base (polyéthylène) provenir de l'Arabie saoudite, et polyéthylène incorporé avec différents taux (0%, 5%, 10%) de polyéthylène régénéré, sont utilisés pour fabriqué des tubes en PEHD, ces matières et tubes sont analysés par différentes essais dans laboratoire de l'usine. Les effets du polyéthylène incorporé sont mis en évidence.

A travers les résultats obtenus nous pouvons tirer les constatations suivantes :

- L'introduction de polyéthylène régénéré dans le polyéthylène vierge, il a un effet légèrement dépend de taux d'incorporation de polyéthylène régénéré sur les propriétés physico-chimiques de la matière et de le tube PEHD.
- L'augmentation de la teneur de polyéthylène régénéré incorporé entraîne une stabilisation au l'indice de fluidité MFI qui à son tour stabiliser la viscosité.
- Le moins taux d'incorporation de polyéthylène régénéré au polyéthylène vierge ne nuire pas à la masse volumique de PE. Il permet de fixé la masse volumique et par conséquent la diminution de la consommation spécifique de la matière première, et donc il n'a aucun effet négatif sur la structure et les propriétés de polyéthylène. D'autre part l'augmentation de taux d'incorporation de polyéthylène régénéré au polyéthylène vierge reste un additif non bénéfique du point de vue changement de l'état de matière.
- L'augmentation de la contrainte maximale du tube en PEHD est proportionnelle au taux d'incorporation de polyéthylène régénéré, donc permet de crée une résistance à la traction.

Conclusion générale

- Lorsqu'on ajoute le polyéthylène régénéré au polyéthylène vierge avec des pourcentages croissants, peut nuire légèrement à l'allongement à la rupture du tube en PEHD, donc il fait une diminution de la résistance à la traction.
- Le Module de Young ou l'élasticité du polyéthylène est fortement faible, donc l'introduction du polyéthylène régénéré qui jouerait le rôle du plastifiant et amélioré ce module du tube en PEHD.
- Suivant la tolérance à l'incorporation, le polyéthylène régénéré avec polyéthylène vierge n'a aucun effet sur la résistance à la pression hydrostatique interne, donc ne voit aucune rupture ou fissuration à long terme du tube en PEHD.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **D.CMMiles, J.H.Briston.** Technologie des polymères. Éditions Dunod, paris, 1968 p.133-155
- [2] **Groupe Aliaxis** dossier technique. Usine Glynwed. France, 2010
- [3] **J.P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobraczynski, M. Piperaud.** « Matières plastiques : structures- propriétés, mise en œuvre, normalisation ». Edition Nathan, paris, 1996, P.13-14
- [4] **Maurice Reyne** « les plastiques dans l’emballage. Polymères technologie de mise en forme recyclage ». Edition Hermès, paris, 1991,P.185.
- [5] **James E. Mark,** Physical Properties of Polymer Handbook, Springer,2007, 2^{ème} édition., p.1076
- [6] **Le Groupe CHIALI,** société de production des tubes plastiques, catalogue technique. Algérie 2012
- [7] **Charles E. Wilkes, James W. Summers et Charles Anthony Daniels,** PVC Handbook, Munich, Hanser Verlag, 2005 , p. 14
- [8] **Nathalie Schultz,** (2^{ème} Année DUT Chimie), Comparaison entre les polyéthylènes haute et basse densité PEHD et PEBD, Mars 2000
- [9] **Grégoire Macqueron,** Recyclage et traitement des déchets. France, 26/11/2009. Page 7 - 12
- [10] **Usine ‘interplast’,** document text technical HDPE accra, Ghana. 2011
- [11]. **Koffi Assômôly Emerson August kouassi,** Diplôme d'Ingénieur des techniques des T.P INPHB, 2013 Page 29.

[12]. **Koffi Assômôly Emerson August kouassi**, Diplôme d'Ingénieur des techniques des T.P INPHB, 2013 Page 33.

[13]. **ASTM-D-1238**, Standard Test Method for Melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastomer. 2004.

[14]. **Nakason, C. Kaesman,A. et Na Piboon,S.** properties of recycled polypropylène from extrusion processes. 2000.

