

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de TIZI-OUZOU

ⵝⵓⵏⵉⵏⵉ ⵏ ⵉⵏⵉⵎⵉⵏⵉ ⵏ ⵉⵏⵉⵎⵉⵏⵉ

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de master professionnelle en Génie Mécanique
Option: Fabrication Mécanique et productique

Thème:

**Evolution des caractéristiques mécaniques de
deux mélanges polymériques PP/PA et PP/PA
compatibilisé avec 10% de SBR après le
recyclage**

Dirigée par :

Mm .MOHELLEBI F

Présenté par:

Mr. Yaddaden Mohamed

Mr. Maslem al tahir

ANNÉE: 2014 - 2015

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

ⵍⵓⵎⵓⵔ ⵎⵎⵎⵉⵔ ⵉⵏ ⵜⵉⵣⵉⵓⵣⵓ



Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



Mémoire

De fin d'études en vue de l'obtention du
Diplôme de master professionnelle et productive en Génie Mécanique
Option: Fabrication Mécanique

THEME

**Evolution des caractéristiques mécaniques de deux
mélanges polymériques PP/PA et PP/PA
compatibilisé avec 10% de SBR après le recyclage.**

Proposé et dirigé par :
Mm. MOHELLEBI . F

Présenté par:
**YADDADEN MOHAMED
MESLEM AL-TAHIR**

ANNÉE: 2014 - 2015

Remerciements

Nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné la force et le courage de réaliser ce travail.

Nous adressons nos remerciements à notre chère promotrice madame mohellebi pour avoir accepté de nous encadrer, de diriger ce travail et de nous avoir assistés a sa finalisation.

Nous remercions également aux membres de jurys pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

On tient aussi a remercier le personnel de la bibliothèque de génie mécanique ainsi que le personnel du laboratoire de RDM de bastos

Je remercie les membres de l'entreprise de siscoplast de Draa el mizan et l'entreprise de ENEL a freha pour leur aide précieuse.

Que tous ceux qui nous ont aide de prés ou de loin trouvent ici, nous remercions les plus vifs et notre profonde reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie mon projet a mes chers parents que dieu les protèges. Sans oublier ma grande mère

A mon frère ghiles

A mes sœurs Nassima Malika Lamia et Yasmina

A ma sœur Safia et son marie Abdenour et ses deux petits anges Walid et Momouh.

A mes tantes et leurs filles et fils.

A touts mes amis.

A tous ceux qui ont contribues de prés ou de loin à accomplir ce modeste travail

Dédicaces

Je dédie mon projet a mes chers parents que dieu les protèges.

A mes tantes et leurs filles et fils.

A touts mes amis.

A tous ceux qui ont contribues de prés ou de loin à accomplir ce modeste travail

Meslem altahir

1) Principe :.....	59
2) Les dimensions de l'éprouvette pour l'essai Charpy.....	59
3) Appareillage :	61
II 3. Résultats obtenus :.....	61
CHAPITRE III : morphologiques des mélanges.....	
III.1. Introduction :.....	65
III.2. Microscope électronique à balayage (MEB) :.....	65
III.2.1.Principe :.....	65
III.2.2 : Outils de caractérisation des formulations :.....	65
Appareillage :	65
III.2.3 : Interprétation des micrographies.....	66
III.2.3.1 : Mélange 100%PP vierge et recyclé.....	66
III.2.3 .2 : Mélange 100%PA vierge et recyclé.....	67
III.2.3.4 : Mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé.....	67
III.2.3.5 : Mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé avec SBR.....	68
Conclusion :	69

.....

Figure III.2 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 100%PP vierge et recyclé.....	66
Figure III.3 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 100%PA vierge et recyclé.....	67
Figure III.4 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé [(a) : mélange recyclé, (b) : mélange vierge, (c) : mélange recyclé).....	68
Figure III.5 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé avec ajout de SBR.....	68
Conclusion.....	69

Tableau II.9: Résultats associés à la résilience pour les mélanges PP/PA du 2ème recyclage.....	62
Tableau II.10: Résultats associés à la résilience pour les mélanges PP/PA avec SBR du 1ère recyclage.....	63
Tableau II.11: Résultats associés à la résilience pour les mélanges PP/PA avec SBR du 2ème recyclage.....	63

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les matériaux polymères sont employés dans diverses applications où la longévité est exigée.

Les polymères conventionnels ne suffisent souvent pas à répondre aux exigences des utilisateurs. Pour répondre aux besoins de matériaux à propriétés multiples et plurifonctionnels, les chercheurs ont développé toute une gamme de mélanges de polymères.

La prise en compte des conséquences des activités humaines sur l'environnement est devenue un des critères d'évaluation des processus de décision gouvernementaux comme de ceux des donneurs d'ordre du monde industrie. Parmi les problématiques engendrées par l'utilisation excessive des polymères est la gestion des produits en fin de vie qui de faite a fait l'objet de nombreuses réglementations dans le but de diminuer la quantité de déchets non traités mais surtout de déployer des solutions de recyclage pour ces produits et ainsi faire du déchet une nouvelle ressource.

Notre travail consiste à évaluer la durée de vie d'un mélange de polymères et suivre l'évolution de ses propriétés mécaniques avec le recyclage. Les mélanges initialement élaborés par injection, sont broyés et réinjectés. Cette opération est effectuée deux fois, soit un premier et un deuxième recyclage.

Notre travail est présenté en deux parties :

- La première partie est une revue bibliographique qui traite des généralités sur les polymères en chapitre un, puis nous donnons un aperçu sur les mélanges de polymères dans le chapitre deux et nous terminons cette première partie par le chapitre trois qui traite le recyclage des polymères.
- La deuxième partie traite le travail expérimental effectué dans notre étude, nous identifions nos mélanges et le mode d'élaboration de ces derniers dans le chapitre un, la caractérisation mécanique à partir des différents essais mécaniques effectués sur nos mélanges est donnée dans le chapitre deux , et le dernier chapitre de notre étude (chapitre trois) est consacré à l'observation de nos polymères au microscope électronique à balayage les faciès de rupture après essais de traction de nos éprouvettes et on termine par une conclusion générale.

PARTIE I

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES POLYMERES

HISTORIQUE

De tous temps, les **polymères naturels** avaient été utilisés par l'homme sous la forme de matériaux ou de fibres textiles. La rareté de certains d'entre eux avait mobilisé les chercheurs, lesquels étaient parvenus, dès la fin du 19^{ème} siècle, en transformant chimiquement des polymères naturels, à générer les **polymères artificiels**. Ainsi, ils avaient créé la nitrocellulose (celluloïd, soie artificielle) pour le remplacement de l'ivoire, de la soie..., ou bien des matériaux présentant des propriétés nouvelles susceptibles d'engendrer de nouvelles applications (ébonite par vulcanisation extrême du caoutchouc naturel).

Une étape importante avait été franchie avec la production industrielle des premiers polymères synthétiques (Bakélite, caoutchoucs synthétiques). Mais c'est à partir de la théorie proposée par STAUDINGER que leur variété s'est accrue de façon considérable. Il en fut le principal utilisateur et la plupart des **polymères synthétiques** vinyliques utilisés aujourd'hui sont issus de ses travaux.

Dès la décennie 1940-1950, on avait fait appel aux polymères pour qu'ils soient substitués à nombre de matériaux traditionnels. Cette opération n'a pas toujours été réalisée avec le sérieux qu'elle aurait mérité, ce qui a entraîné une réputation de médiocre qualité des objets fabriqués. Les recherches effectuées dans les laboratoires industriels et académiques ont conduit à pallier les principaux défauts des polymères, lesquels sont maintenant utilisés pour les applications les plus sophistiquées et les domaines les plus avancés de la technologie.

Les jurys du prix Nobel ont voulu honorer cette science encore jeune, en attribuant les prix de Chimie ou de Physique à nombre de ses représentants : STAUDINGER fut le premier récompensé mais on peut aussi citer ZIEGLER et NATTA, FLORY, la triade Mc DIARMID, SHIRAKAWA, HEEGER ainsi que, plus récemment, une autre triade avec CHAUVIN, GRUBBS et SCHROCK. Pierre-Gilles de GENNES a aussi été honoré par le jury du prix Nobel ; les polymères n'ont été que l'un de ses centres d'intérêt mais son nom est connu de tous les scientifiques pour ses théories dans le domaine de la science des polymères.

En raison de son importance économique, l'industrie des polymères a généré une multitude de travaux de recherche et stimulé, en amont, une recherche académique de grande qualité. Celle-ci est fortement soutenue par les milieux industriels qui ont su avantageusement valoriser la recherche de base.

Etape importantes de l'histoire des polymères

1838 : A. PAYEN identifie un composé de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ qu'il a extrait du bois et auquel il donne le nom de cellulose.

1844 : Ch. GOODYEAR réalise la vulcanisation du caoutchouc naturel au moyen du soufre.

1846 : C. SCHONBEIN prépare le premier polymère « artificiel », la nitrocellulose, par estérification de la cellulose au moyen d'un mélange sulfo-nitrique.

1866 : découverte du polystyrène par M. BERTHELOT.

1883 : la "soie artificielle" est obtenue par H. de CHARDONNET, par filage d'une solution concentrée de nitrocellulose.

1907 : premiers caoutchoucs synthétiques par polymérisation de diènes conjugués, par A. HOFMANN.

1910 : industrialisation du procédé de production du premier polymère synthétique, par L. BAEKELAND ; les résines phénol-formol sont produits sous le nom de "bakélite".

1919 : H. STAUDINGER propose sa théorie macromoléculaire, ouvrant ainsi la voie à la science et à la technologie des polymères.

1925 : confirmation de la théorie macromoléculaire par Th. SVEDBERG ; il réussit à mesurer la masse molaire d'un polymère, par ultracentrifugation

1928 : K. MEYER et H. MARK établissent le lien entre structure moléculaire et structure cristallographique des polymères.

1933 : polymérisation radicalaire de l'éthylène sous haute pression, par E. FAWCETT et R. GIBSON (I.C.I.).

1938 : premiers polyamides synthétiques ("nylons") par W. CAROTHERS (Du Pont de Nemours).

1942 : P. FLORY et M. HUGGINS proposent la première théorie sur le comportement des polymères en solution.

1943 : la famille des polyuréthanes est découverte par O. BAYER.

1947 : T. Alfrey et C. Price proposent la théorie de la copolymérisation en chaîne.

1953 : F. CRICK et J. WATSON (Prix Nobel de médecine 1962) proposent la structure en double hélice de l'ADN.

1953 : K. ZIEGLER polymérise l'éthylène sous basse pression.

1954 : G. NATTA découvre le polypropène isotactique.

1955 : établissement d'une relation entre le temps de relaxation des chaînes et l'écart à la température de transition vitreuse par M. WILLIAMS, R. LANDEL et J. FERRY.

1956 : découverte de la polymérisation « vivante » par M. SZWARC.

1957 : premiers monocristaux polymères obtenus par A. KELLER.

1959 : mise au point de la chromatographie d'exclusion stérique par J. MOORE.

1960 : Découverte des élastomères thermoplastiques à partir des copolymères à blocs.

1970-1980 : formulation des lois d'échelle et notion de reptation des chaînes polymères à l'état fondu, par P-G. de GENNES.

1974 : Développement des polyamides aromatiques par la firme Du Pont de Nemours.

1980 : W. KAMINSKY et H. SINN utilisent la combinaison aluminoxanes/métalloènes, pour la polymérisation des oléfines.

1982 : T. OTSU introduit la notion de contrôle de la polymérisation radicalaire.

1986 : les premiers dendrimères sont synthétisés par D. TOMALIA.

1994 : la polymérisation radicalaire contrôlée par transfert d'atome, une méthode mise au point par M. SAWAMOTO et K MATYJASZEWSKI

2000 : H. SHIRAKAWA, A.J. HEEGER et A.G. Mc DIARMID obtiennent le Prix Nobel de Chimie pour leurs travaux sur les polymères conducteurs intrinsèques.

2005 : Prix Nobel de Chimie pour Y. CHAUVIN, R. GRUBBS et R. SCHROCK, pour leurs travaux sur la réaction de métathèse et son application aux polymères [01]

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelées motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère [04].

I.1.Introduction :

La recherche en matière de polymères est de moins en moins axée sur la synthèse de nouveaux matériaux. C'est une des raisons pour lesquelles les mélanges de polymères, la modification et la combinaison de polymères existants représentent un secteur très actif et attractif de la recherche sur les copolymères par mélange physique, depuis ces dernières années.

Le comportement mécanique des polymères est caractérisé par une très grande diversité apparente.

En effet, pour les mêmes conditions d'utilisation, et d'un point de vue technologique, on peut trouver des polymères qui sont, soit rigides fragiles, soit ductiles, soit caoutchouteuse.

Ainsi, dans la famille des polymères, on peut retrouver un grand nombre de types de comportement : viscoélastique, viscoplastique, hyper élastique, durcissant, en dommageable.

Cette diversité se trouve pour un même copolymère, si l'on fait varier certaines de ses caractéristiques ou simplement ses conditions d'utilisation.

Ceci ne veut pas dire que le comportement d'un polymère est variable, voire incontrôlé.

Ceux sont les paramètres contrôlant son comportement et les processus élémentaires envisageables qui sont nombreux.

I.2. Différents types de matières plastiques [02].

Les matières plastiques sont légères, hygiéniques, durables et faites sur mesure. C'est grâce à toutes leurs qualités qu'elles sont devenues irremplaçables et omniprésentes dans les objets de notre vie quotidienne. Les fabricants offrent une très grande diversité de produits, mais il existe trois grandes catégories de matières plastiques synthétiques: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I.2.1. 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.

Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme.

I.2.1.1. Exemples de thermoplastiques :

Le polyéthylène (PE) :

Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques.

Plusieurs millions de tonnes de polyéthylène sont produites chaque année car c'est un matériau extrêmement polyvalent et important sur le plan économique et écologique.

Grâce à sa structure chimique simple, le polyéthylène prime sur la plupart des autres matériaux car il peut être réutilisé. Au cours de ces dernières années, le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance : 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés.

Le polyéthylène est translucide, inerte, facile à manier et résistant au froid. Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau. On distingue deux familles: le PEBD ou polyéthylène basse densité et le PEHD polyéthylène haute densité.

Le PEBD est utilisé dans les domaines les plus divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau. Il présente une bonne résistance chimique, il est olfactivement, gustativement et chimiquement neutre pour les denrées alimentaires.

