

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



UNIVERSITE D'EL-OUED

FACULTE DE SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

LISENCES ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques
Filière : génie des procédés
Spécialité : génie procédés

Thème

**Procédés de transformation des matières
plastique**

Mai 2013

Presenté par : chouiref messaouda
Salhi messaouda
Belhadi merame

Encadre par : A. Boughezal

Remerciement

*Nous remercions Dieu le clément de nous avoir aidé durant toute nous scolarité et
sur lequel nous comptons tous pour atteindre à but.*

En premier lieu, nous exprime toute nous gratitude à notre encadreur le professeur:

*Bouhgezel pour avoir accepté de diriger notre travail, pour son dévouement, ses
précieux conseils ses encouragements et sa patience.*

Nous exprime toute notre gratitude aux membres du jury.

*Nous tenons également à remercier tous les enseignants de l'institut d'El-oued et a
tous ceux qui nous ont rendu service de près ou de loin.*

sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	(2)
Chapitre I: les polymères.....	(3)
I.1.Historique.....	(4)
I.2.Definition.....	(4)
I.3.Les différents types de polymères.....	(5)
I.3.1.le thermoplastique.....	(5)
1.le polychlorure de vinyle(P C V).....	(5)
2.le polyéthylènes(P E).....	(5)
3.le polypropylène(P P).....	(5)
4.le polystyrène(P S)	(5)
5.le polycarbonate(P C).....	(6)
I.3.2.les thermodurcissables.....	(6)
1.les polyuréthanes(P U R).....	(6)
2.les phénoplastes(P F)	(6)
3.les aminoplastes(M F).....	(6)
I.3.3.les élastomères.....	(6)
I.4.les caractéristiques.....	(6)
I.4.1.principes de structure.....	(6)
I.4.2.domaines d'état.....	(7)
I.4.3.comportement mécanique.....	(7)

I.4.4.elaboration des polymères.....	(7)
I.4.5.polymerisation en chaine.....	(8)
I.4.6.polymerisation radicalaire.....	(8)
I.4.7.polymerisation ionique.....	(9)
I.4.8.masse molaire.....	(9)
I.4.9.mass molaire moyenne.....	(9)
Chapitre II.....	(10)
I. Généralités.....	(11)
II .Type polyéthylène.....	(11)
II.1.Polyéthylène à T basse densité (P E B D)......	(11)
II.2.Polyéthylène à haute densité	(12)
II.3.polyéthylène linéaire à basse densité(P E B D L).....	(12)
III.préparation de P E	(13)
III.1.Distillation.....	(13)
III.2.Vapocraquage.....	(13)
III.3.Polymérisation.....	(13)
III.4.Granulation.....	(14)
III.5.Rèaction de polymérisation.....	(14)
III.5.1.Initiation.....	(14)
III.5.2.Propagation.....	(14)
III.5.3.Terminaison	(15)

III.5.4.Dècom position de l'éthylène.....	(16)
IV. Ecologie et recyclage.....	(17)
V. Résistance chimique Vis – à – Vis des fluides à véhiculer.....	(17)
ChapitreIII.....	(18)
I.Introduction.....	(19)
II.L'injection.....	(19)
III.L'injection-soufflage.....	(20)
IV.L'extrusion.....	(21)
IV.1.L'extrusion soufflage.....	(22)
IV.2. L'extrusion gonflage.....	(22)
V. Le formage on le thermoformage.....	(23)
VI.Le moulage et l'expansion moulage.....	(24)
VII.Le calandrage.....	(24)
VII.Le rotomoulage.....	(25)

Les Liste des figures :

chapitre II:

Nombre de figures	Titre	Page
01	Structure moléculaire du (PEBD)	11
02	Structure moléculaire du (PEHD)	12
03	Structure moléculaire du (PEBDL)	13

Chapitre III:

Nombre de figures	Titre	Page
01	Procédé injection	20
02	Procédé injection soufflage	20
03	Exemple des formes de plastique	21
04	Procédé extrusion	21
05	Procédé extrusion soufflage	22
06	Procédé soufflage	23
07	Exemple d'une forme de plastique	23
08	Procédé calandrage	24

List des abréviations :

Abréviations Utilisées	Signification
PEBD	Polyéthylène à Basse Densité
PEHD	Polyéthylène à Haute Densité
PEBDL	Polyéthylènes Basse Densité Linéaires
PE	Polyéthylène
PVC	Le polychlorure de vinyle

Introduction générale

Introduction générale

Les polymères (les plastiques) sont connus depuis longtemps comme des matériaux organiques d'une grande importance. La structure chimique leur confère une très large variété, ils peuvent être modifiés pour améliorer une ou plusieurs propriétés, soit par ajout d'une charge renforçant, un additif ou même mélanger un polymère ou plus avec un monomère ou un autre polymère. Ces caractéristiques on permet aux chercheurs d'exploser leurs idées sur l'utilisation, l'invention et l'exploitation de ces matériaux. D'autres part, quelques propriétés de ces matériaux à savoir la résistance thermique, la dégradation, peuvent spécifier le domaine d'application.

Les matériaux polymères peuvent être transformés par plusieurs procédés, leur mise en forme constitue un autre problème pour les polyméristes. Un polymère transformé par un procédé ne peut être transformé par un autre. On peut citer à titre d'exemple l'injection, l'extrusion, moulage par rotation, calandrage, RMI.....etc.

Notre manuscrit qui tente de se focaliser sur les procédés de transformation des plastiques, notamment l'extrusion gonflage, est répartie en trois chapitres. Un sur les polymères en générale, le deuxième sur le polyéthylène (matière utilisé par l'unité de fabrication des sacs) et le troisième consacré aux différents procédés de transformation des plastiques.