[15]. **C.N, Kartalis, C.D, PaPasPyrides, R, Pfaender, K.Hoffmann, H.Herbst**, « closed-loop recycling of postulated PP-filled garden chairs using the restabilization technique », 1999 Vol 73 N° 9, Page 1775.

[16]. **L.C.E Struik**, « **physical aging in amorphous poly;ers and other materials** », Elsevier publishing. New york, 1978.

[17]. **S. Rastogi, L. Kurelec, and P.J. Lemstra**, Chain mobility in polymer systems: on the borderline between solid and melt. 2. Crystal size influence in phase transition and sintering of ultrahigh molecular weight polyethylene via the mobile hexagonale phase, *Macromolecules*, 1998, 31(15), Page 5022-5031.

Annexe

- **Polymère :**

Matériau organique composé d'une masse moléculaire importante dans laquelle un motif, le monomère, est répété un grand nombre de fois. Dans la plupart des plastiques, la chaîne principale est faite d'atome de carbone.

- **Résine :**

Polymère à haute densité d'origine industrielle résultant de la réaction chimique entre deux ou plusieurs substances, provoqué généralement par la chaleur ou un catalyseur.

- **Extrusion :**

Processus consistant à faire passer du plastique fondu par un orifice préformé pour fabriquer un tuyau ou un profilé.

- **Module de Young :**

Facteur de proportionnalité entre la contrainte et la déformation.

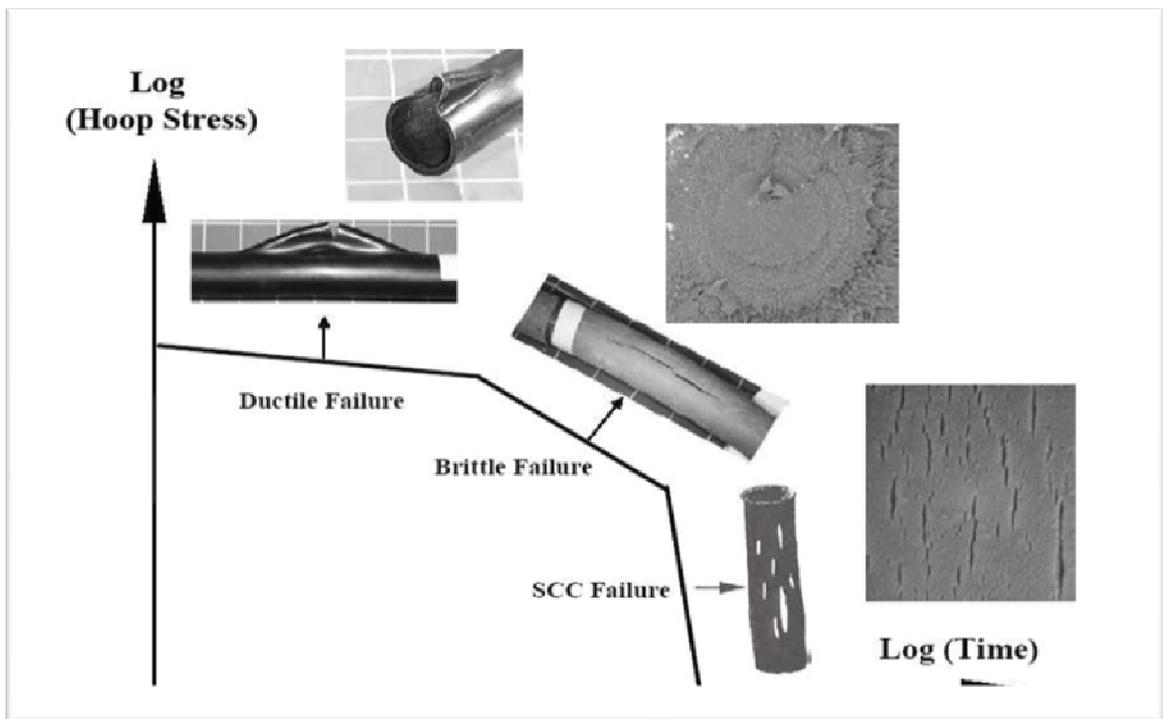
- **Plastifiant :**

Composé organique, mélangé parfois avec les polymères pour améliorer la flexibilité des plastiques.