Il est transparent, peut être facilement transformé et se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien. Les principales applications du PEBD sont des produits souples : sacs, films, sachets, sacs poubelle, récipients souples (bouteilles de ketchup, de shampoing, tubes de crème cosmétique).

Le PEHD est utilisé pour des objets plastiques rigides. On le trouve par exemple dans des bouteilles et des flacons, des bacs poubelles, des cagettes, des tuyaux, des fûts, des jouets, des ustensiles ménagers, des boîtes type « Tupperware », des jerricans...

Certains sacs plastiques sont constitués par du PEHD : lorsque le sac se froisse facilement sous la main, avec un bruit craquant et revient spontanément à sa forme d'origine, c'est du PEHD. Lorsque le touché est plus « gras », que le plastique se froisse sans bruit et se perce facilement avec le doigt, c'est du PEBD.

Le polypropylène (PP) :

C'est aussi un polymère très polyvalent qui sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Il est très facile à colorer et n'absorbe pas l'eau.

On en trouve beaucoup sous forme de pièces moulées dans les équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, habillage de l'habitacle) et dans le mobilier de jardin.

Ce matériau sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle parce qu'il ne fond pas en dessous de 160°C.

Le polypropylène est aussi utilisé dans la fabrication de fibres synthétiques (tapis, moquettes, cordes, ficelles) mais aussi pour les emballages alimentaires en raison de son aspect brillant et de sa résistance (flacons, films, pots).

Cependant, le PP film est un des plastiques usuels les plus difficiles à recycler surtout s'il est imprimé.

Le contrôle de la polymérisation par catalyse permet de jouer sur la structure à fin de produire du polypropylène élastomère.

I.2.2. Les thermodurcissables :

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés.

Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un

grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes.

I.2.3. 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.

On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et différents agents chimiques. Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques. Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus.

I.3 : Classifications des polymères

Il y a différentes façons de regrouper les polymères et de les classer

I.3.1 : Selon leurs origine [3.4]

On peut diviser les polymères en trois familles distinctes : les polymères naturels, les polymères synthétiques et les polymères composites provenant de mélanges des polymères des deux autres familles

I.3.1.1 : Les polymères naturels :

Qui ont pour origine la matière vivante (bois, cuir, coton, soie, laine). Dans les végétaux sous forme de cellulose et d'amidon, dans les cheveux les angles, l'ARN et l'ADN, les protéines, le collagène, sont des exemples de polymères constitutifs du monde vivant.

I.3.1.2. Les polymères artificiels :

L'industrie chimique pour sa part, fabrique une très grande variété de polymères qui résultent de la modification chimique de macromolécules naturelles sans altération profonde de la structure du squelette. Par exemple, la cellulose nitrosée forme suivant le taux de nitrosation des matières plastiques, des peintures, des vernis ou des explosifs.

I.3.1.3. Les polymères synthétiques :

Totalement issus du génie de l'homme, sont obtenus par polymérisation de molécules monomères. Leur variété est extrême et ce sont eux qui seront le plus souvent considérés par la suite.

I.3.2 : Selon leur domaine d'application :

Il est difficile de proposer une classification exhaustive tant la variété des propriétés a multiplié les applications des polymères, comme matériaux en particulier. Il est cependant possible de regrouper les polymères en trois grandes catégories :

I.3. 2. 1. Les polymères de grande diffusion :

(Encore appelés polymères de commodité), dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes, sont devenus d'un emploi quotidien pour tous. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie d'une importance économique considérable [03].

I.3. 2. 2 : Les polymères techniques :

Ont des caractéristique qui leur permettent de se substituer, de plus en plus aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...) pour de nombreuses application ; les polyamides,....font partie de cette famille.

I.3. 2. 3 : Les polymères spéciaux :

(Ou polymères de fonction) présentent généralement une propriété qui induit leur utilisation pour une application particulière. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photo actifs, thermostables, adhésifs, etc.

Tous les spécialistes ne donnent pas la même définition à chacune de ces catégories même s'ils s'accordent sur les termes.

I.3.3 : Selon leur structure (dimensionnalité) :

Les polymères peuvent encore être classés en trois catégories) [04]

I.3. 3. 1 : les polymères linéaires (ou monodimensionnels) :

Pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre (éventuellement) élevé mais fini d'unités monomères ; de tels systèmes correspondent a la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire peut être très

schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère (figure I.1).

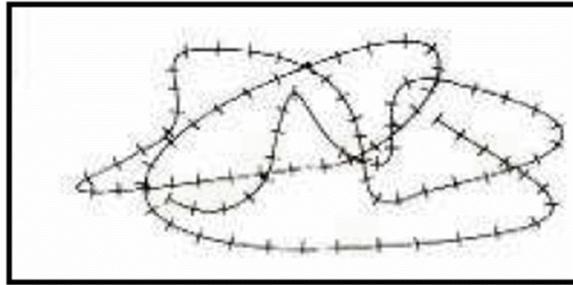


Figure I.1. Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire [06].

I.3.3.2 : Celle des polymères bidimensionnels :

Dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...) ; dans le domaine des polymères synthétiques ce sont encore des curiosités de laboratoire. Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples (figure I.2).

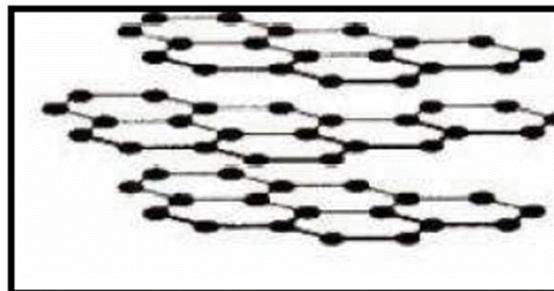


Figure I.2: Représentation schématique d'un polymère Bidimensionnel : le carbone Graphite [04].

I.3.3.3. Les polymères tridimensionnels :

Qui résultent de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux ou encore de la réticulation (formation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique ou chimique, de polymères linéaires. Leur dimension moléculaire peut être

considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule.

Les liaisons se développent dans les trois dimensions et un élément de volume d'un tel système peut être représenté sur la figure (I.3).

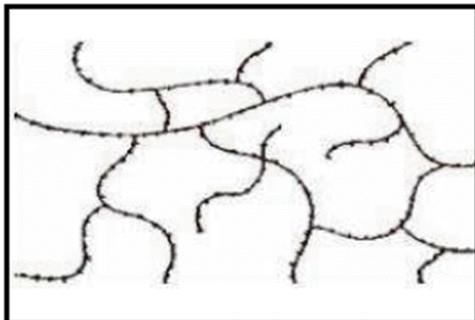


Figure I.3. : Représentation schématique d'un polymère Tridimensionnel [05].

I.3.4 : Selon leurs propriétés thermomécaniques :

La classification des plastiques est fondée sur la distinction entre thermoplastique et thermodurcissable, qui correspond bien aux réalités industrielles puisque les méthodes de mise en œuvre sont différentes. A ces deux familles s'ajoute celle particulière des élastomères.

a) Les Thermoplastiques :

Les thermoplastiques sont constitués de polymères essentiellement linéaires (polyéthylène, polystyrène...). À froid, les macromolécules sont liées entre elles par des liaisons faibles, mais nombreuses, qui se rompent par chauffage (ce qui permet le glissement des macromolécules les unes sur les autres et entraîne la fusion) et peuvent se rétablir par refroidissement. Ces plastiques et leurs déchets peuvent donc être recyclés à plusieurs reprises; cependant, leurs propriétés se dégradent à chaque fusion, car celle-ci entraîne la rupture de certaines liaisons des molécules.

b) Les thermodurcissables :

Les résines thermodurcissables sont des matières plastiques qui, au cours de leur mise en œuvre, subissent une transformation irréversible: d'un état généralement liquide ou pâteux, elles passent, par un traitement approprié (action de chaleur, ou d'un agent chimique durcisseur) à un état solide permanent. Ce traitement s'appelle polymérisation ou réticulation (durcissement).

Dans le cas des thermodurcissables, les chaînes de départ sont beaucoup plus courtes et plus réactives. Ces chaînes courtes vont se lier ensemble chimiquement (réaction

chimique). Ceci est déjà une grande différence avec les TP où il n'y a pas de réaction chimique.

Cette réaction chimique (appelée *réticulation* ou *cuisson*) conduit à des liens chimiques rigides et met en jeu toutes les molécules présentes pour former un réseau tridimensionnel.

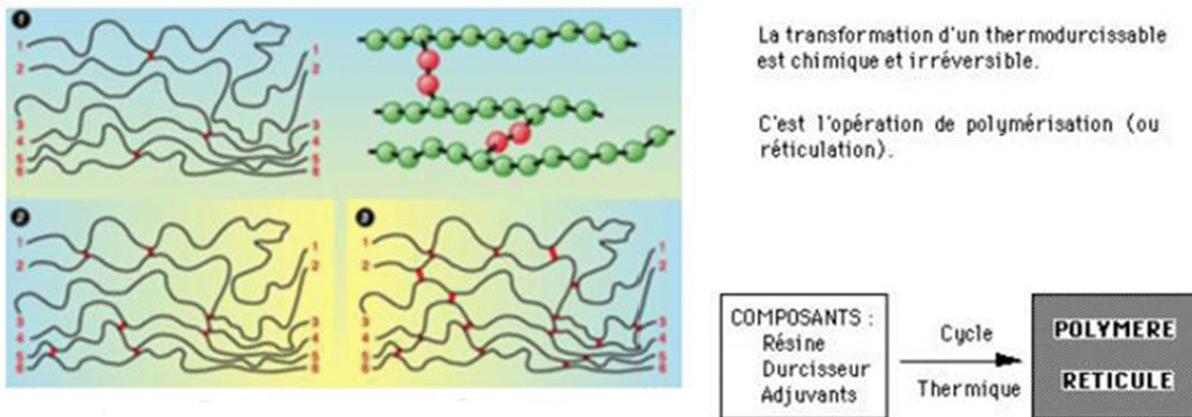


Figure I.4 : Réticulation des polymères thermodurcissable

c) Les Elastomères ou caoutchouc :

Un caoutchouc est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes au repos. Sous l'action d'une contrainte externe, les chaînes peuvent glisser les unes par rapport aux autres : le matériau présente des caractéristiques élastiques aux petites déformations. Pour pouvoir déployer complètement ses chaînes, sans les faire glisser ni supprimer leur flexibilité, le caoutchouc doit être vulcanisé.

d) Vulcanisation :

Une des propriétés recherchées dans les élastomères est une structure moléculaire légèrement réticulée. Le procédé de réticulation des élastomères porte le nom de **vulcanisation** et résulte d'une réaction chimique irréversible s'effectuant généralement à haute température. Dans la plupart des réactions de vulcanisation, on ajoute des composés de soufre à l'élastomère chauffé. Les chaînes d'atome de soufre se lient alors aux chaînes structurales adjacentes de polymère et établissent une réticulation. Le site de réticulation des chaînes principales sont des atomes de carbone dont les liaisons étaient doubles avant la vulcanisation et sont devenues simples après celle-ci.

I.4. Transformation des polymères :

I.4.1. Thermoplastiques

Sont transformées couramment par les procédés suivants :

- injection, injection-soufflage
- extrusion
- calandrage
- thermoformage

I.4.2. Thermodurcissables

Les principaux procédés de transformation des thermodurcissables sont les suivants :

- compression
- pultrusion
- stratification
- chaudronnerie

I.5. Quelques techniques de transformation des polymères

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 par moulage, l'injection soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le calandrage, le roto moulage [7]

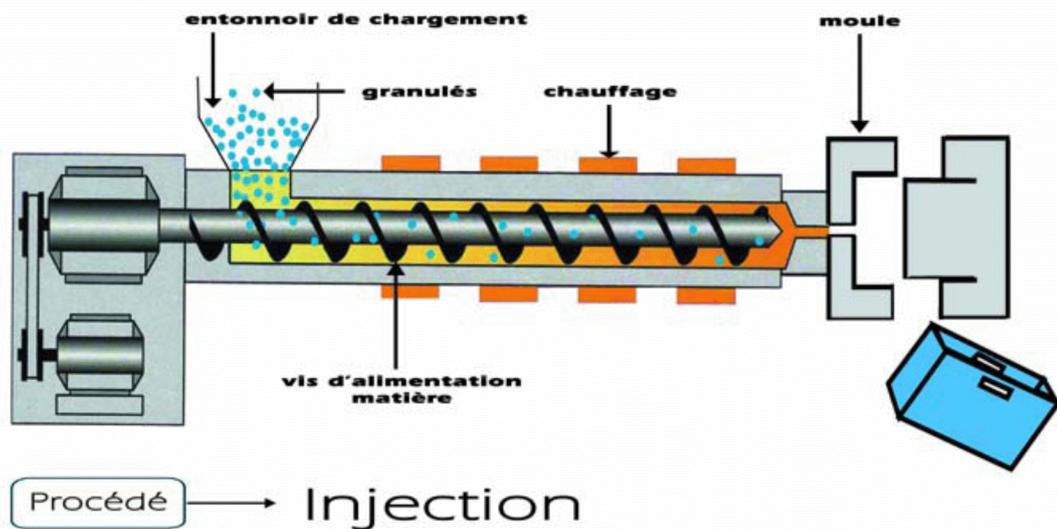
I.5.1. Injection

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.

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.

Figure I.5 : Présentation de la presse à injection. [14].

I.5.2. Injection soufflage [09].

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.

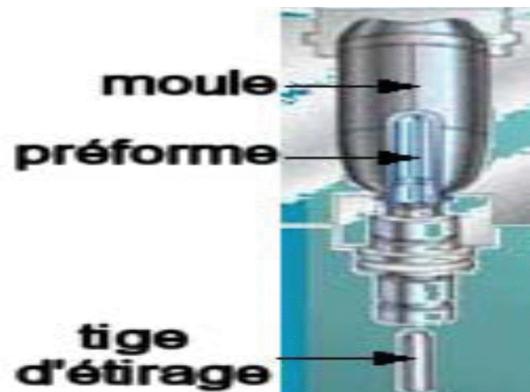


Figure I.6 : principe de soufflage

I.5.3 : 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 obtenir 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.

