

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**  
**Université MOULOU D MAMMERI - Tizi-Ouzou**



**Faculté du Génie de la Construction**  
**Département Génie Mécanique**

Mémoire de Fin d'Etudes en Vue de l'Obtention du Diplôme

**'Master En Génie Mécanique'**

Option : **Fabrication Mécanique et Productique**

# Thème

**RESTAURATION MECANIQUE DE DECHETS  
POLYMERIQUES ISSUS DES CASSES  
AUTOMOBILES**

Proposé et dirigé par :

**Mr : M.MOHELLEBI**

Etudié par :

**DJAOUTI Sonia**

**SAYAH Rabah**

2014/2015

## ***Remerciements***

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos vifs  
remerciements à notre promoteur*

*Mr. MOHELLEBI Mouloud Pour l'aide très précieuse et sa  
contribution à l'accomplissement de ce travail dans les  
meilleures conditions, avec notre immense gratitude et nos  
sincères respects.*

*Nous remercions toute l'équipe de l'entreprise nationale  
de plastique et de caoutchouc (ENPC), filiale SISCOPLALAST  
de Draa-El-Mizan.*

*Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont  
contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.  
Aux membres du jury qui nous feront l'honneur d'examiner ce  
travail.*

*Dédicace*

*A nos parents que Dieu leur prête longue vie*

*A tous ceux qui nous sont chers & a tous ceux qui nous ont soutenus*

**Sommaire**

Liste des figures .....	vii
Liste des tableaux .....	xi
Introduction Générale .....	1
Présentation de l'entreprise .....	2

**Chapitre I : Généralités sur les polymères**

I.1.Introduction.....	5
I.2 Historique .....	5
I.3 Etape importantes de l'histoire des polymères.....	6
I.4 Définition.....	8
I.4.1 Polymère.....	8
I.5 Structure de base des matières plastiques .....	10
I.5.1 Composantes .....	10
1.5.2 Composition d'une molécule.....	10
I.6 Différents types de polymères .....	12
I.6.1. Les thermoplastiques.....	13
I.6.2 Les thermodurcissables .....	14
I.6.3 Les élastomères .....	15
I.7 Classification organique des polymères .....	15
I.7.1 Selon leur morphologie .....	15
I.7.2 Selon leur Origine .....	17
I.7.3 Selon la structure .....	17
I.7.4 Selon leur domaine d'application.....	19

## Sommaire

---

I.8 Propriétés des polymères .....	20
I.8.1 Propriétés chimiques .....	20
I.8.2 Propriétés physiques .....	20
I.8.3 Propriétés techniques .....	20
I.9 Caractéristiques des polymères .....	21
I.10 Mise en œuvre des polymères .....	22
I.10.1 Mise en œuvre des thermoplastiques .....	22
I.10.2 Mise en œuvre des thermodurcissables .....	23
I.10.3 Les adjuvants .....	24
I.11 Quelques techniques de transformation des polymères .....	25
I.11.1 L'injection .....	25
I.11.2 L'extrusion .....	27
I.11.3 Le calandrage .....	29
I.11.4 Le rotomoulage .....	30
I.11.5 Le thermoformage .....	31
I.12 Conclusion .....	32

## Chapitre II : Le recyclage des polymères

II.1 Introduction .....	34
II.2 Circuit du recyclage des polymères en général .....	34
II.2.1 Aperçu général du recyclage des plastiques .....	34
II.2.2 La chaîne de production des plastiques .....	35
II.2.3 L'infrastructure du recyclage .....	36
II.2.4 Les différents procédés de recyclage .....	37
II.2.5 Evaluation des impacts du recyclage .....	39

II.3 Circuit du recyclage des polymères de déchets automobiles .....	41
II.3.1 Réglementation sur l'automobile .....	41
II.3.2 L'introduction des polymères dans l'industrie automobile .....	42
II.3.3 Les polymères utilisés dans l'industrie automobile .....	43
II.3.4 Répartition des pièces polymériques dans un véhicule.....	44
II.3.5 Le recyclage des polymères issus de l'automobile .....	46
II. 4 Conclusion .....	48

### **Chapitre III : Elaboration et caractérisation des mélanges**

III.1 Introduction .....	50
III.2 Elaboration des mélanges .....	50
III.2.1 Principe du travail.....	50
III.2.2 Déroulement du travail .....	50
III.3 Caractérisation des mélanges .....	58
III.3.1 Essais de résilience .....	59
III.3.2 Essai de la microdureté.....	60
III.3.3 Essai de traction.....	61
III.3.4 Microscope électronique à balayage (MEB) .....	62
III.3.5 L'indice de fluidité .....	63
III.3.6 Spectroscopie infrarouge .....	64
III.4 Conclusion.....	66

**Chapitre IV : Résultats et discussions**

IV.1 Introduction.....	68
IV.2 Caractérisation physique.....	68
IV.2.1 Indice de fluidité.....	68
IV.2.2 La spectroscopie infrarouge .....	69
IV.3 Caractérisation mécanique ..	75
IV.3.1 Recyclé Vrac .....	75
IV.3.2 Recyclé lavé et trié .....	80
IV.3.3 Résilience .....	85
IV.3.4 la microdureté.....	87
IV.4 La Caractérisation morphologique (MEB) .....	88
IV.5 Conclusion .....	90
Conclusion générale.....	92

# Liste des figures

---

## CHAPITRE I

Figure I.1	(-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -) est une unité de polymère.....	8
Figure I.2	polymère semi-cristallin.....	16
Figure I.3	polymère amorphe.....	16
Figure I.4	Différentes sollicitations mécaniques.....	21
Figure I.5	schéma de mise en œuvre des thermoplastiques.....	23
Figure I.6	schéma de mise en œuvre des thermodurcissables.....	24
Figure I.7	machine à injection plastique.....	26
Figure I.8	étapes d'injection par soufflage.....	26
Figure I.9	Extrudeuse.....	27
Figure I.10	machine à extrusion.....	28
Figure I.11	machine à extrusion par soufflage.....	28
Figure I.12	machine à extrusion par gonflage.....	29
Figure I.13	procédé de calandrage.....	30
Figure I.14	cycle de rotomoulage.....	31
Figure I.15	cycle de thermoformage.....	32

## CHAPITRE II

Figure II.1	Production mondiale de matières plastiques.....	35
Figure II.2	Représentation du devenir des matières plastiques soumis à une transformation.....	37
Figure II.3	Part des plastiques en % par rapport au poids moyen d'un véhicule....	43
Figure II.4	Répartition des pièces polymériques dans un véhicule.....	46
Figure II.5	Les étapes du recyclage des polymères automobiles.....	48

# Liste des figures

---

## CHAPITRE III

Figure III.1	garde boue.....	50
Figure III.2	aile noire.....	50
Figure III.3	aile blanche.....	51
Figure III.4	garnitures automobiles.....	51
Figure III.5	découpage avec cisaille.....	51
Figure III.6	lavage et triage de petits morceaux.....	52
Figure III.7	Présentation du broyeur (b).....	52
Figure III.8	mélangeur électrique.....	52
Figure III.9	les zones de changement de température.....	54
Figure III.10.a	Système de refroidissement de la matière.....	55
Figure III.10.b	La sortie de la matière de L'extrudeuse.....	55
Figure III.10.c	Etireuse et découpage à l'aide de sécateur.....	55
Figure III.11	Présentation de l'appareil de Découpe (a) et du broyeur (b).....	55
Figure III.12	Machine à injection et moule d'éprouvette.....	56
Figure III.13	les zones de changement de température.....	58
Figure III.14	éprouvette utilisée pour l'essai de résilience.....	59
Figure III.15	la machine charpy.....	59
Figure III.16	microduromètre KNOOP.....	60
Figure III.17	l'empreinte de KNOOP.....	60
Figure III.18	pyramide a base losange.....	60
Figure III.19	les étapes de l'essai de traction.....	61
Figure III.20	machine de traction.....	62
Figure III.21	Représentation du microscope à balayage.....	63
Figure III.22	appareil d'indice de fluidité.....	63
Figure III.23	Mortier en agate pour le broyage.....	66
Figure III.24.a	Presse à pastiller en acier inoxydable permettent de réaliser des .....	66
Figure III.24.b	l'appareil utilisé pour la formation des pastilles (pompe hydraulique)...	66

# Liste des figures

---

## CHAPITRE IV

Figure IV.1	Variation des indices de fluidité en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC.....	69
Figure IV.2	Spectre IR de 100%PPC.....	69
Figure IV.3	Spectre IR de 95%PPC/5%recyclé vrac.....	70
Figure IV.4	Spectre IR de 70%PPC/30%.....	71
Figure IV.5	Spectre IR de 70%PPC/30% recyclé lavé.....	72
Figure IV.6	Spectre IR des différents échantillons.....	73
Figure IV.7	Courbe contrainte déformation du polymère 100% PPC.....	75
Figure IV.8	Courbe contrainte déformation du polymère 100%PPC.....	75
Figure IV.9	Courbe contrainte déformation du mélange 90% PPC+10%Recyclé.....	76
Figure IV.10	Courbe contrainte déformation du mélange 85% PPC+15% Recyclé.....	76
Figure IV.11	Courbe contrainte déformation du mélange 80% PPC+20% Recyclé.....	77
Figure IV.12	Courbe contrainte déformation du mélange 70% PPC+30%Recyclé.....	77
Figure IV.13	Courbe contrainte déformation des différents mélanges avec recyclé vrac.....	78
Figure IV.14	Variation du module d'élasticité des mélanges en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC.....	78
Figure IV.15	Variation de l'allongement à la rupture des mélanges en fonction du taux du recyclé dans la matrice PPC.....	79
Figure IV.16	Variation de la contrainte au seuil d'écoulement des mélanges en fonction du taux du recyclé dans la matrice PPC.....	80
Figure IV.17	Courbe contrainte déformation du polymère 100%PPC.....	80
Figure IV.18	Courbe contrainte déformation du mélange 90% PPC+10%Recyclé.....	81
Figure IV.19	Courbe contrainte déformation du mélange 85% PPC+15% Recyclé.....	81
Figure IV.20	Courbe contrainte déformation du mélange 80% PPC+20% Recyclé.....	82
Figure IV.21	Courbe contrainte déformation du mélange 75% PPC+25% Recyclé.....	82
Figure IV.22	Courbe contrainte déformation du mélange 70% PPC+30%Recyclé.....	83
Figure IV.23	Courbe contrainte déformation des différents mélanges avec recyclé vrac.....	83

## Liste des figures

---

Figure IV.24	Variation du module d'élasticité des mélanges en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC.....	84
Figure IV.25	Variation de l'allongement à la rupture des mélanges en fonction du taux du recyclé dans la matrice PPC.....	84
Figure IV.26	Variation de la contrainte au seuil des mélanges en fonction du taux de PPH dans le mélange PPH/PPC.....	85
Figure IV.27	Variation de la résilience en fonction du taux de Recyclé dans la matrice PPC.....	86
Figure IV.28	Microdureté des mélanges 100%PPC-0%recyclé vrac,95%PPC-5%recyclé vrac,90%PPC-10%recyclé vrac et 80%PPC-20%recyclé vrac...	87
Figure IV.29	Microdureté des mélanges 100%PPC-0%recyclé vrac,95%PPC-5%recyclé lavé et trié,90%PPC-10%recyclé lavé et trié et 80%PPC-20%recyclé lavé et trié.....	88
Figure IV.30	Micrographies obtenues par MEB : polymères 100%PPC.....	88
Figure IV.31	Micrographies obtenues par MEB : polymères 70%PPC+30% déchets vracs a) Echelle 1mm et b) Echelle 20µm.....	89
Figure IV.32	Micrographies des faciès de rupture obtenues par MEB : mélange 70%PPC+30% déchets triés et lavés a) Echelle 1mm et b) Echelle 20µm.....	89

## Liste des Tableaux

---

<b>Tableau I.1:</b> exemples de quelques polymères et leurs applications .....	8
<b>Tableau I.2:</b> représentation des composantes des matières plastiques .....	10
<b>Tableau II.1:</b> Propriétés d'usage des MP dans l'industrie automobile .....	42
<b>Tableau II.2:</b> Exemple de l'utilisation des polymères dans l'automobile .....	44
<b>Tableau II.3:</b> Répartition des résines utilisées dans l'industrie automobile.....	44
<b>Tableau III.1:</b> les différents pourcentages des polymères recyclés vrac .....	53
<b>Tableau III.2:</b> les différents pourcentages des polymères recyclés lavés et triés .....	53
<b>Tableau III.3:</b> Paramètre d'injection .....	57
<b>Tableau IV.1:</b> Valeurs des indices de fluidité des différents mélanges .....	68
<b>Tableau IV.2:</b> Valeurs de la résilience en fonction du taux de recyclé dans la matrice PP. .....	87

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

Aujourd'hui, les ressources de notre planète sont surexploitées, et l'influence de l'activité humaine sur l'environnement n'est plus acceptable. Il en résulte les menaces de dérèglement climatique que nous connaissons tous, et qui doivent nous inciter à la prudence. Ainsi, nous devons d'une part mieux utiliser les matériaux, d'autre part être capable de les réutiliser ou du moins les valoriser lorsque le produit est en fin de vie. A ce titre, l'industrie de la plasturgie est de plus en plus sollicitée pour développer le recyclage au travers de nouvelles législations.

D'un point de vue écologique, le matériau idéal devrait être intégralement recyclable. L'accélération du rythme de consommation de nos sociétés et la prolifération des matériaux ont relevé la question du traitement des déchets au rang d'activité économique et industrielle spécifique.

Ainsi, de nouvelles responsabilités incombent aux concepteurs ; Il n'est plus suffisant de considérer le design, la réduction des coûts, la sécurité et la fonctionnalité ; nous devons, également, considérer le recyclage et la valorisation des produits en fin de vie.

Dans ce contexte, l'industrie automobile est pleinement impliquée puisqu'elle fut parmi les premières industries soumises aux réglementations sur la fin de vie. Pour atteindre les objectifs de la réglementation sur l'élimination des véhicules hors d'usage (VHU) et compte-tenu de l'augmentation croissante de la part de matières plastiques dans les véhicules, les producteurs doivent désormais justifier de scénarios de valorisation fiables pour leurs produits et par conséquent pour ces matières, de ce fait, elle a développé de nombreux outils de conception pour la valorisation et de conception pour le recyclage.

Nos travaux de thèse combinent donc à la fois, de la partie théorique comportant d'une part la mise en revue des généralités sur les polymères, et d'une autre part, le circuit du recyclage des polymères en général et dans le secteur automobile en particulier.

De la partie expérimentale qui comporte aussi, en premier lieu, l'élaboration des différents mélanges (PPC/polymère recyclé lavé et trié, PPC/polymère recyclé vrac) afin d'obtenir des éprouvettes normalisées en vue de les caractériser par les différents essais mécanique, physique et morphologique, et en second lieu, l'analyse et l'étude des résultats nous éclaircirons sur les nouvelles propriétés des mélanges obtenus.

# Présentation de l'Entreprise

---

## Présentation de l'Entreprise

### 1. Présentation :

L'entreprise Siscoplast est une filiale du groupe ENPC (Entreprise Nationale des Plastique et des Caoutchouc), qui regroupe quatre autres unités de production et de transformation de plastique sises respectivement à : Chlef, Sétif, Médéa et Alger.

L'entreprise Siscoplast (société d'injection plastique et de fabrication des articles scolaire) de Draa El Mizan a été créée en 1981 et est gérée par un conseil de direction. C'est une société par action. La superficie de cette entreprise s'étend sur 30,000m<sup>2</sup>. Elle a réussi à occuper une place prépondérante dans le marché locale de l'industrie de la plasturgie malgré le marché concurrentiel ouvert contre d'autres produits importés et locaux. Ses produits multiples ont été, au fil des années et grâce à l'apport considérable des compétences composées de techniciens, d'ingénieurs et de cadres dirigeants formés dans les différents instituts et universités algériennes, améliorés. Et gagnent la satisfaction du client.

L'entreprise Siscoplast est certifiée suivant les deux systèmes de management de la qualité et de l'environnement depuis 2008 pour le premier et 2010 pour le second. Cette norme intègre la politique de gestion de la qualité et a pour objectifs principaux de répondre aux exigences du client et apporter des améliorations sur tous les plans de la gestion de l'entreprise.

### 2. Gamme de produits fabriqués :

L'atelier de production au sein de l'entreprise est divisé en trois secteurs, à savoir le secteur d'extrusion et enfin le secteur de souples.

#### ➤ Le secteur d'injection

Actuellement ce secteur fabrique, bouchon moubyd en polypropylène (PP), les fusettes en polyéthylène haute densité injection et bouchon Naftal en PP.

#### ➤ Le secteur d'extrusion

Par ce procédé l'entreprise fabrique principalement, les tubes en PEHD pour AEP, tubes en PEBD pour l'irrigation et des gaines électriques.

## Présentation de l'Entreprise

---

- Le secteur de souples

Ce dernier secteur fabrique, protèges cahiers et pochettes vignettes en PVC.

3. La matière utilisée au sein de l'entreprise :

Les matières utilisées au sein de cette entreprise sont données ci-dessous :

- Polyéthylène (PE)
- Polychlorure de vinyle (PVC)
- Polypropylène (PP)
- Polystyrène (PS)

## I.1.Introduction

Les polymères font partie intégrante de notre vie. Il suffit de regarder chez soi pour constater que nombre de produits à usages quotidiens dans la maison sont faits avec ces matières : emballages, bouteilles, sacs plastiques, ou dans les produits manufacturés tels que : voitures, produits électriques et électroniques... Leur utilisation ne cesse de croître depuis leur apparition au début du XXème siècle.

Les polymères sont des matières incontournables aux avantages divers et variés comme le gain économique, de poids, d'énergie... En effet, ils ont notamment été utilisés en remplacement de nombreuses autres matières révolutionnant nombres d'applications. [1]

## I.2 Historique

Depuis et pendant des millénaires, l'Homme a utilisé des résines et des gommages naturelles sans se douter, ni se soucier, qu'il manipulait des grosses molécules qui ont été canonisées par le XXème siècle sous le nom de polymères. Parmi ces archéopolymères, citons :

- Les fibres de coton, de soie, de laine ou de lin (une des plus anciennes) pour la confection de vêtements ou autre draperie.
- Le caoutchouc naturel pour produire des objets aux propriétés bondissantes utilisés tout simplement dans des jeux.
- Les résines de bois ou d'amidon, ou d'ambre pour des usages de recouvrement ou de collage,...Etc. [2].

Le terme polymère est utilisé pour la première fois en 1866 par Berthelot, il désigne ainsi, probablement, le premier polymère synthétique reconnu, le polystyrène.

Une étape importante est franchie avec la production industrielle de polymères synthétiques, comme la bakélite en 1910. Même si la notion de macromolécule est présagée au début du XIXe siècle, de nombreux chercheurs ne voient là que des agrégats ou micelles.

Cette notion n'apparaît que tardivement dans l'histoire de la chimie, dans les années 1920, avec les travaux d'Hermann Staudinger. Il est le premier à proposer la notion de

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

polymère comme connue aujourd'hui, il a ainsi ouvert la voie à la science et à la technologie des polymères. Il a obtenu le prix Nobel en 1953 pour ses travaux.

### I.3 Etapes importantes de l'histoire des polymères [3]

Un léger tracé historique nous montre que sous l'impulsion des différentes découvertes, l'essor des polymères était inévitable puisqu'on se rendait de plus en plus compte que ceux-ci étaient dotés de propriétés spécifiques dues à leur grande taille et leur structure chimique, entraînant ainsi de larges perspectives d'utilisations.

- 1838 : A. PAYEN identifie un composé de formule 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 sulfoné 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.).

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

- 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 isostatique.
- 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/métallocènes, pour la polymérisation des oléfines.
- 1982 : T. OTSU introduit la notion de contrôle de la polymérisation radicalaire.
- 1986 : les premiers dendromètres 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.

# Chapitre I : Généralités sur les Polymères

## I.4 Définition

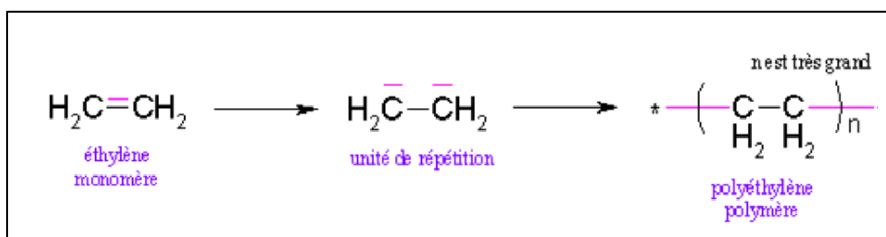
### I.4.1 Polymère

Les polymères – du grec 'poly' (beaucoup) et 'meros' (parties) – sont un groupe de produits chimiques qui partagent un même principe de formation. Ils consistent en de longues chaînes de molécules appelées macromolécules, qui comportent un grand nombre d'unités de répétition pro-métaboliques (monomères). Les molécules formées d'un nombre inférieur de monomères sont souvent appelées 'oligomères', ce qui signifie 'quelques parties'.



M: motif monomère (motif de répétition).

n ou (X): degré de polymérisation ; nombre de fois que l'on rencontre M dans la molécule.



**Figure I.1.** (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-) est une unité de polymères

➤ Exemples de quelques polymères et leurs applications [2]:

Monomère	Polymère	Applications
Ethylène	Polyéthylène	Films, objets ménagers,
	<i>basse densité</i>	emballages, câbles.
H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	Polyéthylène	Objets moulés, bouteilles,
	<i>haute densité</i>	corps creux.

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

Propylène  $\text{CH}_3\text{-CH}=\text{CH}_2$	Polypropylène	Articles moulés pour véhicules, mobilier, sanitaire, câbles,, etc.
Chlorure de vinyle  $\text{Cl-CH}=\text{CH}_2$	Polychlorure de vinyle  ou P.V.C.	<i>Rigide</i> : tuyaux, gaines électriques, bouteilles.  <i>Souple</i> : films, feuilles, câbles, jouets, chaussures, revêtement de sol.
Styrène  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}=\text{CH}_2$	Polystyrène	Bacs, cuves, jouets, ameublements.  <i>Expansé</i> (98% d'air) : isolation, emballages antichocs.
Tétrafluoroéthylène  $\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$	Polytétrafluoro éthylène  ou Téflon	Matériaux thermorésistants, à haute résistance chimique, pièces mécaniques.
Butadiène  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH-CH}=\text{CH}_2$	Polybutadiène	Pneumatiques,  caoutchoucs.
Isoprène	Polyisoprène	Chambres à air,

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

$\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$		caoutchoucs.
--	--	--------------

**Tableau I.1 :** exemples de quelques polymères et leurs applications.

### I.5 Structure de base des matières plastiques :

#### I.5.1 Composantes :

Les atomes rencontrés dans les matières plastiques sont au nombre de huit, ils sont représentés dans le tableau suivant avec leurs nombres de masse molaire dans une g/mol :

Eléments	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Chlore	Silicium	Soufre	Fluor
Symbole	C (12)	H (1)	O (16)	N(14)	C(13,4)	Si(28,0)	S(32)	F(18,99)

**Tableau I.2:** représentation des composantes des matières plastique.

#### I.5.2 Composition d'une molécule

##### I.5.2.1 La polymérisation [4]

La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés). On distingue les homopolymères les Copolymères. Ils sont classés en deux catégories: les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Il existe essentiellement deux types de réactions de polymérisation qui se différencient par leur cinétique réactionnelle :

- La polymérisation polyaddition : C'est la polymérisation en chaîne dans laquelle les unités monomères sont additionnées une à une centre actif.

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

- La polymérisation polycondensation : fournissent un ensemble de molécules dotées de propriétés nouvelles et à grande valeur ajoutée : matériaux à haute résistance thermique ou chimique, fibres à haute ténacité, mousses rigides à porosité contrôlée, etc.

La réaction de polymérisation est en général aléatoire, de sorte que toutes les chaînes d'un polymère n'ont pas la même longueur. Une chaîne polymère est caractérisée par son degré de polymérisation, qui est le nombre de motifs monomères qui la constitue, et par sa masse molaire, qui est le produit de la masse molaire d'un motif par le nombre de motifs. Le polymère est alors caractérisé par sa distribution de masse molaire et par ses masses molaires moyennes en nombre et en masse, respectivement définies par :

$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} \quad M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

Avec :

$N_i$  : Nombre de chaîne

$M_i$  : Masse moléculaire

### I.5.2.2 Degré de polymérisation $DP_n$

Le degré de polymérisation est le nombre « n » de molécule de monomère formant la macromolécule de polymère. par exemple dans le cas du polyéthylène  $[CH_2-CH_2]_n$  fois, ce nombre "n" peut varier entre 500 et 50 000 unités. Il faut remarquer qu'en ce qui concerne les macromolécules sont covalentes, et donc très résistantes et très rigides. Un polymère peut également être caractérisé par son degré de polymérisation moyen en poids :

$$DP_n = \frac{M_n}{M_o}$$

$M_n$  : poids moléculaire moyen du polymère.