Chapitre I

Les Polymères

I. Les polymères :

I.1. Historique :

Les débuts de la production industrielle de pièces en matière plastique remontent au milieu du 19^{ème} siècle avec la fabrication d'articles de mode à base de cellulose et de caséine. Jusqu'au milieu des années 1920, d'importantes découvertes ont contribué au développement des matières plastiques. Le bækeland posa la première "pierre" dans le domaine de la production en grande série de pièces en matière thermodurcissable. Un développement remarquable, surtout pour les thermoplastiques a été observé à partir de 1926 avec les travaux du chimiste allemand Staudinger, une nouvelle impulsion importante pour le développement des matières plastique survint à partir du milieu des années 1950 avec la conversion d'une matière première, le charbon en dérivés pétrochimiques, on obtient, à partir des sous- produits, des fractions légères, dont l'éthylène. Les principaux thermoplastiques dérivés sont le polypropylène(PP), le polyéthylène (PE), le polystyrène(PS) et le poly(chlorure de vinyle) (PCV) .en France,dans l'industrie des matières plastiques. Les polymères synthétiques représentent aujourd'hui environ 17% de la production totale de l'industrie chimique. [1] , [11] ,[12]

I.2. Définition :

Un polymère est une macromolécule obtenue par la répétition d'une unité constitutive comportant un groupe d'atomes liés par des liaisons covalentes.

Les premières matières plastiques (celluloïd et bakélite) apparurent pendant le dernier tiers du 19^{ème} siècle.

Au sens le plus large, ce sont des matériaux organiques constitués de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales. La chaîne macromoléculaire est constitutive. [2],[9]

❖ homopolymère : une seule unité constitutive

-A-A-A-A-A

❖ copolymère : plus d'une unité constitutive

-A-B-A-B-A-B

I.3. Les différents types de polymères :

Les plastiques inventés au XX^{ème} siècle ont remplacé les matériaux traditionnels comme le bois ou le métal. Les recherches menées pour améliorer et diversifier leurs propriétés les destinent à de nombreuses utilisations. Les matières plastiques sont légères, hygiéniques, durables et faites sur mesure. [3],[15],[9]

I.3.1. Les thermoplastiques :

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. Ils représentent 80% des matières plastiques. [3],[18],[21]

1. Le polychlorure de vinyle (PVC) :

Il est obtenu par la polymérisation des monomères de chlorure de vinyle $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$. Ce polymère de formule $-(\text{CH}_2-\text{CH}-\text{Cl})_n-$ est issu d'une réaction chimique entre de l'éthylène et de l'acide chlorhydrique en présence d'oxygène. Il peut être soit rigide soit souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore.

Le PVC rigide qui a un aspect lisse et dur est utilisé pour les tuyaux de canalisation. Le PVC souple qui recouvre certaines pièces comme les manches de pinces a un aspect brillant. C'est, après le PE, le plastique le plus utilisé au monde. Il est largement employé dans l'industrie de l'ameublement et dans le bâtiment ou le génie civil.[3]

2. Le polyéthylène (PE) :

Le polymère le plus utilisé est le polyéthylène. C'est le matériau d'emballage par excellence. [3]

3. Le polypropylène (PP) :

Le deuxième polymère fort utilisé est le polypropylène. C'est un plastique dur. On le retrouve dans tous les matériaux de plomberie et d'autres. [3]

4. Le polystyrène (PS) :

Le polystyrène est un plastique dur, cassant et transparent. C'est un produit industriel courant largement diffusé, offrant de très nombreux usages. On s'en sert pour les emballages.[3]

5. Le polycarbonate (PC) :

Le polycarbonate est un matériau qui présente d'excellentes propriétés mécaniques et une bonne résistance thermique jusqu'à 120°C. On l'utilise pour la fabrication des casques de moto ou des boucliers de police, isolationect. Comme il est très transparent, il sert aussi à la fabrication des CD et des DVD.[3]

I.3.2. Les thermodurcissables :**1. Les polyuréthanes (PUR) :**

Ce sont des matériaux dont les caractéristiques sont très variées avec une grande diversité de textures et de duretés. Les polyuréthanes sont les polymères les plus utilisés pour avoir des mousses.[3]

2. Les phénoplastes (PF) :

Dans ce groupe, une des plus anciennes matières plastiques connue est la Bakélite. Ce matériau providentiel a eu d'innombrables applications dans les domaines scientifiques et dans la réalisation d'objets : téléphones, postes de radio. [3]

3. Les aminoplastes (MF) :

Ces produits résineux sont essentiellement utilisés en stratification sur des textiles plastifiés, les panneaux de bois agglomérés pour le mobilier de cuisine et les plans de travail .[3]

I.3.3. Les élastomères :

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité il subit une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires. [3]

I.4. Les Caractéristique :**I.4.1. Principes de structure :**

Sous les termes matériaux polymères, matières plastiques, sont définis de façon générale, les matériaux constitués essentiellement d'enchaînement macromoléculaire organiques relativement simples. Ces matériaux peuvent être obtenus par synthèse ou par transformation de produits naturels. Le nombre d'atomes constitutifs des macromolécules est le plus souvent supérieure à 1000, les masses molaires varient

généralement de 10^4 à 10^7 gr/mol. La plupart des polymères sont élaborés à partir d'un ou de deux types de monomères seulement. Les composés macromoléculaires sont respectivement appelés homopolymère. [1]

Les matières thermoplastiques, appelées simplement thermoplastiques, sont constituées de macromolécules linéaires ou ramifiées, liées entre elles physiquement. Ces matières sont solides à température ambiante. Elles se ramollissent à la chaleur jusqu'à un état plastique dans lequel elles se laissent comparativement plus facilement déformer. [1]

Les matières thermodurcies également appelées thermodurs ou matières thermorigides, sont élaborées par réaction chimique entre plusieurs composants : Une résine (pré-polymère), un durcisseur et, le cas échéant, un accélérateur et d'autres additifs. [1]

I.4.2. Domaines d'état :

La notion domaine d'état exprime le fait que les propriétés d'un matériau varient peu dans un certain domaine de température, dans les conditions de mise en forme ou d'usage.