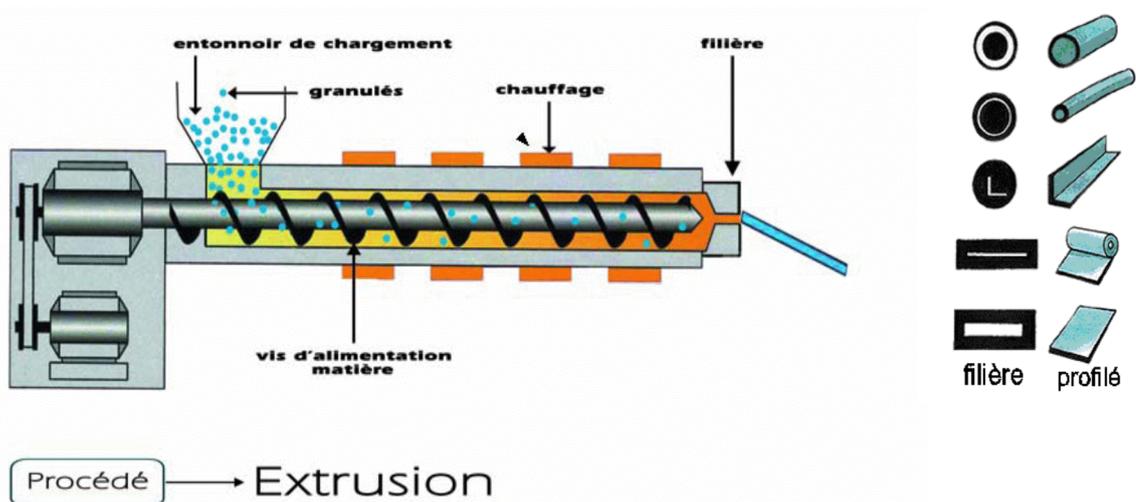


Figure I.7 : Procédé d'extrusion. [10].

C'est une sorte de machine chichis qui permet d'obtenir des produits semi finis de forme diverses on fabrique avec cette technique de transformation des produits de grande longueurs comme des profiles pour les portes et les fenêtres des canalisations, des câbles des fibres optique des tube des plaque et des feuilles plastique

Le tube ou le profiles sort en continu il est refroidi pour être ensuite coupe a la longueur voulue en additionnant plusieurs couches de matières on peut réaliser des produits ayant des propriétés combinées.



Figure I.8: Extrudeuse.

I.5.3.1.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.

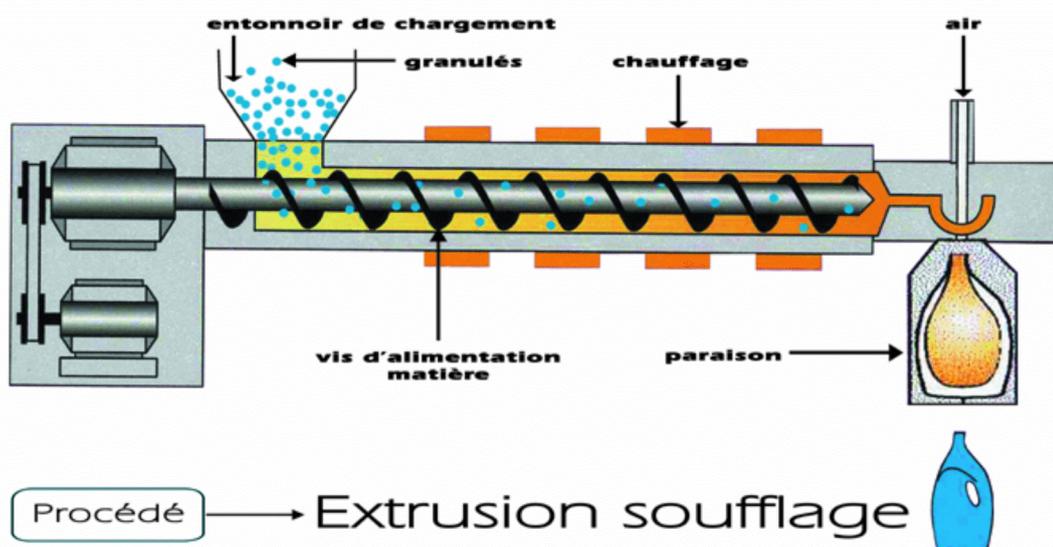


Figure I.9 : procédé d'extrusion soufflage.

I.5.3.2.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.

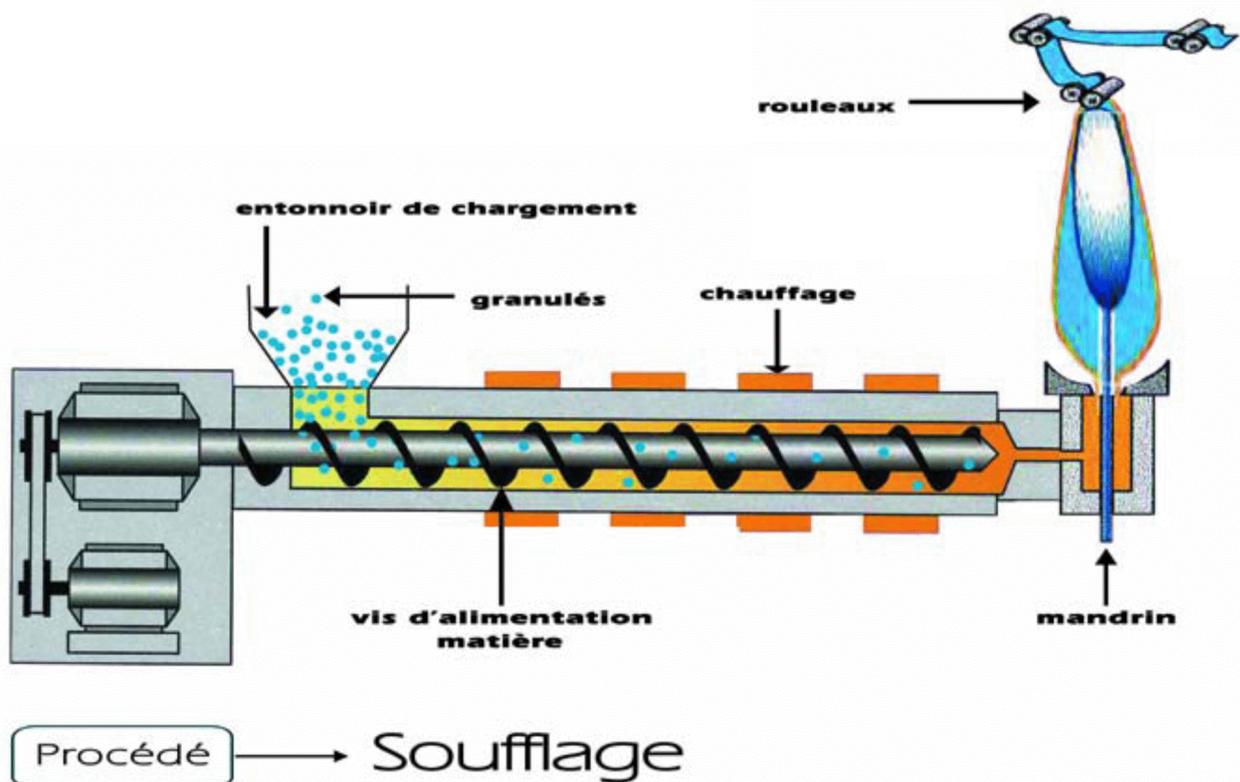


Figure I.10 : procédé d'extrusion gonflage.

I.5.4: 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 comme des pots de yaourts, des cabines de douche, des baignoires, des éléments de carrosserie.

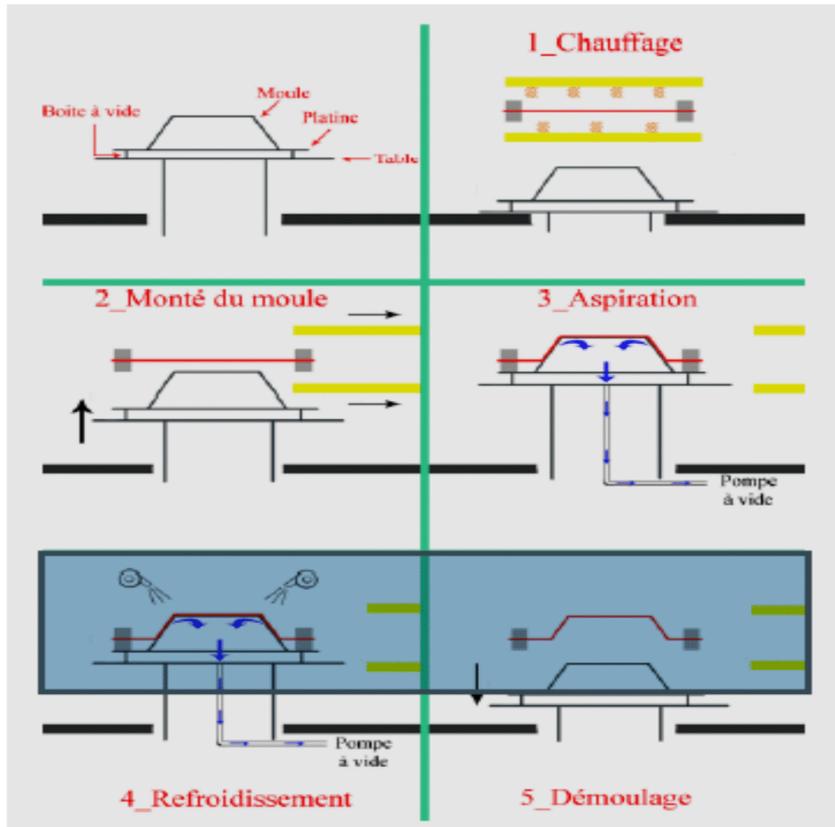


Figure I.11 : Cycle de thermoformage

La technique de thermoformage sous vide consiste essentiellement à resserrer la feuille ou la mousse PE-PP-PO thermoplastique sur un cadre et à la soumettre à la chaleur. Une fois la feuille ou mousse ramollie, le moule placé en dessous s'élève vers la feuille/mousse. L'air résiduel entre le plateau porte-moule et la feuille/mousse chaude est alors évacuée par une pompe à vide et de ce fait attire la mousse/feuille vers le moule. La feuille/mousse adopte ainsi l'empreinte de ce dernier. Une fois la pièce refroidie, le plateau porte-moule se retire et la pièce est moulée.



Figure I.12 : plaque subit un thermoformage.

I.5.4.1. les avantages de thermoformage :

- L'équipement est moins coûteux que celui employé dans la technique d'injection
- Les ajustements de moules et d'outillage sont peu coûteux
- Il est possible de réaliser des pièces de grandes tailles (Selon les machines disponibles)

I.5.5 : 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 revêtements d'ameublement ou de maroquinerie car on peut donner par exemple une texture sur des matériaux synthétiques qui imitent le

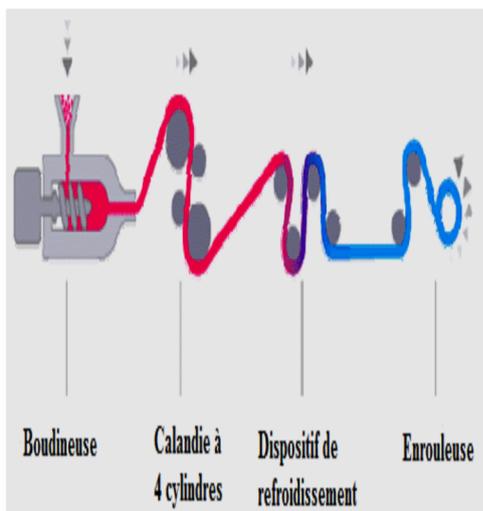


Figure I.13 Schéma représente le principe de calandrage

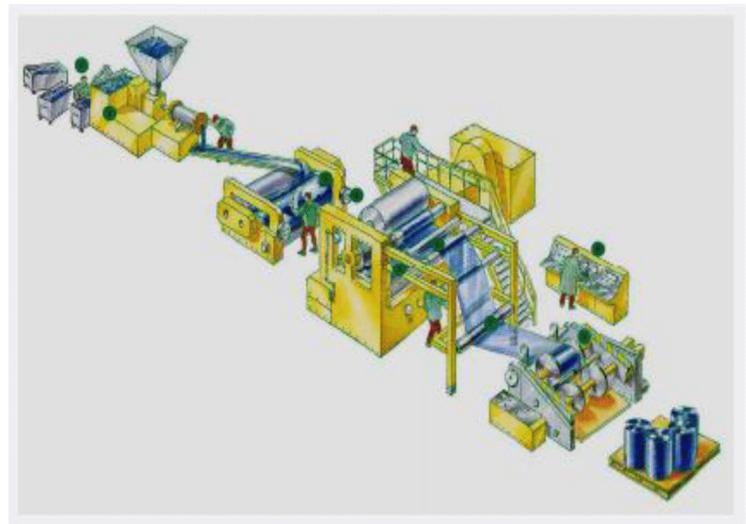


Figure I.14 : Schéma d'une ligne complète de calandrage

I.6. Propriétés générales :

Le principe de formation sous-jacent est très souple et il permet de produire des polymères caractérisés par un large éventail de propriétés et de combinaisons de propriété. Les polymères sous forme d'objets, fibres ou pellicules peuvent être :

- rigides ou souples.
- transparents, translucides ou opaques.
- durs ou mous.
- résistants aux conditions climatiques ou dégradables.
- résistant aux températures élevées ou basses.

De plus, il est possible de les combiner avec des matières de remplissage, de les mélanger avec d'autres produits (par exemple des fibres de verre) pour former des composites ou avec d'autres polymères pour obtenir des mélanges de polymères.

CHAPITRE II

MELANGES DES POLYMERES

II.1 INTRODUCTION :

L'objectif de cette partie est de faire un résumé général des connaissances concernant les mélanges de polymères. Pour cela, les problèmes de miscibilités sont d'abord évoqués par l'étude de la thermodynamique des mélanges, Ensuite, une partie développant les mélanges incompatibles et leurs voies de comptabilisation est présentée. Enfin, une troisième partie est consacrée à mettre en évidence l'importance de la morphologie et à souligner les facteurs régissant l'établissement de celle-ci lors de l'élaboration du mélange.

DEFINITION :

Dans le contexte de cette étude il convient de clarifier la terminologie utilisée dans le domaine des mélange de polymères. la nomenclature adoptée ;montre l'interdépendance figure [II.1] des termes courants définis par UTRAKI

II.2. Mélange de polymères:

Mélange de polymères et \ou copolymères, la plupart de temps, chimiquement différents.

