

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie de l'environnement

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER

FILIÈRE : Génie des procédés

Spécialité : Gestion Des Changements Environnementaux En Méditerranée

Par

➤ **GUENDOUZ CHOUROUK**

Intitulé

**Suivi Industriel De La Préparation Des Pièces En Polymères
Pour La Fabrication Des Appareils Electroménagers**

Soutenu le : 23/06/2024

Devant le jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mr. D. Dadache</i>	<i>MCA</i>	<i>Présidente</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. S. Boufassa</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. A. Hellati</i>	<i>PROFFESEUR</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Qu'il me soit permis de présenter à tout un petit monde de personnes qui ont rendu possible la présente étude et qui ont contribué à son élaboration sous quelque forme que ce soit.

*Mes remerciements au **Docteur BOUFASSA Samia**, mon encadrante, d'avoir accepté de diriger ce mémoire de master, qui a développé en moi une capacité de recherche et d'adaptation. Merci pour l'attention, la proximité avec laquelle vous avez suivi ce travail. Vos judicieuses observations, vos apports multiples tant du point de vue de la forme que du fond m'ont davantage poussée à l'exigence. Je suis ravie et dois-je en réalité m'estimer chanceuse de vous avoir eu comme directeur de mémoire. Merci pour votre formation.*

Je ne manquerais pas non plus de dire un grand merci aux membres du jury qui ont accepté, sans réserve aucune, d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur, et de me faire part de leurs remarques, sûrement pertinentes qui, avec un peu de recul, contribueront, sans nul doute, au perfectionnement du présent travail.

Dédicaces

Pour ceux qui ont éclairé mon chemin

Pour ceux qui ont cru en moi quand j'en doutais moi-même

Pour ceux qui m'ont porté quand ma force faiblissait

À ceux qui ont partagé mes joies et apaisé mes peines

Dédiez ce succès

Pour vos sacrifices et pour votre soutien indéfectible

*À toi, **chère maman**, la source de ma lumière*

*À toi, **mon père**, la source de ma force*

Je vous exprime ma profonde gratitude

*À vous, **mes frères et sœurs, mes amis fidèles***

Partenaires de mes rêves, confidents de mes secrets

Merci pour votre présence inestimable

À tous ceux qui ont marqué mon parcours

Ils ont laissé une empreinte indélébile dans mon cœur

Je vous exprime mon infinie gratitude

Que Allah vous bénisse et vous donne le bonheur que vous méritez

Avec toute ma tendresse et mon affection

Résumé

Cette thèse explore le monde complexe des polymères, leurs diverses applications et les défis contemporains. Les polymères sont classés en matériaux naturels, synthétiques, linéaires, complexes, élastiques et résistants à la chaleur. Leurs applications pratiques vont de l'automobile aux circuits électroniques et aux prothèses médicales. La thèse porte également sur les mécanismes de fabrication et de classification des polymères. C'est ce qu'est illustré dans notre rapport simplifié, offrant une exploration complète de la science et de la technologie des polymères.

Mots clés : Polymère, Matière, Plastique, PEBD, PP-FV, Injection, Pièce, Traction, Additifs, Charges, Monomères, Environnement, Fibre.

Summary

This thesis explores the complex world of polymers, their various applications, and contemporary challenges. Polymers are classified into natural, synthetic, linear, complex, elastic, and heat-resistant materials. Their practical applications range from automobiles to electronic circuits and medical prostheses. The thesis also focuses on the manufacturing and classification mechanisms of polymers. This is illustrated in our simplified report, offering a complete exploration of polymer science and technology.

Key Words : Polymer, Material, Plastic, LDPE, PP-GF, Injection, Piece, Traction, Additives, Charges, Monomers, Environment, Fiber.

ملخص

تستكشف هذه الأطروحة العالم المعقد للبوليمرات وتطبيقاتها المختلفة والتحديات المعاصرة. تصنف البوليمرات إلى مواد طبيعية، وتركيبية، وخطية، ومعقدة، ومرنة، ومواد مقاومة للحرارة. وتتراوح تطبيقاتها العملية من السيارات إلى الدوائر الإلكترونية والأطراف الصناعية الطبية. تركز الأطروحة أيضا على تصنيع وتصنيف البوليمرات. ويتضح ذلك في تقريرنا المبسط، الذي يقدم استكشافا شاملا لعلوم وتكنولوجيا البوليمر.