Les propriétés du matériau peuvent être suffisamment bien définies dans un tel domaine. Cette remarque est valable aussi bien pour les grandeurs mesurables que pour les caractéristiques moléculaires et structurales. Pour les plastiques, on peut distinguer les états fondamentaux suivants :

- ❖ état vitreux ou d'élasticité d'origine énergétique, ou état solide.
- ❖ état caoutchoutique ou d'élasticité d'origine entropique.
- ❖ état fondu ou liquide, ou écoulement. [1]

I.4.3. Comportement mécanique :

Le comportement mécanique des matériaux est caractérisé par le type et l'amplitude de leur réponse aux forces extérieures appliquées et aux déformations en résultant. Pour les matériaux polymères, ces réponses dépendent fortement de la température, mais aussi de la vitesse et de l'intensité du chargement. [1]

I.4.4. Elaboration des polymères :

Les polymères peuvent être obtenus à partir d'un seul et même type de monomère. Ils peuvent aussi être synthétisés à partir de monomère de nature différente ou par réaction entre des oligomères ou des macromolécules. On obtient, par assemblage des unités constitutives, des structures linéaires, ramifiées ou réticulées

tridimensionnelles. Les macromolécules formées possèdent des masses molaires généralement supérieures à 10^4 gr/mol. [1]

Un polymère peut être formé de macromolécules physiquement liées ou chimiquement réticulées, (des interactions moléculaires agissent toujours entre les macromolécules réticulées, en complément des liaisons covalentes). Le degré de polymérisation représente le nombre d'unités monomère, d'une macromolécule, dans le cas d'une réaction à partir d'un type unique de monomère, ou d'unités constitutives répétitives, dans le cas d'une réaction à partir de plus d'un type de monomères. Les degrés de polymérisation suivantes sont donnés à titre d'exemple : PC~80 à 160, PA 6~100 à 300, PVC~800, PS~1500 à 4000, PP~3500 à 35000 et PE~UHMW~200000.[1]

La polymérisation est réalisée à partir d'un minimum de deux types de monomères, le polymère obtenu est un copolymère. Les propriétés des plastiques peuvent être directement influencées, voire plus ou moins contrôlées. Au cours d'une réaction de copolymérisation, il est par exemple possible d'accroître la tenue au vieillissement, la ténacité ou l'aptitude à la coloration du matériau.[1]

I.4.5. Polymérisation en chaîne :

Les différents types de réactions de polymérisations en chaîne sont la polymérisation radicalaire, la polymérisation ioniques (anionique et cationique) et la polymérisation en coordination. Chacune de ces réactions se déroule en trois étapes : **amorçage**, **propagation** ou croissance, et **terminaison**. La première étape du processus, c'est-à-dire la réaction d'amorçage, correspond à la transformation d'un monomère en un centre actif (radical libre ou ion réactif).

Le centre actif, beaucoup plus réactif que le monomère, assure la croissance rapide de la chaîne moléculaire par addition successive de molécules monomères.[1]

I.4.6. polymérisation radicalaire :

La polymérisation radicalaire est en général une réaction très rapide, en raison de la grande réactivité des radicaux libres qui propagent la réaction. Ce type de polymérisation est caractérisé par l'établissement d'un état quasi stationnaire de concentration des centres actifs est égale à la vitesse de leur disparition. Des formations des centres actifs est égale à la vitesse de leur disparition. [1],[26]

I.4.7. polymérisation ionique :

Les polymérisations ioniques requièrent généralement, pour la réaction d'amorçage, une énergie d'activation plus faible que la polymérisation radicalaire et peuvent par conséquent être réalisées à des températures nettement plus basses. Les polymérisations ioniques sont cependant moins utilisées industriellement que la polymérisation radicalaire parce que la qualité du produit dépend fortement des conditions réactionnelles et de la pureté des produit de départ.[1],[26]

I.4.8. Masse molaire :

La masse molaire d'une molécule est la somme des masses molaires atomiques des atomes contenus dans la molécule. Pour déterminer la masse molaire atomique d'un élément. Il faut trouver le rapport existant entre cette masse et celle, prise comme référence, de l'atome de carbone 12(isotope C^{12}). Les composés de faible masse molaire, c'est-à-dire constitués d'un nombre d'atomes relativement faible par rapport aux macromolécules, ont une masse molaire définie.[1],[26]

I.4.9. Masse molaire moyenne :

L'interprétation des courbes de distribution étant souvent complexe, on définit de préférence la taille des macromolécules par des valeurs moyennes. La masse molaire moyenne en nombre M_n est déterminée à partir du nombre n_j de macromolécules pour chaque degré de polymérisation p_j correspondant (soit le produit $n_j P_j$). La somme de ces produit est rapports à la quantité totale initiale N_0 de monomères.[1],[26]

Chapitre II

Polymère utilisé (Le polyéthylène PE)

I. Généralités:

Le polyéthylène est une polyoléfine (thermoplastique) très anciennement préparée industriellement. Il était admis avant 1933 que l'éthylène n'était pas polymérisable; néanmoins les chimistes d'IG fabien avaient pu obtenir des oligomères (huile, cire) et, bien plus tôt en 1890, Bamberg et Schiner du polyéthylène linéaire à partir du diazométhane dissous dans de l'éther.

L'ensemble des travaux de base se situe dans les années 1932 à 1935 : la société ICI, qui cherchait à faire réagir l'éthylène sur le benzaldéhyde à 170°C et 1400 bar, fabrique accidentellement en 1933 puis volontairement en 1935 les premiers grains de polyéthylène.[27],[3],[4]

II. Types de Polyéthylène:

II.1. Polyéthylène à basse densité (PEBD):

Le polyéthylène à basse densité est le plus ancien type de polyéthylène. Il est produit par un procédé à haute pression. C'est un polyéthylène souple, résistant et flexible en raison de sa structure moléculaire hautement ramifiée. La densité typique du PEBD se situe 915 et 935 Kg/m³. Lorsqu'il est déformé, il peut retrouver sa forme originale grâce à son élasticité naturelle. Le polyéthylène " haute pression " présente un indice de fluidité à chaud (MFI) plus élevé et par conséquent il peut se transformer plus facilement que les autres types de polyéthylène.

Il est utilisé pour des articles solides et souples tels que les couvercles. Il a été utilisé comme matériel isolant pendant très longtemps. De nos jours, son application la plus courante est le film, notamment les sacs à provision plastiques, le matériel d'emballage et les films pour bâches agricoles.

La Figure. Montre la structure moléculaire fortement ramifiée du polyéthylène à basse densité.

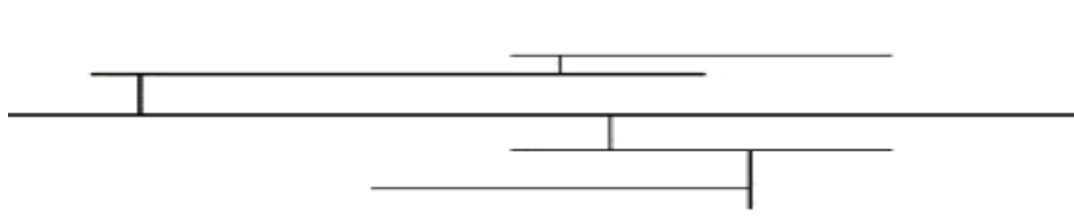


Figure II. 1: Structure moléculaire du (PEBD).