Le développement des mélanges de polymère comme nouveaux matériaux et devenu de plus en plus important dans l'industrie. Cependant la plus part des mélanges sont compatibles du fais des tensions d'interface élevées qui génèrent une mauvaise adhésion des phases. [12]

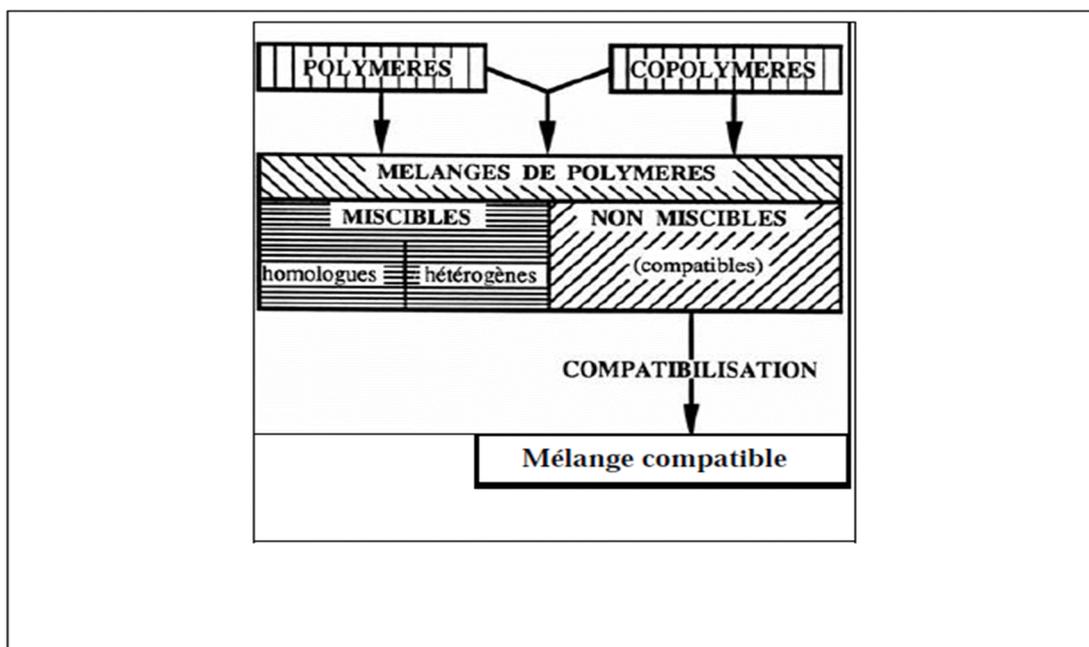


Figure: II.1 : Interdépendance dans la nomenclature des mélanges polymères. [13]

II.2.1. Mélange miscible :

Mélange de polymère se comportant comme un système monophasé à l'échelle moléculaire. Son comportement est celui d'un homopolymère. Ses propriétés varient avec la composition suivant une loi de mélange simple. Les constituants du mélange peuvent être des polymères homologues, généralement avec des distributions en masses molaires étroites, ou bien de nature différente (exemple : polyphénylène éther/polystyrène PPE/PS)

II.2.2. Mélange non miscible :

Mélange mécanique de deux polymères non miscibles, dont les propriétés dépendent de la technique et des paramètres de transformation. Le contrôle de la morphologie est alors délicat et conditionne les propriétés.

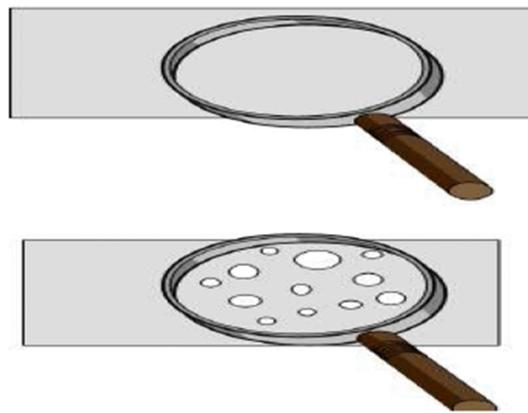


Figure II.2: Mélange homogène une phase polymères miscibles et Mélange hétérogène plusieurs phases polymères immiscibles.

II.2.3. Mélange compatible :

Terme essentiellement utilitaire, qualifiant des alliages intéressants économiquement, homogène à l'œil nu, avec amélioration sensible d'une propriété physique. Il s'agit d'un mélange non miscible avec modification des propriétés interfaciales ou /et de la morphologie. [13].

II.3. Comptabilisation :

Procédé physique ou chimique, modifiant les propriétés interfaciales des mélanges de polymères non miscibles, qui permet d'obtenir une bonne stabilité des phases en

présence (évite la séparation des constituants du mélange). Cette modification conduit aux 'Alliages'.

II.3.1. Objectifs de la comptabilisation :

Par la comptabilisation d'un mélange, les principaux effets recherchés sont :

- Diminution de la tension inter faciale pour faciliter la dispersion.
- Stabilisation de la morphologie afin d'éviter son évolution au cours des étapes de transformations et de mise en œuvre.
- Amélioration de l'adhésion inter faciale entre phase pour favoriser notamment le transfert de contrainte entre les phases et donc améliorer les propriétés mécanique.

II.3.2. Méthodes de comptabilisation :

Les deux méthodes les plus fréquemment utilisées pour la comptabilisation des mélanges de polymères non miscibles sont :

1. La formation *in-situ* d'un copolymère par réaction chimique à l'interface entre les espèces réactives des phases au cours de la préparation du mélange ;
2. L'ajout d'un copolymère préformé, de nature et de structure adaptée, susceptible d'interagir avec chacune des phases en présence. [14]

II.3.3. Comptabilisation réactive *in-situ*

a) Principe

Le principe de cette méthode de comptabilisation est la formation *in-situ* de l'agent comptabilisant à l'interface entre les phases par réaction de couplage entre des chaînes macromoléculaires réactives. Celle-ci peut être réalisée en solution ou par un procédé d'extrusion-réaction (Réactive extrusion : REX). Les espèces réactives peuvent être portées par des polymères ou copolymères greffés. L'amélioration de la compatibilité dans ces mélanges est alors attribuée aux effets émulsifiants associés aux chaînes de nature mixte formées et présentes aux interfaces lors du mélangeage à l'état fondu.

II.4. Utilisation d'un copolymère préformé

II .4.1. Principe

Cette voie de comptabilisation est similaire à l'utilisation des surfactants traditionnels pour la préparation et la stabilisation des émulsions liquide/liquide. Pour jouer son rôle, le copolymère doit venir se positionner à l'interface entre les deux phases afin d'interagir avec les constituants du mélange.

Dans cette voie de comptabilisation, un phénomène important vient intervenir : celui de la diffusion de ce copolymère à l'interface qui est moins aisée et requiert plus de temps que pour une interface liquide/liquide (mobilité dans le fondu plus réduite). Le choix du copolymère comme comptabilisant est basé sur la miscibilité de ses segments, avec au moins un des composants du mélange. Les copolymères sont

considérés comme agents inter faciaux vrais, puisqu'ils tendent à se concentrer et à agir à l'interface comme émulsifiants.

La nature chimique, l'architecture et la composition du copolymère ont une grande influence sur son efficacité.

II.4.2 Influence de la nature du copolymère

Pour les mélanges à comptabilisés, le choix du comptabilisant est basé sur la miscibilité des séquences de ce dernier avec les composants du mélange.

De même, la faible masse molaire des chaînes de cet agent comptabilisant va faciliter leur diffusion dans le milieu fondu (viscosité élevée) et va privilégier leur accessibilité et leur concentration dans les zones d'interaction c'est à dire l'interface entre les deux phases du mélange.

II.4.3.Effet du taux de copolymère comptabilisant

Pour le système PS/ EPR 80/20 comptabilisé par des copolymères du type poly (styrène-b-butadiène), la taille des particules de phase dispersée a tendance à diminuer quand le taux de copolymère ajouté dans le milieu augmente, puis se stabilise ou augmente en fonction de la nature du copolymère .

Théoriquement, quelques pourcents de copolymère suffisent pour comptabiliser un mélange de polymères non miscibles et diminuer fortement la taille moyenne des domaines de phase dispersée. Cependant, cette quantité n'est pas forcément suffisante pour stabiliser le mélange et éviter la coalescence.

Parfois, un excès dans le taux de copolymère est nécessaire puisque les écarts observés entre théorie et expérience résultent du phénomène de diffusion du copolymère à l'interface.

La cinétique de diffusion dépend de la viscosité du milieu mais aussi de la longueur des chaînes de copolymère et su coefficient d'étalement à l'interface (lié aux tensions superficielles des composants du mélange).

Dans le cas contraire, il est possible que des micelles de copolymère se forment dans l'une ou l'autre des phases.

II.4.4.Influence de la masse molaire du copolymère

La concentration de copolymère nécessaire pour atteindre la taille minimale de phase dispersée (morphologie la plus fine) diminue lorsque la masse molaire globale du copolymère augmente, Par contre, cette taille minimale semble indépendante de la longueur du copolymère.

La morphologie du mélange est d'autant plus stable que la masse molaire du copolymère est élevée, à taux de comptabilisant dans le milieu égal. Ces constatations peuvent s'expliquer par le meilleur inter diffusion des longs segments dans chacune des phases formant ainsi des enchevêtrements.

Les blocs doivent donc être d'une masse molaire supérieure ou égale à la masse molaire critique entre enchevêtrements, pour que le copolymère soit efficace pour la comptabilisation.

En revanche, plus la masse molaire du copolymère est élevée, plus la concentration à partir de laquelle des micelles peuvent se former diminue.

De plus, plus les copolymères sont de masses molaires élevées, plus leur cinétique de diffusion vers l'interface est lente.

Il faut donc choisir le copolymère, en prenant en compte sa microstructure (architecture, composition) et sa masse molaire ainsi que des caractéristiques intrinsèques des polymères considérés en mélange.

II.5.Comparaison des deux méthodes de comptabilisation :

Les avantages et les inconvénients des deux méthodes de comptabilisation les plus rencontrés sont résumés dans le tableau 1

Méthodes	Ajout d'un copolymère préformé	Comptabilisation réactif
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du taux ajoute dans le milieu. - Maitrise de la structure du copolymère. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation du copolymère a l'interface. - Nombreuses structures possibles. - Une seule étape de mise en œuvre.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion du copolymère vers l'interface. - Formation de micelles (dispersion de ce liquide) de copolymère. -Préparation du copolymère 	<ul style="list-style-type: none"> - Diffusion des espèces réactives vers l'interface. - Taux de réactions faibles. - Présences d'excès de réactifs.

Tableau II.1 : Comparaison des deux méthodes de comptabilisation [15]

II.6 : Morphologie des mélanges de polymères :

La morphologie des mélanges de polymères dépend de la répartition des phases, de leurs tailles, ou encore de leurs aspects. Il faut noter que cette dernière évolue continûment en fonction des proportions du mélange. Dans le cas des mélanges immiscibles après mise en œuvre à l'état fondu, trois types de morphologies peuvent être distinguées :

- Les morphologies à phases dispersées où les domaines de matériaux sont distribués de manière quelconque et sous des formes divers (nodules, fibrilles) (Figure II.3 (a)).
- Les morphologies à phases stratifiées lamellaires où les deux domaines de matériaux sont organisés de manière continue dans deux dimensions (Figure II.3(b)).
- Les morphologies à phases Co-continues où les deux domaines de matériaux sont distribués de manière continue et s'interpénètrent (Figure II.3(c)).

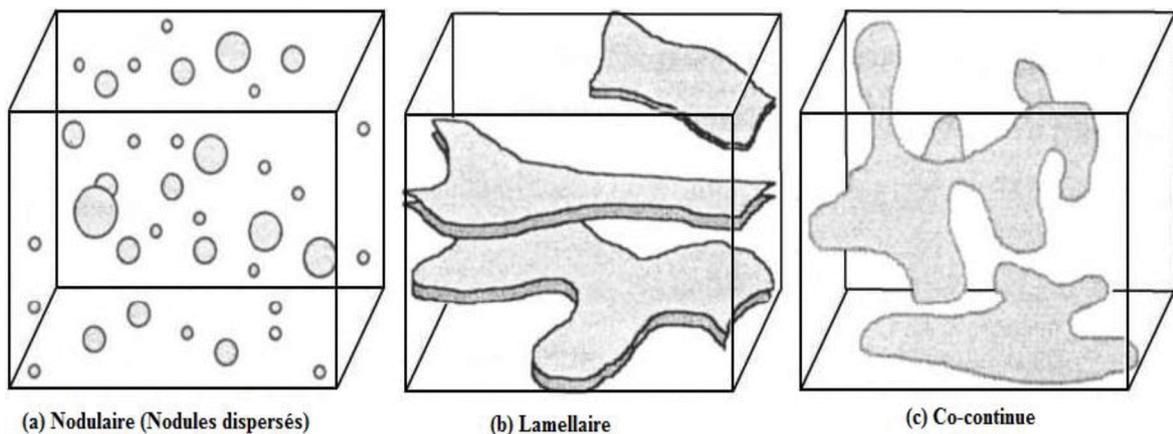


Figure II.3 : Principaux types de morphologie d'un mélange non miscible [16]

La morphologie des systèmes non miscibles dépend de :

- Paramètres d'interaction entre le polymère (A) et le polymère (B).
- La technique de mélangeage.
- La température de mélangeage.
- Le rapport des viscosités des phases à mélangés η_A/η_B .
- La présence éventuelle d'agents comptabilisant. [17]

II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons mis en évidence l'importance des mélanges polymérique qui peuvent être constitué d'éléments miscibles ou immiscible, dans ce dernier cas nous aurons besoin d'agent comptabilisant pour améliorer l'adhérence des phases.

CHAPITRE III

APPLICATION AU RECYCLAGE DES DECHETS

III. Introduction:

Bien entendu, l'intérêt porté à la valorisation des matières plastiques peut être lié à la diminution des ressources mondiales en matières premières et à la législation concernant la protection de la nature et la préservation de la qualité de l'environnement.

Certaines mesures réglementaires sont actuellement prises pour encourager le recyclage en vue de conserver les ressources naturelles pour la génération future dans des perspectives de développement durable. D'où la nécessité de trouver des techniques non polluantes de recyclage de ces matériaux polymères. Dans cette partie, on se propose de faire un résumé des enjeux concernant la valorisation des déchets de ce type, ainsi que les solutions rapportées pour sa réalisation pratique.