الكلمات المفتاحية: البوليمر، المواد، البلاستيك، البولي إيثيلين المنخفض الكثافة، البولي بروبيلين، حقن، قطعة، الشد، إضافات، شحنة، مونومرات، البيئة، الألياف.

LISTE DES ABREVIATIONS

A%	Allongement à la rupture
BTP	Bâtiment et travaux publics
DSC	Calorimétrie différentielle à balayage
E	Coefficient de Young
EPI	Equipements de protection individuelle
EVA	Ethylène-acétate de vinyle
FTIR	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
GPA	Moyenne pondérée cumulative
MD	Machine Direction
MP	Matière première
PE	Polyéthylène
PEBD	Polyéthylène basse densité
PP	Polypropylène
PP-FV	Polypropylène renforcé fibre de verre
PTEF	Polytétrafluoroéthylène
PVC	Poly (chlorure de vinyle)
RE	Limite élastique
RT	Résistance à la traction
T_c	Température de cristallisation
TD	Transverse Direction
T_f	Température de fusion
UV	Ultra-violet

TABLE DES MATIERES

❖ Remerciements.....	ii
❖ Dédicaces.....	iii
❖ Résumé.....	iv
❖ Liste des abréviations.....	v
❖ Table des matières.....	vi
❖ Liste des figures.....	xii
❖ Liste des tableaux.....	xiii
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I : Introduction aux polymères : Définition, Structure et Applications Et Analyse de (PP-FV, PEBD)	3
I.1 Introduction.....	4
I.1.1 Applications pratiques des polymères.....	4
I.2. Définition des polymères.....	4
I.2.1. Différenciation avec les monomères.....	5
I.2.2 Importance du degré de polymérisation.....	5
I.2.3 Structure chimique des polymères.....	5
I.2.3.1 Chaînes macromoléculaires.....	6
I.2.3.2 Influence des groupes fonctionnels.....	6
I.2.3.3 Mécanismes de polymérisation.....	6
I.2.3.3.1 Polymérisation par addition.....	6
I.2.3.3.2 Polymérisation par condensation.....	6

I.2.4 Classification des polymères.....	7
I.2.4.1 Selon leur origine.....	7
I.2.4.1.1 Polymères naturels.....	7
I.2.4.1.2 Polymères synthétiques.....	7
I.2.4.2 Selon leur structure moléculaire.....	8
I.2.4.2.1 Polymères linéaires.....	8
I.2.4.2.2 Polymères ramifiés.....	8
I.2.4.2.3 Polymères réticulés.....	9
I.2.4.3 Selon leur comportement thermique.....	9
I.2.4.3.1 Polymères thermoplastiques.....	9
I.2.4.3.2 Polymères thermodurcissables.....	9
I.3 Applications des polymères.....	9
I.3.1 Polymères dans l'industrie automobile.....	9
I.3.2 Utilisations des polymères dans l'électronique.....	10
I.3.3 Polymères dans l'industrie médicale.....	10
I.4 Défis et développements actuels.....	10
I.4.1 Durabilité et écologie des polymères.....	10
I.4.2 Recyclage et gestion des déchets polymériques.....	10
I.5 Renforts.....	11
I.5.1 La fibre de verre.....	11
I.5.2 Additifs.....	12