II.2. Polyéthylène à haute densité (PEHD):

En raison de sa structure fortement cristalline, le polyéthylène à haute densité est le type le plus rigide et le moins flexible parmi les différents types de polyéthylène. Le PEHD possède très peu de ramifications. Par conséquent la densité est toujours supérieure à 940 Kg/m^3 . Le caractère rigide et quelque peu dur est utile pour une large gamme de traitement.

La Figure 3.2 montre la structure presque linéaire du polyéthylène à haute densité.

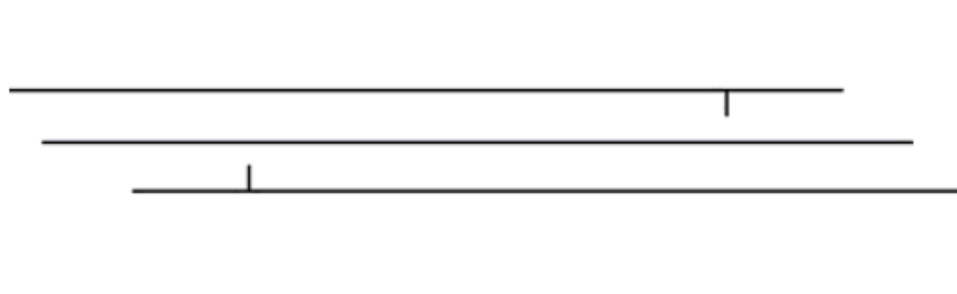


Figure II. 2: Structure moléculaire du PEHD.

II.3. Polyéthylène linéaire à basse densité (PEBDL):

C'est le plus jeune type de tous les PE. Il ressemble au PEHD mais possède un taux de cristallinité inférieur en raison de son nombre plus important de ramifications à chaîne courte. Par conséquent, il présente aussi une densité inférieure (normalement inférieure à 940 Kg/m^3).

Toutefois, le PE qui présente des densités situées entre 930 et 940 kg/m^3 , est souvent appelé PEMD ou polyéthylène à moyenne densité.

Le PEBDL est utilisé pour fabriquer des produits aussi bien flexibles que souples. Le PEBDL est souvent utilisé dans les mélanges avec un des matériaux indiqués précédemment afin de fabriquer des films plus fins. Il est aussi employé pour les emballages composés de films à couches multiples. Il est très résistant et conserve sa forme originale. Ces propriétés sont utiles pour la fabrication d'objets plus larges comme les couvercles.

La Figure 3.4 montre la structure moléculaire du PEBDL avec les ramifications à chaîne courte.[29], [15]

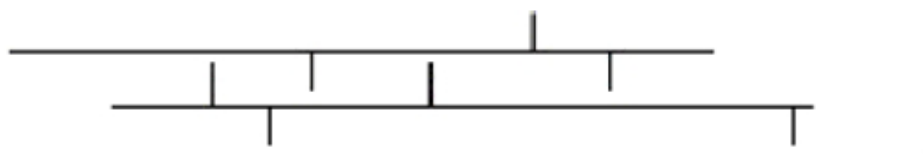


Figure II. 3: Structure moléculaire du PEBDL.

III. Préparation de PE :

Le polyéthylène (PE) est une matière thermoplastique du groupe polymère semi cristallin, issu de la synthèse du pétrole.

III.1. Distillation:

Le pétrole brut est 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.

III.2. Vapocraquage:

C’est un second fractionnement, en présence de vapeur d’eau, à 825°C, qui donne un certain nombre de produits de bas en haut de la tour :

- essences aromatiques (dont dérivent entre autres des carburants, des explosifs, le nylon, le tergal),
- butadiène (base de certains caoutchoucs),
- propylène (PPE, acryliques, peintures, vernis),
- éthylène (PVC, PE, polyester, polystyrène).

III.3. Polymérisation:

Cette opération s’effectue dans un “réacteur” où, sous l’influence de la température (30 à 100°C) de la pression (60 à 100 bar) et un mélange de :

- éthylène gazeux,
- catalyseurs (cristaux métalliques, titane, aluminium),
- un liquide support (heptane, composant de l’essence),
- produit du polyéthylène qui, après évaporation de l’heptane dans un séchoir, se présente sous forme d’une poudre blanche comparable à de la lessive.

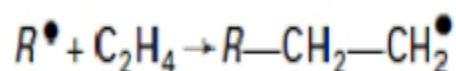
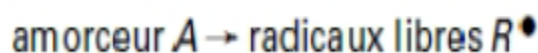
III.4. Granulation:

Cette poudre est additionnée de différents produits destinés à améliorer les performances du matériau (stabilisants, plastifiants) et de colorant (noir de carbone pour les tubes et raccords aux normes françaises).

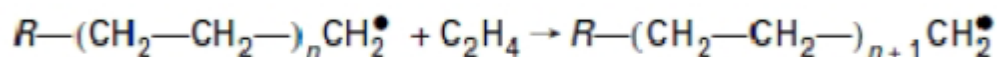
Le mélange est chauffé dans une “granulatrice” qui fabrique les granulés ; matière première des produits en polyéthylène (canalisations, jouets, articles ménagers, etc...) Le polyéthylène non coloré est blanc laiteux, translucide.

III.5 Réaction de polymérisation:

La polymérisation haute pression de l'éthylène obéit aux lois classiques de la polymérisation radicalaire, mais représente cependant un cas particulier. En effet, les conditions pratiques (pression et température) sont telles que les mesures cinétiques directes sont très délicates. De plus, un réacteur continu de polymérisation n'est jamais parfaitement homogène ; monomère et polymères ne sont pas toujours parfaitement miscibles, d'où des mécanismes différents dans les deux phases.[28]

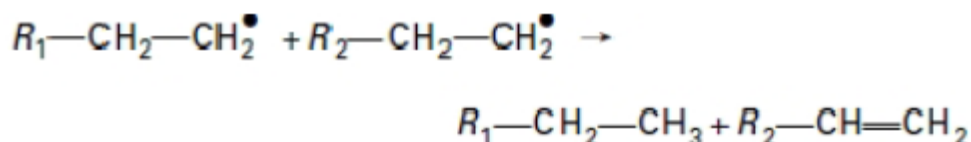
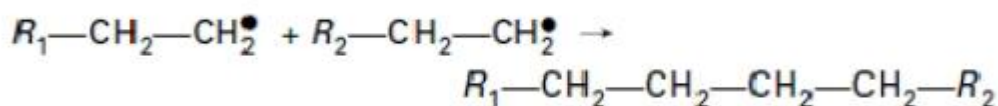
III.5.1 Initiation :

On note que la cinétique d'homolyse (autodécomposition thermique) de l'amorceur est en général ralentie par la pression.