III.1 : Le recyclage:

Le recyclage de matière plastique s'agit de la refusions et de la transformation de déchets de matières plastiques en nouveaux produits. Le plastique utilisé est d'abord trié, nettoyé et lavé puis extrudé pour donner des granulés. Parfois, il ne faut pas extruder la matière, mais uniquement la lacérer ou la broyer. Les granulés servent de matière première secondaire pour la production de nouveaux produits plastiques.

Ces nouvelles matières connaissent des applications très nombreuses et très diverses. Un grand nombre de matériaux traditionnels comme le bois, les métaux, la faïence, le verre et les fibres naturelles ont été remplacés aujourd'hui par les plastiques. En outre, une longue série de fonctions nouvelles ne peuvent être remplies aujourd'hui que par les plastiques.

Dont le recyclage de la matière n'est réalisable économiquement et écologiquement parlant que si des quantités suffisantes de déchets homogènes, séparés et triés sont présentes pour donner une seconde vie à une bouteille de PET, un châssis de fenêtre, un emballage de polystyrène expansé, un tuyau et un réservoir à essence...etc. ; par réutilisation, recyclage ou récupération d'énergie.

III.2 : SOURCES DES DECHETS PLASTIQUES :

Il existe deux principales sources de déchets plastiques :

- Les déchets issus des sous produits industriels. Faciles à collecter car les stocks sont homogènes, non pollués et facilement identifiables, ces déchets sont généralement directement recyclés par le producteur.
- Les déchets de post-consommation ils sont principalement collectés dans les ordures ménagères. Ces matériaux sont généralement pollués, mélangés et

incompatibles entre eux, ce qui rend difficile leur simple mélange ou compactage pour en faire de nouveaux produits.

III.3 : Différents types de déchets :

Pour définir des classes de déchet et leurs modalités de prise en charge, on répartit les déchets en trois grandes catégories que sont les déchets inertes, les déchets spéciaux et les déchets banals. [21]

III.3.1 : Déchets inertes

Les déchets inertes sont des déchets n'ayant pas d'action sur le milieu ambiant et non susceptibles d'évolution physico-chimique ou biologique importante au cours de temps. En particulier, ils ne se décomposent pas, ne sont pas biodégradable et ne brûlent pas. [21]

III.3.2 : Déchets spéciaux

Les déchets spéciaux (DIS) sont des déchets dangereux. Leur nature nécessite des protections particulières vis-à-vis de l'environnement lors de leur collecte, de leur traitement et de leur éventuel stockage. Le texte du 15 juillet 1975 précise que : --les déchets industriels spéciaux ne peuvent être déposés dans des installations de stockage recevant d'autres déchets » [21]

Les déchets de matériaux polymères en tant que tels ne présentent, sauf cas particuliers, aucun caractère dangereux pour le monde vivant et ne seront donc que très rarement classés dans les déchets spéciaux. [21]

III.3.3: Déchets banal (déchets ménagers et assimilés)

Les déchets banals sont des déchets non inertes et non dangereux. On les retrouvera donc principalement dans les ordures ménagères mais aussi dans les déchets des entreprises. En général, les déchets plastiques se retrouveront dans cette catégorie. L'emploi des matières plastiques dans la vie courante, et principalement sous forme d'emballages dont la durée de vie est généralement très courte, conduit à retrouver une large part des plastiques dans les ordures.

III.4 : Différentes méthodes de valorisation du déchet plastiques :

Il existe de nombreuses méthodes pour traiter les déchets de plastique. Ce fait est quelquefois présenté comme une chance pour ces matériaux, mais en réalité, toutes les méthodes ne sont pas équivalentes de point de vue de leur impact sur l'environnement. En dehors de la mise en décharge, polluante et de plus en plus réglementée, trois voies principales de valorisation des déchets plastiques sont possibles :

III.4.1 : Valorisation énergétique :

Il s'agit du traitement des déchets plastiques par incinération (combustion totale), avec ou sans récupération d'énergie. Les déchets plastiques constituent un apport calorifique non négligeable qui peut être valorisé par récupération de la chaleur produite utilisable directement pour le chauffage ou sous forme d'énergie électrique. Pratiquement tous les plastiques peuvent être incinérés. Cependant, la dégradation de certains matériaux peut dégager des composés toxiques (acide chlorhydrique dans le cas du polychlorure de vinyle, acide nitrique pour le polyamide, acide sulfurique pour certains caoutchoucs...).

III.4.2.Valorisation mécanique :

Le principe de ce type de valorisation des déchets est plus ou moins complexe et est envisagé depuis de nombreuses années. Il regroupe l'ensemble des méthodes de valorisation des déchets plastiques dans lesquelles les matériaux sont réutilisés tels quels ou après modification chimique.

Il apparaît de loin comme la meilleure solution pour le traitement des déchets solides puisque toutes les méthodes citées auparavant sont de nature destructive. Un certain nombre d'opérations doit être prévu avant le recyclage mécanique ; il s'agit de la collecte, du tri, de la ségrégation des plastiques, du déchiquetage, du lavage, du séchage et de la granulation.

III.4.2.1.La collecte :

La collecte constitue une contrainte majeure, ce qui impose une organisation efficace afin de diminuer le coût de transport, qui une fois maîtrisé réduira considérablement le problème de la récupération.

Les déchets en phase post-consommation sont généralement mélangés et pollués lors qu'on les récupère dans le flux des déchets municipaux. C'est pour cette raison que des efforts ont été faits pour encourager les consommateurs à séparer les types de déchets en matières plastiques, au moins ceux qui sont faciles à identifier. Il peut s'agir par exemple de bouteilles ou de sacs de supermarché.

Il existe plusieurs types de collecte :

-La collecte globale :

C'est une collecte multi matériaux où la phase organique des ordures ménagères est mélangée avec l'ensemble des autres déchets.

-La collecte sélective :

Elle a pour objectif de sélectionner, au départ des ménages, un ou plusieurs types de matériaux afin de faciliter leur valorisation ou leur élimination ultérieure.

-La collecte spécifique : exemple : bouteilles PET transparentes.

III.4.2.2. Le tri :

La récupération des matières plastiques dans les déchets municipaux mélangés, demande actuellement beaucoup de main-d'œuvre et il faudra se concentrer sur la mise au point de systèmes automatisés économiques. La capacité à séparer les matières plastiques pour un coût raisonnable est un facteur clef dans le développement éventuel d'une technologie de recyclage.

Il s'agit de séparer la fraction plastique des autres fractions à savoir : les papiers, les textiles, les métaux et les verres et de séparer ensuite les différents types de matières plastiques.

Il s'effectue généralement en plusieurs étapes :

- Le tri généralement manuel sur un tapis convoyeur.
- Le broyage grossier d'abord, puis fin des matières plastiques.
- Le lavage.
- Le tri automatique des constituants qui met à profit les différences de propriétés physiques caractérisant les composants des déchets : la taille, la densité, la susceptibilité magnétique, la conductivité électrique, la couleur, etc.
- La séparation par voie chimique peut également parfois permettre d'extraire préférentiellement un polymère du mélange de déchets par dissolution et précipitation différentielle.

Cette technique de recyclage semble aisée, mais elle se heurte à de nombreux problèmes.

- En effet, les méthodes de séparation et de tri des matières plastiques sont onéreuses et ne se justifient que pour des produits d'un coût élevé.

III.4.3. Valorisation chimique :

Cette valorisation vise à décomposer les molécules constituantes des déchets plastiques en matières premières (monomères, oligomères ou combustibles) réutilisables dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie. On distingue:

III.4.3.1 : Thermolyse :

La thermolyse s'applique aux polymères synthétisés par polymérisation en chaîne. Comme exemples de thermolyse on peut citer :

- **La pyrolyse** : C'est la décomposition des molécules par chauffage sous vide. Ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.
- **L'hydrogénation** : C'est le traitement par l'hydrogène et la chaleur des macromolécules qui sont craquées en huiles hydrocarbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques.
- **La gazéification** : Les plastiques sont chauffés en présence d'air ou d'oxygène. Le gaz de synthèse résultant est constitué de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui peut être utilisé dans la production de méthanol, d'ammoniac ou comme agent réducteur dans la production d'acier.

III.4.3.2 : Ajout de réactifs chimiques :

Cette méthode s'applique aux polymères synthétisés par polymérisation par étapes. Le réactif peut être :

Le solvant : on parle alors de solvololyse : hydrolyse (eau), l'alcoolyse, etc. Les applications de cette voie de recyclage, attrayante dans son principe, sont jusqu'à présent limitées, à des polymères comme le polyamide (PA), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le et le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), du fait de problèmes pratiques et de rentabilité. Ce principe de recyclage n'en est encore qu'à un stade pilote.

III. 5 : Les matières recyclées :

Actuellement, il existe plus de 700 types de plastiques aux noms que les chimistes sont les seuls à pouvoir encore prononcer correctement, tel que le Polystyrène, polymères acryliques, chlorure de polyvinyle, polyéthylène, polyuréthane, polyesters, silicones, résines époxy, polycarbonates, Polyéthylène téréphtalate, polypropylène, etc.

Dans l'usage quotidien, la plupart de ces matières reçoivent le nom de 'plastique'. Or, ces matières possèdent des propriétés très diverses: certaines sont à l'épreuve des hautes pressions ou des températures extrêmes, d'autres forment une barrière contre la lumière, les acides, l'humidité ou les odeurs. Les mêmes plastiques de base peuvent aussi adopter des caractéristiques très diverses grâce à l'adjonction d'additifs.

C'est ainsi que l'on connaît des matières plastiques qui sont très résistantes, élastiques ou insensibles à la chaleur. D'autres sont précisément souples, ont l'aspect de la mousse, sont transparentes ou permettent la fabrication de fibres.



Figure III.1 : La différente matière plastique a recyclées :

Certaines sont très quotidiennes, d'autres, par contre, sont véritablement 'high-tech'. Les emballages représentent, et de loin, la majeure partie des utilisations.

D'autres applications des plastiques se retrouvent notamment dans les vêtements, les automobiles, les bicyclettes, les appareils ménagers, le bâtiment, les revêtements de sol, les jouets, les téléphones mobiles, les ordinateurs et les accessoires médicaux: les utilisations du plastique s'étendent littéralement des sachets à tartines aux voiliers.

III.5.1 : Application de matières plastiques avant et après recyclage mécanique :

	Applications primaires des plastiques	Applications secondaires après recyclage mécanique
	PEHD: Polyéthylène haute densité Applications à parois épaisses rigides telles que bouteilles, flacons, seaux, bouchons, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses à claire-voie.	Sacs à usage industriel, Conteneurs de déchets, flacons pour produits de nettoyage, couvercles, fûts, palettes, seaux, plaques, caisses à claire-voie, emballages et produits de remplacement du bois
	PEBD: polyéthylène basse densité Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et l'horticulture, films extensibles, jouets, revêtements, tuyaux d'irrigation, sacs pour fruits et légumes, sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires.	Sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires, films pour l'agriculture, films pour la construction, palettes, tuyaux
	PETP : Polyéthylène téréphtalate Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour l'industrie alimentaire, vêtements.	Bourre pour anoraks, coussins et sacs de couchage, corde, tapis, bouteilles, films, bandes d'emballage
	PP: polypropylène Pots à yaourt, barquettes pour margarine, caisses à claire-voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de bouteilles/flacons	Caisse à claire-voie, palettes, emballages pour des liquides techniques comme pots de peinture, pièces pour automobiles, châssis cachés, pièces pour du matériel électrique, batteries pour automobiles, caisses à outils, mobilier de jardin, textile, bacs à fleurs.

Tableau III.1 : Application de la matière plastique après recyclage

III.6 : Avantages et inconvénients du recyclage :

III.7.1. Avantages

- Le recyclage évite la mise en décharge ou l'incinération qui sont des modes de gestion des déchets favorisant la pollution des sols et de l'air. Le recyclage est plus économique que l'incinération.
- Utiliser un déchet comme ressource, c'est aussi préserver les matières premières naturelles. Et cela peut être plus économique.

III.7.2. Inconvénients

- Pour le recyclage soit le plus écologique possible, il est nécessaire que les filières de valorisation soient assez proches du lieu de production de déchets, afin de réduire le transport des déchets et donc la pollution induite. Pour bien faire, il faudrait donc des usines de recyclage bien réparties sur les différents territoires, ce qui n'est toujours le cas.
- D'un point de vue économique, il est important que le tri Préalable des habitants soit le plus correct possible.

III.8 : Conclusion :

Le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP) sont deux polymères dont la consommation est très importante en Algérie. De ce fait, ils font partie des composants majoritaires des déchets plastiques et pourrions être retenus comme matériaux 'type' pour développer des méthodes de recyclage conduisant à des produits d'intérêt économique.

Alors que l'intérêt des mélanges de polymères thermoplastiques est clairement établi pour leur « première vie », on constate que le recyclage commence la plupart du temps par des tris, dont l'objectif est généralement de récupérer un polymère avec le moins d'impuretés possible.

La résine récupérée est alors souvent diluée dans de la matière vierge, ce qui permet de diluer les impuretés et aussi de limiter les éventuels problèmes qui pourraient se poser avec une matière recyclée ayant vieilli (risques de coupures, d'oxydations des chaînes...).

Il est vrai qu'ils s'appliquent généralement à des binaires simples, qui ne correspondent pas parfaitement au recyclage, dans lequel les mélanges sont complexes et, outre les polymères, contiennent généralement de nombreux additifs (Plastifiants, etc.). Une meilleure utilisation des connaissances scientifiques, associée à la prise en compte des réalités industrielles (vieillesse des chaînes, présence de polluants...) devrait permettre d'élargir fortement les applications des produits recyclés. Finalement, le recyclage a plutôt un intérêt économique à une production industrielle.

PARTIE II

EXPRIMENTALE

CHAPITRE I

ELABORATION DU MELANGE

I-1 Introduction :

Notre travail comporte plusieurs étapes, la première consiste en l'élaboration des mélanges (PP/PA non compatibilisé et PP/PA compatibilisé avec un élastomère qui est le SBR à des taux variant par pas de 20%) pour la réalisation des éprouvettes.

Les mélanges seront de deux natures, les premiers mélanges élaborés avec des matières vierges (PP/PA et PP/PA+SBR) directement livrées du fournisseur (ces mélanges seront appelés mélanges non recyclés). En vue de notre initiation au recyclage, nous allons récupérer les éprouvettes des premiers mélanges (après les avoir laissés sous exposition aux conditions atmosphériques pendant quelque temps) à partir de cette matière récupérée nous allons élaborer le deuxième mélange qu'on appellera mélange recyclé.