- **Consommation d'énergie**

Pour une tonne de PEHD recyclé, cela représente 0.51 tonne de pétrole brut et 0.31 tonne de gaz naturel et 7.98 Mwh soit 1.53 tonne d'équivalent CO₂ évité.

✓ Modes de défaillance prédominants dans un tube en PEHD :



- La détermination de l'indice de fluidité est d'après la formule suivante :

$$\text{MFR} (\Theta, m \text{ nom}) = t \text{ réf} * m / t$$

D'Où :

Θ : est la température d'essai, en degrés Celsius

$m \text{ nom}$: est charge nominale, en kilogramme

m : est la masse moyenne, en gramme, des extrudats

$t \text{ ref}$: est le temps de référence (10min) ; en secondes (600s)

t : est l'intervalle de temps, en secondes, entre deux coupes d'un extrudat

- La détermination de la masse volumique est d'après la formule suivante :

$$\rho = \frac{W_a + \rho(f1)}{0.99983 * Wf1} + \rho \cdot \frac{0012g}{cm^3}$$

D'où :

ρ : Masse volumique de l'échantillon exprimée en $\frac{g}{cm^3}$.

$\rho(f1)$: Masse volumique de liquide d'immersion exprimée en $\frac{g}{cm^3}$.

W_a : Poids de l'échantillon dans l'air exprimé en g

$Wf1$: Valeur absolue de la poussée hydrostatique exprimée en g

$0. \frac{0012g}{cm^3}$: Masse volumique de l'air dans les conditions normale.

- La détermination de la contrainte au seuil est d'après la formule suivante :

$$\sigma = F/A$$

D'où :

σ : contrainte de traction au seuil d'écoulement exprimée en méga pascal

F : la force au seuil d'écoulement, exprimée en newtons

A : est l'air de la section transversale initiale de l'éprouvette, exprimée en millimètre carrée.

- La détermination de l'allongement à la rupture est d'après la formule suivante :

$$E = l - l_0 / l_0$$

D'où :

E : allongement à la rupture en pourcentage

l : longueur entre les repère après rupture en millimètre

l₀ : la longueur initiale entre les repères en millimètre

La détermination du Module de Young est d'après la formule suivante :

$$\text{Module de Young} = \sigma / \epsilon$$

La détermination de la résistance à la pression est d'après la formule suivante :

$$P = 10. \rho. (2 ep / \varnothing - ep)$$

Ou

$$S = MRS / C$$

D'où :

S : la résistance à la pression hydrostatique Mpa

MRS : la contrainte minimum requise (Minimum Required Strength) Mpa

C : coefficient de sécurité 1.25 pour l'eau

D'où :

PE100 $\rho = 5.4\text{MPa}$

ep : épaisseur minimale de tube (mm)

Ø : diamètre extérieur moyen de tube (mm)

ρ : contrainte des parois (Mpa)

□ Rapport de résultat de différents essais

Produit : tube 160✕ 14.6 PN16

Date de production : 27/05/2014

Matière de base : PE 100 Noir

N° lot : 0001495824

1/La masse volumique :

Liquide d'immersion : eau distillée

Masse volumique de liquide d'immersion (g/cm³) : 01

Echantillon	Masse échantillon dans l'air(g)	Masse de l'échantillon dans le liquide d'immersion (g)
Echantillon à 00 %	2.882	- 0.1401
Echantillon à 5 %	3.0310	- 0.1431
Echantillon à 10 %	2.777	-0.1364

Echantillon	Masse volumique de l'échantillon (g/cm³)
Echantillon à 00 %	0.953
Echantillon à 5 %	0.953
Echantillon à 10 %	0.952

2/MFI indice de fluidité à chaud :

Température d'essai (c°): 190

Charge nominal (kg) : 05

Temps de préchauffe (s) : 240

Temps de découpe (s): 240

Nombre des extrudas : 04 extrudas

Echantillon	Masse moyenne des extrudas(g)	MFI (g/10 min)
Echantillon à 00 %	0.0856	0.214
Echantillon à 5 %	0.0961	0.240
Echantillon à 10 %	0.0976	0.244

3/test de traction :

Type d'éprouvette : 1

Vitesse d'essai (mm/min) : 50

Nombre d'éprouvette : 01

La contrainte maximale :