III.5.2 Propagation :

III.5.3 Terminaison :

Deux mécanismes sont possibles :

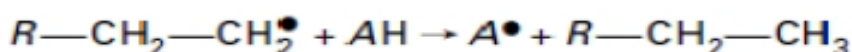
A. dismutation :**B. recombinaison :**

Le processus de terminaison est un processus mineur dont l'effet sur la structure du polymère est pratiquement négligeable.

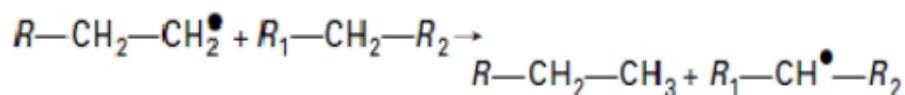
La longueur des chaînes est en effet réglée par les mécanismes de transfert et de dégradation des radicaux :

1. Réactions de transfert :

— Sur l'agent de transfert AH :



— Transfert au polymère :



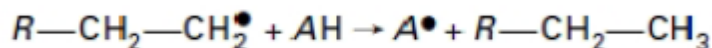
Puis propagation d'un branchement long à partir du nouveau site actif (ramification). Bien entendu, ce mécanisme est d'autant plus prépondérant que la température et la concentration en polymère (taux de conversion) sont plus élevées.

La présence de branchements longs est caractéristique du PE-BD, lui apporte une partie de ses propriétés particulières et rend difficile la connaissance exacte de sa structure.[27],[26]

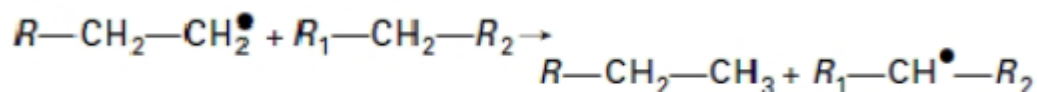
2. Réactions des macro radicaux :

* Transferts internes :

- 1 - 3 : branches courtes en C2 :

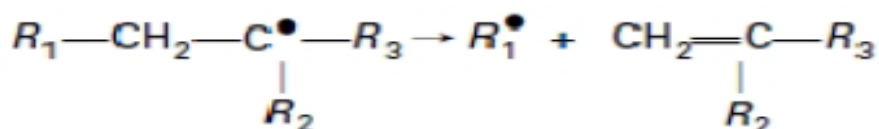


- 1 - 5 : branches courtes en C4 (les plus nombreuses) :



* Dégradation thermique des radicaux :

Cette réaction règle véritablement la masse moléculaire car, aux températures élevées (> 200 °C), chaque macro radicale peut subir plusieurs centaines de fois cette dégradation avant la terminaison :



Les radicaux secondaires, plus stables, donneront naissance à une insaturation du type vinyle.

Les macromolécules de PE-BD (dont la masse moléculaire moyenne va de 10000 à 30 000) ne sont pas parfaitement linéaires et contiennent des impuretés de structure dont on mesure le taux :

- branchements courts (surtout en C4) qui influent sur la cristallinité en perturbant la cristallisation : 10 à 25 CH₃ pour 1 000 CH₂ ;
- branchements longs qui affectent les propriétés élastiques à l'état fondu : 1 à 10 CH₃ pour 1 000 CH₂

III.5.4 Décomposition de l'éthylène :

Une concentration excessive en radicaux va provoquer un emballement de la réaction. L'augmentation de température qui en résulte crée des radicaux par dégradation thermique du polymère présent. La réaction divergente conduit à la décomposition explosive de l'éthylène.[28]

IV. Ecologie et recyclage:

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 polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux grâce à son aptitude au recyclage simple.

En matière de 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.

Actuellement, on distingue deux types de réutilisation du polyéthylène :

- **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.

A la fin du cycle du produit, l'énergie du pétrole contenue dans le polyéthylène sert à remplacer, dans les fours des cimenteries ou des usines d'incinération, des matières premières aussi précieuses que le charbon, le gaz ou le pétrole. Le recyclage thermique ne dégage ni gaz, ni vapeurs nocifs pour l'environnement.

D'une part, le PE usagé est éliminé sans danger pour l'environnement ; d'autre part, la consommation de pétrole est réduite de manière considérable. Chaque tonne de pétrole consommée pour la fabrication de produits 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.[30]

V. Résistance chimique vis-à-vis des fluides à véhiculer:

Les tubes et les raccords en polyéthylène résistent d'une manière générale à la plupart des produits susceptibles d'être transportés par tubulure, c'est la cause principale de son utilisation dans le domaine de flaconnage. [30]

Chapitre III

Transformation et mise en forme des polymères

I.Introduction :

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis. Quelques méthodes sont régulièrement utilisées pour la fabrication des pièces et des objets en polymère. Les principaux procédés de fabrication industrielle sont : l'injection, l'injection soufflage, l'extrusion, l'extrusion soufflage, le thermoformage, l'expansion moulage, le calandrage, le roto moulage[20].