Nous allons récupérer les éprouvettes du premier mélange recyclé (après les avoir laissés la deuxième fois sous exposition aux conditions atmosphériques pendant quelque temps) à partir de cette matière récupérée nous allons élaborer le deuxième mélange recyclé qu'on appellera mélange de deuxième recyclage.

La deuxième étape du travail est la caractérisation de ces deux sortes de mélanges, une caractérisation mécanique (essais de traction, essais de micro dureté et essais de résilience), caractérisation physique chimique (observation microscopie électronique à balayage le MEB).

Ce travail a été réalisé à l'Entreprise Nationale de Plastique et de Caoutchouc (SISCOPLAST) de Draa EL Mizan, filiale SONATRACH.

I-2 Préparation des mélanges :

Deux thermoplastiques qui sont distincts ont été employés dans cette étude. Un polypropylène (PP) y101, un Polyamide (PA) P6.6 et un élastomère qui est le Styène Butadiène Rubber (SBR) 1502.

I.2.1. Polypropylène (PP) :

Les polypropylènes sont des thermoplastiques semi cristallins obtenus par la polymérisation du propylène.

Ils existent sous trois formes suivantes qui dépendent du mode d'organisation des groupes méthyles par rapport au plan contenant de la chaîne carboné principale :

➤ polypropylène iso tactique

Les groupes méthyles sont repartis de même cote de la chaîne moléculaire

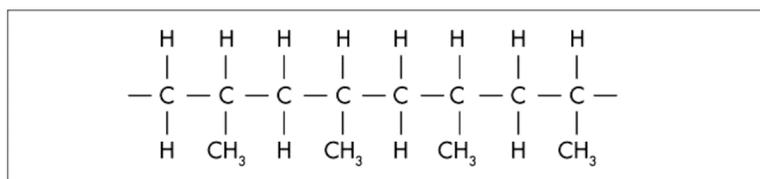


Figure I.1 : Polypropylène isotactique

➤ **Polypropylène syndio tactique :**

Les groupes méthyles sont disposés alternativement de part et d'autre de la chaîne moléculaire.

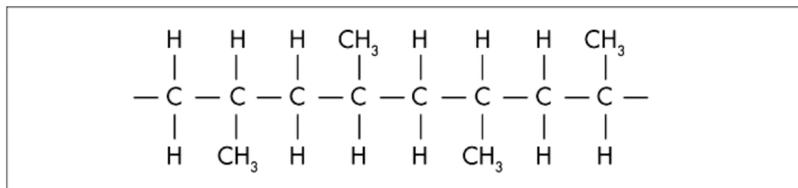


Figure I.2: Polypropylène syndiotactique

➤ **Polypropylène atactique :**

Dans ce cas, la répartition des groupes méthyles est aléatoire

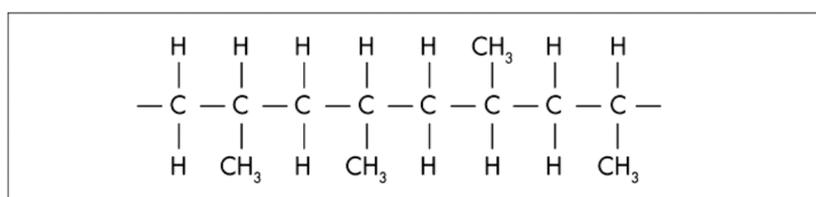


Figure I.3 : Polypropylène atactique

Les polypropylènes varient par leurs modes d'élaboration qui conduit à son tour à une grande variation dans les propriétés mécaniques et physiques de ces polymères.

polymère	Fournisseur	Référence	MFI (g/10mn) ASTM D1238	Densité(g/cm ³) ASTM D 792-A
PP	Sumitomo	Y101	15	0.900

Tableau. I.1. Caractéristiques de polymère utilisé.

I.2.2. Polyamide (PA) :

Le Polyamide (PA) est un polymère thermoplastique semi-cristallin ou amorphe dont la formule chimique contient de façon régulière la fonction amide $-(\text{CO}-\text{NH})$ dans la chaîne carbonée. Il est plus particulièrement connu sous un autre nom, le Nylon.

I-2-2-1 Classification des polyamides :

Selon la composition de leur chaîne squelettique, les polyamides sont classés en aliphatiques, semi-aromatiques et aromatiques (polyphthalamides quand la proportion des diacides aromatiques est au moins égale à 50 % des diacides totaux). Selon le type d'unités répétitives, les polyamides peuvent être des homopolymères ou des copolymères :

a) Homopolymères : on trouve :

- PA 6-6 : Polyhexaméthylèneadipamide : fabriqué à partir de l'hexaméthylènediamine et de l'acide adipique.

- PA 6 : Polycaprolactame.
- PA 6-10 : Polyhexaméthylènesébaçamide.
- PA 12 : Polylauroamide.
- PA 11 : Polyundécanamide.
- PA 4-6 Polytétraméthylèneadipamide.
- PA 6-12 : Polyhexaméthylènedodécanediamide.

b) Copolymères : on trouve :

- PA 6/6-6 : $[NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO]_n-[NH-(CH_2)_5-CO]_m$ fabriqué à partir de caprolactame, d'hexaméthylène diamine et d'acide adipique

On classe aussi les polyamides selon leur cristallinité, les polyamides peuvent être :

- **semi-cristallins :**
 - à grande cristallinité : PA4-6 et PA 6-6.
 - à faible cristallinité
- **amorphes :** PA 6-I.

Selon cette classification, le PA6-6, par exemple, est un homopolyamide aliphatique semi-cristallin.

Un seul groupement amide $-(CO-NH)-$ qui se répète; ainsi avec 6 carbones, on a le PA6. On aura de même le PA11 ou le PA12.

Deux groupements qui sont présents dans la répétition (PA6, 6, PA4, 6, PA 6-10 ou 6-12)

Il y a des copolymères (ex: PA6-66) où les proportions du mélange conditionnent les caractéristiques mécaniques.

I-2-2 .2 : Les caractéristiques générales des polyamides sont :

- Haute résistance mécanique, rigidité
- Une résistance à la fatigue et à l'usure
- Un faible coefficient de frottement
- Un bon comportement à la chaleur et au froid ainsi qu'à bon nombre de produits chimiques.
- Une sensibilité et gonflement à l'eau

polymère	fournisseur	Référence	MFI (g/10mn) ASTM D1238	Densité(kg/m ³) ASTM D792-A
PA	RADICI	PA6.6	8 à 12	1140

Tableau. I.2. Caractéristiques de polymère utilisé (PA).

I-2-2.3 : Domaines d'applications :

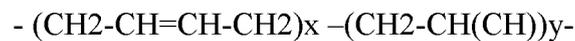
- Pièces soumise à des efforts mécaniques et à de fortes températures d'utilisation
- pignons roues dentées
- Mécanique générale
- Equipements chirurgicaux



Figure I.4 : Conceptions mécaniques et applications textiles du PA 66

I.2.3 : styrène butadiène (SBR) :

Le copolymère statistique de butadiène et de styrène (SBR : styrène-butadiène rubber) dont la formule chimique est :



Avec x allant de 80 à 60 % et y de 16 à 40%

Il existe des SBR froids (température de polymérisation 5°C), des SBR chauds (température de polymérisation 50°C), des SBR étendus à l'huile (par addition d'huile naphénique ou aromatique).

Le bloc de SBR 1502 (polymérisée à froid) utilisé, est coupé en petits morceaux à l'aide d'un ciseau afin d'améliorer l'homogénéisation de nos mélanges, comme le montre la figure I.5 ci-après.



Figure I.5 : Le SBR coupé

I.3. Elaboration des mélanges :

Ce travail a été réalisé au groupe de l'Entreprise Nationale de Plastique et de Caoutchouc (ENPC), filiale de SISCOPLAST de Draa EL Mizan. L'objectif est de réaliser des éprouvettes en plastiques en différents pourcentages en masses (pourcentages variant de 20%) des polymères présentés ci-dessus.

Nous présenterons ci-dessous les différentes étapes suivies pour la réalisation de ces mélanges :

1^{ère} Étape :

Les granulés du PP et PA6.6 sont préalablement séchés, au moins 12h à 50°C dans l'étuve, puis ils subissent un pré-mélangeage mécanique de sorte à avoir un mélange le plus homogène possible. Les mélanges sont d'abord réalisés à l'aide d'un mélangeur électrique (Figure I.6), qui sert à faire disperser les grains des deux polymères entre eux, afin d'obtenir une répartition régulière.



Figure I.6 : Mélangeur électrique

2^{ème} Étape :

Théoriquement les mélanges passeront dans une extrudeuse (mélange à chaud) mono vis de type NEBEL NEGRI LUINO, (Figure I.7) à 300°C de façon à assurer l'homogénéisation des deux polymères à l'état fondu, et cela par le passage à l'état liquide des deux éléments du mélange à des températures variantes selon la position du mélange à l'intérieure de l'extrudeuse (300 °C et 190°C.).

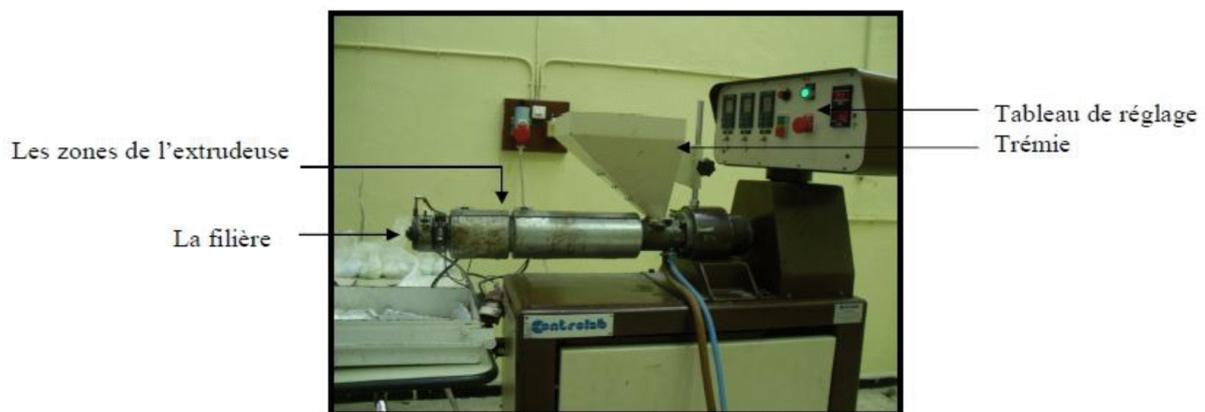


Figure I.7 : Extrudeuse mono-vis NEBEL NEGRI LUINO

La Figure I.7 Schématise le procédé de l'extrusion. Le mélange qui sort de l'extrudeuse sous forme de pâte et directement refroidi dans un bassin à eau, où le polymère se transforme en tiges qui seront découpés à l'aide d'un sécateur.

3^{ème} Étape :

Afin d'assurer une bonne homogénéisation du mélange, les tiges obtenues seront découpées à l'aide d'une découpeuse puis broyées à l'intérieur d'un broyeur comme le montre la figure suivante.

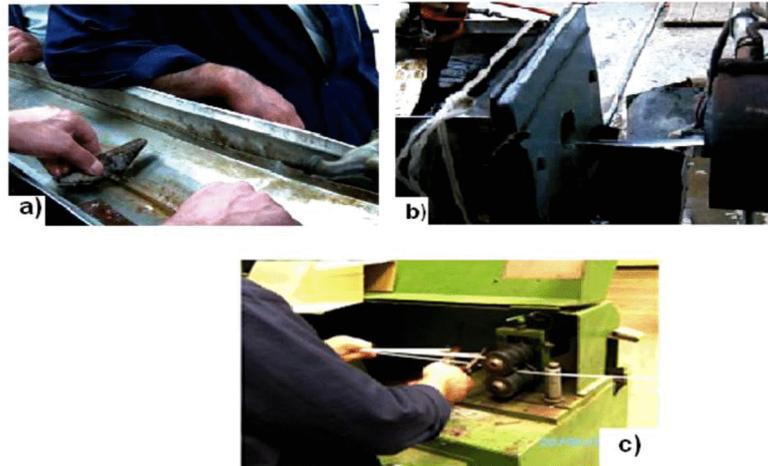


Figure I.8 : a) Système de refroidissement de la matière. b) La sortie de la matière de l'extrudeuse. c) Etireuse et découpage à l'aide de sécateur.



Figure I.9 (a)Présentation de l'appareil de Découpe. **(b)** broyeur

Cette étape consiste à découper les tiges obtenus, à l'aide de découpeuse, puis on passe au broyeur pour faire broyer ces mélanges.

4^{ème} Étape :

La réalisation de nos éprouvettes (pour essais de traction dureté et résilience) se fait par procédé d'injection, Les mélanges broyés précédemment, seront passés à la machine à injection, munie d'un moule normalisé qui nous donne à la fois les trois types d'éprouvettes. La figure I-9 montre ce procédé, injection ainsi que le moule pour éprouvettes.



Figure I.4 Machine à injection et moule éprouvette

I.4.Présentation de l'extrudeuse et de la machine à injection :

I.4.1.procédure d'extrusion :

On remplit en granulés la trémie d'alimentation. L'extrudeuse (parfois nommée boudineuse) comprend un fourreau cylindrique chauffant (thermo régulé) à l'intérieur duquel tourne une vis sans fin alimentée en granulés. La vis malaxe, compresse, échauffe et transporte en continu la matière fluidifiée et homogène vers la filière. Celle-ci confèrera à la masse plastifiée la forme désirée.