$M_o$  : poids moléculaire du monomère.

### I.5.2.3 Masse molaire [5]

Les polymères à très longues chaînes ont une masse molaire extrêmement élevée (de l'ordre de 10<sup>5</sup> à 10<sup>7</sup>g/mole). Durant la polymérisation, les macromolécules synthétisées à partir de molécules plus petites forment des chaînes dont la longueur et la masse molaire sont variables. C'est pourquoi on donne généralement la masse molaire moyenne, que l'on détermine en mesurant diverses propriétés physiques telles que la viscosité. On définit la masse molaire moyenne de plusieurs façons.

Pour obtenir la masse molaire moyenne en nombre  $M_n$ , on répartit les chaînes en une série de plages de masse molaire, puis on détermine la proportion numérique des chaînes faisant partie de chaque plage.

L'expression mathématique de la masse molaire moyenne en nombre est donnée par La formule suivante :

$$M_n = \sum x_i M_i$$

$M_n$  : Masse molaire en nombre.

$M_i$  : Masse molaire moyenne de la plage de masse molaire.

$x_i$  : Proportion des chaînes faisant partie de cette plage.

La masse molaire moyenne en masse  $M_m$  repose sur la proportion massique des molécules faisant partie de diverses plages de masse molaire. On calcule à l'aide de l'équation suivante

$$M_m = \sum f_i M_i$$

$M_i$  : Masse molaire moyenne d'une plage de masse molaire.

$f_i$ : Représente la proportion massique des molécules faisant partie de cette plage.

### I.6 Différents types de polymères [6]

Il existe trois grandes catégories de polymères synthétiques :

- Les thermoplastiques.
- Les thermodurcissables.
- Les élastomères.

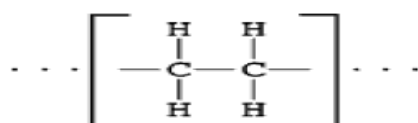
### I.6.1. Les thermoplastiques

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.

Avant transformation, ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyé est réutilisable.

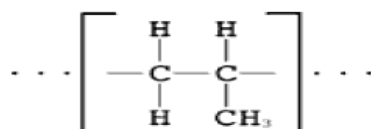
➤ Exemples de polymères thermoplastiques :

- 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 est recyclé. 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 polypropylène (PP)



## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

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 afin de produire du polypropylène élastomère.

- Le polychlorure de vinyle PVC :

Il est obtenu par la polymérisation des monomères de chlorure de vinyle  $CH_2=CH-Cl$ . Ce polymère de formule  $-(CH_2-CHCl)-_n$  est issu d'une réaction chimique entre de l'éthylène et de l'acide chlorhydrique, en présence d'oxygène. Il peut être soit rigide soit souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. Le PVC rigide qui a un aspect lisse et dur est utilisé pour les tuyaux de canalisation. Le PVC souple qui recouvre certaines pièces comme les manches de pinces a un aspect brillant. C'est après le PE, le plastique le plus utilisé au monde. Il est largement employé dans l'industrie de l'ameublement et dans le bâtiment ou le génie civil.

### I.6.2 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. Les plus connus sont les polyuréthanes, les polyesters, les phénoplastes, les aminoplastes, les élastomères, les résines époxydes et phénoliques. Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudres ou de résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs.

### I.6.3 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.7 Classification organique des polymères

### I.7.1 Selon leur morphologie [7]

#### I.7.1.1 Polymères semi-cristallins

Ils sont constitués de phases cristallines et de phases amorphes du même polymère. Leur microstructure est souvent complexe et, en conséquence, la description de leurs propriétés aussi. Leurs propriétés mécaniques sont généralement bonnes.

A titre d'exemple, la matière plastique des gobelets jetables est plus résistante à la déchirure dans la direction circonférentielle que dans la direction des génératrices, ce qui manifeste une anisotropie des propriétés mécaniques.

Les matières semi- cristallines ont une structure moléculaire hautement ordonnées, avec des points de fusion très précis. Elles ne ramollissent pas à mesure que la température augmente, puis se transforment rapi dement en un liquide à basse viscosité. ces matières ont un flux anisotrope, se retirant moins dans la direction du flux que transversalement au flux. Elles ont une excellent résistance chimique .Les semi -cristallines renforcées ont des propriétés haute-températures bien meilleures, et conservent des niveaux de résistances et de rigidité au-delà de leur température de transition vitreuse (Tg).



Figure I.2 : polymère semi-cristallin.

### I.7.1.2 Les polymères amorphes

Ils sont transparents. En dessous de leur température de transition vitreuse (ramollissement) ils sont à l'état vitreux et l'on parle de verres organiques. Ils sont généralement peu résistants à la rupture. L'adjonction de particules d'élastomère permet de les rendre plus ductiles. Les chaînes macromoléculaires peuvent être orientées au cours de la mise en œuvre, ce qui leur confère des propriétés anisotropes. Les matières hautes températures amorphes ont une structure moléculaire disposée aléatoirement, et n'ayant pas de point de fusion précis, se ramollissent progressivement à mesure que la température augmente. Ces matières changent de viscosité à mesure que la température augmente. Ces matières changent de viscosités lorsque elles sont chauffées, mais ont rarement un flux aussi aisé que les matières semi-cristallines. Leur flux est isotrope, avec un retrait uniforme dans la direction du flux et transversal au flux. C'est pour quoi les matières amorphes ont des retraits au moule moins élevés, et une moindre tendance à la déformation que les matières semi-cristallines.

Les résines amorphes perdent leur résistance rapidement au-dessus de leur température de transition vitreuse ( $T_g$ ).

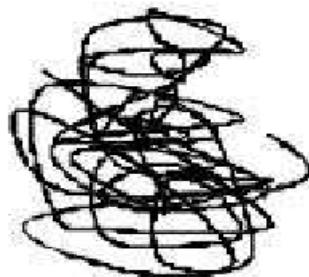


Figure I.3 : Polymère amorphe.

### I.7.2 Selon leur Origine [8]

#### I.7.2.1 Polymères naturels

Ils sont issus des règnes végétal ou animal, leur importance est considérable. On peut cependant mentionner, dans cette catégorie, la famille des polysaccharides (cellulose, amidon...), celle des protéines (laine, soie...), caoutchouc naturel (poly isoprène – vulcanisation du latex de l'hévéa), Silicates, protéines.

➤ Polymères synthétiques

On peut en citer :

Le polychlorure de vinyle (PVC), polypropylène (PP), polyéthylène (PE), polyéthylène à basse densité (PE-BD), polyéthylène à haute densité (PE-HD), polyamide (PA), poly tétra fluoré éthylène (PTFE, " téflon "), polyéthylène téréphtalate (PET), polyméthacrylate de méthyle (PMMA), polycarbonate (PC), polystyrène (PS), polyuréthane (PU), polydiméthylesiloxanes (silicone).

➤ Polymères artificiels

Dérivés des polymères naturels, nitrate et acétate de cellulose, Ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

### I.7.3 Selon la structure

On classe les polymères selon la nature du monomère qui les constitue ainsi que la disposition des radicaux sur la chaîne hydrocarbure, et aussi la disposition spatiale des polymères.

#### I.7.3.1 structure primaire

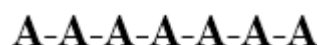
On parle de deux types de polymères :

- Les homopolymères
- Les copolymères

➤ Les homopolymères :

Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Parmi les homopolymères, on peut citer le polyéthylène. Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles. Parmi eux, nous trouvons :

- les homopolymères :



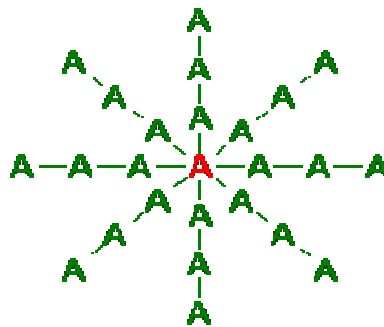
## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

- les homopolymères branchés :



- Les homopolymères étoilés :



- Les copolymères :

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymers

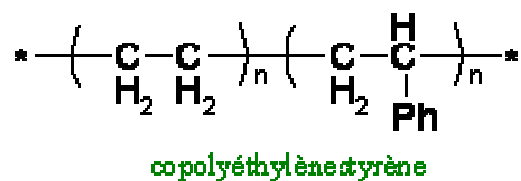


Figure I.4: représentation de copolymère.

- le mode statistique :



- le mode alterné :



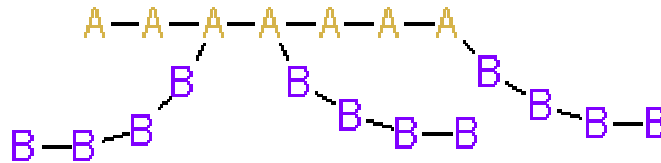
- le mode séquencé :



## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

- le mode greffé :



### I.7.3.2 Structure secondaire

C'est la conformation d'une chaîne isolée. Ainsi, en solution, la chaîne se met en pelote statistique ; La pelote statistique est sans arrêt en train de bouger mais elle occupe un volume hydrodynamique à peu près constant : sous forme solide, on retrouve la chaîne sous deux formes :

- La chaîne garde son organisation en pelote et le solide obtenu est amorphe.
- La chaîne s'organise du fait d'interactions particulières (liaisons H, interactions polaires).

### I.7.3.3 Structure tertiaire

Cette structure touche à l'organisation des chaînes au sein du matériau. Certains polymères, à l'état solide, gardent leur forme pelote. On va donc avoir un matériau constitué de pelotes statistiques enchevêtrées.

## I.7.4 Selon leur domaine d'application

Ils sont regroupés en trois grandes catégories :

### I.7.4.1 Les polymères de grande diffusion

Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie d'une importance économique considérable. [8]

### I.7.4.2 Les polymères techniques

Les polyamides, les poly acétals....font partie de cette famille.

### I.7.4.3 Les polymères spéciaux

C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photo actifs, thermostables, adhésifs, etc.

### I.8 Propriétés des polymères [7], [9]

#### I.8.1 Propriétés chimiques

Le comportement chimique du matériau dépend en grande partie de la nature chimique de la partie polymère mais aussi de son accessibilité aux agents extérieurs. L'action des produits chimique sur le matériau, puis du Comportement au feu qui est une attaque chimique à température élevée par l'air. Ce pendant des réactifs utilises comme solvants peuvent être des agents d'attaque chimique, les liaisons chimiques peuvent être dégradées chimiquement sous l'action des acides à température élevée.

#### I.8.2 Propriétés physiques

Si l'on considère l'usage des matériaux polymères, on distingue deux classes : les polymères techniques et les polymères à usage structural.

- Les polymères techniques : sont généralement produits en petites quantités pour leur propriété optique, électronique, physico-chimique, pharmaceutique, etc.
- Les polymères à usage : structural sont formulés pour adapter leurs propriétés mécaniques à un usage donné. C'est essentiellement la rigidité et l'amortissement qui sont concernés. Bien sûr plusieurs propriétés peuvent être concernées simultanément, par exemple dans le cas des polymères transparents où de bonnes propriétés optiques et une moindre fragilité sont exigées. Les polymères sont de bons, voire très bons, isolants électriques et des isolants thermiques de qualité moyenne tant qu'ils ne forment pas de mousse.

#### I.8.3 Propriétés techniques

Les propriétés mécaniques décrivent leur comportement vis à vis des sollicitations mécaniques telles que pressions, étirements, torsions, frottements, chocs et effets de la pesanteur. Autrement dit, est-ce que la structure et la forme du polymère sont stables dans le temps, même s'il est un peu bousculé? Certains polymères seront appréciés pour leur bonne stabilité dimensionnelle (par exemple les polyesters aromatiques). D'autres, les élastomères, seront recherchés pour leur élasticité qui leur confère une excellente capacité d'absorption des chocs.

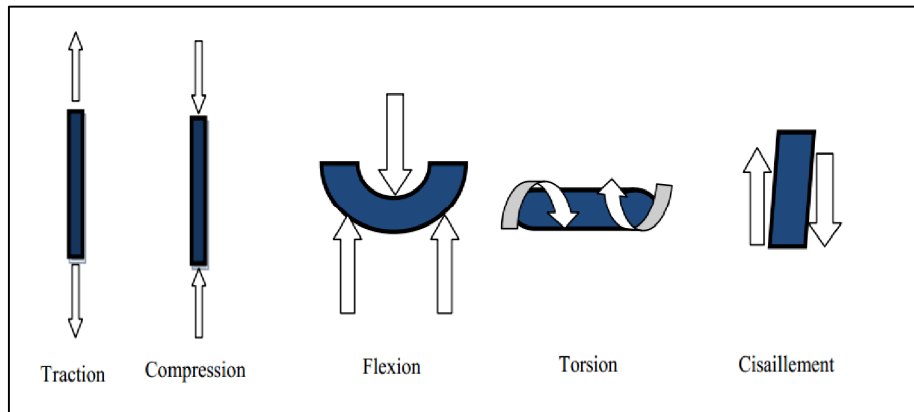


Figure I.4: Différentes sollicitations mécaniques. [10]

### I.9 Caractéristiques des polymères

Les caractéristiques spécifiques des polymères vont varier d'un matériau à l'autre, les principales sont :

- La légèreté :

La densité de la plupart des polymères est comprise entre 0,9 et 1,8

- La résistance mécanique :

Elle varie suivant la composition chimique.

Les pièces plastiques sont souvent plus résistantes et légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions.

- La transparence :

Certains polymères ont un coefficient de transmission de la lumière voisin de celui du verre, et bon nombre sont transparents translucides

- L'inaltérabilité :

Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques.

Certains demandent une protection contre les (u-v).

- L'esthétique :

Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre nombreuses.

L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression " design ".

- L'isolation :

Ce sont des bons isolants électriques, thermiques et acoustiques.

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

---

- L'imperméabilité :

Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau.

- La glisse :

Ils ont le plus souvent un faible coefficient de frottement.

- L'entretien :

Ils ne nécessitent aucun traitement de surface, ils résistent à la corrosion.

### I.10 Mise en œuvre des polymères [11]

Les techniques de transformation des plastiques sont choisies en fonction de plusieurs facteurs :

- Selon la nature du matériau (thermoplastique ou thermodurcissable).
- S'il est thermoplastique, selon la température à laquelle il ramollit.
- Selon la stabilité à l'air du matériau formé.
- Selon la forme et la taille du produit fini.

Certains de ces procédés sont très semblables à ceux servant à la fabrication des métaux et des céramiques.

#### I.10.1 Mise en œuvre des thermoplastiques

Pour mettre en œuvre un thermoplastique, on peut partir des éléments suivants :

- poudre ou granulés,
- demi-produits : plaques, feuilles ou films, objets de la matière à transformer,
- corps étranger (objet, tissu) plus poudre ou pâte thermoplastique

Un apport externe d'énergie (chauffage) ou bien interne (par frottement) permet de mener la matière de l'état solide à l'état plastique ou fondu.

- Un moule ou une filière met cette matière en forme.
- Un système de refroidissement fige la matière thermoplastique dans la forme voulue.

L'objet peut subir une nouvelle mise en œuvre (exemple : plaques, feuilles et films) ou un broyage pour être recyclé.

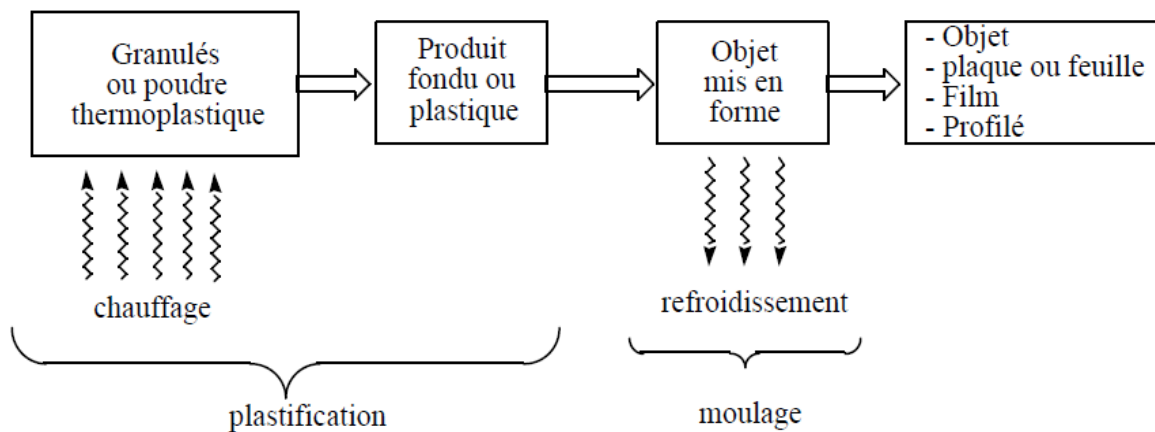


Figure I.6 : schéma de mise en œuvre des thermoplastiques.

### I.10.2 Mise en œuvre des thermodurcissables

Les composants de base peuvent être :

- un ou des liquides que l'on mélange entre eux ou avec des pâtes, ou des pâtes que l'on mélange entre elles.
- Une poudre ou des granulés préparés de la matière.
- La réaction chimique est gouvernée par le catalyseur et l'amorceur.
- Le début de la réaction est déclenché soit par le mélangeage des produits, ou par apport d'énergie (chaleur en général).
- La mise en forme des produits est exécutée avant le début de la réaction, ou pendant son démarrage (moulage, injection, stratification sur une forme...).
- L'objet est démoulé lorsque la réaction est complète (90 à 100°C). À ce moment la pièce peut être chaude ou froide.
- L'objet ne peut pas être recyclé.

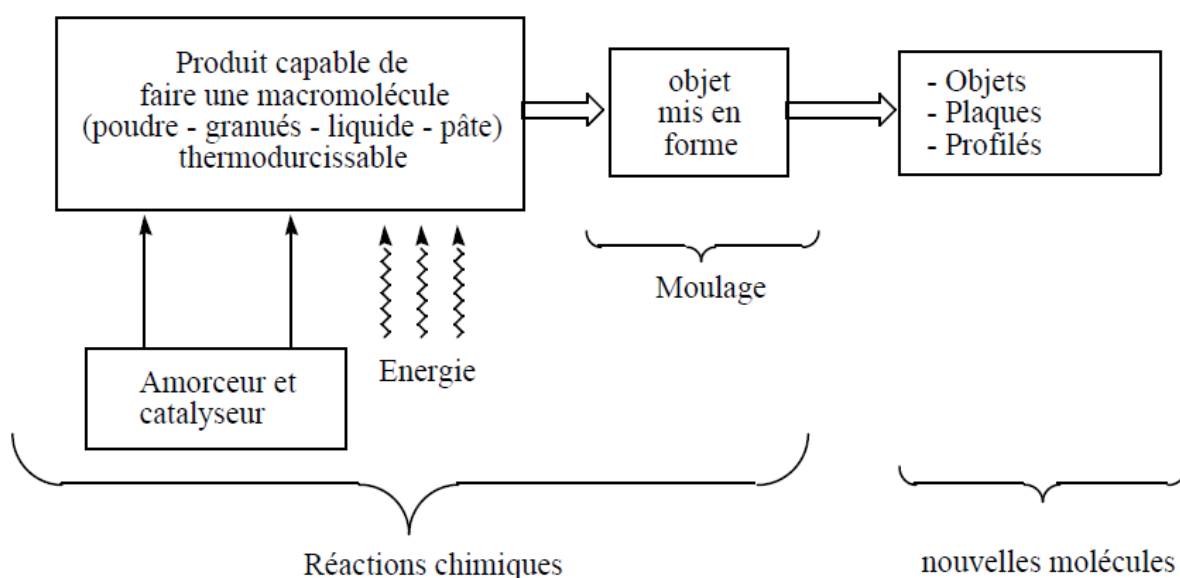


Figure I.7 : schéma de mise en œuvre des thermodurcissables.

### I.10.3 Les adjuvants

Le plus souvent, les polymères vierges ne sont pas utilisables, tels quels. On fait appel à divers adjuvants afin de les transformer plus facilement ou de leur conférer des caractéristiques désirables.

On en distingue plusieurs espèces :

➤ Les adjuvants technologiques :

Ils facilitent la mise en œuvre dans les machines de transformation : ainsi les lubrifiants et stabilisants thermiques évitent les surchauffes locales et leurs méfaits dans les canaux des machines d'injection par exemple.

➤ Les adjuvants spécifiques :

Ils protègent les polymères contre les facteurs de vieillissement ou modifient certaines de leurs propriétés physiques :

- les antioxydants et stabilisants atténuent les effets des oxydants, de la chaleur et des rayonnements,
- les plastifiants sont des composés organiques de plus ou moins haute masse moléculaire qui s'insèrent entre les chaînes du polymère, diminuant les forces d'attraction qui les lient et ainsi leur confèrent de la souplesse,
- les ignifugeants diminuent l'inflammabilité,
- les colorants confèrent l'aspect désiré,

- les charges dites inertes (farine de bois, craie...) diminuent le prix de revient et participent à l'amélioration de certaines propriétés (dureté, résistance au pincement...)
- les agents de renforcement qui peuvent être des polymères (de haute masse moléculaire et de nature différente que la matrice) ou fibreux (fibre de verre, de carbone...), améliorent de nombreuses propriétés mécaniques telles que la ténacité, la résistance aux chocs, la résistance en traction et la tenue mécanique à chaud.<sup>7</sup>

### I.11 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, l'extrusion, le calandrage, le roto moulage et le thermoformage.[12]

#### I.11.1 L'injection [12]

##### I.11.1.1 L'injection par moulage

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.

Les différentes phases du cycle d'injection se déroulent de la manière suivante :

- 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.

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

- Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce. Pour changer la forme de la pièce, il suffit de changer de moule.

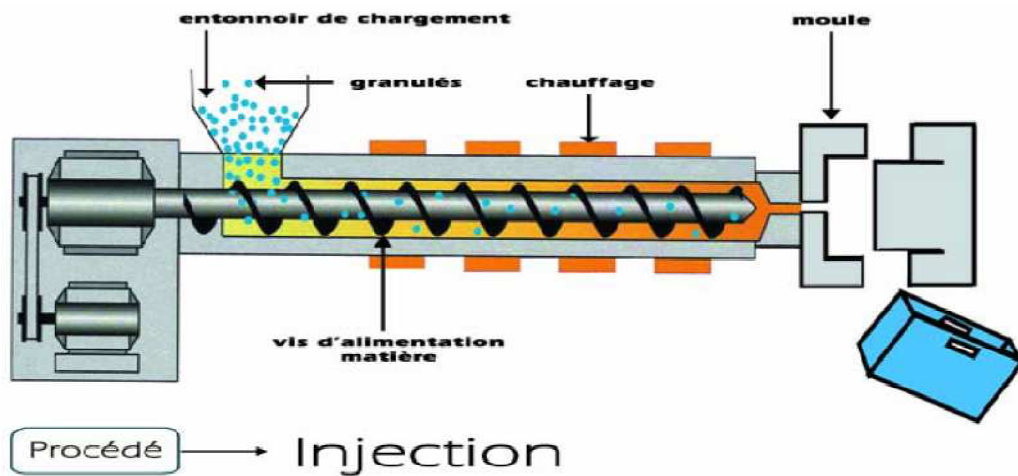


Figure I.8 : machine à injection plastique

### I.11.1.2 L'injection par soufflage

Ce procédé est utilisé pour fabriquer la plupart des bouteilles et flacons. On utilise des pièces semi-finies obtenues par injection.

Par exemple pour les bouteilles d'eaux minérales, le cycle de fabrication se compose de quatre étapes :

- 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.
- 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.

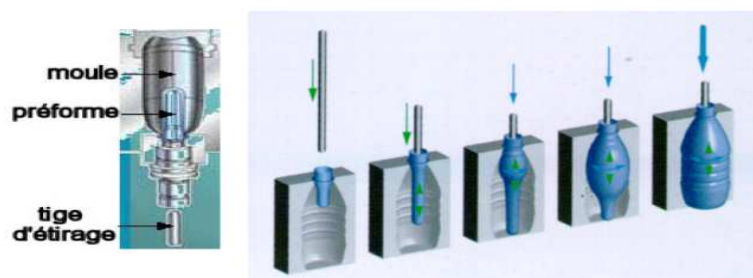


Figure I.9 : étapes d'injection par soufflage. [13]

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

Vu l'orientation de la matière pendant le soufflage, les propriétés mécaniques sont améliorées dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'objet. Pour obtenir une amélioration également dans l'axe du récipient, on pratique le soufflage bi-orienté, qui comporte une étape supplémentaire de pré-étirage mécanique de la paraison dans le sens axial avant le soufflage. Cet étirement assure l'amélioration des caractéristiques dans le sens de l'axe, ce qui n'est pas le cas dans le soufflage simple. [14]

### I.11.2 L'extrusion [12]

C'est une extrudeuse qui permet d'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.