II.L'injection:

La matière plastique sous forme de granulés, est versée dans une trémie pour alimenter une vis sans fin logée dans un tube chauffé. Elle y est comprimée, malaxée et chauffée. Ce traitement mécanique et thermique fournit une pâte fondante et homogène sans bulle qui est poussée par la vis en rotation vers un orifice. La matière expulsée sous pression par la vis d'injection à travers ce trou vient remplir un moule fermé et refroidi. Au contact des parois froides, elle prend la forme du moule et se solidifie. Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce. Pour changer la forme de la pièce, il suffit de changer de moule.[20],[3],[13],[27]

Ce procédé permet une transformation en discontinu des thermoplastiques. On obtient après démoulage des produits finis ou semi-finis de formes complexes en une seule opération. C'est une méthode de production très rapide pour produire des objets en très grande quantité. La technique de fabrication est fréquente pour fabriquer des objets moulés de qualité, parfois de forme compliquée dans le domaine de l'automobile, du jouet ou de l'électronique. On peut réaliser des objets très volumineux, par contre, il n'est pas possible de faire des parois supérieures à 6 mm. Les préformes de bouteille d'eau minérale qui ne peuvent pas être réalisées par extrusion sont fabriquées par cette technique d'injection.[20],[27],[3],[13]

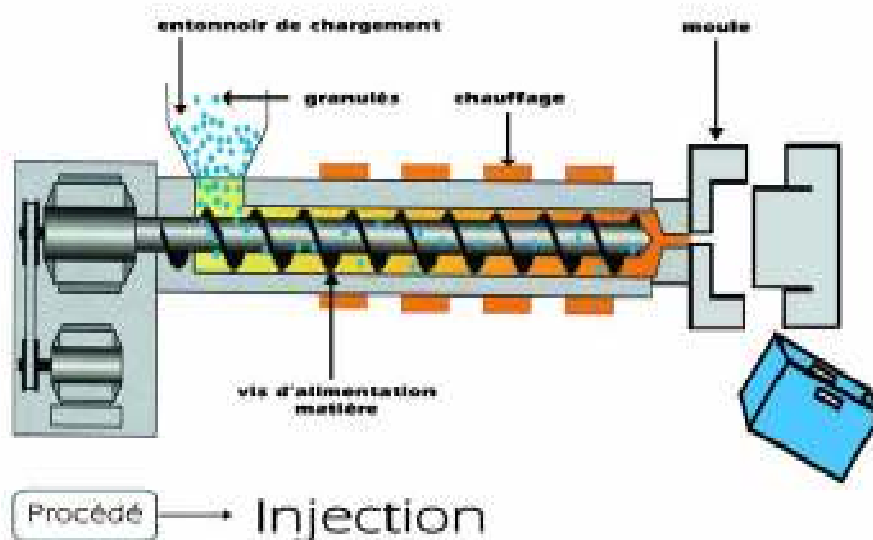


figure III. 1: Procédé injection.

III.L'injection –soufflage:

est un procédé utilisé pour fabriquer la plupart des bouteilles et des flacons. On utilise des pièces semi-finies obtenues par injection. Par exemple pour les bouteilles d'eaux minérales, le plastique est préformé mais le goulot est déjà entièrement formé. Le corps de la préforme est chauffé puis une tige étire la préforme jusqu'au fond du moule. Enfin, un très puissant jet d'air plaque la matière contre les parois du moule. La préforme prend alors la forme et le moule est refroidi puis ouvert pour faire sortir la bouteille. Comme pour l'injection, pour changer la forme de la bouteille, il suffit de changer de moule.[20],[3],[16]

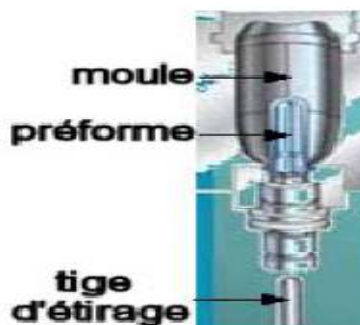


figure III. 2: Procédé injection soufflage.

IV. L'extrusion:

L'extrusion est un procédé de transformation en continu. Comme pour l'injection, le granulé entre dans un tube chauffé muni d'une vis sans fin. La matière molle homogénéisée est poussée, comprimée, puis passe à travers une filière pour être mise à la forme souhaitée.

C'est une sorte de « machine à chichis » qui permet des produits semi-finis de formes diverses. On fabrique avec cette technique de transformation des produits de grande longueur comme des profilés pour les portes et les fenêtres, des canalisations, des câbles, des fibres optiques, des tubes, des grillages, des plaques et des feuilles plastique... Le tube ou le profilé sort en continu, il est refroidi pour être ensuite coupé à la longueur voulue. En additionnant plusieurs couches de matière on peut réaliser des produits ayant des propriétés combinées.[20],[16],[3],[11]

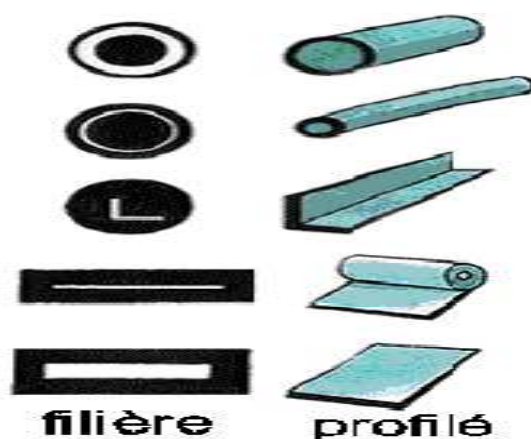


figure III. 3: Exemple des formes de plastique.

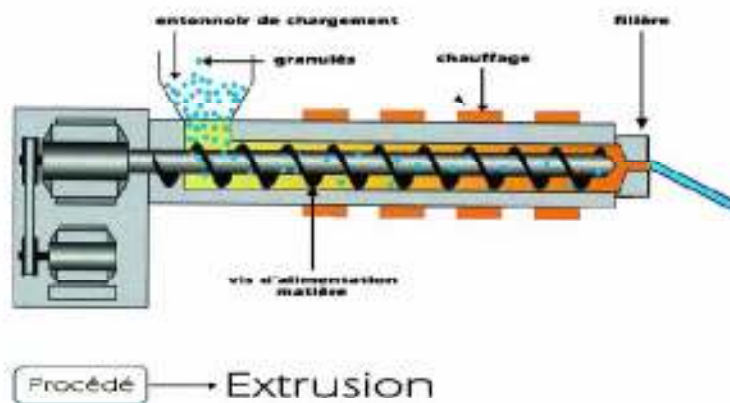


figure III. 4: Procédé extrusion.

IV.1 L'extrusion soufflage:

permet de fabriquer des corps creux. Cela commence par l'extrusion d'un tube plein appelé la paraison. Ce tube de plastique encore chaud sortant de la filière est coupé et un moule froid en deux parties se referme autour de lui. Ensuite, de l'air est injecté dans la matière par une canne de soufflage et le polymère vient se plaquer sur les parois intérieures du moule qui est rapidement refroidit. Le procédé se termine par le démoulage, le décarottage et l'élimination des déchets de moulage de la pièce[20].