I.5.3 Les charges	12
I.5.4 L'EVA	12
I.6 Analyse du PP Fibre de verre et du PEBD.....	13
I.6.1 Polypropylène renforcé par fibres de verre	13
I.6.1.1 Définition de PP-FV.....	13
I.6.1.2 Composition chimique du polypropylène renforcé de fibres de verre	14
I.6.1.3 Propriétés du PP Fibre de verre	14
I.6.1.3.1 Propriétés mécaniques	14
I.6.1.3.2 Propriétés physique	15
I.6.1.3.3 Propriétés électrique	15
I.6.1.3.4 Propriétés thermique	15
I.6.1.4 Applications du PP Fibre de verre	15
I.6.1.4.1 Autre application	16
I.6.1.5 Avantages et inconvénients de PP-FV	16
I.6.1.5.1 Principaux avantages de PP-FV	16
I.6.1.5.2 Principaux inconvénients de PP-FV.....	16
I.6.2 Polyéthylène basse densité PEBD.....	17
I.6.2.1 Définition de polyéthylène basse densité PEBD.....	17
I.6.2.2 Propriétés du polyéthylène basse densité PEBD.....	17
I.6.2.3 Application du PEBD	18
I.6.2.4 Avantages et inconvénients de PEBD.....	18
I.6.2.4.1 Principaux avantages du PEBD	18

I.6.2.4.2 Principaux inconvénients du PEBD	19
I.6.3 Conclusion.....	19
CHAPITRE II : Procédés de fabrication Et Méthodes de caractérisation	20
II.1 Introduction.....	21
II.2 Les principaux procédés de fabrication du plastique.....	21
II.2.1 Processus de fabrication par injection plastique.....	22
II.2.1.1 Moulage par injection.....	22
II.2.1.2 Le principe du moulage par injection.....	22
II.2.1.3 Le fonctionnement du moulage par injection.....	23
II.2.1.4 Les grandes étapes du moulage par injection plastique.....	23
II.2.1.5 Le cycle d'injection.....	24
II.2.1.6 Le procédé injection soufflage.....	25
II.3 Méthodes de caractérisation.....	26
II.3.1 Les très importantes méthodes de caractérisation du plastique dans un laboratoire	26
II.3.1.1 Analyse thermique.....	26
II.3.1.2 Analyse mécanique.....	26
II.3.1.3 Analyse physico-chimique.....	27
II.4 La méthode utilisant dans laboratoire de l'usine.....	27
II.4.1 Résistance à la traction.....	27
II.4.2 Principes fondamentaux.....	28

II.4.3 Les principales propriétés de la traction	28
II.4.3.1 Résistance à la traction (RT).....	28
II.4.3.2 Limite élastique (RE)	28
II.4.3.3 Coefficient de Young (E).....	28
II.4.3.4 Allongement à la rupture (A %)......	28
II.4.3.5 Durabilité.....	28
II.4.4 Types de traction.....	29
II.4.5 Diagramme de contrainte-déformation	29
II.4.6 Facteurs influençant les propriétés de la traction	30
II.5 Conclusion.....	30
Chapitre III : Partie Expérimentale	31
III.1 Introduction.....	32
III.1.2 Présentation de l'entreprise.....	32
III.1.2.1 Historique.....	32
III.1.2.2 Fiche d'identité de l'entreprise.....	33
III.1.2.3 Le succès de CONDOR.....	34
III.1.2.4 Profils de CONDOR.....	35
III.2 Unité d'injection plastique.....	35
III.3 Cycle de vie.....	36
III.4 Essai de traction	36
III.5 Le PP-FV 15 % est commercialisé sous le nom FH7300GM.....	37

III.5.1 Composition chimique de FH7300GM (PP-FV15 %)	38
III.5.2 Fabrication des pièces plastiques en PP-FV15 %	38
III.6 Le PP-FV 30% est commercialisé sous le nom GP430F (PP-FV30 %)	41
III.6.1 Composition chimique de GP430F (PP-FV30 %)	41
III.6.2 Fabrication des pièces plastiques en PP-FV30 %	42
III.7 Le PEBD est commercialisé sous le nom HP2022NN	45
III.7.1 Composition chimique de PEBD	46
III.7.2 Fabrication des pièces plastiques en PEBD	47
III.8 Les risques et les problèmes des matières	51
III.8.1 Les risques rencontrés pendant le recyclage de PP-FV	51
III.8.2 Les solutions	52
III.8.3 Les problèmes rencontrés pendant le recyclage de PEBD	52
III.8.4 Les solutions	53
III.9 Vente	53
Conclusion générale	55
❖ Références	57