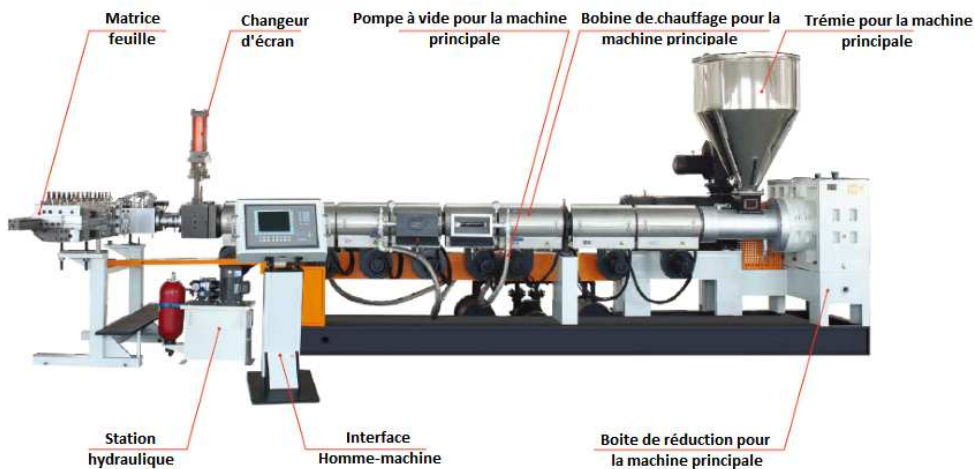


Figure I.10 : extrudeuse. [15]

L'extrusion est un procédé de transformation en continu. Comme pour l'injection, il se compose d'étapes suivantes :

- 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.

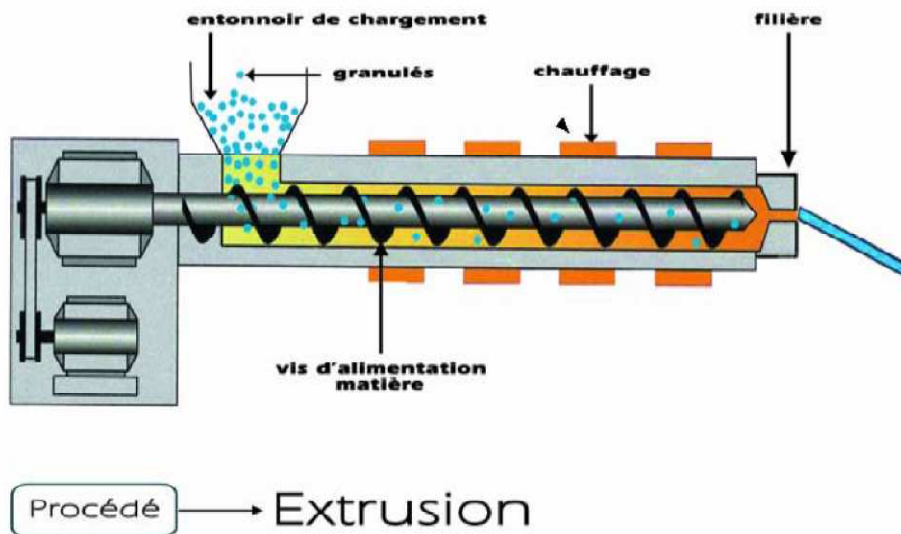


Figure I.11 : machine à extrusion

### I.11.2.1 L'extrusion par soufflage

L'extrusion par soufflage permet de fabriquer des corps creux, en se basant sur les étapes suivantes :

- 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.

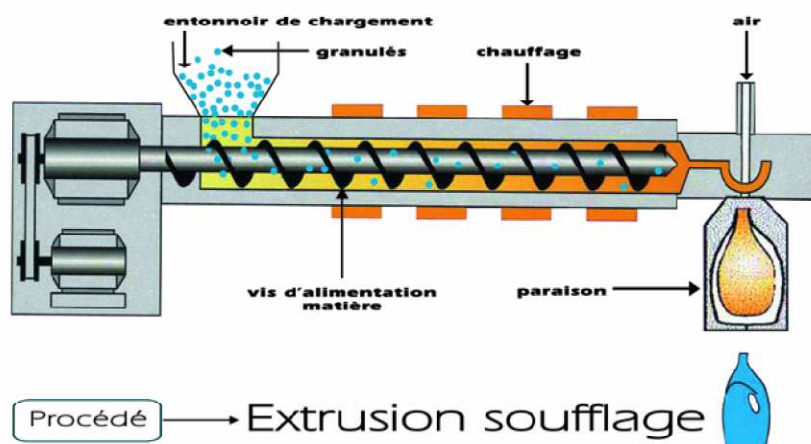


Figure I.12 : machine à extrusion par soufflage

### I.11.2.2 L'extrusion par gonflage

C'est une variante de l'extrusion qui permet de fabriquer des films plastiques. Ce procédé consiste à dilater avec de l'air comprimé en sortie de l'extrudeuse une gaine polymère précédemment formée.

Ce procédé se compose des étapes suivantes :

- 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.

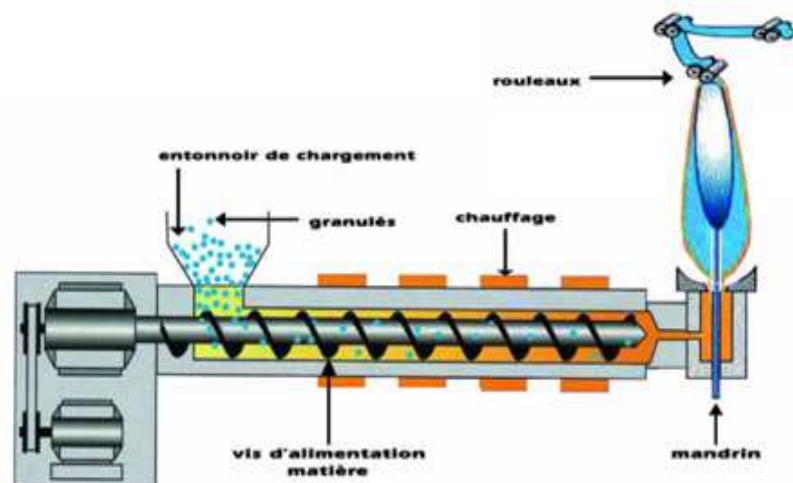


Figure I.13 : machine à extrusion par gonflage

### I.11.3 Le calandrage [12]

Le calandrage est un procédé de laminage utilisé pour la production de feuilles et de films plastiques, il est souvent utilisé aussi 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 cuir.

On distingue trois groupes de calendres :

- Les calendres utilisées pour la fabrication de feuilles ; de films et de plaques souples à partir d'un mélange de résine thermoplastique avec les différents additifs. Ce sont des machines lourdes à plusieurs cylindres (4à6) de grand diamètre consomment beaucoup d'énergie.

## Chapitre I : Généralités sur les Polymères

- Les calendres destinées à la finition de feuilles ou de plaques extrudées par la filière plate.
- Les calendres auxiliaires utilisées par plusieurs techniques de finition telles que plaxage ; enduction ; et grainage.
- Le procédé suit les étapes suivantes :
- 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.

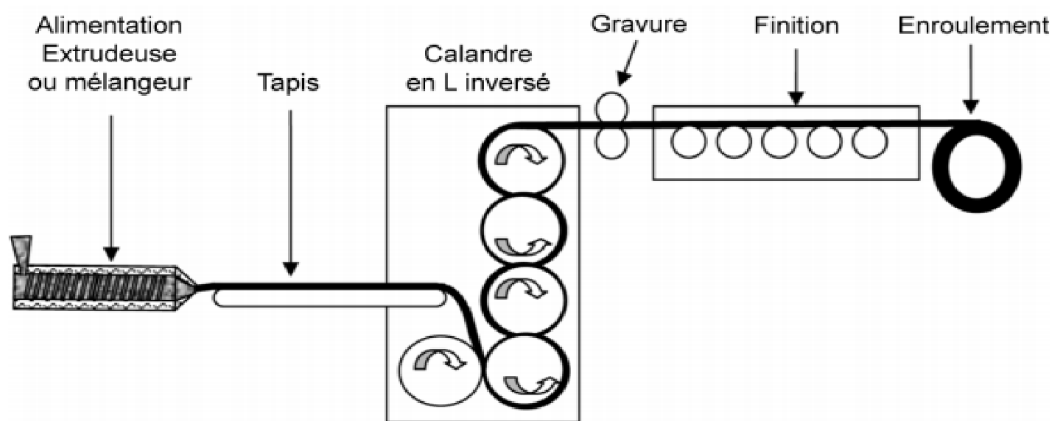


Figure I.14 : procédé de calendrage

### I.11.4 Le rotomoulage [12][16]

Le rotomoulage est utilisé pour la fabrication d'objets creux de grandes dimensions ou de formes complexes et pour les petites séries comme des kayaks, des planches à voiles, des cuves ou des containers.

On introduit le polymère sous forme de poudre, on l'enferme dans un moule chauffant et fermé que l'on fait tourner dans toutes les directions pour que la matière couvre uniformément toute la paroi, puis on chauffe pour la gélifier et enfin on refroidit.

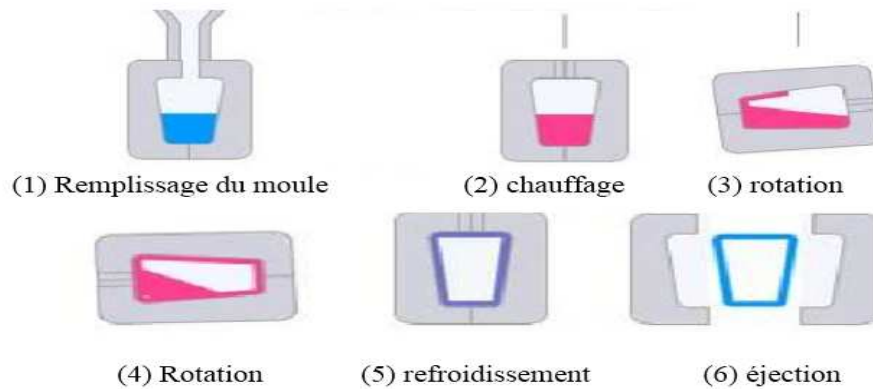


Figure I.15 : cycle de rotomoulage.

### I.11.5 Le thermoformage

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

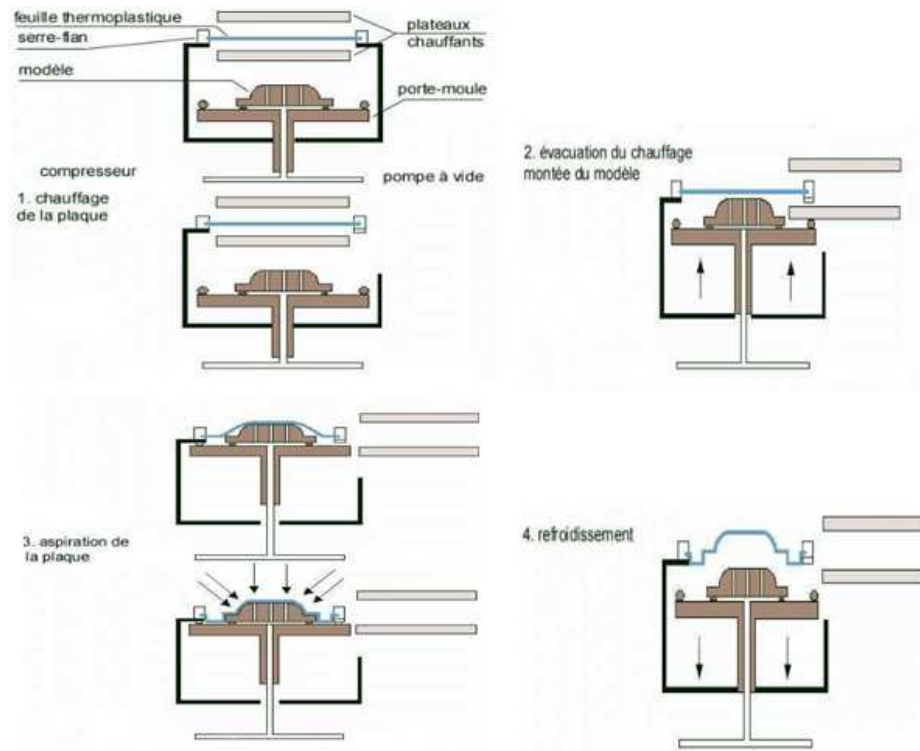


Figure I.16 : cycle de thermoformage

### I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectués une synthèse bibliographique affiliée aux généralités sur les polymères. De ce fait, les polymères sont groupés dans la classe des matériaux complexes en comparaison aux matériaux issus de petites molécules.

Nous avons aussi passés en revue les techniques de transformation des polymères, en mettant en avant les différents procédés d'élaboration.

### II.1 Introduction

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie. Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est dans la plupart des cas faible. Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage, qui est le réemploi permettant d'économiser une grande quantité d'énergie primaire, notamment du pétrole, la principale matière première de la plupart des matières plastiques.

Dans ce chapitre, nous tenterons de mieux faire comprendre la problématique du recyclage des déchets polymériques en général et ceux issus des casses automobiles en particulier et les développements auxquels on peut s'attendre dans ce domaine, et cela en exposant quelques définitions d'après plusieurs ouvrages.

Ensuite, nous examinerons comment ce type de 'déchet' peut vivre plusieurs vies par le réemploi, le recyclage ou la récupération d'énergie. Le tout en attachant toujours de l'attention aux aspects techniques, à ce qui se passe déjà aujourd'hui et à ce qui nous attend dans le futur.

### II.2 Circuit du recyclage des polymères en général

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (déchet industriel ou ordures ménagères) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication. [17]

#### II.2.1 Aperçu général du recyclage des plastiques

Le recyclage des plastiques est relativement jeune, il s'est intensifié avec le développement des infrastructures et des technologies au cours des récentes années, on a vu un accroissement remarquable des initiatives de conversion des plastiques usés en nouveaux produits. En fait, le nombre d'usines de recyclage des plastiques a multiplié fois huit de 1980 à aujourd'hui.

Tout programme de conservation et de récupération des plastiques doit comporter plusieurs facettes, soit une stratégie harmonisée, économique, réaliste et intégrée qui incorpore la réduction à la source (produire moins d'abord), la réutilisation, la valorisation énergétique et la conservation des sites d'enfouissement. Le recyclage n'en demeure pas moins un élément crucial de toute gestion intégrée des ressources.

### II.2.2 La chaîne de production des plastiques [18]

La chaîne de production de l'industrie des plastiques est essentiellement un processus de valeur ajoutée à chacune des étapes du traitement, à partir des matières premières elles-mêmes jusqu'aux produits finis livrés au marché dont la production mondiale est représentée dans la figure ci-dessous.

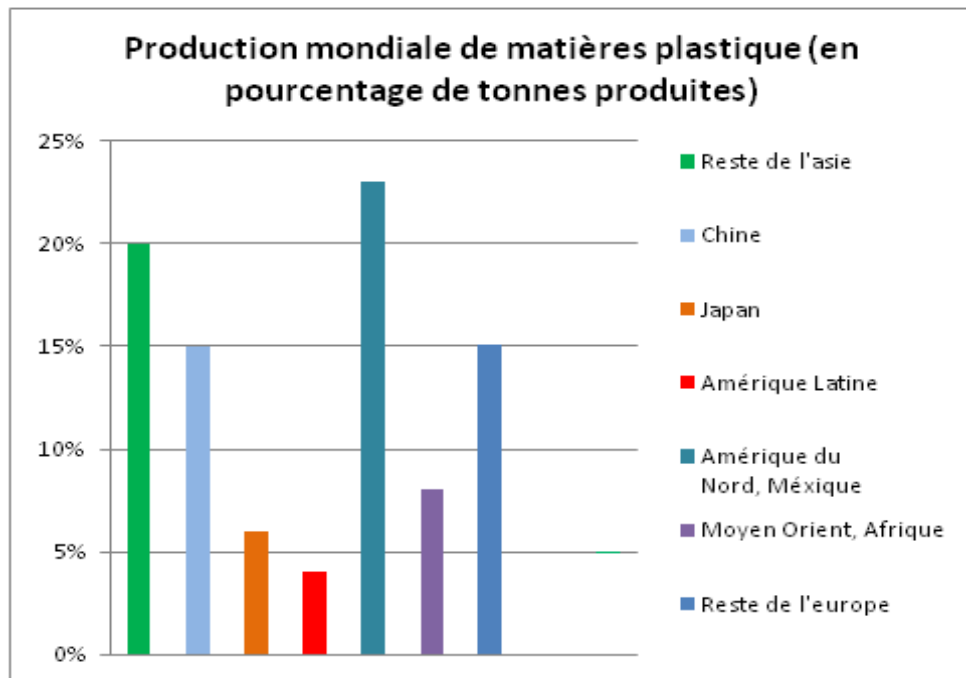


Figure II.1 : Production mondiale de matières plastiques

Le processus comporte globalement les étapes suivantes :

- ▶ La production de monomères à partir du pétrole ou du gaz naturel ;
- ▶ La conversion des monomères en polymères ;
- ▶ La transformation des résines de plastique en produits utiles tels des composantes industrielles, des bouteilles, des contenants, des pellicules, des fibres, etc. ; et
- ▶ la mise en marché de produits finis qui répondent à des besoins particuliers dans des domaines comme l'emballage, l'électronique, l'automobile, les soins de santé, etc.

L'industrie des plastiques s'efforce de minimiser ses coûts tout en maximisant la valeur ajoutée à chacune des étapes de cette chaîne. En premier lieu, l'industrie cherche de plus en plus à réduire la quantité de matériaux requis pour fabriquer ses produits puis à

trouver des moyens pratiques pour faciliter la réutilisation, la récupération et la disposition de ces produits quand ils ont atteint la fin de leur vie utile.

Le recyclage constitue une importante technique de récupération des ressources.

### **II.2.3 L'infrastructure du recyclage [18]**

L'industrie du recyclage des plastiques est encore jeune. Il y a à peine Vingt ans, il n'y avait pratiquement aucune technique et ni infrastructure. Aujourd'hui, ce recyclage connaît des progrès remarquables. Combiné à d'autres composantes de la gestion des ressources, il permet de réduire les quantités de déchets qui autrement seraient acheminés vers les dépotoirs. Il doit y avoir une infrastructure de base pour qu'on puisse mettre au point des méthodes rentables et efficaces de recyclage des plastiques usées, qu'on les récupère du circuit des déchets et qu'on les réintègre au processus de fabrication industrielle. On a besoin d'une infrastructure de recyclage appropriée qui assurera le retour aux fabricants des plastiques usées.

Comme pour toute autre matière recyclable, l'infrastructure de recyclage des plastiques comporte quatre éléments :

#### **II.2.3.1 La collecte**

Les plastiques sont collectés plutôt que jetés après usage.

#### **II.2.3.2 Le tri et la manutention**

Les plastiques collectés sont triés pour maximiser leur qualité, puis mis en ballots pour réduire les coûts d'entreposage et de transport.

#### **II.2.3.3 Le recyclage**

Les plastiques triés sont lavés, puis transformés directement en produits finis, ou bien en granules ou billes ayant une qualité homogène et acceptable pour les fabricants.

#### **II.2.3.4 La réintégration des plastiques**

Les étapes nécessaires au recyclage des plastiques peuvent varier d'un établissement à l'autre, mais elles impliquent généralement un lavage et une conversion, soit en flocons, soit en granules. On obtient les billes en faisant fondre le plastique puis en l'extrudant en fines pailles qui sont ensuite coupées en morceaux identiques. C'est sous forme de flocons et de granules qu'est vendue la matière première, qu'il s'agisse de résine vierge ou recyclée.

#### **II.2.3.5 La mise en marché**

Les billes et granules (produits finis) sont mises en marché.

### II.2.4 Les différents procédés de recyclage [18]

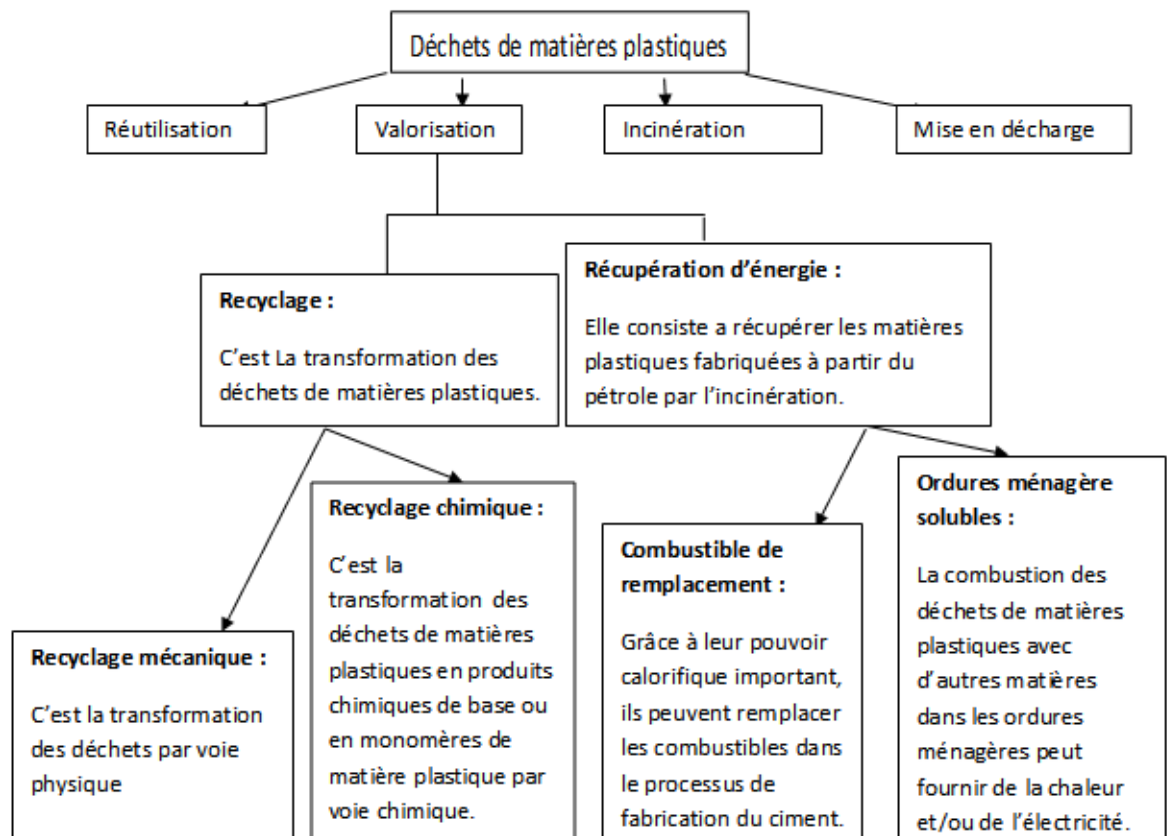


Figure II.2 : Représente le devenir des matières plastiques soumis à une transformation et leur intérêt économique.

#### II.2.4.1 Le procédé mécanique

Le procédé mécanique comporte les étapes suivantes :

➤ Inspection :

On vérifie les intrants plastiques pour s'assurer qu'ils ne contiennent pas de contaminants et s'ils sont d'un type que le recycleur ne peut pas traiter. (Certaines installations traitent divers types de plastique tandis que d'autres n'en traitent qu'un seul).

➤ Le lavage et le broyage :

Les plastiques sont broyés et lavés. (L'eau de lavage n'est pas nocive et elle peut être filtrée et réutilisée).

➤ Le tri dans la cuve de flottaison :

Si on traite des plastiques mixtes, ils sont séparés dans une cuve de flottaison. (Certains plastiques flottent, d'autres pas).

## Chapitre II : Le recyclage des Polymères

---

➤ Le séchage :

Les granules propres doivent être complètement séchés. (Toute humidité résiduelle peut affecter la qualité du produit fini).

➤ La fusion :

Les granules séchés sont passés dans une machine à extrusion où ils se liquéfient sous l'effet de la chaleur et de la pression. (Chaque type de plastique a un point de fusion qui lui est propre).

➤ Le filtrage :

Le plastique liquéfié est passé dans un filtre fin pour en éliminer tout contaminant qui aurait résisté au lavage.

➤ La granulation :

Les pailles sont refroidies, coupées en morceaux et entreposées pour la vente et l'expédition.

### II.2.4.2 Le recyclage en vrac

Le recyclage en vrac est celui où on utilise comme matière première, des déchets de plastiques mixtes tels quels. Il diffère sensiblement du recyclage mécanique puisqu'il ne requiert ni triage, ni lavage des plastiques, qui sont plutôt directement moulés en produits tels des plastiques simili-bois et des substituts aux matériaux de construction.

Grâce à leur résistance à l'eau, aux insectes, aux champignons et aux intempéries, les plastiques simili-bois sont un bon substitut pour le bois traité sous pression.

### II.2.4.3 Recyclage chimique et thermique

Il s'agit d'une nouvelle approche au recyclage des plastiques usées qui peut augmenter considérablement les plastiques recyclables.

Les procédés de recyclage chimique et thermique donnent une variété de produits finis qui nous ramènent aux composantes originelles des plastiques.

En fractionnant les plastiques (polymères) en leurs composantes moléculaires d'origine (monomères), ou en divers autres produits pétroliers.