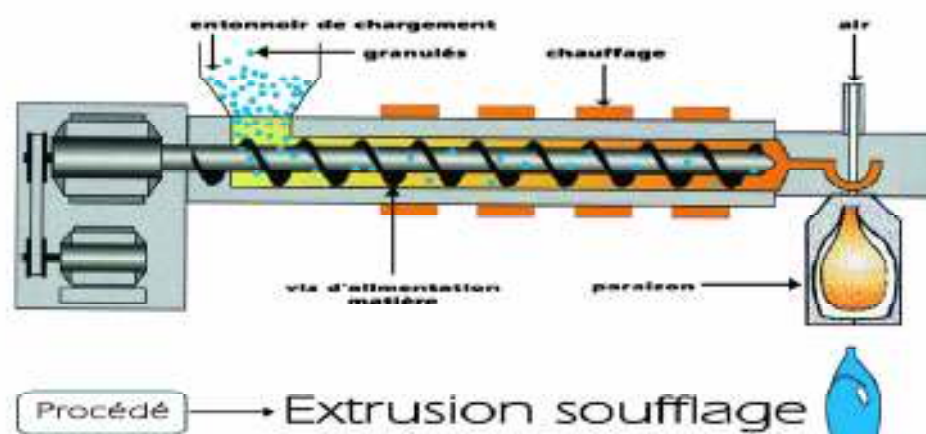


figure III. 5: Procédé extrusion soufflage.

IV.2 L'extrusion gonflage:

C'est une variante de l'extrusion qui permet de fabriquer des films plastiques. Ce procédé consiste en sortie de l'extrudeuse à dilater avec de l'air comprimé une gaine polymère précédemment formée. La sortie de l'extrudeuse est verticale, on insuffle de l'air comprimé dans la matière fondue qui se gonfle et s'élève verticalement en une longue bulle de film. Après refroidissement, des rouleaux aplatissent le film en une gaine plane qui s'enroule sur des bobines. On fabrique ainsi des films utilisés dans la fabrication d'emballages, de sacs-poubelles, de sacs de congélation, des poches médicales pour perfusion et des feuilles souples et fines de revêtements pour serres horticoles[20].

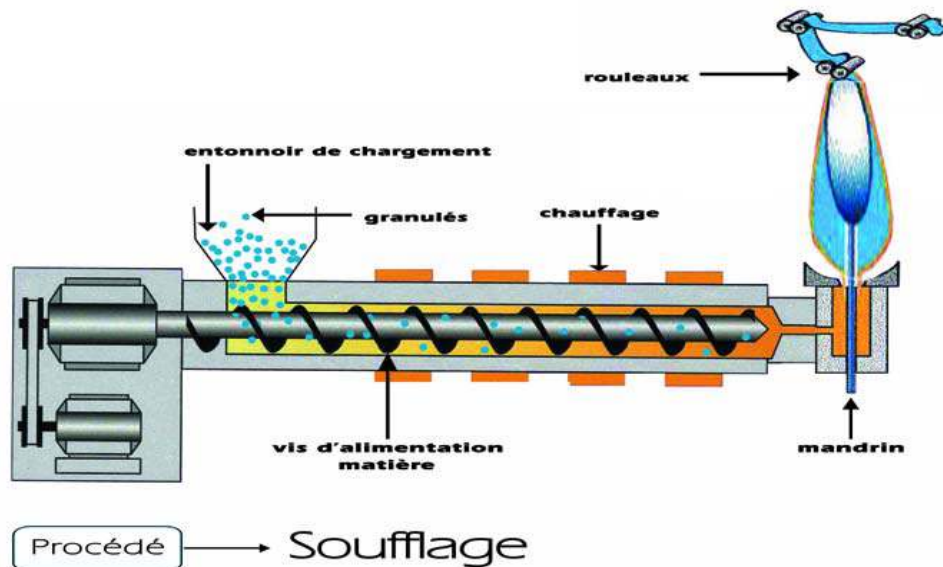


figure III. 6: Procédé soufflage.

V. Le formage ou le thermoformage:

C'est un procédé de seconde transformation dans lequel la matière arrive sous forme de plaques, de tubes ou de profilés. Le matériau est ramolli par chauffage avant d'être déformé et mis en forme par un moule métallique. La parfaite adhésion du polymère sur le moule se fait par aspiration sous vide ou par plaquage par injection d'air. Il est possible de réaliser des pièces dont les parois sont fines et des pièces de grande taille. Les plaques de polystyrène ou d'ABS sont particulièrement adaptées à ce type de transformation. Cette technique est utilisée pour produire des objets aux formes géométriques simples comme des pots de yaourts, des cabines de douche, des baignoires, des éléments de carrosserie[20],[21],[14]

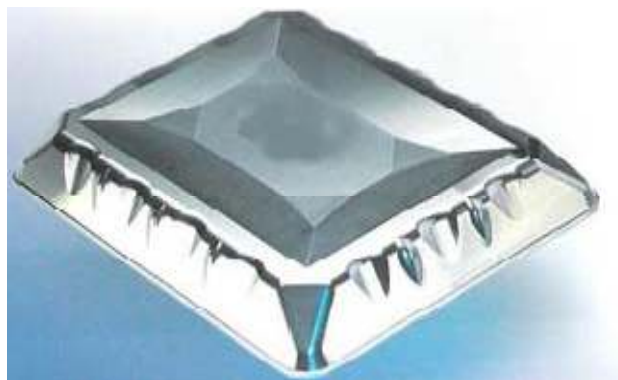


figure III. 7: Exemple d'une forme de plastique.

VI. Le moulage et l'expansion moulage:

Le polystyrène est un polymère qui se présente avant transformation sous forme de petites billes non expansées. Elles renferment des micro-inclusions à l'état liquide qui se transforment en gaz lors de l'expansion. Dans une chaudière, en présence de vapeur d'eau, la matière se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme du pop-corn, en gardant une forme sphérique régulière. Cette première expansion est réalisée dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial du polystyrène non expansé. Dans un deuxième temps, après séchage, les billes pré-expansées sont introduites dans un moule fermé et sont soumises à une nouvelle expansion grâce à l'injection de vapeur d'eau. Les billes augmentent de volume et collent les unes aux autres dans le volume intérieur du moule. Cette technique est utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : emballages de protection pour appareils fragiles, caisses à poissons, barquettes alimentaires ...etc[20].