Les mélanges ont été préparés dans une extrudeuse mono-vis, NEBEL NEGRI LUINO. Cette dernière, est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé (Figure. I.5). Ce système, issu de l'industrie alimentaire et de l'industrie du caoutchouc, assure les trois types de fonctions suivant :

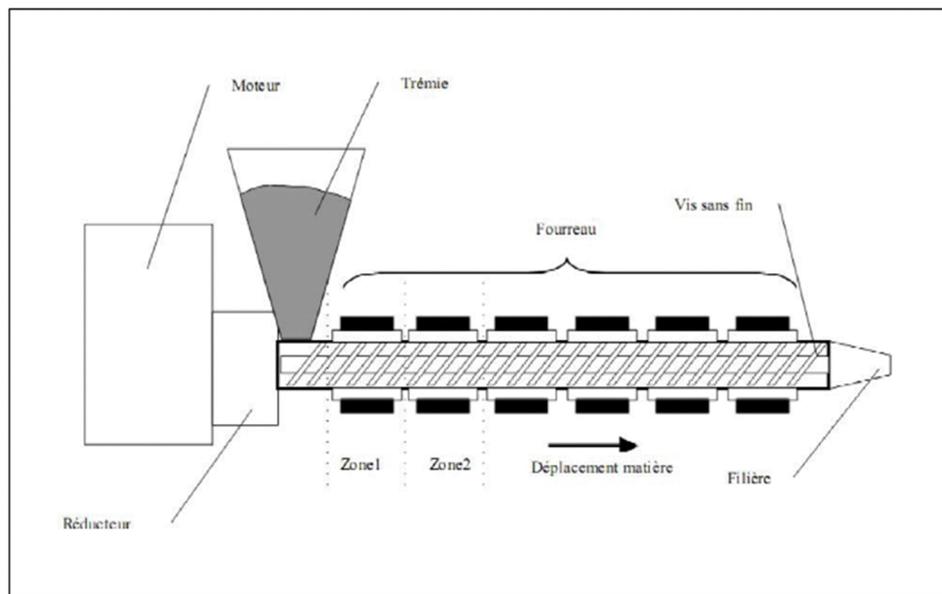


Figure I.5. Schéma de principe d'une extrudeuse mono-vis

I.4.1.1. profil de vis d'extrusion :

La vis d'une extrudeuse est du type sans fin (vis d'Archimède) et a un diamètre $D=25\text{mm}$ et une longueur $L=28D$. Le pas de la vis est égal à son diamètre, ainsi l'angle α d'inclinaison des filets est égal à $17^{\circ}65'$. Cette vis est universelle ou à trois zones.

On distingue la zone d'alimentation de la zone de compression et de la zone de pompage. La profondeur du filet est la plus grande dans la zone d'alimentation.

Dans la zone de compression, le diamètre du noyau de la vis augmente constamment, c'est-à-dire que la profondeur du filet diminue. Dans la zone de sortie, la profondeur du filet est constante. Le pas de la vis est constant.

- **Zone d'alimentation (compactage transport) :**

La première fonction que la vis doit assurer, c'est l'alimentation et le transport de la matière solide compactée.

Le compactage et le transport s'effectuent le long des premiers filets. Le canal de la vis est rempli de granulés solides qui sont comprimés les uns contre les autres, au fur et à mesure que la pression se développe. Le déplacement de la matière résulte de l'action des filets de la vis sur la matière qui frotte ou adhère à la paroi interne du cylindre.

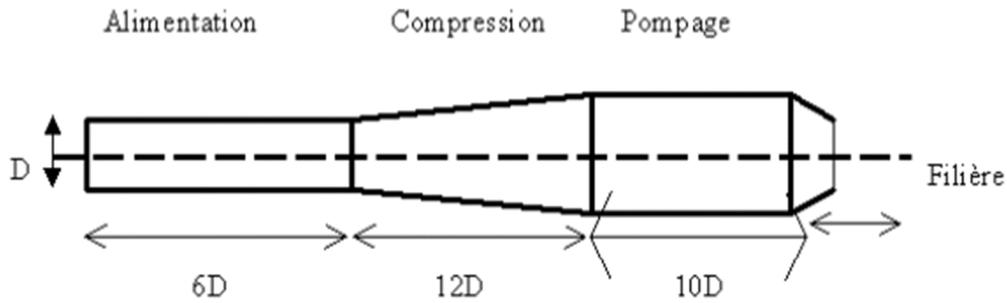


Figure I.6: Représentation du profil de la vis utilisée

La zone située au niveau de l'orifice d'alimentation est refroidie par circulation d'eau, pour empêcher le collage des granulés et la formation d'une "voûte" de matière dans la trémie qui couperait l'alimentation.

• Zone de compression fluidification :

Dans cette zone, le mécanisme de fusion commence, lorsque, au contact de la paroi chaude, un film de matière fondue se forme entre le lit solide et la paroi du fourreau.

La chaleur nécessaire à la fusion de la matière est fournie :

- Par conduction de la paroi chaude vers le lit solide, à travers le film de matière fondue.
- Par dissipation visqueuse à l'intérieur du film fondu, les calories ainsi produites étant conduites vers le lit solide.

L'importance relative de ces deux sources de chaleur dépend des conditions d'extrusion :

- Si la vis tourne lentement, la paroi chaude fournit une plus grande quantité de calories.
- Si elle tourne rapidement, l'énergie dissipée par cisaillement, à l'intérieur du film fondu, est prépondérante.

• Zone de mélangeage – homogénéisation :

Dans cette zone, le matériau est considéré comme un fluide non newtonien dont la température n'est pas tout à fait uniforme, et qui n'est pas soumis à un taux de cisaillement constant. Il se comporte d'un point de vue rhéologique, comme un système multiphasique.

Chaque phase est constituée d'un ensemble de "particules", dans lequel les paramètres, vitesse et concentration sont constants et uniformes. Il importe donc de mélanger ces particules qui ont des histoires thermomécaniques différentes.

Le mélange sera obtenu par redistribution des particules ou réarrangement ; on parle alors, d'action redistribuées. Cette action peut s'opérer au hasard ou selon un processus organisé.

Un écoulement laminaire est engendré, soit par un cisaillement pur, soit par élongation ou étirage, soit par compression au malaxage. Lorsque le milieu fluide contient des granules imparfaitement fondus, ce sont les contraintes de cisaillement qui jouent un rôle prédominant pour réduire la taille de ces in fondus. On parle alors d'action dispersive.

I.4.2. Procédure d'injection :

Les différentes phases du cycle d'injection, décrites à la Figure. I.6, se déroulent de la manière suivante :

- Le polymère est fondu dans un dispositif vis fourreau semblable à celui utilisé pour l'extrusion mono vis (voir Figure I.5), mais dans lequel la vis possède une possibilité de mouvement supplémentaire.
- Dans un premier temps, la buse à l'extrémité du fourreau étant obturée, la vis tourne en reculant et le polymère fondu s'accumule en tête de vis.
- Une fois que la quantité de polymère nécessaire à la fabrication de la pièce a été Fondue, la buse s'ouvre et la vis se transforme en piston qui injecte à grande vitesse le polymère chaud dans un moule fermé et froid : c'est la phase de remplissage durant laquelle les pressions engendrées sont considérables du fait de la forte viscosité du polymère mais également des grandes vitesses d'injection.

Condition opératoire de la presse d'injection :

Pour la réalisation de nos mélanges nous avons utilisé le procédé d'injection :

Paramètres de la machines	Mélanges avec et sans SBR (10%)						
	100% PP	80% PP	60% PP	50% PP	40%PP	20%PP	100%PA
Températures des fourreaux(C°)	160	200	200	200	200	200	200
	180	250	250	250	250	250	250
	190	280	280	280	280	280	280
	200	300	300	300	300	300	300
Dosage (Cm)	15.5	16	16	16	16	16	16
Temps d'injection (S)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Temps de maintien(S)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Temps de refroidissement (S)	25	25	25	25	25	25	25

Pression d'injection (Bar)	20	20	20	20	20	20	20
Pression de maintien (Bar)	50	50	50	50	50	50	50
Contre pression(Bar)	15	15	15	15	15	15	15
Vitesse de rotation de vis (trs/s)	4	4	4	4	4	4	4

Tableau I.3 : Condition opératoire de la presse d'injection

I-4-3 Composition des mélanges :

Les mélanges effectués varient de 20% en masse, commençant par (100%PA/ 0% PP) avec et sans élastomères (SBR) par la suite la quantité du PA diminue de 20% alors que la quantité du PP augmente de cette valeur.

Comme nous l'avons déjà expliqué, les mélanges seront de deux natures : mélanges vierges (le PA et PP avec et sans élastomères (SBR) utilisés sont les produits brutes du fournisseur) et mélanges recyclés (récupérer de nos éprouvettes après un temps d'exposition aux intempéries).

Nous allons récupérer les éprouvettes du premier mélange recyclé (après les avoir laissé la deuxième fois sous exposition aux conditions atmosphériques pendant quelque temps)

On désigne chaque mélange par un numéro correspondant à sa place dans les deux tableaux qui suivent (Tableau I.4 et tableau I.5 et tableau.6)

I-4-3-1 Mélange non recyclé :

Mélanges	%PP	%PA
1	00	100
2	20	80
3	40	60
4	50	50
5	60	40
6	80	20
7	100	00

Tableau I.4 : Nomenclature des mélanges élaborés son recyclage

I-4-3-2 Mélange recyclé :

Mélanges	%PP	%PA
8	00	100
9	20	80
10	40	60
11	50	50
12	60	40
13	80	20
14	100	00

Tableau I.5 : Nomenclature des mélanges élaborés avec recyclage**I-4-3-3 Mélange de 2^{ème} recyclage :**

Mélanges	%PP	%PA
15	00	100
16	20	80
17	40	60
18	50	50
19	60	40
20	80	20
21	100	00

Tableau I.6 : Nomenclature des mélanges élaborés avec 2^{ème} recyclage

CHAPITRE II

CARACTERISATION MECANIQUE

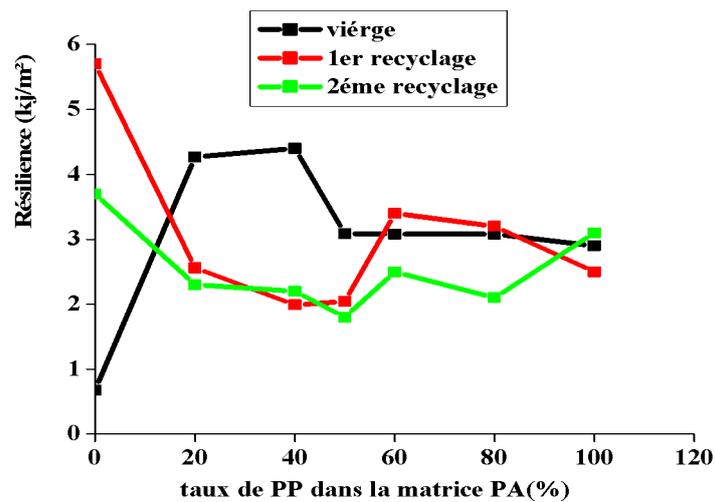


Figure II.22: Superposition de l'effet de quantité de PP/PA sans SBR sur la résistance au choc

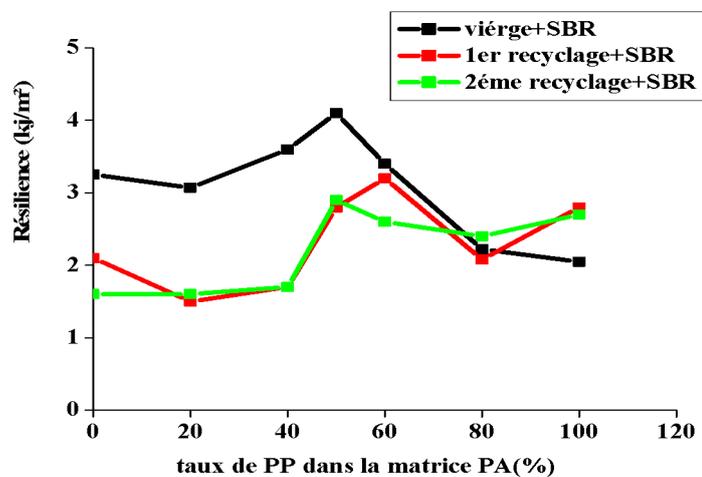


Figure II.23 : Superposition de l'effet de quantité de PP/PA avec SBR sur la résistance au choc

L'essai de chocs montre clairement, plus la concentration de PA augmente plus le mélange tend vers la fragilité, c'est-à-dire le mélange absorbe moins de chocs. Contrairement au PP, plus sa concentration augmente plus le mélange tend vers souplesse donc il absorbe le choc.

CHAPITRE III

ETUDE MORPHOLOGIQUE DES MELANGES

CONCLUSION GENERALE

III.1. Introduction

L'étude de la morphologie dans les mélanges de polymères n'est pas un problème simple, car il faut d'abord identifier le mode d'organisation des phases (nodulaire, continue, fibrillaire ...). La microscopie utilisée dans cette étude pour essayer de caractériser la morphologie des mélanges étudiés, avec pour objectif la détermination fine de la distribution des tailles de particules et éventuellement la caractérisation de l'interface entre les phases. Le pouvoir séparateur d'un microscope est théoriquement imposé par la longueur d'onde du faisceau incident. Pratiquement, deux limites très importantes sont induites par l'échantillon : la limite de contraste et la résistance limite du matériau à la dégradation.

III.2. Microscope électronique à balayage (MEB) :

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM pour Scanning Electron Microscopie en anglais) est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon en utilisant le principe des interactions électrons-matière

Un microscope électronique à balayage est essentiellement composé d'un canon à électrons et d'une colonne électronique, dont la fonction est de produire une sonde électronique fine sur l'échantillon, d'une platine porte-objet permettant de déplacer l'échantillon dans les trois directions et des détecteur permettant de capter et d'analyser les rayonnements émis par l'échantillon. En outre l'appareil doit nécessairement être équipé d'un système de pompes à vide.

III.2.1.Principe :

Le principe de fonctionnement d'un microscope électronique à balayage est le suivant quand le faisceau d'électrons primaires balaie la surface de largeur l de l'échantillon et atteint un point de coordonnées (x,y) , il y'a émission en ce point de divers types de signaux générés par l'interaction des électrons primaires et les atomes de l'échantillon situé au point (x,y) . Un détecteur approprié recueille un de ces signaux et le pré amplifie. le signal final alors amplifié module la brillance de point (x,y) de l'écran cathodique d'observation. En d'autres termes plus le signal émis est intense, plus le point homologue (x,y) de l'écran cathodique sera brillant . En balayant toute la surface de l'échantillon de largeur l on obtient une image agrandie de la structure sur l'écran, dont la brillance des pixels pourra passer de noir au blanc en passant par tout les niveaux de gris.

III.2.2 : Outils de caractérisation des formulations :

Divers outils ont été utilisés dans le but de caractériser les propriétés morphologique et mécanique des mélanges après leur mise en oeuvre .ces divers outils sont résumés dessous ainsi que les paramètres d'utilisations.