➤ Le procédé chimique :

Le procédé chimique par lequel certains plastiques sont reconvertis en matières premières s'appelle dépolymérisation. Deux variations de ce procédé - la méthanolyse et la glycolyse - sont employées pour produire certains polymères, exemple du (PET), le plastique communément utilisé dans les bouteilles de boissons gazeuses.

➤ Le procédé thermique :

## Chapitre II : Le recyclage des Polymères

---

Grâce à un procédé appelé «décomposition thermique», les plastiques sont chauffés dans une unité de recyclage à une température élevée ou ils sont convertis en produits pétroliers liquides qui servent à fabriquer d'autres plastiques. Cette technologie de recyclage permet aussi de produire de petites quantités de carbone solide et de gaz légers.

Lorsqu'il est intégré aux systèmes mécaniques traditionnels de recyclage, ce procédé thermique offre plusieurs avantages importants :

- les plastiques post-consommations contenant de hauts niveaux de contamination (déchets alimentaires, étiquettes) peuvent être recyclés en toute sécurité ;
- on peut recycler des plastiques mixtes et en vrac;
- c'est un procédé sans danger pour l'environnement.

Bien que plusieurs de ces technologies de recyclage des plastiques soient encore au stade du développement, elles offrent la possibilité d'accroître la capacité des infrastructures de recyclage à conserver les ressources naturelles et à réduire les déchets.

### II.2.5 Evaluation des impacts du recyclage [18]

Le recyclage évite la mise en décharge des déchets et permet d'éviter, par conséquent, des émissions de gaz à effet de serre. Il permet également de remplacer le plastique vierge, ce qui évite tout impact environnemental lié à l'extraction et au raffinage. Parallèlement, le recyclage offre des avantages économiques et sociaux : activité économique, innovation, emploi.

#### II.2.5.1 Impacts économiques

Le recyclage est de plus en plus important pour l'économie car il fournit des intrants importants en remplaçant les matières premières vierges et en améliorant l'efficacité d'utilisation des ressources pour la production.

Les recettes directement issues du recyclage des plastiques apportent une contribution substantielle et croissante à l'économie. En tant qu'activité économique, le recyclage a un impact approximativement deux fois supérieur à celui de la mise en décharge.

Un renforcement de l'objectif de recyclage des plastiques offrirait un climat d'investissement plus stable pour le secteur. Il encouragerait les investissements dans de nouvelles machines et logistiques, la modernisation des infrastructures actuelles de gestion des déchets et l'amélioration des systèmes de collecte, c'est-à-dire la collecte séparée.

En fonction des conditions du marché, les plastiques recyclés représentent une économie estimative de 25 à 50% par rapport aux plastiques vierges en termes de prix du

marché uniquement (c'est-à-dire même sans prendre en compte l'ensemble des autres avantages associés). Pour les plastiques mixtes, la différence par rapport au PP vierge de catégorie injection peut être de 50%, voire davantage.

Le secteur du recyclage des plastiques fait actuellement économiser beaucoup d'argent, si tous les plastiques étaient recyclés, les économies progresseraient de façon considérable.

### **II.2.5.2 Impacts environnementaux**

Le recyclage occupe une place importante dans la directive-cadre sur les déchets. Après la prévention et la réutilisation, le recyclage est préféré aux solutions de valorisation énergétique et d'élimination. Ses avantages environnementaux par rapport aux autres alternatives ont fait l'objet de nombreuses études et incluent des réductions en matière de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre, d'épuisement des ressources (et d'occupation des sols), d'émissions de particules, d'acidification, de pollution sonore, olfactive et visuelle. Dans la plupart des cas, le recyclage présente également des impacts environnementaux plus faibles que la production de matières vierges. Et dans de nombreux cas, notamment pour les secteurs de l'automobile (parties légères) et du bâtiment (isolation), les produits à base de plastique recyclé permettent de réaliser des économies d'énergie et de CO<sub>2</sub> non négligeables.

Du point de vue de l'efficacité de l'utilisation des ressources, en se substituant au plastique vierge le recyclage réduit l'extraction des matières premières, garantit que les ressources restent dans l'économie, et contribue à découpler l'utilisation des matériaux de la croissance économique.

### **II.2.5.3 Impacts en matière d'emploi**

Le recyclage apporte une contribution importante à la création de nouveaux emplois. Il crée plus d'emplois assortis de revenus plus élevés que la mise en décharge ou l'incinération.

Bien que les données officielles ne soient pas disponibles pour les plastiques séparément, l'emploi lié au recyclage de tous les matériaux dans les pays européens a augmenté progressivement pour passer de 422 emplois par million d'habitants en 2000 à 611 emplois en 2007.

L'emploi dans le secteur du recyclage des plastiques inclue le travail traditionnel de tri manuel peu qualifié, mais aussi de plus en plus des emplois très qualifiés, allant de la collecte et du tri au traitement et à la transformation des matériaux jusqu'à la fabrication des produits. Les emplois peu qualifiés peuvent être occupés par des employés disposant de

moins d'options dans le reste de l'économie, ce qui constitue un facteur important de réduction de la pauvreté.

### II.3 Circuit du recyclage des polymères de déchets automobiles

L'industrie automobile génère des pollutions directes qui sont les rejets atmosphériques, les nuisances sonores et les déchets issus des usines de production et indirectes issus des véhicules en fin de vie, pour réduire ces risques, des mesures ont été mises en place, que ce soit de manière volontaire ou réglementaire, pour faire évoluer les pratiques de conception, de fabrication, d'utilisation des produits et de gestion des déchets.

Dans ce cadre, le recyclage de ces déchets polymériques sous forme de matières à réintroduire dans le cycle industriel joue un rôle très important, la chaîne de recyclage suit les mêmes étapes que pour les polymères en général qui commence par la collecte et le tri et qui fini par la mise en marché des pièces en plastiques recyclées. [19]

#### II.3.1 Réglementation sur l'automobile [19]

Cette partie a pour objectif de développer les aspects réglementaires de la mise en place des normes dans les entreprises de réparation et de démontage de carrosseries automobiles et de donner des exemples de traitement des différents déchets polymériques issus de la réparation et du démontage.

##### II.3.1.1 Les véhicules en réparation

Les professionnels de la réparation automobile ont la responsabilité d'organiser le recyclage de leurs déchets polymériques et doivent les trier et les stocker dans des installations agréées. D'autre part les déchets non recyclables sont remis à des entreprises d'élimination agréés reconnues par les Pouvoirs publics, comme c'est le cas pour la récupération des huiles usagées, des batteries, et des pneus.

##### II.3.1.2 Les véhicules en fin de vie

Dans plusieurs pays du monde et notamment en Europe, il existe un décret relatif à la construction et à la destruction des véhicules hors d'usage (V.H.U). Cette réglementation oblige les constructeurs de manière catégorique à la collecte, le retraitement et la destruction des VHU et doivent mettre en place une filière adaptée.

### II.3.2 L'introduction des polymères dans l'industrie automobile

La filière automobile est soumise à de forts enjeux, en particulier avec une contrainte réglementaire sur le niveau de valorisation en fin de vie des véhicules.

Dans ce contexte, les constructeurs ont fait de l'allègement des véhicules l'une de leurs priorités, les matériaux organiques (plastiques, composites, élastomères...) vont prendre une place de plus en plus importante. En effet, les ventes d'automobiles ne cessent de progresser d'année en année, aujourd'hui le marché mondial est estimé à plus d'un milliard d'unités sachant que le poids du plastique dans une automobile n'arrête pas de croître : 8 kg en 1960, 115 kg en 1990, 200 kg aujourd'hui, et probablement 400 kg dans les années à venir soit 40 % du poids moyen d'une automobile. [17] (figure II.3)

Cependant, avec le développement de l'économie, les constructeurs sont amenés à repenser leurs stratégies, et notamment par l'augmentation de la part des matériaux issus du recyclage dans les nouveaux véhicules. Ils se sont fixé en particulier des objectifs ambitieux concernant l'intégration de matières plastiques recyclées. [20]

Illustration des avantages des plastiques utilisés dans l'automobile dans le tableau ci-dessous.

	Propriétés recherchées dans les MP
Industrie Automobile	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Une plus grande liberté du design.</li><li>➤ Intégration fonctionnelle.</li><li>➤ Une diminution des coûts de revient.</li><li>➤ Une plus grande automatisation des tâches.</li><li>➤ Un allègement des poids des véhicules entraînant une économie du carburant.</li><li>➤ Une sécurité accrue en cas de chocs.</li><li>➤ Un meilleur confort pour les usagers.</li></ul>

Tableau II.1 : Propriétés d'usage des MP dans l'industrie automobile

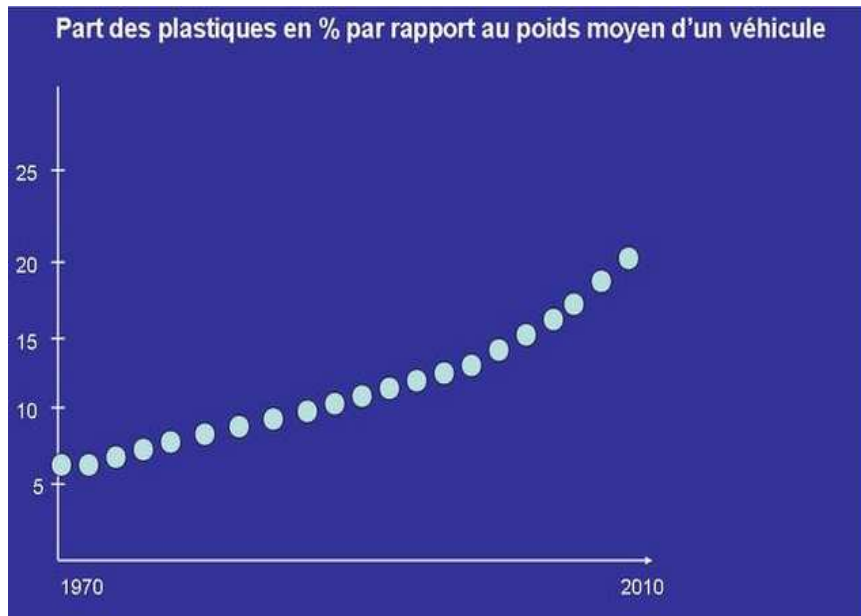


Figure II.3 : Part des plastiques en % par rapport au poids moyen d'un véhicule

### II.3.3 Les polymères utilisés dans l'industrie automobile [1][19]

Le polypropylène (PP) est l'un des polymères les plus utilisés dans la fabrication des automobiles, il atteint un pourcentage de 5% par rapport à la masse totale de la voiture et 43% des MP utilisés (voir tableau n°3). Grâce à ses propriétés intéressantes : taux de cristallinité important (bonne tenue mécanique en général et aux chocs en présence d'élastomères EPR, EPDM,...), stabilité dimensionnelle lors de l'usage, faible coût, facilité de mise en œuvre ainsi qu'une bonne aptitude au recyclage.

L'importante augmentation dans la consommation du polypropylène dans l'industrie automobile nous amène à penser sérieusement au recyclage de ce matériau après utilisation. Mais malheureusement plusieurs problèmes tendent à limiter cette voie de valorisation:

- la majorité des polypropylènes utilisés dans les automobiles se présentent sous forme de mélanges de polymères (PE, ABS, PVC,...), d'élastomères (EPR, EPDM,...) et de charges ( $\text{CaCO}_3$ , talc, noir de carbone,...),

- les différents composants d'une voiture sont revêtus par un ou plusieurs types de peintures (polyuréthanes, acryliques,...) qui pourraient abaisser les propriétés du matériau lors du recyclage.

## Chapitre II : Le recyclage des Polymères

En plus du polypropylène, le polyuréthane (PU), et le polychlorure de vinyle (PVC) d'autres polymères sont utilisés, quelques exemples (poids en kg hors textile et mastics) dans l'automobile sont donnés dans le tableau ci-dessous.

POLYMERES	Renault Modus	Smart Forfour	BMW Serie1	Toyota Aygo	Honda FR-V
Polypropylène	77	64	72	47	68
Polyuréthane	19	29	27	12	19
Polyamide	16	10	28	8	6
Polyesters saturés	5	2	4	1	3
Polyéthylène	8	8	12	7	9
PVC	5	4	7	3	6
ABS	5	2	14	1	3
Polyacétal (POM)	2	1	3	3	4
Polycarbonate	2	35	2	1	2
Autres	10	27	28	10	34
TOTAL	148	180	200	90	154

Tableau II.2 : Exemple de l'utilisation des polymères dans l'automobile (en kg)

### II.3.4 Répartition des pièces polymériques dans un véhicule [1]

Les polymères sont utilisés dans les différents modules d'un véhicule :

- les pièces intérieures de l'habitacle (env. 46% des MP)
- les pièces extérieures et la carrosserie (env. 29% des MP)
- les pièces de structure et les réservoirs (env. 13% des MP)
- les pièces sous-capot (env. 12% des MP)

On illustre cette répartition par deux exemples :

## Chapitre II : Le recyclage des Polymères

➤ Le tableau ci-dessous.

Polymères	Part (%)	FONCTION
Polypropylène (PP)	43	Pare chocs, enjoliveurs, habillages d'intérieur
Polyuréthane (PU)	14	Mousses de sièges, pare-chocs
Polychlorure de vinyle (PVC)	3	Câblerie, joints, mastics d'étanchéité, planches de tableau de bord
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	7	Pièces d'intérieur, calandres
Polyamide (PA)	12	Circuits, freinage, pneus (camions), canalisations d'essence
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et Polycarbonate (PC)	4	Feux arrière, toits ouvrants, plaques d'immatriculations
Polyéthylène (PE)	8	Réservoirs d'essence et lave-glace
AUTRES	9	...

Tableau II.3 : Répartition des résines utilisées dans l'industrie automobile

➤ La figure ci-dessous.

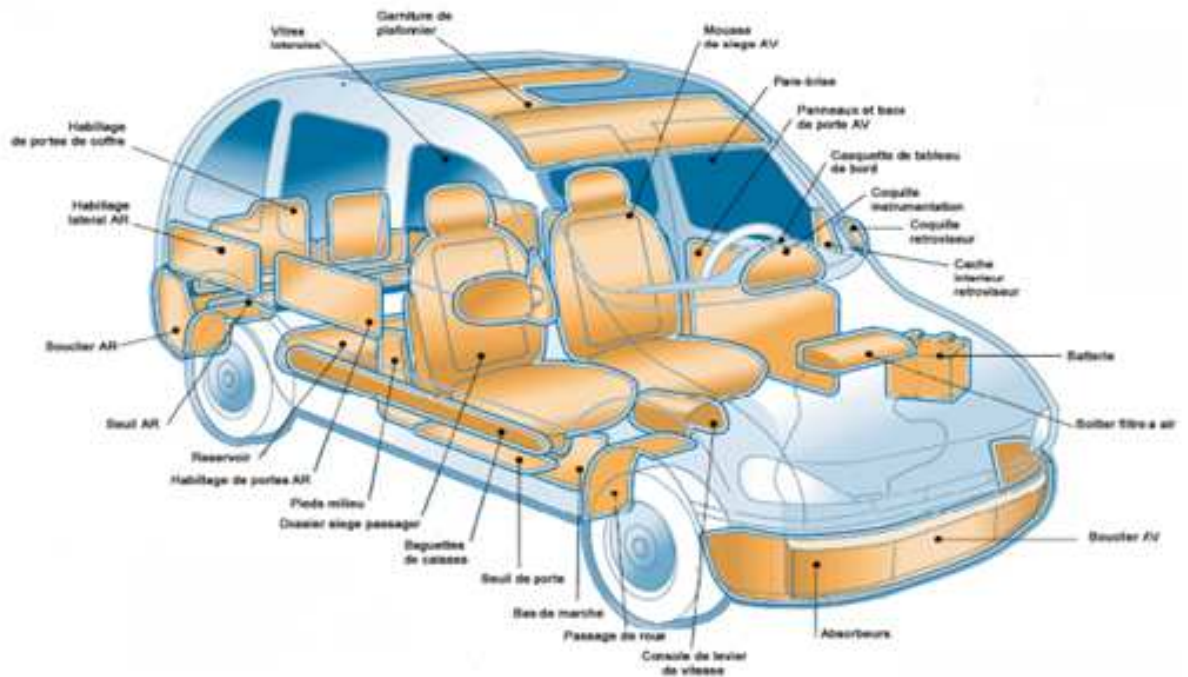


Figure II.4 : Répartition des pièces polymériques dans un véhicule

### II.3.5 Le recyclage des polymères issus de l'automobile

#### II.3.5.1 Description des différents acteurs de la filière de recyclage des polymères issus de l'automobile [19]

Les différents acteurs intervenant dans le traitement d'un VHU sont les démolisseurs, qui dans notre cas extraient les matières plastiques ayant une forte valeur ajoutée ; les broyeurs, qui récupèrent les pièces pour en faire de nouvelles matières premières ; et enfin les installations permettant de valoriser énergétiquement les résidus combustibles issus de l'ensemble de la filière de traitement.

##### II.3.5.1.1 Les démolisseurs

Les démolisseurs sont essentiellement de petites structures travaillant de manière artisanale. Actuellement, ils récupèrent la majeure partie des VHU. Ces derniers sont issus des concessions, des assurances, des particuliers ou des fourrières. L'activité principale du démolisseur est la revente de véhicules et de pièces d'occasion. En tant que premier maillon de la chaîne de traitement, il doit assurer l'opération obligatoire de dépollution du véhicule. Il peut également faire du démontage en vue du recyclage de certaines pièces.

### II.3.5.1.2 Les broyeurs

Si le démolisseur est dans la plupart des cas le point d'entrée de la filière de traitement des VHU, le broyeur en est la clef de voûte. Contrairement aux démolisseurs, les broyeurs sont des unités industrielles. Le métier du broyeur est la revente des matières plastiques qu'il traite et qui sont issus des véhicules en fin de vie.

### II.3.5.1.3 Les recycleurs

Si les broyeurs et les démolisseurs sont les acteurs principaux de la filière de valorisation des VHU, les recycleurs en sont un maillon indispensable. Ils sont en effet les garants de la viabilité et de la pérennité de l'ensemble de la filière de valorisation. Ils transforment les déchets polymériques triés par les démolisseurs en matières premières exploitables par l'industrie.

### II.3.5.2 Les étapes du recyclage des polymères issus de l'automobile

Une fois les matières plastiques recyclables arrivées chez le recycleur, les procédés à suivre sont les mêmes que pour le recyclage des polymères en général c'est-à-dire :

- Le procédé mécanique :  
Qui comporte les étapes suivantes :
  - Inspection
  - Le lavage et le broyage
  - Le tri dans la cuve de flottaison
  - Le séchage
  - La fusion
  - Le filtrage
  - La granulation
- Le recyclage en vrac
- Recyclage chimique et thermique :
  - Le procédé chimique
  - Le procédé thermique

En suivant le schéma de traitement des VHU on comprend mieux les différentes étapes à partir du véhicule jusqu'à la valorisation de la matière.(figure II.5)

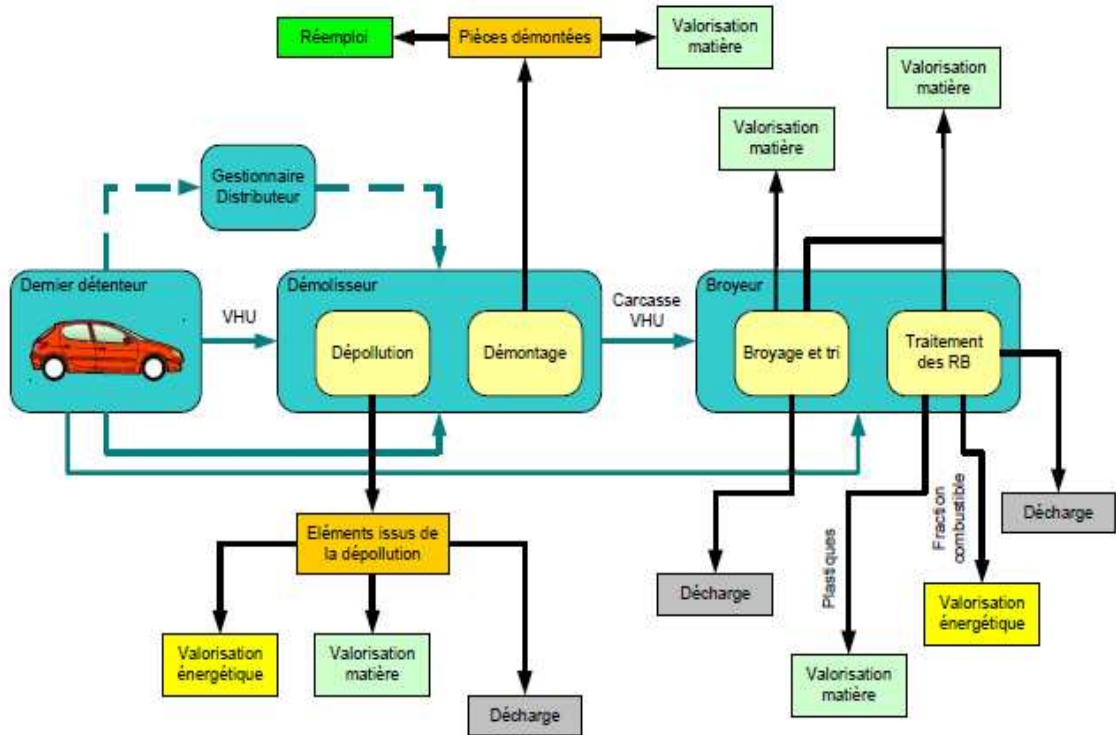


Figure II.5 : Les étapes du recyclage des polymères automobiles

### II.4 Conclusion

Pour recycler le plastique, des procédés de récupération et recyclage ont été mis au point, le plastique des VHU est récupéré après le broyage, le tri, la fusion puis ressort sous forme de granulé avant d'être mis sur le marché.

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons l'élaboration des mélanges de polymères recyclés et de PPC avec des différents pourcentages massiques jusqu'à l'obtention des éprouvettes de chaque mélange, passant par plusieurs étapes expérimentales.

Et nous nous intéresserons aussi à la caractérisation de ces mélanges en vu de déterminer leurs propriétés physique, mécanique et morphologique en procédant par différents essais.

### III.2 Elaboration des mélanges

#### III.2.1 Principe du travail

Deux types de mélanges sont élaborés dans le but d'étudier leurs caractéristiques, le premier est un mélange de polymères recyclés lavés avec du PPC, le second est un mélange de polymères recyclés non lavés avec du PPC. Nous avons effectués un mélange à froid suivi par un autre mélange à chaud (extrusion). Après que les mélanges deviennent homogènes, nous les injectons dans une presse à injection afin d'obtenir des éprouvettes aux normes souhaitées.

#### III.2.2 Déroulement du travail

Ce travail a été réalisé au niveau de l'entreprise National de Plastique et de Caoutchouc, Filiale SISCOPLAST de Draa-EL-Mizan. Avec l'apport des ingénieurs et des opérateurs qualifiés de la société qui nous ont assurés l'homogénéisation des mélanges, les différentes étapes suivies pour la réalisation de ce travail sont présentées ci-dessous:

##### III.2.2.1 Etape de la collecte des pièces polymériques

Elle se fait généralement au niveau des casses automobiles, comme dans notre cas, nous avons récupérés des pièces défectueuses. Elles sont représentées dans les figures suivantes :



Figure III.1 : garde boue.



Figure III.2 : aile noire.



Figure III.3 : aile blanche.



Figure III.4 : garnitures automobiles.

### III.2.2.2 Etape du broyage

Cette étape consiste à broyer les polymères recyclés lavés et non lavés pour les faire passer dans l'extrudeuse.

Etant donné que le broyeur utilisé ne permet l'introduction que de petits morceaux, nous avons d'abord dû découper les pièces récupérées à l'aide d'une cisaille (au niveau du laboratoire de RDM de la faculté), comme le montre la figure suivante :



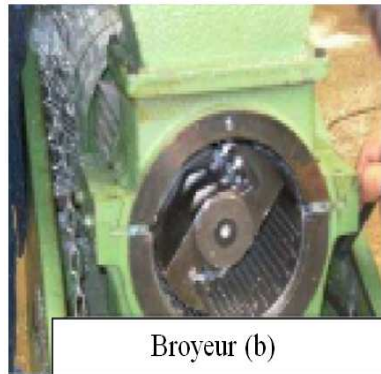
Figure III.5 : découpage avec cisaille.

Une fois les pièces réduites en petits morceaux, la moitié d'entre elles sont lavées et triées de la manière illustrée par la figure suivante :



Figure III.6 : lavage et triage de petits morceaux.

Les petits morceaux de pièces polymériques à recycler sont désormais prêts pour le broyage.



Broyeur (b)

Figure III.7 : Présentation du broyeur (b).

### III.2.2.3 Etape du mélange à froid

Afin d'assurer le mélange des composants broyés sous forme de flocons ou de granulés, nous utilisons un mélangeur électrique.



Figure III.8 : mélangeur électrique.