VII. Le Calandrage:

Le calandrage est un procédé de laminage utilisé pour la production de feuilles et de films plastiques. La résine thermoplastique chauffée et fondue est placée entre des rouleaux chauffants qui opèrent comme les anciennes essoreuses. Les rouleaux sont de plusieurs tailles et tournent donc à des vitesses légèrement différentes pour transformer le plastique en feuilles ou en fine pellicule. Le film est ensuite refroidi puis enroulé sur de grosses bobines. Ce procédé est souvent utilisé pour transformer le PVC en produits plats de grande largeur comme des nappes, des revêtement d'ameublement ou de maroquinerie car on peut donner par exemple une texture sur des matériaux synthétiques qui imitent le cuir[20].

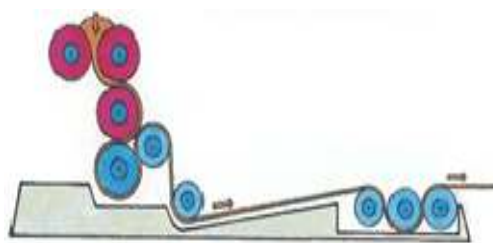


figure III. 8: Procédé calandrage.

VIII. Le roto moulage:

Une fine poudre thermoplastique est enfermée dans un moule chauffant et fermé qui tourne sur lui-même. Le matériau se répartit uniformément sur les parois du moule par centrifugation. Cette technique permet de produire des objets creux comme des kayaks, des planches à voiles, des cuves ou des containers[20].

Conclusion

Générale

Conclusion *Générale*:

Le domaine de transformation des matières plastiques est très vaste, il se développe avec l'évolution des recherches scientifiques et les domaines d'applications. Notre travail s'est limité à la discrétion des grands procédés de mise en forme, et il a été conclu que les caractéristiques de l'objet obtenu sont fortement liées aux conditions opératoires du procédé à savoir le type de l'extrudeuse, la température, la forme de la filière, le refroidissement, la vitesse d'étirement...etc.

Références bibliographique:

- [1] : G.W. Ehrenstein, F. Montagne. matériau polymère. Hermes science publication, paris, 2000.p55.
- [2] : M. Fantanille, G. P. Vairon. Macromolécules. Plastiques. Paris, Techniques de l'ingénieur, AM 3041, 1986, p1-8.
- [3] : différents types de matières plastiques. Dossier enseignant. « voyage en industrie » cap p6..sciences 2006
- [4]: A. Renfrew et morgan.P – Polythène. The technology and uses of ethylene polymers. IL life and Sons Ltd 1960.
- [5]: j. Ram. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Fabrication des polymères .Août 2007.
- [6]: <http://fr.wikipedia. Org / polyéthylène>. consulté 02 mai 2012.
- [7]:. K. Ziegler et G. Natta, Catalysts and polymérisations. John Boor JR Academic Press New York (1979).
- [8]: M .Piperaud et J. P. Trotignon et J. verdu. les matières plastique, Paris L'usine 75002.
- [9]: M.Jean.Chimie et physico-chimie des polymères,2005,p586.
- [10]: Fauchais .P .Plasmas thermiques Production et applications, D 2 820 , P25
- [11]: B. Soudi.et N. Consultant.et X. Dimitri.et I. Consultant. Elaboration des fiches techniques des valeurs Limites des Rejets industriels (Plastique) .2006.p28.
- [12]: L. Saint. A. Diamant. les emballages plastiques : de la fabrication a la valorisation: (évolutions et perspectives) .avril 1999.p42.
- [13]:M. Biron. Aide-mémoire Transformation des matières plastiques l'usine nouvelle. isbn 978-2-10. p24.
- [14]: N. Rabetafi .ka et M. P .Paquot.Dubois Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique,2006 p185 – 196.
- [15]: S.SA. Daetwyler. Matières plastiques(Maagtechnic). 07.11-0.5CH-xx-1-KT.p36.

- [16]: J. Aubry, les matières plastiques, 2010,p18.
- [17]: P.Puilez et K.Amatoury.etM.Chambreuil. Développement Durable, Politiques Environnementales et Gestion: Sacs plastiques,2011,p20.
- [18]: I.Belyamani. développement d'un matériau thermoplastique, biodégradable et hydrosoluble à base d'une protéine du lait, thèse: doctoral universite jean monnet, 2011,p214.
- [19]: H. Ben Romdhane . utilisation des films en polymères dans L'emballage ursam – fst inrap 11-13 juin 2002,p68.
- [20]: M. Ndongo. norme professionnelle opérateur ou opératrice d'extrudeuse de matières plastiques Polyconsult International INC .3 septembre 2009. p53.
- [21]: J.Olivier. moyens matériels disponibles: matériaux plastiques 69134 ecully cedex, p3.
- [22]: P. Morel, L'extrusion, une autre façon de produire des pièces plastiques,p43,2009.
- [23]: Gaétane ceglia Elaboration et caractérisation de matériaux polymères poreux modèles à base d'émulsions contrôlées thèse: doctoral l'université bordeaux École doctorale des sciences chimiques 20 décembre 2011,p219.
- [24]: C .Decathlon. Les matériaux composites dans l'industrie des sports et loisirs,2005,p25.
- [25]: H. Goudket.Etude de matériaux polymères organiques et Organo-minéraux dopés par des colorants organiques : Application à la réalisation de sources laser intégrées, thèse doctoral: universite paris xi ufr scientifique d'orsay. Jule 2004,p260.
- [26]: W.E. Gottfried et F. Montage .Matériaux polymères ,2000,P478.
- [27]: D.Claude.matières plastiques et environnement. 2008.p672.

Résumé:

Le présent travail consiste en la description des procédés de transformation des matières plastiques (polymères). Ces procédés de transformation ou de la mise en forme se diffèrent les uns des autres soit par la nature et des propriétés de la matière à transformer, soit par les besoin et les exigences des utilisateurs. A titre d'exemple, on s'y focaliser sur quelques procédés de transformations tels que l'injection, l'extrusion et le thermoformage.

ملخص:

يهدف هذا البحث الى معرفة طرق تحول المواد البلاستيكية و تختلف طرق التحول او التشكيل حسب طبيعة وخصائص المادة المتحولة على سبيل المثال نسلط الضوء على بعض الطرق مثل اعادة التشكيل والحقن و النفخ.