Echantillon	Contrainte maximale (Mpa)
Echantillon à 00 %	21.32
Echantillon à 5 %	20.89
Echantillon à 10 %	20.93

L'allongement à la rupture :

Echantillon	Allongement à la rupture (%)
Echantillon à 00 %	470.27
Echantillon à 5 %	464.09
Echantillon à 10 %	445.30

Module de Young :

Echantillon	Module de Young
Echantillon à 00 %	0.04534
Echantillon à 5 %	0.04501
Echantillon à 10 %	0.047

4/Le test pression hydrostatique :

Température de l'eau (bac) (°C) : 80

Temps de conditionnement (heure) : 6

Valeur de Sigma (MPa) : 5.4

Pression du test (bar) : 10.84

Durée du test (heure) : 165

Nombre d'échantillon : 01

Orientation de l'échantillon : vertical

Type d'embouts : A

Echantillon	Temps max d'atteinte de la Pression (S)	Type de rupture
Echantillon à 00 %	124	Aucune rupture
Echantillon à 5 %	170	Aucune rupture
Echantillon à 10 %	204	Aucune rupture

✓ **Machine d'essai de traction mono-colonne :**



Références normatives :

Les tubes en polyéthylène sont encadrés par les normes suivantes :

ISO/TR 9080 : Tubes thermoplastiques pour le transport des fluides -- Méthode d'extrapolation des essais de rupture sous pression, en vue de la détermination de la résistance à long terme des matières thermoplastiques pour les tubes

UNE-EN 123476 : 1997 La présente Norme internationale prescrit les caractéristiques des goupilles fendues

EN ISO 1183 : Plastiques -- Méthodes de détermination de la masse volumique des plastiques non alvéolaires -- Partie 1: Méthode par immersion, méthode du pycnomètre en milieu liquide et méthode par titrage

EN ISO 1133 : Plastiques -- Détermination de l'indice de fluidité à chaud des thermoplastiques, en masse (MFR) et en volume (MVR) -- Partie 2: Méthode pour les matériaux sensibles à l'historique temps-température et/ou à l'humidité

DIN 53457: 1987 détermination plastique du module en traction / compression / Bending

DIN 52612: 1984 Tests de résistance thermique; Détermination de la conductivité thermique avec le dispositif de disque; Le traitement ultérieur des valeurs de mesure pour des applications de construction

DIN 53752: 1980 Test en matières plastiques; Détermination du coefficient de dilatation thermique linéaire

DIN 53842: 1976 essais des textiles - essai de traction au noeud pour fils et retors - Prüfung von Textilien - Knoten-Zugversuch an einfachen Garnen und Zwirnenien

ISO 6259 : prescrit une méthode de détermination des caractéristiques en traction de tubes en polyoléfines (polyéthylène, polyéthylène réticulé, polypropylène et polybutène) et, des propriétés suivantes: la contrainte au seuil d'écoulement et l'allongement à la rupture.

ISO 868 : Détermination de la dureté par pénétration au moyen d'un PE

ISO 6964 : Tubes et raccords en polyoléfines -- Détermination de la teneur en noir de carbone par calcination et pyrolyse -- Méthode d'essai et spécification de base

ISO 18553 : Méthode d'estimation de la dispersion du pigment et du noir de carbone dans les tubes, raccords et compositions à base de polyoléfines

EN 728 : Avril 1997 Systèmes de canalisations et de gaines en plastique - Tubes et raccords en polyoléfine - Détermination du temps d'induction à l'oxydation.

EN ISO 1183 : 2012 Plastiques -- Méthodes de détermination de la masse volumique des plastiques non alvéolaires -- Partie 1: Méthode par immersion, méthode du pycnomètre en milieu liquide et méthode par titrage

EN ISO 1167: 2006 Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids -- Determination of the resistance to internal pressure -- Part 1: General method

ASTM D 256 : Méthodes d'essai standard pour déterminer la résistance au choc Izod
Pendulum des plastiques

ASTM standard D 1238 : Méthode d'essai standard pour Melt écoulement des
thermoplastiques par extrusion Plastomètre

EN 12201-1 : Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau-
Polyéthylène (PE)- Partie 1 : généralités.

EN 12201-2 : Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau-
Polyéthylène (PE)- Partie 2 : tubes.