### Chapitre III : Elaboration et Caractérisation des Mélanges

Les mélanges préparés avec différents pourcentages massiques sont résumés dans les tableaux suivants :

➤ Le premier tableau représente les différents pourcentages des polymères recyclés non lavés et non triés avec des abondances différentes de PPC :

Différents mélanges	Les polymères recyclés vrac	PPC
Mélange A	0 %	100 %
Mélange B	5 %	95 %
Mélange C	10 %	90%
Mélange D	15 %	85 %
Mélange E	20 %	80 %
Mélange F	30 %	70 %

Tableau III.1: les différents pourcentages des polymères recyclés vrac.

➤ Le deuxième tableau représente les différents pourcentages des polymères recyclés lavés et triés avec des abondances différentes de PPC :

Différents Mélanges	Les polymères recyclés lavés et triés	PPC
Mélange G	5 %	95 %
Mélange H	10 %	90%
Mélange I	15 %	85 %
Mélange J	20 %	80 %
Mélange K	25 %	75 %
Mélange L	30 %	70 %

Tableau III.2: les différents pourcentages des polymères recyclés lavés et triés.

### III.2.2.4 Etape de l'extrusion

Les mélanges passent par l'extrudeuse dans le but d'avoir la même répartition de la phase minoritaire (polymères recyclés) dans celle de la phase majoritaire (PPC), les mélanges sortent de l'extrudeuse sous forme de longues tiges qui s'appellent gains.

On distingue quatre zones différentes de température dans l'extrudeuse qui change d'une façon croissante en se rapprochant de la zone de sortie de la matière.

Pour l'extrusion des polymères recyclés non lavés et non triés, nous avons constatés que les tiges qui sortent sont discontinues est souvent difficiles à manier a cause de leurs risque de rupture. Ce qui n'est pas le cas pour les polymères recyclés lavés et triés qui sortent complètement continues et sont faciles à manier.

➤ Paramètres d'extrusion:

- Cadence (vitesse d'étirage) = 15.34 m/min.
- Débit : 92g/min.
- Température : Elle varie en mesure que les pourcentages des polymères

recyclés changent et cela comme suit :

- PPC 100% :  
T1= 210°C    T2= 200°C  
T3= 170°C    T4= 160°C
- PPC 95% et 90% :  
T1= 250°C    T2= 220°C  
T3= 190°C    T4= 170°C
- PPC 85%, 80% et 70% :  
T1= 270°C    T2= 230°C  
T3= 200°C    T4= 170°C

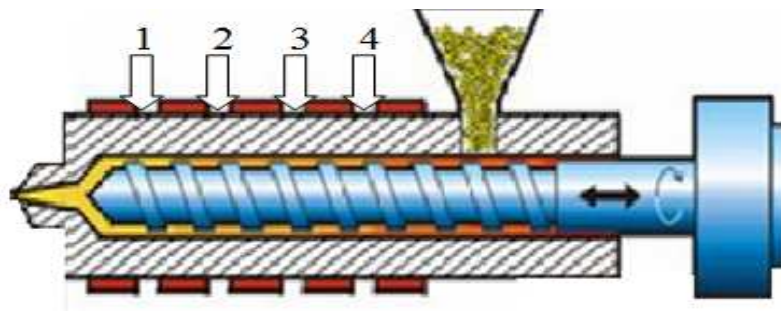


Figure III.9 : les zones de changement de température.

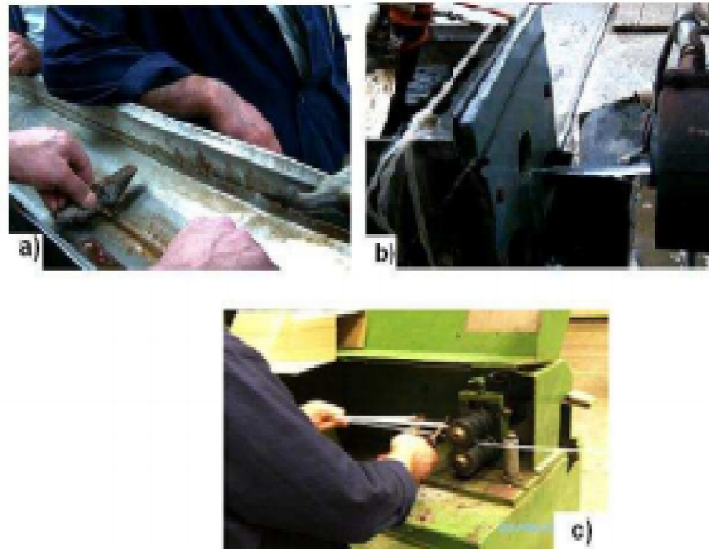


Figure III. 10 : a) Système de refroidissement de la matière.  
b) La sortie de la matière de L'extrudeuse.  
c) Etireuse et découpage à l'aide de sécateur.

### III.2.2.5 Etape de découpage

Après obtention de gains de chaque mélange, nous les découpons à l'aide d'un dispositif spécifique (figure III.11), nous obtenons des tiges entre 10cm à 15cm de longueur qu'on appelle joncs.

Nous prenons ces joncs de chaque mélange pour les mettre dans un broyeur afin de les réduire en granulés pour qu'ils soient prêts pour l'injection.

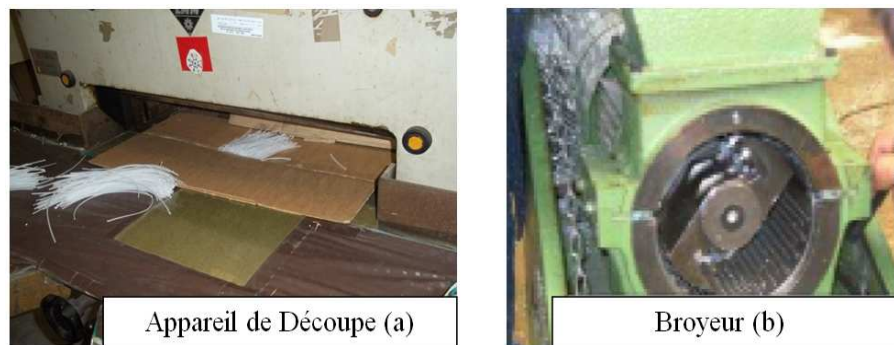


Figure III.11 : Présentation de l'appareil de Découpe (a) et du broyeur (b).

### III.2.2.6 Etape de l'injection

Après la préparation des mélanges, une étape d'injection est nécessaire afin de réaliser des éprouvettes destinées à être caractérisées par la suite.

L'injection d'éprouvettes s'effectue sur une machine à injection illustrée sur la (figure III.12) ci-dessous.

Le gradient de température est croissant de l'alimentation à la buse d'injection, et la pression est adaptée afin d'assurer le meilleur remplissage possible du moule, ce dernier permet de mouler une éprouvette de type barreau de dimensions  $127 \times 12.7 \times 12.7 \text{ mm}^3$ , une éprouvette de type haltère et un disque d'épaisseur 3mm et de diamètre égal à 50mm.



Figure III.12 : Machine à injection et moule d'éprouvette.

Certaines phases du cycle d'injection peuvent, bien entendu, se dérouler simultanément. Il est possible d'achever le refroidissement d'une pièce dans le moule tout en débutant la plastification du polymère pour la fabrication de la pièce suivante.

## Chapitre III : Elaboration et Caractérisation des Mélanges

Les paramètres de la machine d'injection sont résumés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Temps de cycle	26 s
Retrait / avance du chariot	0.8 s
Temps d'injection	2.2 s
Temps de maintien	2 s
Temps de refroidissement	16 s
Temps de pose	8s -1 s
Température de moule	18°C
Température de l'eau	20°C
Force de fermeture	70 tonne
Vitesse de rotation de la vis	300 trs/min
Pression d'injection	40 bars
Pression de maintien	110 bars
Contre pression	5 bars
Vitesse de rechargement de la vis	3 trs/min
Vitesse d'ouverture de moule	3 trs/min
Vitesse de fermeture de moule	2.5 trs/min
Vitesse d'injection	3 tr/min
Vitesse d'éjection	2.5 trs/min
Vitesse retour d'éjecteur	5 trs/min

Tableau III.3 : Paramètre d'injection

➤ Température de la buse d'injection :

Comme pour l'extrusion, elle varie en mesure que les pourcentages des polymères recyclés changent et cela comme suit :

- PPC 100% :  
T1= 200°C    T2= 190°C  
T3= 180°C    T4= 160°C

- PPC 95% et 90% :  
T1= 250°C    T2= 230°C  
T3= 220°C    T4= 210°C
- PPC 85%, 80% et 70% :  
T1= 270°C    T2= 250°C  
T3= 240°C    T4= 230°C

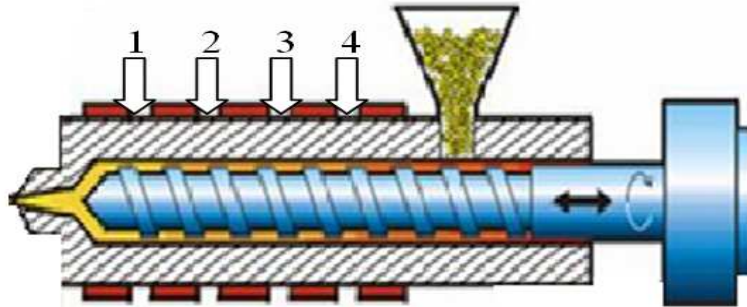


Figure III.13 : les zones de changement de température.

### III.3 Caractérisation des mélanges

La détermination des propriétés mécaniques usuelles telles que le module de Young (E), la contrainte au seuil d'écoulement ( $\sigma_y$ ), la contrainte au plateau de plasticité ( $\sigma_p$ ), la contrainte à la rupture ( $\sigma_r$ ), ainsi que les taux de déformations y afférent de mélanges élaborés (PPC/Polymères recyclés).

Bien entendu, les propriétés mécaniques caractéristiques usuelles sont déterminées via la caractérisation mécanique uni-axiale en utilisant un appareil de traction.

De plus, les différents échantillons sont soumis à des tests de résilience en vue de la détermination de la résistance au choc ainsi que la détermination de l'évolution de la microdureté en fonction de la composition PPC/Polymères recyclés.

La détermination des propriétés physiques via des indices de fluidité qui permettent de choisir le mode d'élaboration (extrusion, injection, calandrage, rotomoulage...) des produit finis à partir des mélanges ainsi que l'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

La Microscopie Electronique à Balayage (MEB) nous permettra l'analyse des faciès de rupture.

### III.3.1 Essais de résilience

La résilience, de symbole général K, caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre. Elle est mesurée sur des machines du type Charpy (éprouvette sur deux Appuis) ou Izod (éprouvette encastrée).

#### III.3.1.1 Les éprouvettes utilisées

L'éprouvette est constituée d'un barreau de section carrée (12.7mm x12.7mm) comprenant en son milieu une entaille de forme v a  $45^0$  et d'une épaisseur 2.5mm. Elles ont toutes une longueur 63.5mm.

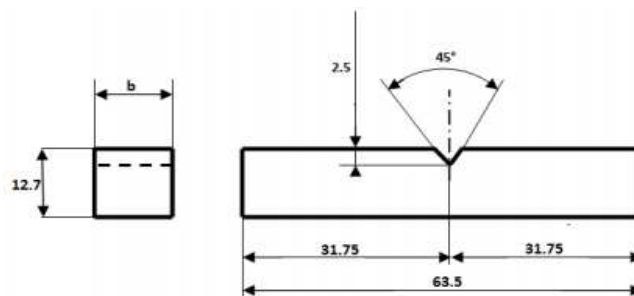


Figure III.14 : éprouvette utilisée pour l'essai de résilience.

#### III.3.1.2 Présentation de la machine

L'appareil Charpy se compose d'un couteau fixé sur un marteau qui oscille dans un plan vertical autour d'un axe. Une partie de l'énergie emmagasinée dans la chute du pendule est utilisée pour rompre l'éprouvette. Le centre de gravité du pendule est toujours très voisin de l'arête du couteau du pendule.



Figure III.15 : la machine charpy

#### III.3.1.3 Principe de fonctionnement

L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton-pendule une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis. on détermine l'énergie  $W$  absorbée exprimée en

joules dont on déduit la résilience (énergie exprimée en joule par  $\text{cm}^2$  nécessaire pour produire la rupture de l'éprouvette).

### III.3.2 Essai de la micro-dureté

Les essais dits dureté mesurent la pression moyenne de contact des matériaux, lors de l'enfoncement d'un indenteur sur une surface plane. La dureté est évaluée après retrait de l'indenteur, à partir de la mesure de la dimension de son empreinte. [21]

#### III.3.2.1 Appareillage

Nous avons utilisés un microduromètre KNOOP de type ZWICK/ROELL (ZHV), illustré dans la figure suivante :



Figure III.16 : microduromètre KNOOP

#### III.3.2.2 Principe de l'essai [21]

Nous utilisons un pénétrateur en diamant, taillé suivant une pyramide à base losange, dont les diagonales sont sensiblement dans le rapport de 7 à 1. L'angle au sommet dans le sens de la grande diagonale est de  $172^\circ 30'$  et l'angle transversal de  $130^\circ 0'$

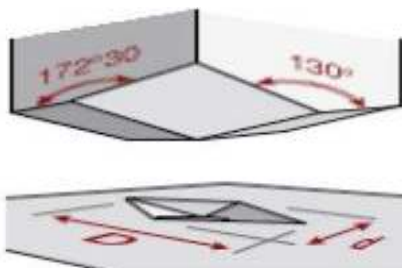
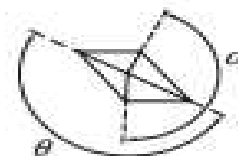


Figure III.17 : l'empreinte de KNOOP



$$\alpha = 130^\circ$$
$$\theta = 172^\circ 30'$$

Figure III.18 : pyramide a base losange.

## Chapitre III : Elaboration et Caractérisation des Mélanges

L'avantage du pénétrateur Knoop est de donner une empreinte suffisamment grande pour une très faible charge, en sollicitant donc un volume très réduit de matière.

Les charges appliquées peuvent être réduites : à partir de 35,3 N jusqu'à 0,245 N et même 0,049 N avec contrôle de la vitesse de mise en charge, du temps de maintien et de la vitesse de décharge.

Si on mesure la longueur et la largeur de l'empreinte à l'aide d'un microscope, la dureté de Knoop (HK) est donnée par la formule suivante :

$$HK = 14,229 (F/D^2)$$

F : Charge appliquée en kilogramme-force

D : Diagonale de l'empreinte en millimètres

### III.3.3 Essai de traction

L'essai de traction permet de déterminer des caractéristiques normalisées des matériaux, souvent exigées dans les cahiers des charges : limite d'élasticité, charge et allongement de rupture, et on en déduit la relation rationnelle entre contrainte et déformation.

#### III.3.3.1 Principe de l'essai [21]

L'essai consiste à placer une éprouvette du matériau entre deux mors de la machine de traction, on applique une contrainte jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

Présentation des éprouvettes normalisées :

L'éprouvette comprend toujours, entre des repères séparés par une distance  $l_0$ , une section constante  $S$ , la forme de l'éprouvette est prismatique. Les extrémités, ou têtes, de l'éprouvette ont une section supérieure à  $S$ , ce qui permet de les fixer sur la machine d'essai.

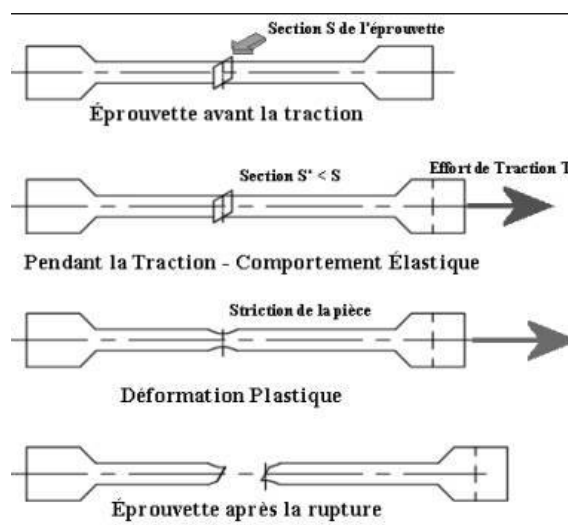


Figure III.19 : les étapes de l'essai de traction.

### III.3.3.2 Présentation de la machine de traction

Une machine de traction est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe à laquelle est fixée l'une des têtes de l'éprouvette, l'autre extrémité de l'éprouvette est fixée à une traverse mobile. Le mouvement de la traverse mobile est assuré soit par une commande hydraulique, soit par des vis sans fin. La charge imposée à l'éprouvette est mesurée par un dynamomètre, et l'allongement par un extensomètre, ce qui permet d'obtenir un enregistrement de la courbe brute de traction.



Figure III.20 : machine de traction.

### III.3.4 Microscope électronique à balayage (MEB) [22]

Le MEB permet de faire des analyses chimiques sur de très petits volumes de matière (ordre de grandeur de quelques micro-mètre cubes) ou d'obtenir des images qui montrent la répartition spatiale des éléments (images rayons X ou en électrodiffusés).

#### III.3.4.1 Principe de MEB

Un faisceau très fin d'électrons, monocinétique, balaie la surface d'un échantillon où se produisent des interactions détectées par un capteur qui contrôle la brillance d'un oscilloscope cathodique dont le balayage est synchronisé avec celui du faisceau d'électrons, on peut ainsi comparer le MEB à un système de télévision en circuit fermé.



Figure III.21 : Représentation du microscope à balayage.

### III.3.5 L'indice de fluidité

Le Melt Flow Index (MFI), également connu sous les noms Melt Flow Rate (MFR) et Melt Index (MI), mesure la masse écoulee à travers une filière d'une matière thermoplastique à l'état « fondu » (état fluide ou déformable), dans des conditions définies de température et de pression. Cet indice de fluidité, également appelé grade, fournit des Informations sur les possibilités de transformation de la matière.

#### III.3.5.1 Principe

Nous mesurons la masse de matière fondue qui s'écoule à travers une filière donnée sous l'action d'une masse donnée pendant un temps fixé et à une température donnée. Nous déterminons l'indice de fluidité de la matière (IF).

#### III.3.5.2 Echantillon

Poudre, granulés, morceaux de feuilles...etc. 3 à 8 g sont nécessaires.

#### III.3.5.3 Appareillage

L'appareil se compose principalement d'un plastomère d'extrusion (rhéomètre capillaire) opérant à température fixe. La forme générale est représentée sur la figure suivante :



Figure III.22 : appareil d'indice de fluidité.

Le thermoplastique, contenu dans un cylindre vertical, est extrudé à travers une filière au moyen d'un piston chargé.

L'appareillage comporte les parties principales suivantes :

- Un cylindre
- Un piston en acier
- Un système de contrôle de température
- Une filière normalisée
- Un bâti
- Une charge amovible qui dépendra de la matière utilisée

### III.3.5.4 Calcul indice de fluidité

Le melt flow rate (MFR/MFI) en gramme par min, est donné par l'équation suivante :

$$\text{MFR}(\theta, m_{\text{nom}}) = t_{\text{ref}} \times m / t$$

- $\theta$  est la température d'essai, en degrés Celsius
- $m_{\text{nom}}$  est la charge nominale, en kilogrammes
- $m$  est la masse moyenne des extrudats, en grammes
- $t_{\text{ref}}$  : est le temps de référence (10 min), en secondes (600 s)
- $t$  est l'intervalle de temps, en secondes, entre deux coupes d'un extrudat

### III.3.6 Spectroscopie infrarouge

Parmi les méthodes à la disposition du chimiste pour l'analyse structurale, la résonance magnétique nucléaire (RMN) et l'infrarouge (IR) jouent des rôles complémentaires : la RMN permet de connaître l'enchaînement des atomes, l'infrarouge les groupes fonctionnels présents dans les molécules. Même si au cours des dernières décennies la RMN a fait d'énormes progrès, en particulier à l'aide des techniques pulsées à transformée de Fourier, l'infrarouge reste parfois le seul moyen de lever les ambiguïtés pouvant subsister quant à la structure d'une molécule.

#### III.3.6.1 Définition de la spectroscopie infrarouge

La spectroscopie infrarouge (parfois désignée comme spectroscopie (IR) est une classe de spectroscopie qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique. Elle recouvre une large gamme de techniques, la plus commune étant un type de spectroscopie d'absorption. Comme pour toutes les techniques de spectroscopie, elle peut être employée pour l'identification de composés ou pour déterminer la composition d'un échantillon. Les

tables de corrélation de spectroscopie infrarouge sont largement présentes dans la littérature scientifique.

### III.3.6.2 Principe

Les molécules subissent des mouvements de vibration internes (d'élongation et de déformation). Quand une lumière IR traverse un échantillon, certaines liaisons absorbent de l'énergie pour changer de fréquence de vibration, faisant apparaître des bandes dans le spectre. On utilise pour identifier des liaisons chimiques dans les molécules organiques, ils permettent de déterminer les fonctions chimiques dans ces molécules.

### III.3.6.3 Préparation de l'échantillon

Les échantillons peuvent être préparés de quatre manières majeures. La première d'entre elles est de broyer l'échantillon avec un agent liant dans un mortier avec un pilon, voir (figure III.23). Un film mince de ce broyat est appliqué sur les plaques et mesuré.

La deuxième méthode consiste à moudre finement une quantité de l'échantillon avec un sel purifié spécialement (comme le bromure) afin de supprimer les effets de diffusion des gros cristaux. Ce mélange poudreux est ensuite comprimé dans une presse afin de fournir une pastille translucide au travers de laquelle un faisceau de spectromètre peut passer, (figure III.24).

La troisième technique est dite de déposition de film, et est principalement utilisée pour les matériaux polymères. L'échantillon est tout d'abord dissous dans un solvant non hygroscopique et adéquat. Une goutte de cette solution est déposée à la surface d'une cellule de KBr ou de NaCl. La solution est ensuite évaporée jusqu'à séchage complet et le film ainsi formé sur la cellule est analysé directement. Il faut faire attention à ce que le film ne soit pas trop épais, empêchant la lumière de le traverser. Cette technique permet des analyses qualitatives.

La quatrième méthode est l'utilisation de la microtomie afin de découper un film mince (de 20 à 100  $\mu\text{m}$ ) dans un échantillon solide. C'est l'un des plus importants moyens d'analyse des produits plastiques rejetés, par exemple, car cette technique préserve l'intégrité physique globale de l'échantillon.

Il est important de savoir que les spectres obtenus à partir de différentes méthodes peuvent présenter de légères différences entre eux en raison des états physiques des échantillons.

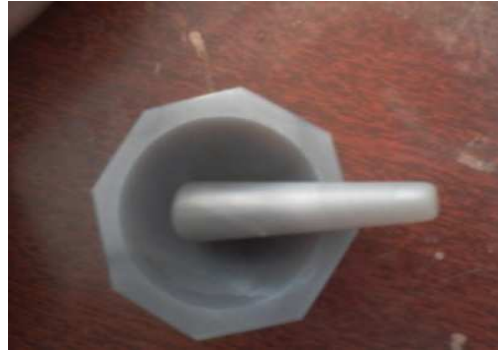


Figure III.23 : Mortier en agate pour le broyage.

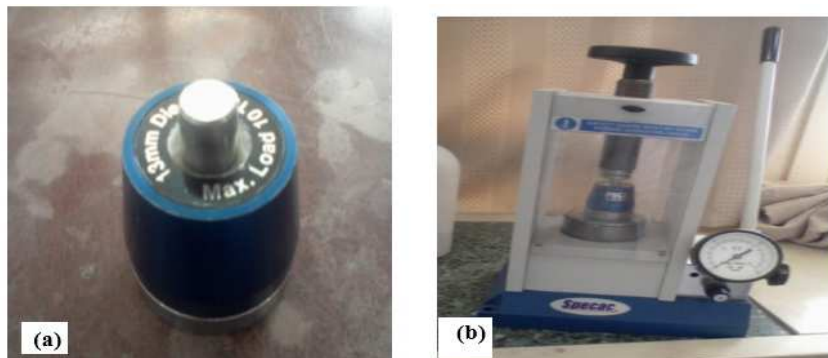


Figure III.24 : a) Presse à pastiller en acier inoxydable permettant de réaliser des pastilles.  
b) l'appareil utilisé pour la formation des pastilles (pompe hydraulique).

### III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré des éprouvettes en suivant des étapes telle la collecte, le découpage, le broyage, le mélange à froid puis à chaud et pour finir l'injection dans un moule adéquat. La caractérisation par les différentes techniques nous permettra d'analyser le comportement mécanique, physique et morphologique des différents mélanges et d'obtenir des résultats afin de les étudier.

### IV.1 Introduction

On s'intéresse ici à la présentation des résultats obtenus suites aux différents essais effectués sur les différentes éprouvettes à savoir :

- Détermination de l'indice de fluidité
- Essais de traction
- Essai de résistance aux Chocs
- Essai de microduretéKnoop
- Une caractérisation Morphologique au MEB

Une interprétation et discussion suivra chaque résultat.