Appareillage :

Des observations microscopiques sont réalisées au moyen d'un Microscopie Electronique à Balayage (MEB) de type Quanta 400 de chez FEI en mode Electrons

Secondaires (SE), avec une tension d'accélération de 15 à 20kV et une distance de travail de 10 mm



Figure III.1 : Microscope électronique à balayage(MEB).

III.2.3 : Interprétation des micrographies

Nous avons observé au MEB les faciès de rupture des éprouvettes après essai de traction, on donne ci-dessous les micrographies de certains mélanges

III.2.3 .1 : Mélange 100%PP vierge et recyclé

La figure III.2 représente le faciès de rupture du mélange 100%PP, en analysant l'agrandissement à 50 μ m on remarque une homogénéité de la matrice PP du polymère vierge illustrant le caractère ductile de la rupture (déformation à la rupture atteignant 95%). Le recyclage du PP engendre un état fragmenté et poreux, ce qui altère ses propriétés mécanique et le rend fragile (la déformation à la rupture ne dépasse pas 25%).

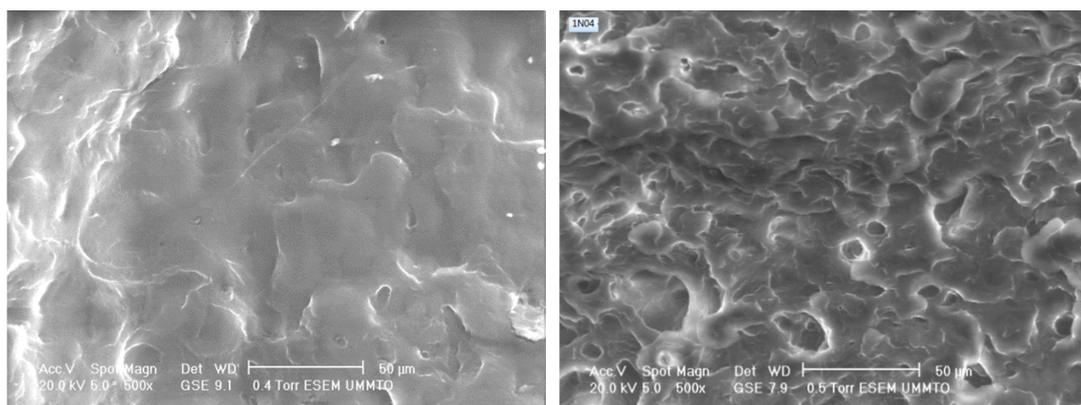


Figure III.2 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 100%PP vierge et recyclé

III.2.3 .2 : Mélange 100%PA vierge et recyclé

La figure III.3 représente le faciès de rupture du mélange 100%PA, en analysant l'agrandissement à 50 μ m on constate une différence nette de l'état de surface des faciès de rupture du PA vierge et recyclé. Dans le cas du PA vierge on constate un arrachement de la matière franc. Par contre pour le PA recyclé la matière s'est allongée avant rupture, ce qui explique le gain en ductilité du PA recyclé qu'on observe sur la figure de traction II.9 .

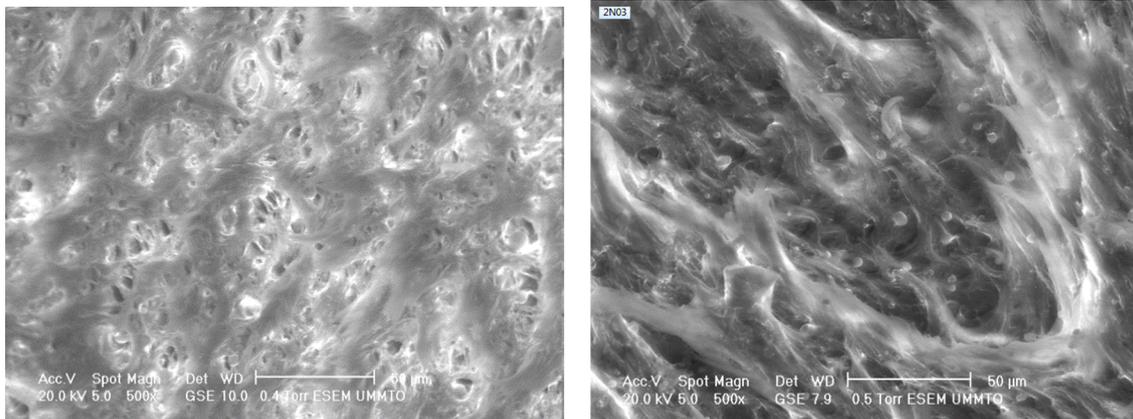


Figure III.3 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 100%PA vierge et recyclé

III.2.3 .3 : Mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé

La figure III.4 représente le faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA, en analysant l'agrandissement à 1mm (fig. III.4(a)) du mélange [50%PP/50%PA] recyclé on note une grande porosité dans la structure qui accentue la fragilité du polymère vierge.

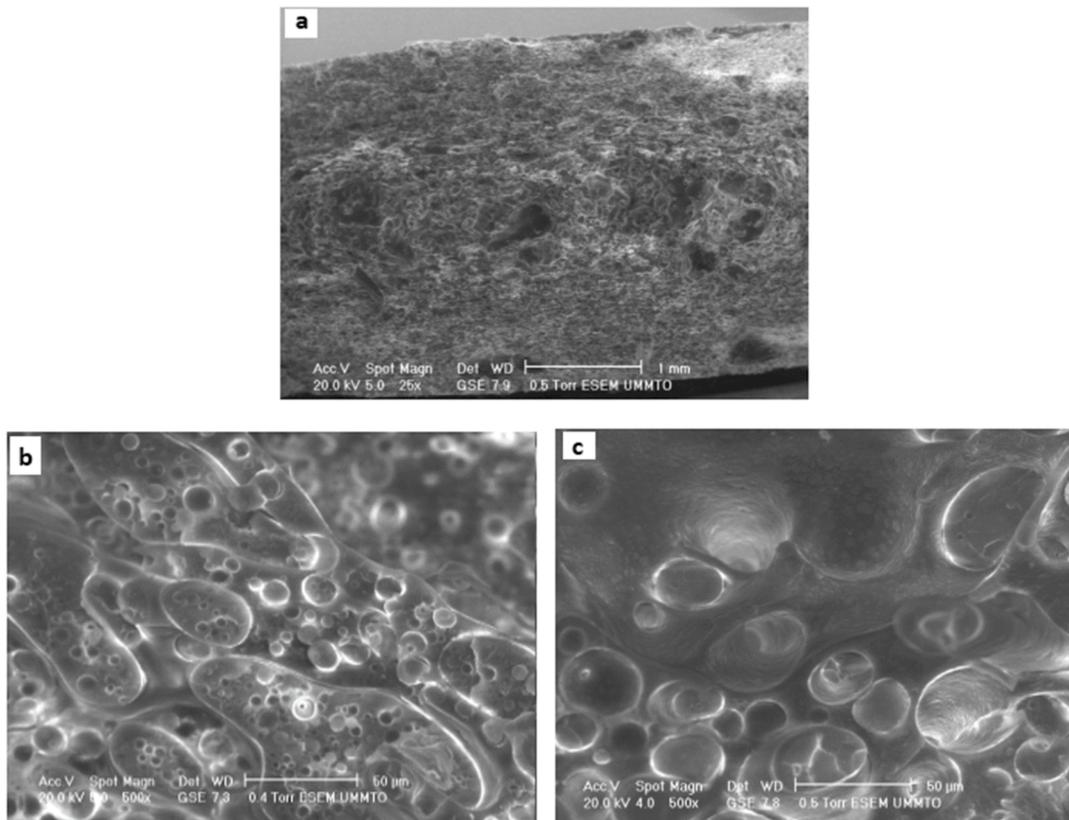


Figure III.4 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé [(a) : mélange recyclé, (b) : mélange vierge, (c) : mélange recyclé]

III.2.3 .4 : Mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé avec SBR

La figure III.5 représente le faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA avec SBR. On remarque une nette différence des aspects des faciès de rupture entre le mélange vierge et le mélange recyclé. En se référant au résultats de l'essai de traction de ces deux mélanges (Fig.III.5.b) on conclut que le recyclage détruit l'effet comptabilisant du SBR.

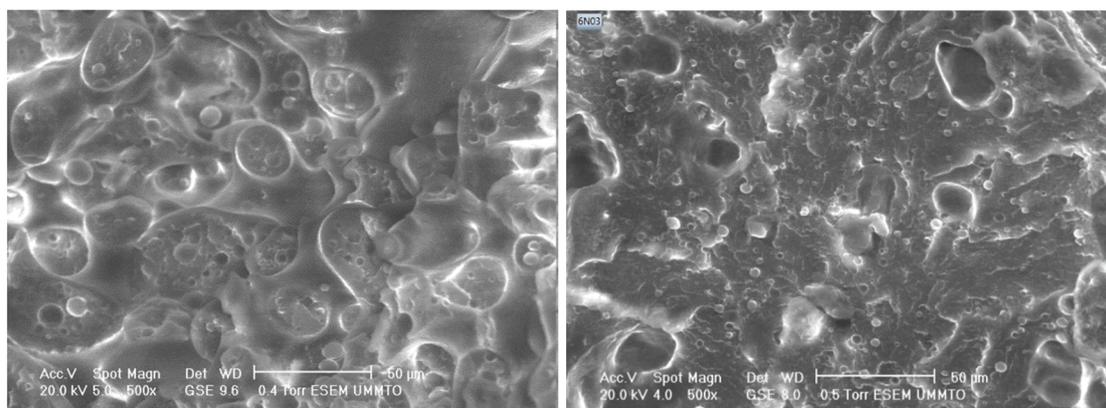


Figure III.5 : Observation au MEB des faciès de rupture du mélange 50%PP/50%PA vierge et recyclé avec ajout de SBR

Conclusion :

L'analyse au microscope électronique à balayage des faciès de rupture de nos échantillons, nous révèle une concordance entre la structure de l'échantillon microscopique et son comportement mécanique à l'échelle macroscopique lors de l'essai de traction.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous nous intéressons dans cette étude au comportement mécanique d'un mélange polymérique PP/PA lors de son recyclage, les mélanges sont préalablement élaborés par procédé d'injection à l'usine SISCOPLAST. Un premier broyage de ces mélanges est effectué après un vieillissement naturel de ces éprouvettes d'environ sept mois dans un milieu à température ambiante. Nous avons réinjecté ces mélanges et ensuite caractérisés par les différentes techniques de caractérisation, un second broyage est aussitôt effectué suivi d'une deuxième mise en forme par injection nous comparons le comportement mécanique des mélange lors de la première transformation et de la deuxième transformation avec les mélange non recyclés.

Les comportements des différents mélanges recyclés varient d'une manière non uniforme, tantôt améliore la ductilité tantôt accentue la fragilité du produit du premiers recyclage, mais tout au moins on constate que le deuxième recyclage altère complètement les propriétés de résistance et de ductilité.

L'observation des faciès de rupture des essais de traction au microscope électronique à balayage, révèle des différences dans l'aspect de ces faciès, qui a engendré une différence du comportement mécanique à l'échelle microscopique.

Donc les propriétés mécaniques dépendent fortement à la fois de la composition des mélanges et des conditions de stockage de déchet aussi les conditions d'injection.

A la fin, nous considérons notre étude comme initiation au monde de recyclage, dont nous avons besoin pour nettoyer l'environnement de ces déchets encombrant qui le détruisent. En effet ce travail nous a donné de plus, nous avons amélioré nos connaissances théoriques en sciences et technologie des matériaux polymériques, nous avons acquis un savoir faire en ce qui concerne l'élaboration, la caractérisation et la revalorisation mécanique (recyclage) des déchets plastiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[01] :M. Fontanille et Y. Gnanou, "Chimie et physico-chimie des Polymères" ,Dunod, Paris,(2002).

[02] : Dossier Enseignant. « VOYAGE EN INDUSTRIE » CAP SCIENCES 2006.

[03] : A.Bellel, " Traitement de surface de polymères par décharge couronne et plasma", *Thèse de doctorat*, Université Mentouri, Constantine (2004).

[04] :C. Zhong, Y. Jiang, F. Guo, P. Liu, W. Wu, J. Liao, "Effect of Humidity on Transport Mechanism in Ag/7,7,8,8 Tetracyanoquinodimethane Bilayer Films", *Japanese Journal of Applied Physics* Vol. 45, No. 4A, P. 2722–2725, (2006).

[05] : Michel Fontanille., Yves Gnanou., Chimie et Physico-chimie Des Polymères (cours), 2e et 3e cycles. Dunod, Paris, 4-8, (2005).

[06] : J.Mertin et al ; *traité des matériaux*" ; tome 14, (2001).

[07]: Internet

-<http://fr.Wikipedia.org/wiki/polymers>

-www.chimie-sup.Fr.

-fichier thermoformage.jpg

- <http://fr.Wikipedia.org/wiki/transformation>

- <http://fr.Wikipedia.org/wiki/recyclage>

-Thechno-science.net

- http://upload.Wikipedia.org/Wikipedia/Commons/c/ce/styrène_3D.pn

[8] : Maurice reyene,les plastiques ,technologie des plastiques ,3eme edition revue et augmentée,1998 ,hermes science publications

[09] : Michel Biron Aide-mémoire Transformation des matières plastiques

[10] : thèse-Nadir-Lebaal-pdf, version 1-2Doc2008

[11] :Tpthermoformage.pdf,master génie mécanique (<http://www.allinckx.com/thermoformage.htm>)

[12] :Tasmin Kossentini Kallel

Etude de melange PS/PE contribution au recyclage *thes INSA DE LYON 2003.2003 ,p.14-28*

[13]:s.Datta and D.J.lohse

Polymeric compatibilizers *uses and benefits in polymer blends.new yourk,1996,P531-586*

[14]:-Xanthos M.et Dagli S

Compatibilization of polymer blends by reactive processing

[15] : Mesures physique Annecy-Philippe Galez-2011, Polymères et composites

[16] :Nadége Thallinger,

Materiaux a base de nanoparticules et leurs applications dans le domaine de l'emballage industriel et domestique *fiche technique emballage CNRT,2004.P14*

[17] :Boumerdassi K.Serier A.Timhadjelt L

Biodegradables composites :preparation and characterization *journal of nonostructured polymers and nanocomposites (JNPN),Vol.5,issu2,2009,P.30-36*