### IV.2 Caractérisation physique

#### IV.2.1 Indice de fluidité

L'indice de fluidité à chaud (I.F) est donné, en gramme durant le temps de référence. On note pour les différents mélanges les indices de fluidité que nous avons consignés dans le tableau suivant :

Désignation du mélange	Indice de fluidité [g/10min]
0%	76,98
5%	71,88
15%	63,96
20%	62,64
25%	61,12
30%	59,04

Tableau IV.1. Valeurs des indices de fluidité des différents mélanges

A partir des valeurs du tableau ci-dessus on trace la courbe de la variation des indices de fluidité en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC.

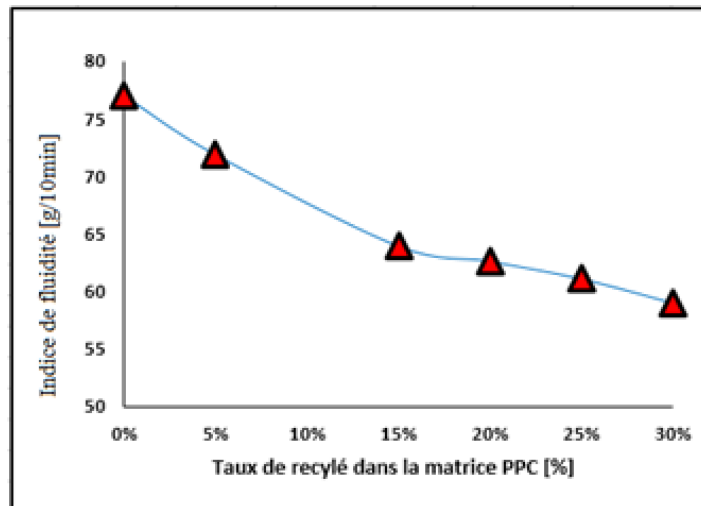


Fig. IV.1 : Variation des indices de fluidité en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC

- La figure IV.1 montre que l'indice de fluidité diminue avec le taux de recyclé dans la matrice PPC.

### IV.2.2 La spectroscopie infrarouge

#### Le spectre 100%PPC :

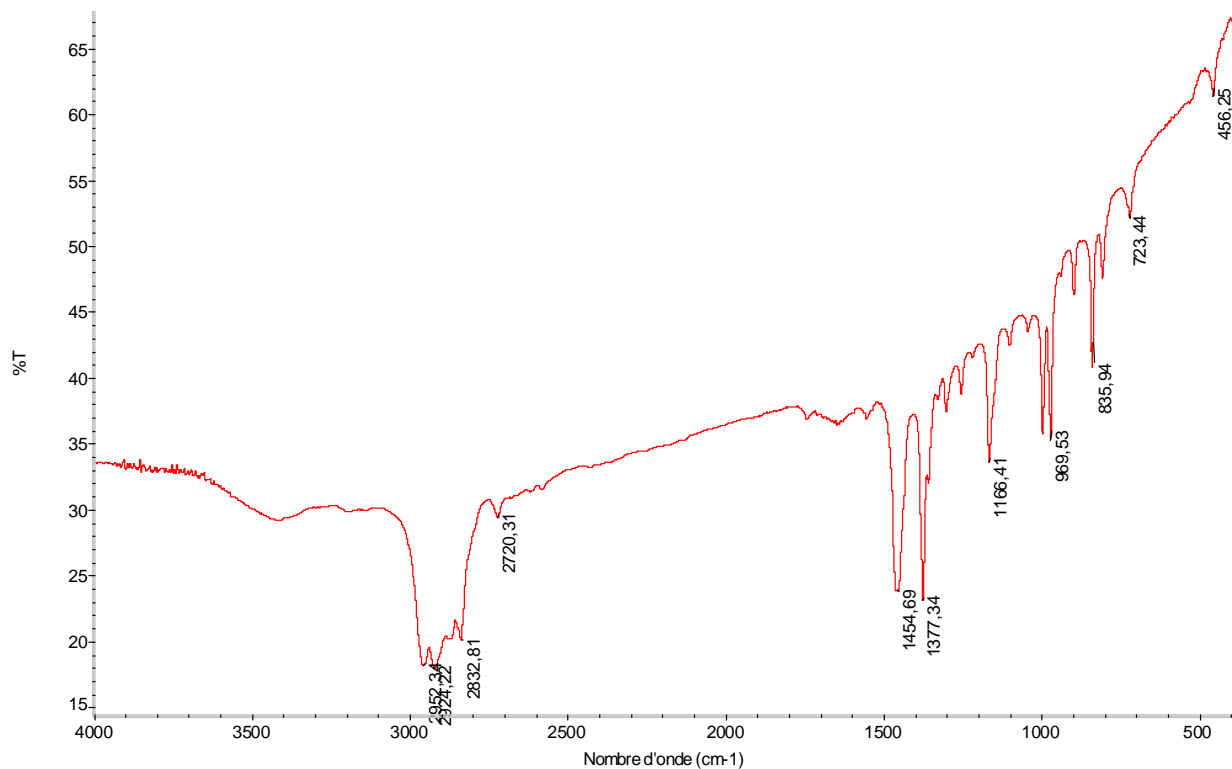


Figure IV.2: Spectre IR de 100%PPC

## Chapitre IV : Résultats et discussions

L'examen du spectre obtenu fait apparaître des bandes d'absorptions suivantes :

- On remarque un pic d'intensité forte et très large avec un nombre d'ondes  $\delta=2952.31\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-H assoc.
- On remarque un pic d'intensité forte avec un nombre d'ondes  $\delta=2924.22\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-H.
- On remarque un pic de faible intensité avec un nombre d'ondes  $\delta=2832.81\text{cm}^{-1}$  correspond à la zone de liaison C-H.
- On remarque un pic d'intensité moyenne avec un nombre d'ondes  $\delta=2720.31\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-H.
- On remarque un pic d'intensité variable de valeur  $\delta=1454.69\text{cm}^{-1}$  correspond à la liaison C=C.
- On remarque un pic de valeur  $\delta=1377.34\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-NO<sub>2</sub>.
- Un pic d'intensité variable avec un nombre d'ondes  $\delta=1166.41\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-H.

### Le spectre de 95%PPC-5%matière recyclée vrac :

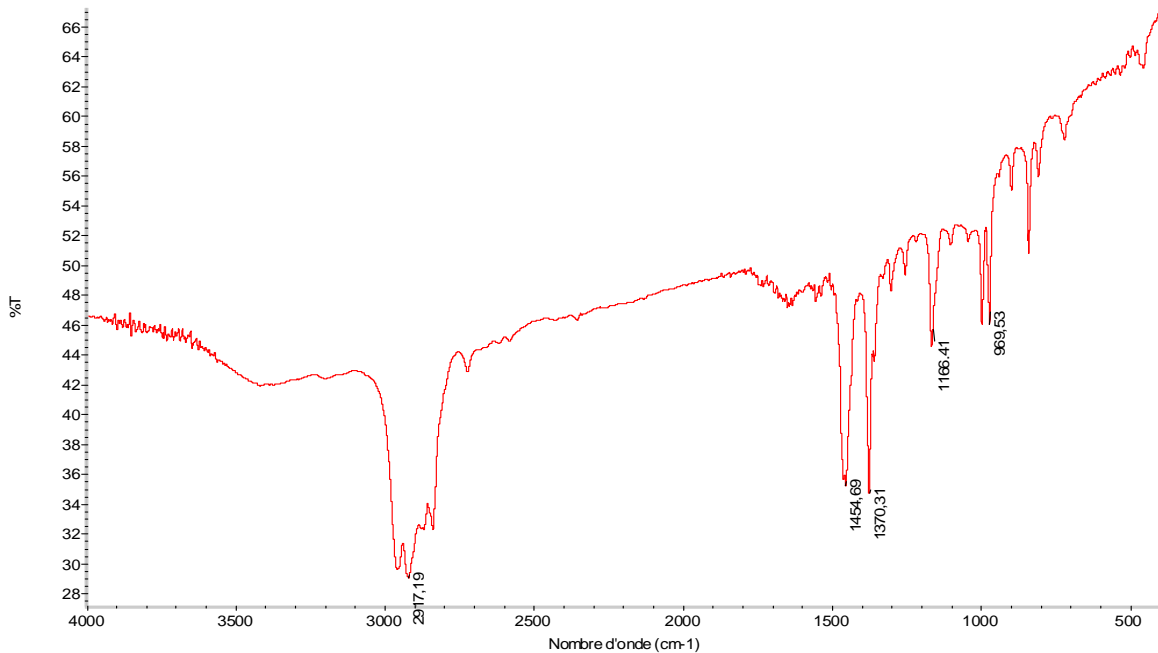


Figure IV.3 : Spectre IR de 95%PPC/5%recyclé vrac

- On remarque un pic d'intensité forte et très large de valeur  $\delta=2917.19\text{cm}^{-1}$  correspond à la zone de liaison O-H assoc.
- On remarque un pic d'intensité variables de valeur  $\delta=1454.69\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C=C.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

- Un pic de valeur  $\delta=1447.66\text{cm}^{-1}$  (même résultats avec  $\delta=1454.69\text{cm}^{-1}$ ).
- On remarque un pic d'intensité variable avec un nombre d'ondes  $\delta=1166.41\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-O.

### Le spectre 70%PPC-30%matière recyclée non lavée :

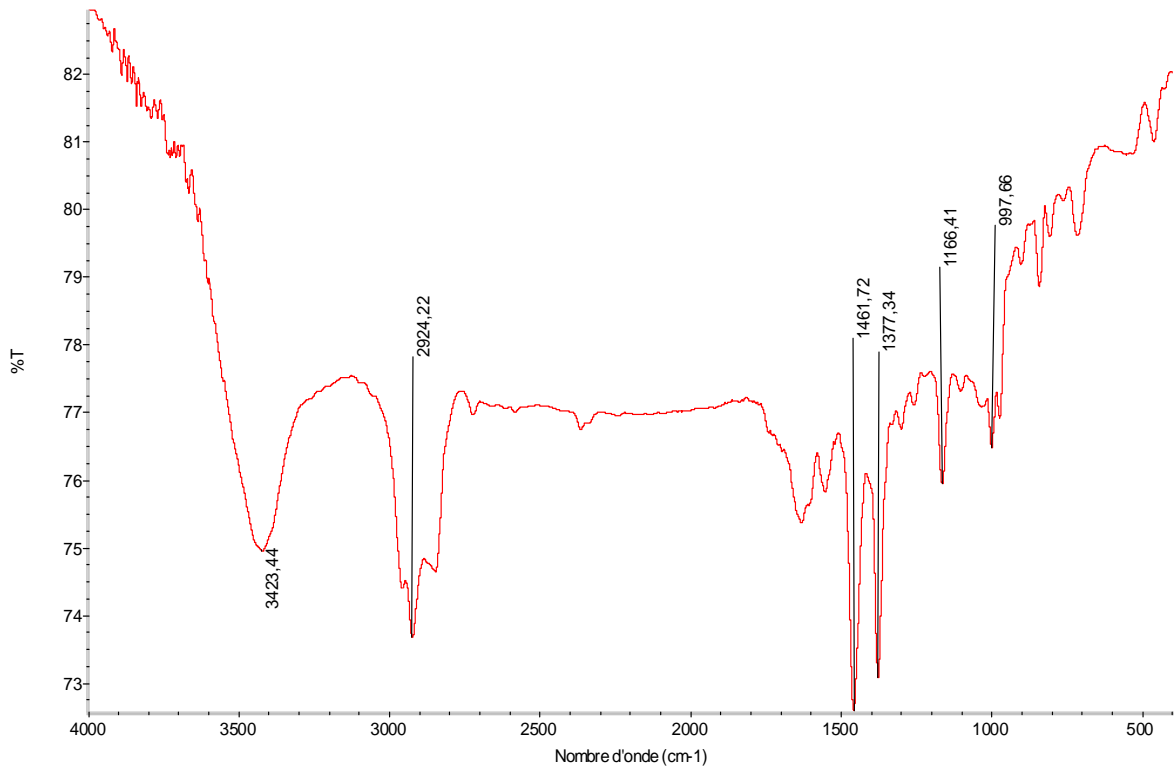


Figure IV.4 : Spectre IR de 70%PPC/30%

- On remarque un pic d'intensité moyenne avec un nombre d'ondes  $\delta=3423.44\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison N-H.
- Un pic d'intensité forte de valeur  $\delta=2924.22\text{cm}^{-1}$  correspond à la zone de liaison C-H.
- Un pic d'intensité variable avec un nombre d'ondes  $\delta=1461.72\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C=C.
- Un pic d'intensité intense avec un nombre d'ondes  $\delta=1377.34\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-NO<sub>2</sub>.
- Un pic d'intensité variable de valeur  $\delta=1166.41\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-O.

### Le spectre de 70%PPC-30% matière recyclé lavé:

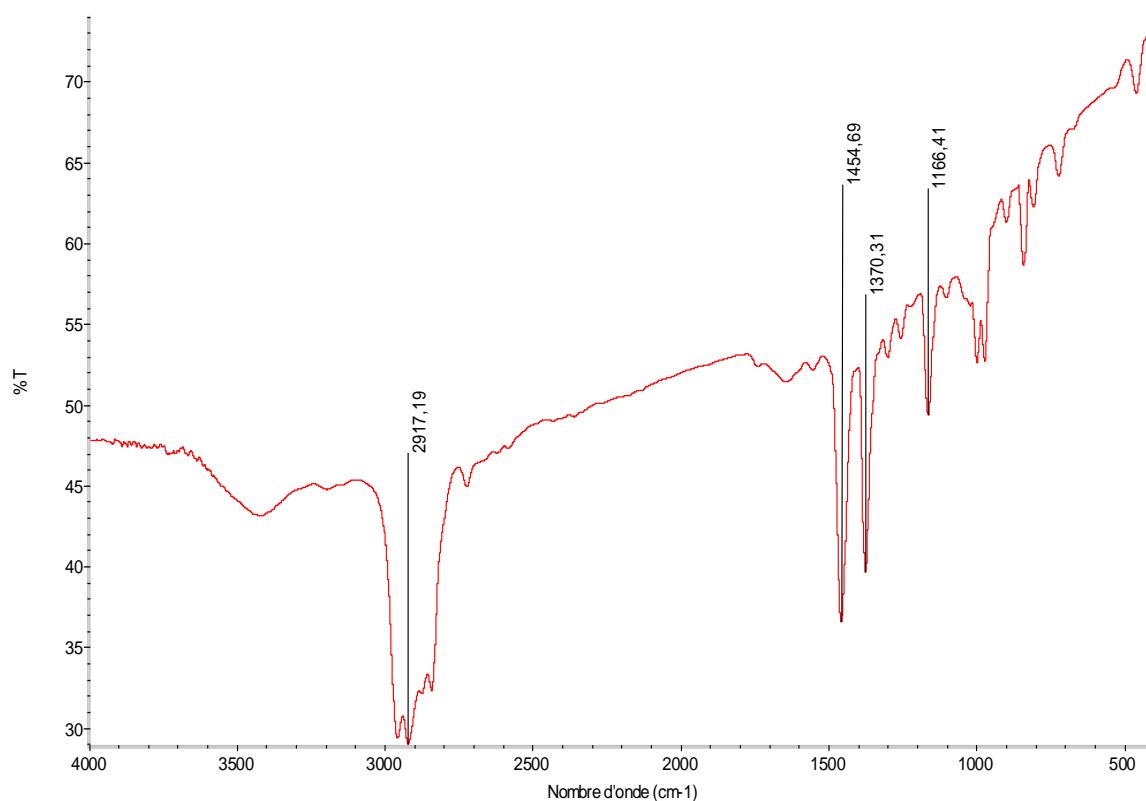


Figure IV.5 : Spectre IR de 70%PPC/30% recyclé lavé

- On remarque un pic d'intensité forte et très large avec un nombre d'ondes  $\delta=2917.19\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison O-H assoc.
- Deux pics d'intensités successifs intenses de valeur respectives  $\delta=1454.69\text{cm}^{-1}$  et  $\delta=1370.31\text{cm}^{-1}$  qui indiquent les liaisons C-NO<sub>2</sub>.
- Un pic d'intensité variable avec un nombre d'ondes  $\delta=1166.41\text{cm}^{-1}$  qui indique la liaison C-O.

### ❖ La superposition des spectres obtenus

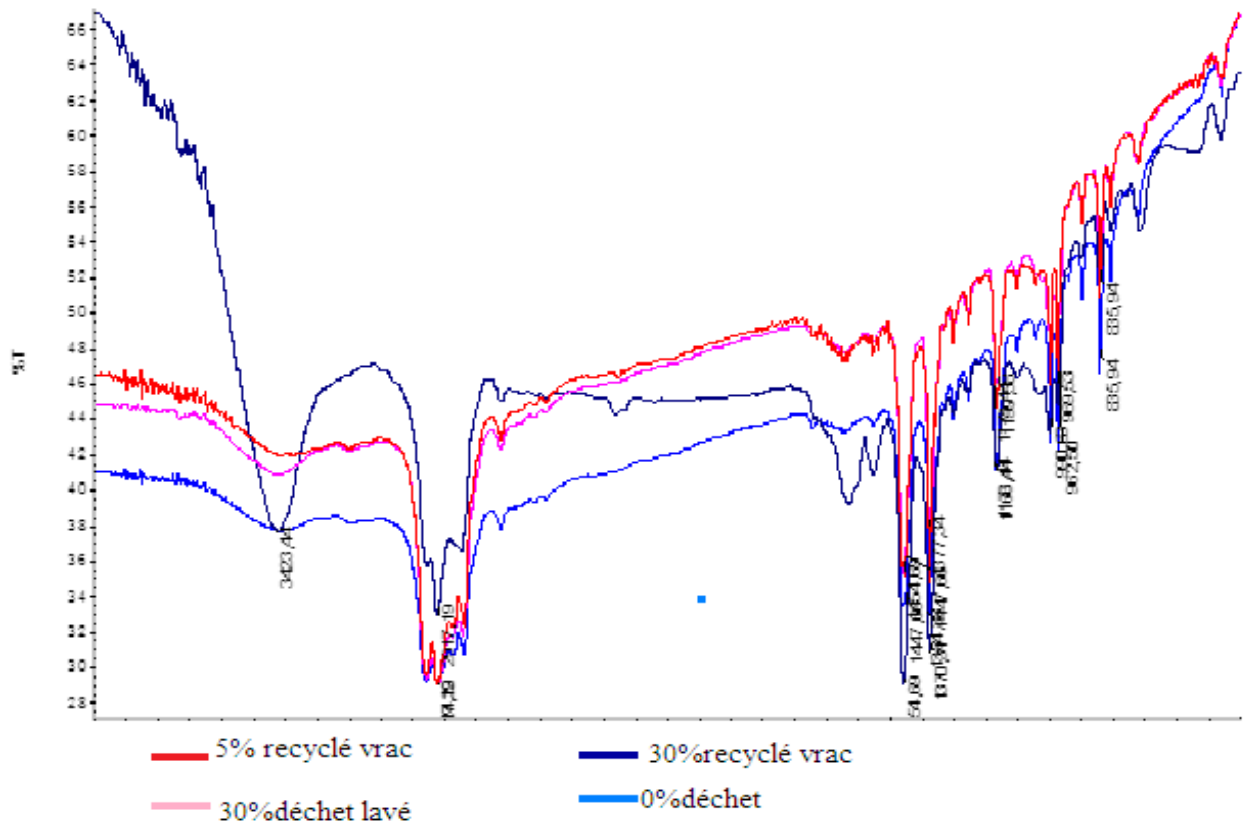


Figure IV.6 : Spectre IR des différents échantillons

La figure donne la superposition des spectres infrarouge des différents échantillons, on voit à quelques différences près que les spectres ont la même allure et présentent presque les mêmes pics, cela s'explique par le fait que les deux composants du mélange (100% PPC, 0% matière recyclée et 70% PPC, 30% matière recyclée lavée) contiennent uniquement des liaisons  $\delta$  simples de type C-C ou C-H (monomère propène seul ou propène plus éthylène), les deux spectres (95% PPC, 5% matière recyclée non lavée et 70% PPC, 30% matière recyclée non lavée) présentent aussi la liaison  $\delta$  de type O-H qui est preuve d'une oxydation atmosphérique affectant nos mélanges lors de leurs transformations et les deux spectres, (70% PPC, 30% matière non lavée et 70% PPC, 30% matière lavée) présentent la liaison  $\delta$  de type C-NO<sub>2</sub>.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

### Première liaison C-H :

- Pour les mélanges 100 PPC, 70% PPC-30% matière recyclée lavée et 95% PPC-5% matière recyclée non lavée, on remarque une transmission faible au niveau du nombre d'onde de la liaison O-H qui signifie une forte absorption.
- Pour le mélange 70% PPC-30% matière recyclée non lavée a une faible absorption au niveau de cette liaison.

### Deuxième liaison C-C :

On remarque qu'il y a une forte absorption pour le mélange 70% PPC-30% matière non lavée, une absorption moyenne pour le mélange 100 PPC, et une faible absorption pour les mélanges 95% PPC-5% matière recyclée non lavée et 70% PPC- 30% matière lavée.

### Troisième liaison O-H :

On remarque que le mélange 70% PPC-30% matière non lavée, a une plus forte absorption que les autres mélanges.

### Quatrième liaison C-O :

On remarque que les mélanges 100% PPC et 70% PPC-30% matière non lavée, ont une plus forte absorption que les mélanges 95% PPC-5% matière recyclée non lavée et 70% PPC- 30% matière lavée.

### Cinquième liaison N-H :

On remarque que les mélanges 100% PPC et 70% PPC-30% matière non lavée, ont une plus forte absorption que les mélanges 95% PPC-5% matière recyclée non lavée et 70% PPC- 30% matière lavée.

### Sixième liaison C-NO<sub>2</sub> :

On remarque que le mélange 100% PPC a une plus forte absorption que les autres mélanges.

### IV.3 caractérisation mécanique

Dans cette partie, on se propose d'étudier le comportement mécanique des mélanges (Recyclé Vrac/PPC) et (Recyclé lavé trié/PPC), nous déterminons d'abord pour chaque mélange Via 5 éprouvettes, les courbes contrainte-déformation. Puis nous déterminons les propriétés mécaniques, caractéristiques usuelles telles que le module de Young, les contraintes aux seuils d'écoulement ainsi que les déformations à la rupture.

#### VI.3.1 Recyclé Vrac

##### IV.3.1.1 Courbes Contrainte-Déformation

➤ **Polymer 100% PPC**

La courbe de traction du polymère 100% PPC présente une déformation plastique qui ne dépasse pas 30%. Elles montrent aussi une contrainte au seuil d'écoulement de 25,5 MPa.

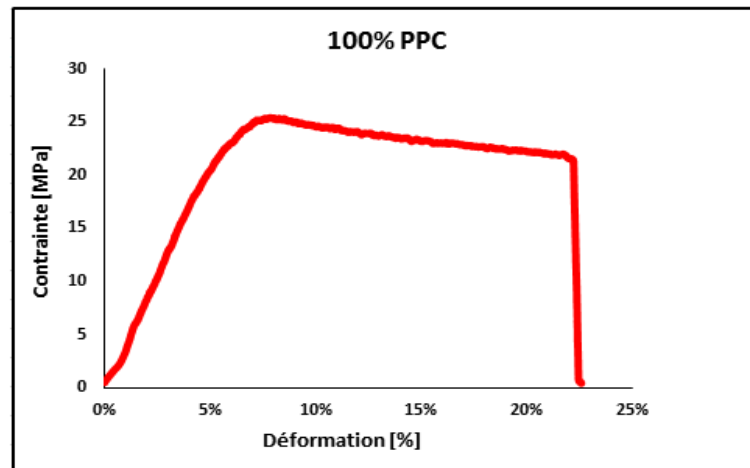


Figure IV.7 : Courbe contrainte déformation du polymère 100% PPC

➤ **Polymer 95% PPC+5% Recycle**

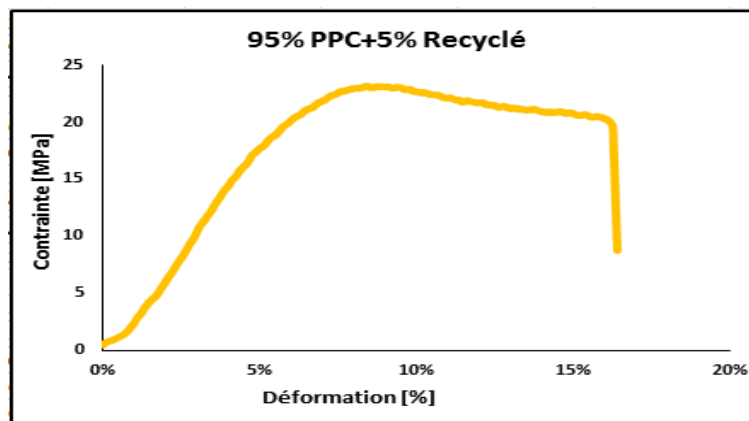


Figure IV.8 : Courbe contrainte déformation du polymère 100% PPC

## Chapitre IV : Résultats et discussions

L'ajout de 5% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre une diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de l'allongement à la rupture

➤ Mélange 90%PPC+/10% Recycle

L'ajout de 10% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre aussi une diminution de la contrainte au seuil d'écoulement ainsi que de l'allongement à la rupture.

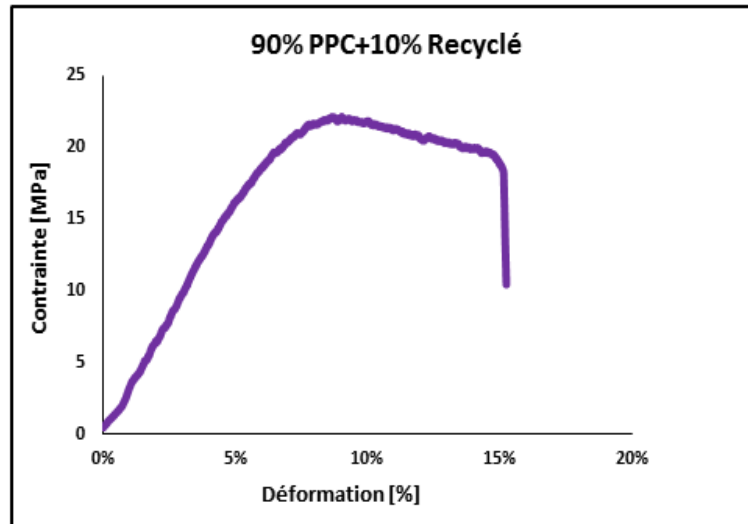


Figure IV.9 : Courbe contrainte déformation du mélange 90% PPC+10% Recyclé

➤ Mélange 85%PPC+15% Recycle

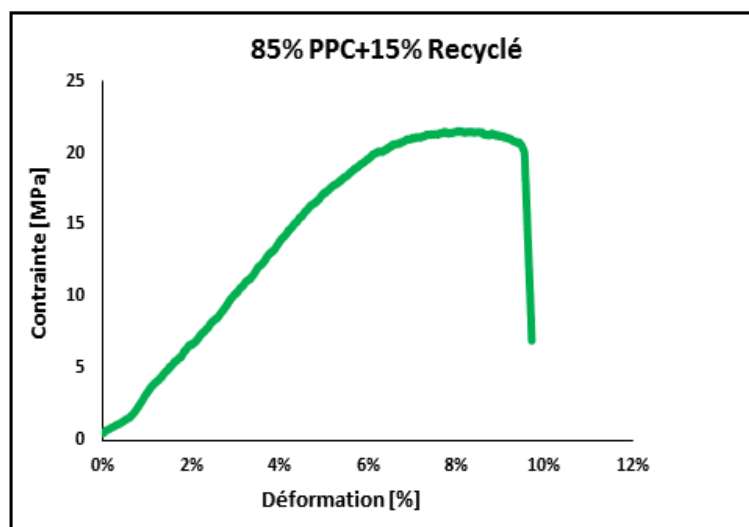


Figure IV.10 : Courbe contrainte déformation du mélange 85% PPC+15% Recyclé  
Nous observons le même phénomène qu'avec l'ajout de 15% de Recyclé dans la matrice PPC.

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### ➤ Mélange 80% PPC+20% Recycle

L'ajout de 20% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre une diminution de la contrainte à la rupture avec une forte diminution de l'allongement à la rupture

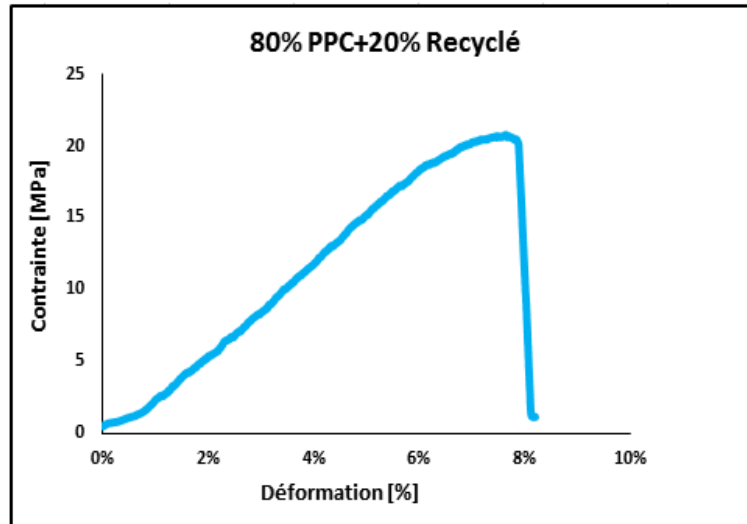


Figure IV.11 : Courbe contrainte déformation du mélange 80% PPC+20% Recyclé

### ➤ Mélange 70% PPC+30% Recyclé

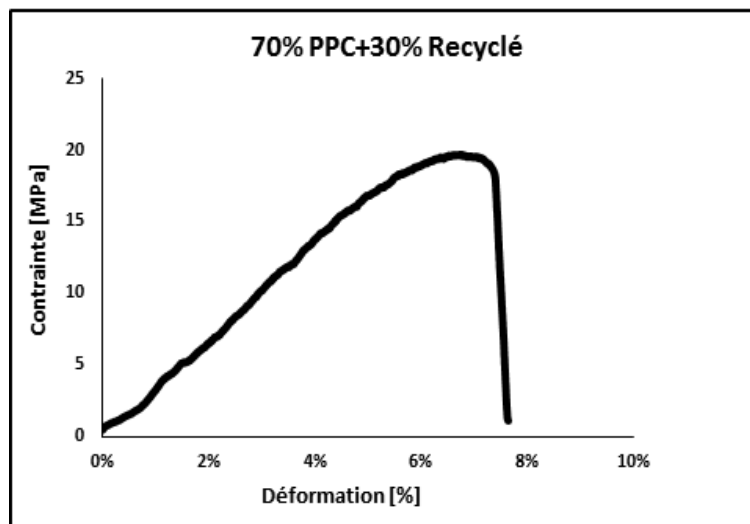


Figure IV.12 : Courbe contrainte déformation du mélange 70% PPC+30% Recyclé

L'ajout de 30% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre une légère diminution de la contrainte au seuil d'écoulement avec un plateau de plasticité très faible par rapport au PPC seul.

La figure ci-dessous regroupe les courbes de traction des différents mélanges avec le recyclé vrac

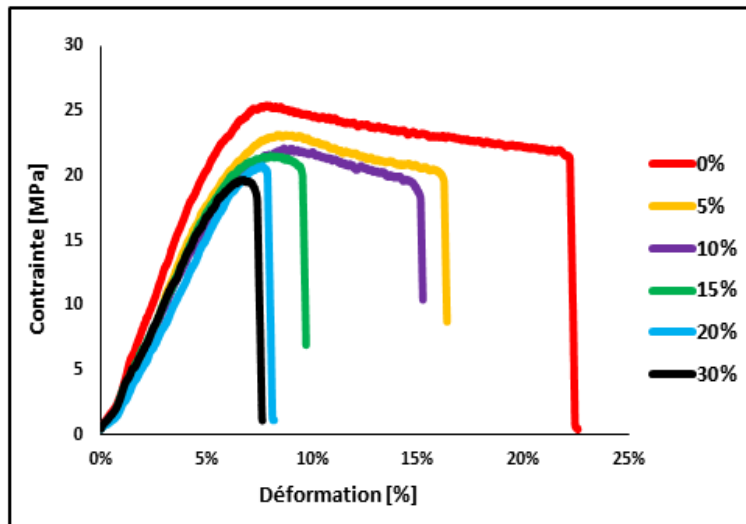


Figure IV.13 : Courbe contrainte déformation des différents mélanges avec recyclé vrac

### IV.3.1.2 Variations du module d'élasticité des différents mélanges

Pour déterminer le module d'élasticité des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvette et nous obtenons le graphe de la figure IV.14

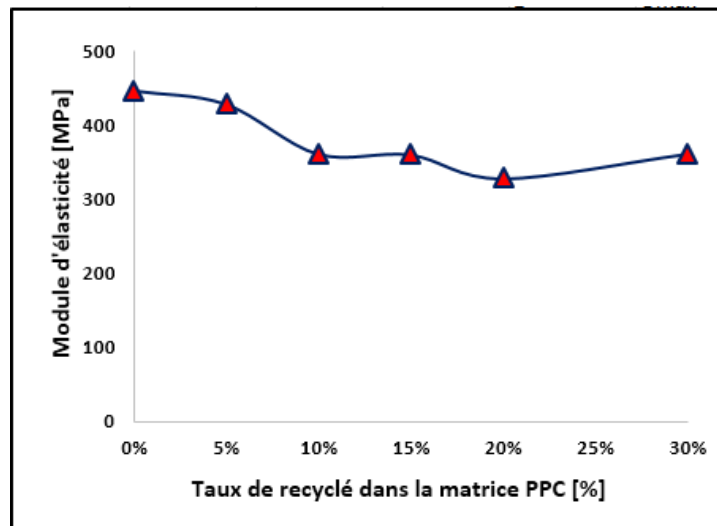


Figure IV.14 : Variation du module d'élasticité des mélanges en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC

Nous constatons sur le graphe que le module d'élasticité diminue avec le taux de recyclé dans la matrice PPC et qui atteint 20,4% pour le mélange qui contient 20% de recyclé.

### IV.3.1.3 Variations de l'allongement à la rupture des différents mélanges

Comme pour le module d'élasticité, pour déterminer l'allongement à la rupture des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvette et nous obtenons le graphe de la figure IV.15

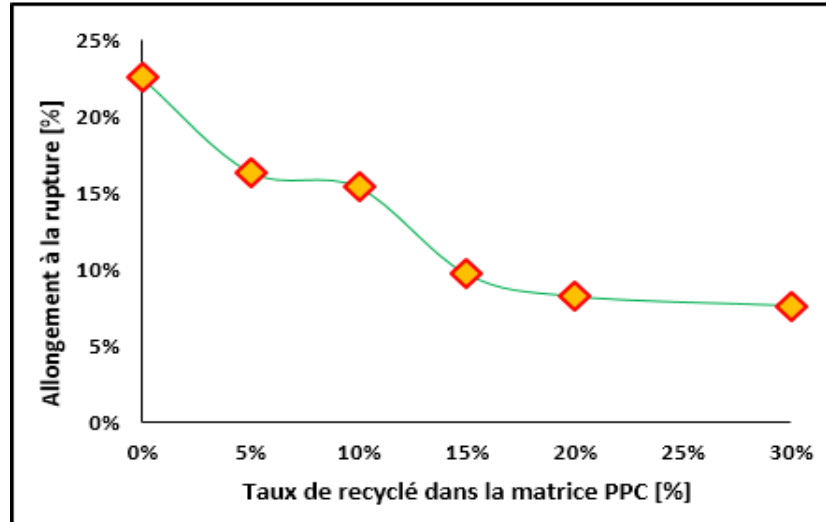


Figure IV.15 : Variation de l'allongement à la rupture des mélanges en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC

Nous constatons sur le graphe que l'allongement à la rupture diminue avec le taux de recyclé dans la matrice PPC où cette diminution atteint 66,4% pour 30% de recyclé dans le mélange.

### IV.3.1.4 Variations de la contrainte au seuil d'écoulement

Comme pour le module d'élasticité, pour déterminer la contrainte au seuil d'écoulement des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvettes et nous obtenons le graphe de la figure IV.16

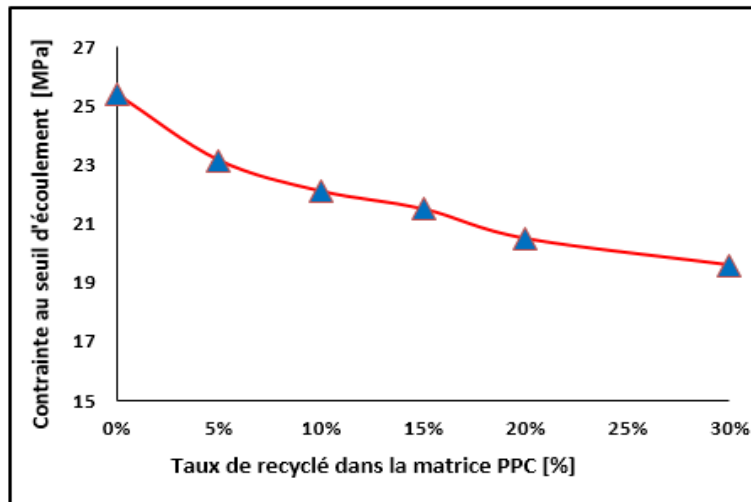


Figure IV.16 : Variation de la contrainte au seuil d'écoulement des mélanges en fonction du taux du recyclé dans la matrice PPC

Nous constatons sur le graphe que la contrainte au seuil d'écoulement diminue avec le taux de recyclé dans la matrice PPC.

### VI.3.2 Recyclé lavé trié

#### VI.3.2.1 Courbe contrainte-déformation

- Polymère 95% PPC+5% Recyclé

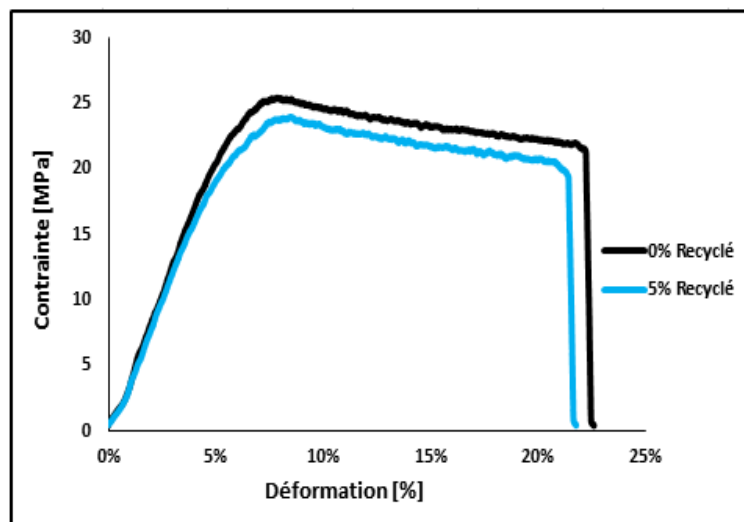


Figure IV.17 : Courbe contrainte déformation du polymère 100% PPC

L'ajout de 5% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre une diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de l'allongement à la rupture

➤ Mélange 90%PPC+/10% Recyclé

L'ajout de 10% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre augmentation de 36% d'allongement à la rupture avec une faible diminution de de la contrainte au seuil d'écoulement

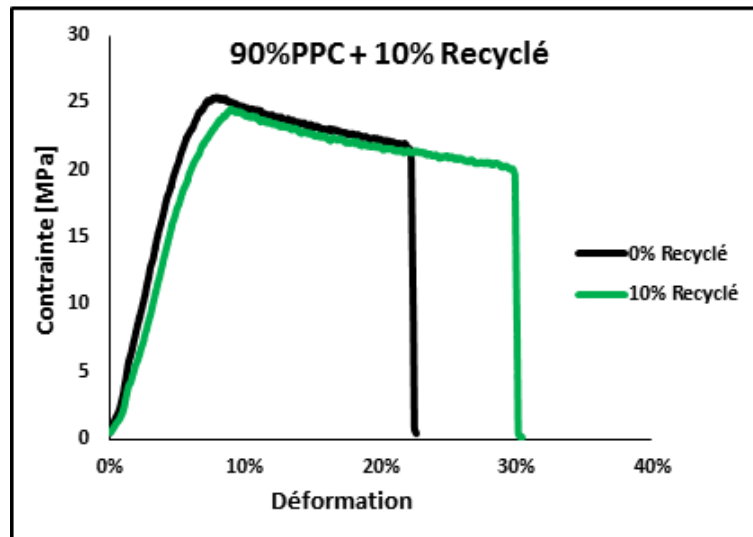


Figure IV.18 : Courbe contrainte déformation du mélange 90% PPC+10% Recyclé

➤ Mélange 85%PPC+15% Recyclé

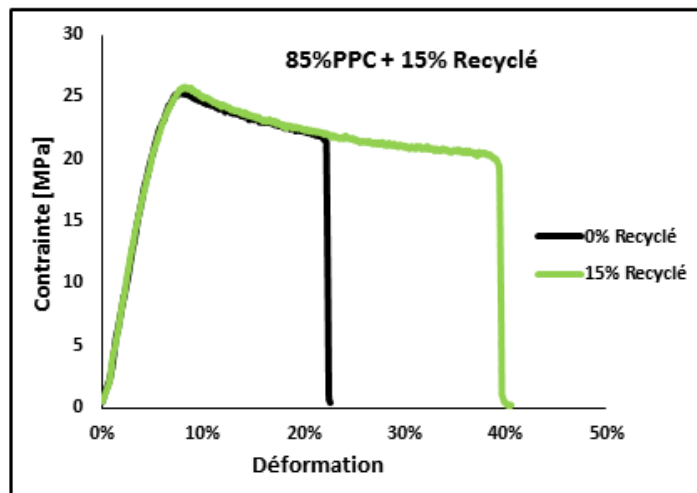


Figure IV.19 : Courbe contrainte déformation du mélange 85% PPC+15% Recyclé

L'ajout de 15% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre augmentation de 80% d'allongement à la rupture.

➤ Mélange 80%PPC+20% Recycle

L'ajout de 20% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre augmentation de 106% d'allongement à la rupture

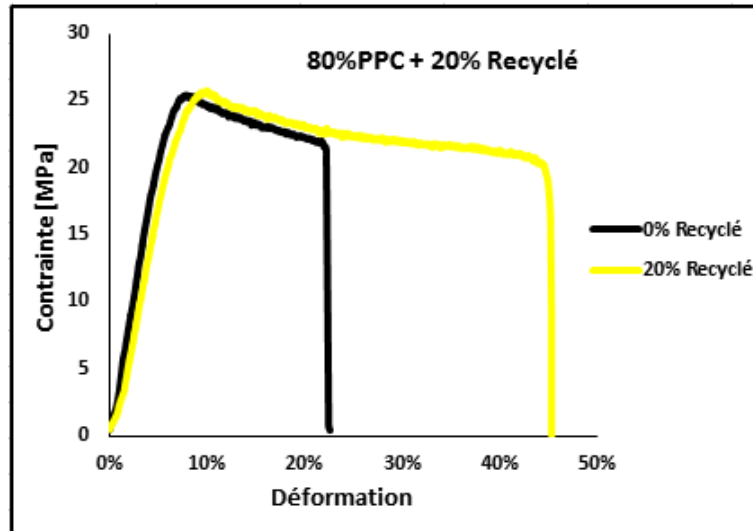


Figure IV.20 : Courbe contrainte déformation du mélange 80% PPC+20% Recyclé

➤ Mélange 75%PPC+25%Recyclé

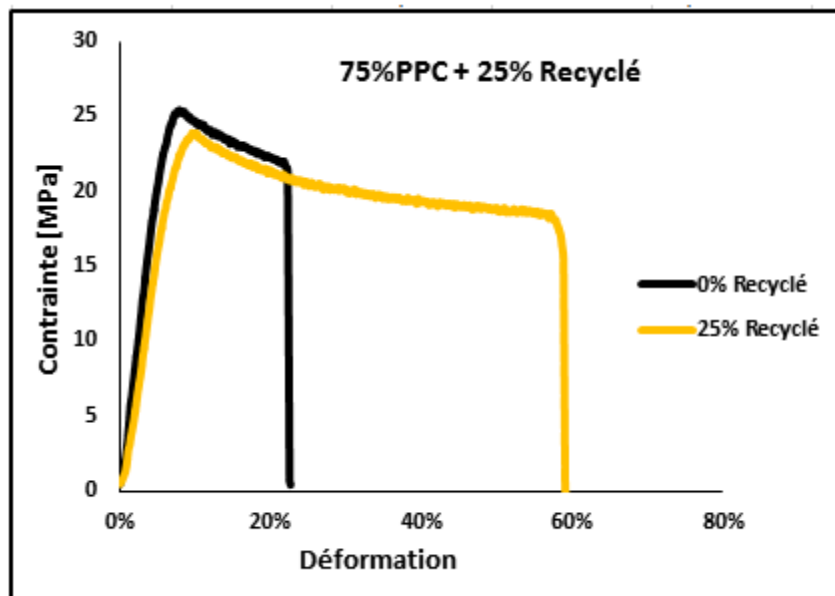


Figure IV.21 : Courbe contrainte déformation du mélange 75% PPC+25% Recyclé

## Chapitre IV : Résultats et discussions

L'ajout de 25% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre augmentation de 110% d'allongement à la rupture avec une légère diminution de la contrainte au seuil d'écoulement

### ➤ Mélange 70%PPC+30%Recyclé

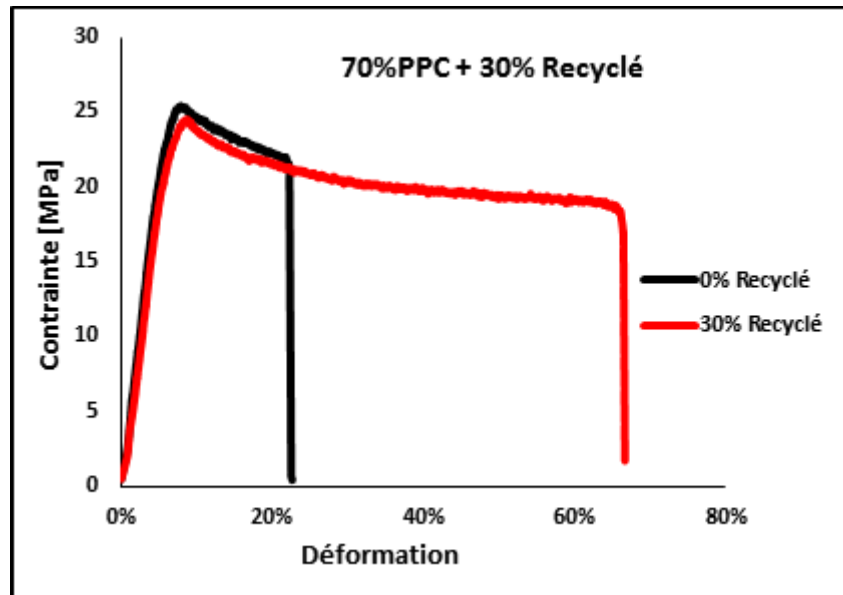


Figure IV.22 : Courbe contrainte déformation du mélange 70% PPC+30%Recyclé

L'ajout de 30% en masse de recyclé à la matrice PPC engendre augmentation de 200% d'allongement à la rupture avec une légère diminution de la contrainte au seuil d'écoulement

La figure ci-dessous regroupe les courbes de traction des différents mélanges avec le recyclé vrac

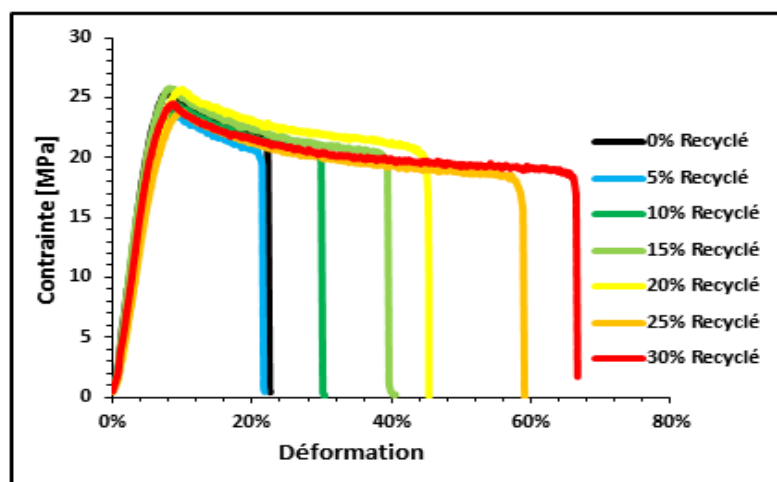


Figure IV.23 : Courbe contrainte déformation des différents mélanges avec recyclé vrac

### IV.3.2.2 Variations du module d'élasticité des différents mélanges

Pour déterminer le module d'élasticité des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvette et nous obtenons le graphe de la figure IV.25

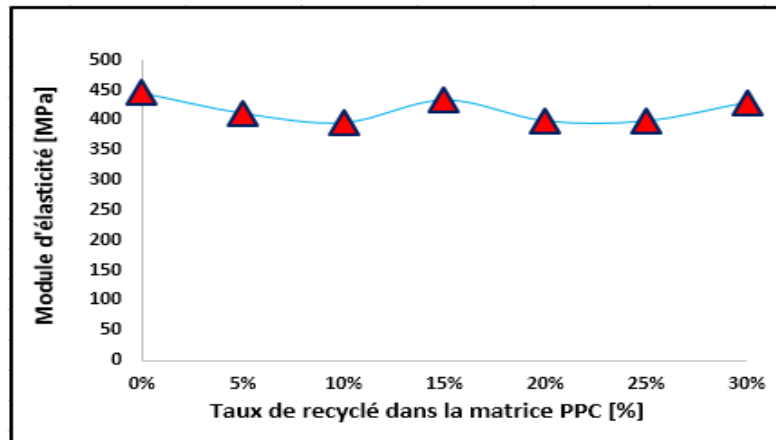


Figure IV.24 : Variation du module d'élasticité des mélanges en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC

Nous constatons sur le graphe que le module d'élasticité subit de faibles variations avec le taux de recyclé dans la matrice PPC.

### IV.3.2.3 Variations de l'allongement à la rupture des différents mélanges

Comme pour le module d'élasticité, pour déterminer l'allongement à la rupture des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvette et nous obtenons le graphe de la figure IV.26

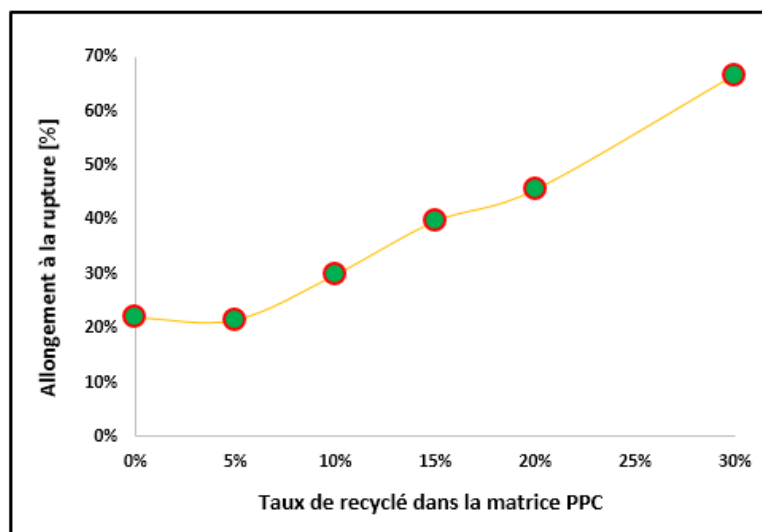


Figure IV.25 : Variation de l'allongement à la rupture des mélanges en fonction du taux du recyclé dans la matrice PPC

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Nous constatons sur le graphe que l'allongement à la rupture augmente considérablement avec le taux de recyclé dans la matrice PPC où cette augmentation atteint 200,4% pour 30% de recyclé dans le mélange.

### IV.3.2.4 Variations de la contrainte au seuil d'écoulement

Comme pour le module d'élasticité, pour déterminer la contrainte au seuil d'écoulement des mélanges nous calculons la moyenne des valeurs obtenues pour chaque éprouvettes et nous obtenons le graphe de la figure IV.27

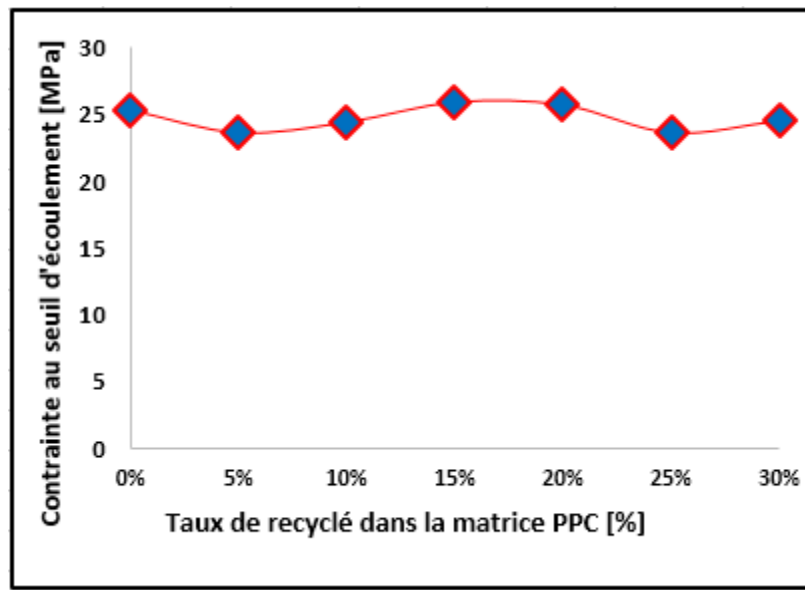


Figure IV.26 : Variation de la contrainte au seuil des mélanges en fonction du taux de PPH dans le mélange PPH/PPC

Nous constatons sur le graphe que la contrainte au seuil d'écoulement est quasi constante avec le taux de recyclé dans la matrice PPC

### IV.3.3 Résilience

Pour la caractérisation concernant la résistance aux chocs, nous avons effectué des essais sur 5 éprouvettes pour chaque échantillon et nous retenons la valeur moyenne que nous résumons dans le tableau suivant :

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Mélange	Resilience [kJ/m <sup>2</sup> ]
0%	8,67
5%	8,11
10%	7,81
15%	8,73
20%	10,56
25%	10,87
30%	10,87

Tableau IV.3 : Valeurs de la résilience en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC.

D'après le tableau ci-dessus nous traçons la courbe de variation de la résilience en fonction du taux de recyclé dans la matrice PPC et représentée par la figure IV.28.

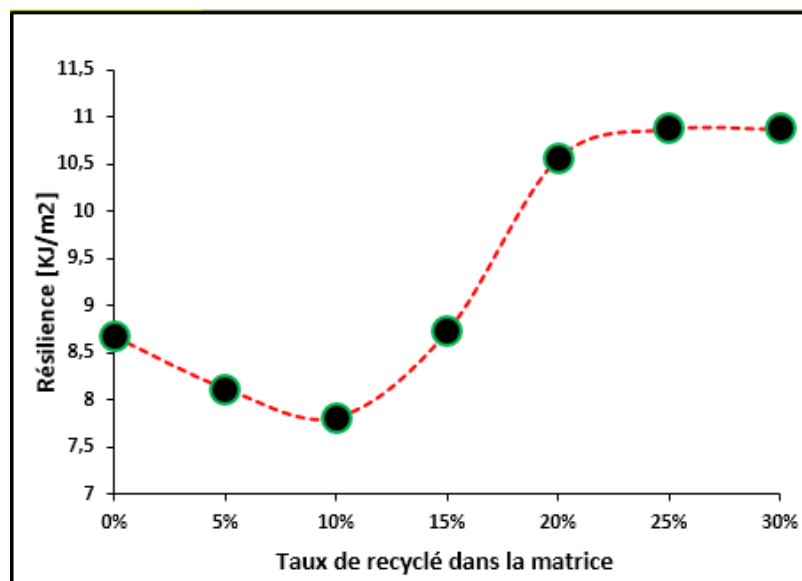


Figure IV.27 : Variation de la résilience en fonction du taux de Recyclé dans la matrice PPC[%]

Le graphe ci-dessus montre que l'ajout de 10% de recyclé à la matrice PPC fait perdre au mélange environ 10% de résilience. L'ajout de 15% de recyclé fait gagner 0,6% en résilience du mélange. Au taux de 25% de recyclé la résilience gagne plus de 26% et se stabilise pour 30% de recyclé.

### IV.3.4 la microdureté

La microdureté du polymère 100%PPC est quasi constante sur tous les points de prélèvement. Cela prouve que le PPC présente une seule phase qui est à base du monomère propylène.

La microdureté des mélanges que ce soit le recyclé vrac, ou le recyclé lavé et trié (95%PPC-5%recyclé, 90%PPC-10% recyclé et 80%PPC-20% recyclé) présentent des valeurs variables, ce qui prouve la coexistence de deux phases.

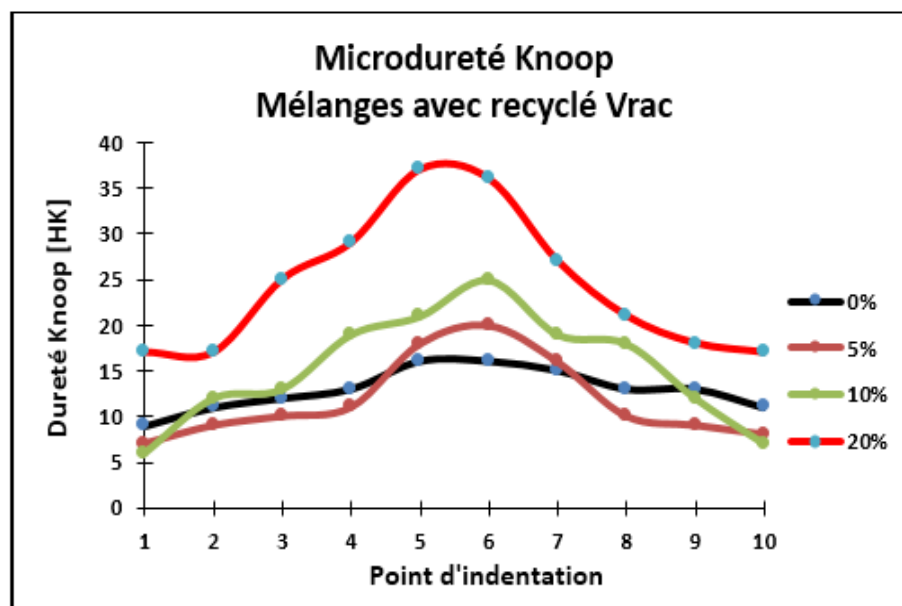


Figure IV.28: Microdureté des mélanges 100%PPC-0%recyclé vrac, 95%PPC-5%recyclé vrac, 90%PPC-10%recyclé vrac et 80%PPC-20%recyclé vrac

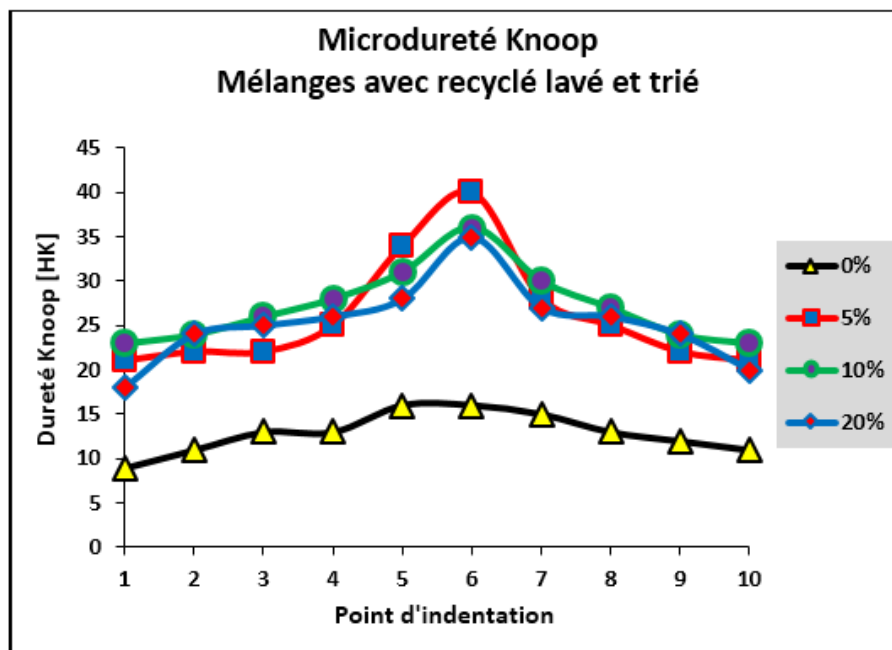


Figure IV.29: Microdureté des mélanges 100% PPC-0% recyclé vrac, 95% PPC-5% recyclé lavé et trié, 90% PPC-10% recyclé lavé et trié et 80% PPC-20% recyclé lavé et trié

### IV.4 La Caractérisation morphologique (MEB)

La microscopie électronique à balayage Sur la figure 1.a) où l'agrandissement est de 1mm, on observe une structure homogène et qui représente la phase PPC.

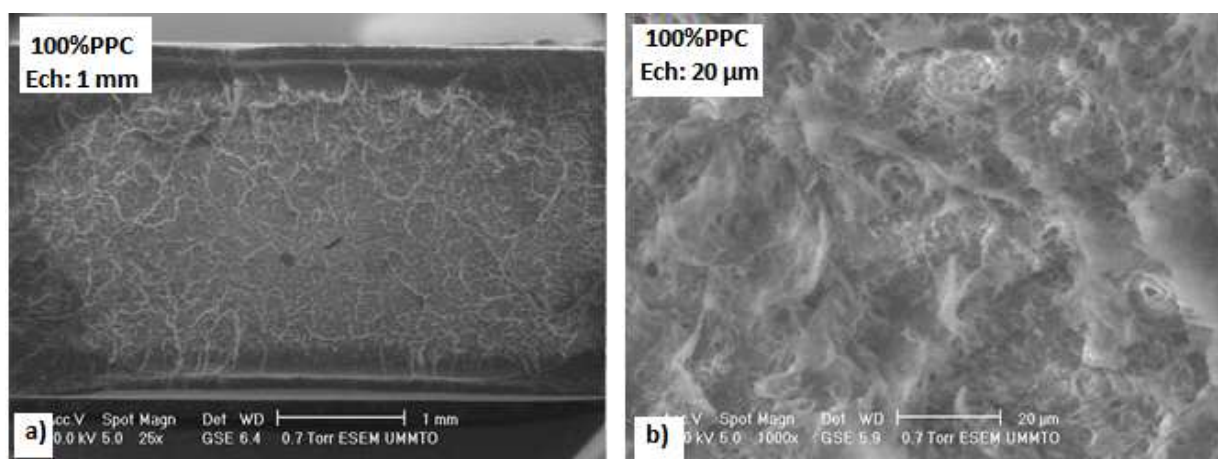


Figure IV.30 : Micrographies obtenues par MEB : polymères 100% PPC  
a) Echelle 1mm et b) Echelle 20µm

## Chapitre IV : Résultats et discussions

Sur l'agrandissement de 20 $\mu$ m on constate que le PPC a tendance, en traction, à faire des fils. Cependant dans notre cas quand la sollicitation est suffisamment rapide (10mm/min) et le matériau suffisamment homogène, il se rompt parce que toutes les liaisons cèdent simultanément.

Sur la figure 2.a) où l'agrandissement est de 1mm, on observe une phase autre que le PPC et qui présente une rupture fragile.

Au loin de cette phase avec un agrandissement de 20 $\mu$ m (fig. 2 (b)), on observe des nodules de taille relativement importante et qui représente aussi un déchet incompatible et immiscible, probablement du polyamide révélé par IRTF. Ce qui explique le caractère fragile de la rupture.

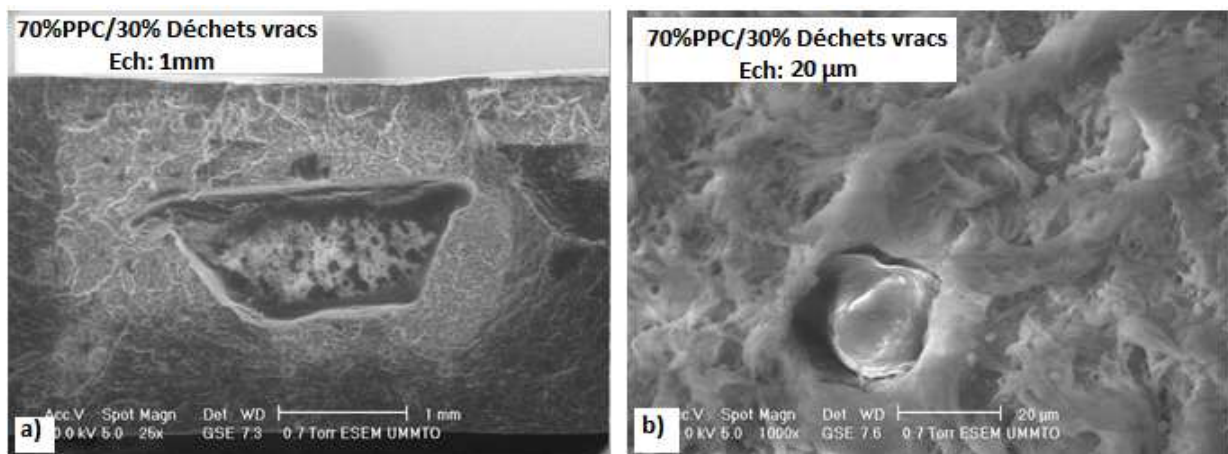


Figure IV.31 : Micrographies obtenues par MEB : polymères 70%PPC+30% déchets vrac a) Echelle 1mm et b) Echelle 20 $\mu$ m

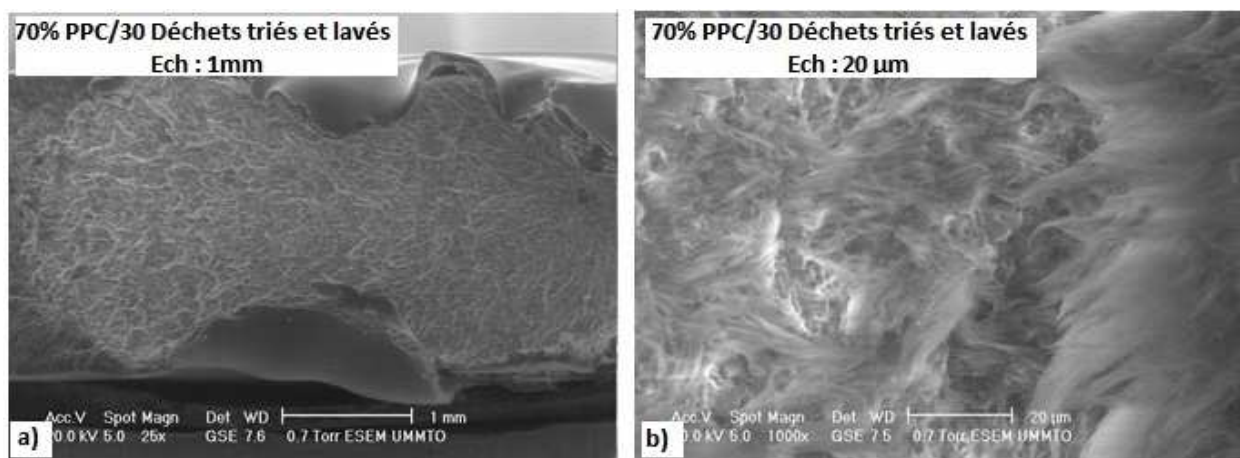


Figure IV.32 : Micrographies des faciès de rupture obtenues par MEB : mélange 70%PPC+30% déchets triés et lavés a) Echelle 1mm et b) Echelle 20 $\mu$ m

## Chapitre IV : Résultats et discussions

---

Sur la figure 3.a) où l'agrandissement est de 1mm, on observe un faciès de rupture homogène au centre et des bords à rupture élastoplastique. Sur l'agrandissement de 20 $\mu$ m, note aussi l'absence d'autres phases dans le mélange et on observe le phénomène d'orientation fibrillaire qui caractérise la souplesse de l'échantillons et qui corrobore le gain important en ductilité du mélange par rapport au PPC vierge.

### IV.5 Conclusion

Après l'élaboration des mélanges par injection et l'analyse des éprouvettes par les différentes méthodes de caractérisation, les résultats obtenus révèlent en premier lieu, un déficit dans les propriétés du mélange PPC/recyclé vrac par rapport au 100% PPC (vierge) cela est dû aux impuretés contenues dans le mélange qui empêchent l'homogénéisation ; en second lieu, un gain considérable dans les propriétés du mélange PPC/recyclé lavé et trié par rapport au 100% PPC cela est dû à l'extraction des impuretés ce qui donne une bonne homogénéisation.

## Conclusion Générale

---

### Conclusion générale

Notre travail a été consacré à l'étude du recyclage des déchets polymériques issus des casses automobiles, ces déchets sont collectés pour l'élaboration des mélanges de polymères recyclés et de PPC avec différents pourcentages massiques jusqu'à l'obtention des éprouvettes de chaque mélange, passant par plusieurs étapes expérimentales.

Deux types de mélanges sont élaborés dans le but d'étudier leurs caractéristiques en vue de déterminer leurs propriétés physique, mécanique et morphologique en procédant par différents essais, le premier est un mélange de polymères recyclés lavés et triés avec du PPC, le second est un mélange de polymères recyclés vrac avec du PPC.

Les résultats obtenus révèlent :

- L'indice de fluidité diminue avec le taux de recyclé dans la matrice PPC, sachant que l'essai a été appliqué seulement sur le mélange PPC/recyclé lavé et trié.
- L'infrarouge montre que le mélange 100% PPC a une plus forte absorption que les autres mélanges.
- L'ajout du nombre en pourcentage massique de recyclé vrac à la matrice PPC engendre une diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de l'allongement à la rupture, par contre, l'ajout du nombre en pourcentage massique de recyclé lavé et trié à la matrice PPC engendre une augmentation importante de l'allongement à la rupture avec une quasi constance de la contrainte au seuil d'écoulement.
- Le module d'élasticité diminue avec le taux de recyclé vrac dans la matrice PPC, et il subit de faibles variations avec le taux de recyclé lavé et trié dans la matrice PPC.
- L'ajout de 10% de recyclé lavé et trié à la matrice PPC fait perdre au mélange environ 10% de résilience. L'ajout de 15% fait gagner 0,6% en résilience du mélange. Au taux de 25% de recyclé la résilience gagne plus de 26% et se stabilise pour 30% de recyclé.

## Conclusion Générale

---

- La microdureté du polymère 100% PPC est quasi constante sur tous les points de prélèvement. Cela prouve que le PPC présente une seule phase qui est à base du monomère propylène, la microdureté des mélanges que ce soit le recyclé vrac, ou le recyclé lavé et trié présentent des valeurs variables, ce qui prouve la coexistence de deux phases.

- La microscopie électronique à balayage révèle une structure homogène qui représente la phase PPC, ce dernier a tendance, en traction, à faire des fils. Cependant dans notre cas quand la sollicitation est suffisamment rapide, il se rompt parce que toutes les liaisons cèdent simultanément ; elle révèle aussi dans le mélange PPC/recyclé vrac une phase autre que le PPC et qui présente une rupture fragile, ce sont des nodules de taille relativement importante et qui représente un déchet incompatible et immiscible. Ce qui explique le caractère fragile de la rupture ; dans le mélange PPC/recyclé lavé et trié, on observe un faciès de rupture homogène au centre et des bords à rupture élastoplastique, on note aussi l'absence d'autres phases dans le mélange et on observe le phénomène d'orientation fibrillaire qui caractérise la souplesse de l'échantillon et qui corrobore le gain important en ductilité du mélange par rapport au PPC vierge.

## Références Bibliographiques

---

### Références Bibliographiques

- [1] : C. Maudet-Charbuillet ; proposition d'outils et démarches pour l'intégration de filières de recyclage de matières plastiques dans la supplychain automobile ; 2009.
- [2] : C. Charlier ; la chimie industrielle des polymères ou étude des matériaux ; les polymères et consortis.
- [3] : M. Fontanille et Y. Gnanou ; chimie et physico-chimie des polymères ; Dunod ; Paris ; 2002.
- [4] : C. Bathias ; matériaux composites ; édition l'usine nouvelle ; Dunod ; 2005.
- [5] : P. Galez ; polymères et composites ; mesures physiques Annecy ; 2011.
- [6] : Différents types de matières plastiques ; dossier enseignant (voyage en industrie) cap science ; 2006.
- [7] : J. Mertin et all ; traité des matériaux ; tome 14 ; 2001.
- [8] : A. Bellel ; traitement de surface de polymères par décharge couronne et plasma ; thèse de doctorat ; université Mentouri ; Constantine ; 2004.
- [9] : M. Fontanille et Y. Gnanou ; chimie et physico-chimie des polymères (cours) ; 2eme et 3eme cycles ; Dunod ; Paris ; 4-8 ; 2005.
- [10] : Glossaire des matériaux composites ; edition CARMA ; 2006.
- [11] : H. Ben romdhane ; introduction à la chimie des polymères ; notions de mise en œuvre.
- [12] : Transformation des plastiques ; dossier enseignant (voyage en industrie) cap sciences ; 2006.
- [13] : J-M. Haudin ; solidification mise en forme des polymers ; cours matériaux ; 2005.
- [14] : M. Biron ; aide mémoire ; transformation des matières plastiques.
- [15] :Shanghai jwell machinery CO, ltd.
- [16] : M. Carrega ; aide mémoire ; matières plastiques 2° édition ; Dunod ; paris 2005-2009.
- [17] : Cours OMAV ; le recyclage en automobile ; acajou 2 ; le tri et le recyclage en automobile.
- [18] : IPEC ; institut des plastiques et de l'environnement du Canada.
- [19] : N. Mnif ; elaboration et caracterisation de mélanges complexes à base de polymère en vue de son éco-conception et de son recyclage dans les véhicules hors d'usage ; 2008.

## **Références Bibliographiques**

---

[20] : Groupement plasturgie automobile ; integration des matières plastiques recyclées à destination de l'automobile.

[21] : D. FRANCOIS ; essais mécaniques ; et lois de comportement ; édition HERMES Science publication ; 2001.

[22] :J-P. BAILON et J-M. DORLOT ; des matériaux ; presse internationale polytechnique ; troisième édition ; 2000.