LISTE DES FIGURES

•	Figure I.1 : Polypropylène fibre de verre (PP-FV).....	8
•	Figure I.2 : Polyéthylène basse densité (PEBD).....	8
•	Figure I.3 : Types de renfort	11
•	Figure II.1 : Structure de la presse d'injection.....	23
•	Figure II.2 : Cycle d'injection.....	24
•	Figure II.3 : Injection-soufflage.....	25
•	Figure II.4 : Forme éprouvette et dimension.....	27
•	Figure II.5 : Diagramme de contrainte déformation.....	29
•	Figure III.1 : Organigramme de l'entreprise.....	34
•	Figure III.2 : Organigramme structurel des étapes de fabrication des produits.....	35
•	Figure III.3 : Organigramme de cycle de vie.....	36
•	Figure III.4 : Organigramme illustratif des étapes de fabrication des pièces plastiques en PP-FV15 %.....	38
•	Figure III.5 : Production annuelle des pièces en PP-FV15 %.....	39
•	Figure III.6 : Quantité annuelle des pièces en FH7300GM (PP-FV15 %) et de MP rebuté et MP consommé.....	40
•	Figure III.7 : PP-FV30 %.....	41
•	Figure III.8 : Organigramme montrant les étapes de fabrication des pièces plastiques en PP-FV30 %.....	43
•	Figure III.9 : Production annuelle des pièces en PP-FV30 %.....	44
•	Figure III.10 : Quantité annuelle des pièces en GP430F (PP-FV30 %) et de MP rebuté et MP consommé.....	45
•	Figure III.11 : PEBD.....	45
•	Figure III.12 : Organigramme représentant les étapes de fabrication des pièces plastiques en PEBD.....	48
•	Figure III.13 : Production annuelle des pièces en PEBD.....	49
•	Figure III.14 : Quantité annuelle des pièces en HP2022NN (PEBD) et de MP rebuté et MP consommé.....	50
•	Figure III.15 : EVA.....	51

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I.1 Classification des additifs polymères et de leurs fonctions dans l'amélioration des propriétés et des applications des polymères.....5
- Tableau I.2 Comparaison des polymères formés par polymérisation par addition et polymérisation par condensation.....7
- Tableau III.1 Propriétés physico-chimiques de FH7300GM (PP-FV15 %).37
- Tableau III.2 Composition chimique de FH7300GM.....38
- Tableau III.3 La quantité des pièces en FH7300GM (PP-FV15 %) produites au cours d'une année.....39
- Tableau III.4 La quantité des pièces en FH7300GM (PP-FV15 %) et de matière première rebutée.....40
- Tableau III.5 Composition chimique de GP430F.....41
- Tableau III.6 Propriétés physico-chimiques de GP430F (PP-FV30 %).42
- Tableau III.7 La quantité des pièces en GP430F (PP-FV30 %) produites au cours d'une année.....43
- Tableau III.8 La quantité des pièces en GP430F (PP-FV 30%) et de matière première Rebutée.....44
- Tableau III.9 Composition chimique de HP2022NN (PEBD).....46
- Tableau III.10 Propriétés physico-chimiques de HP2022NN (PEBD) 46 /47
- Tableau III.11 La quantité des pièces en HP2022NN (PEBD) produites au cours d'une Année.....48/49
- Tableau III.12 La quantité des pièces en HP2022NN (PEBD) et de matière première rebutée.....50
- Tableau III.13 Composition chimique d'EVA.....51

Introduction générale

Dans notre vie quotidienne, nous rencontrons des produits fabriqués à partir de divers matériaux, par exemple : le verre, tous les métaux, le papier et d'autres matériaux. Où la liste est dirigée par du plastique.

Les produits fabriqués avec ce matériau sont innombrables en raison de ses propriétés qui le distinguent des autres matériaux.

Nous creusons un peu plus pour découvrir la source du plastique. Nous constatons qu'il s'agit d'une matière première appelée polymère et qu'il est fabriqué à partir de pétrole, par la réaction de certains éléments chimiques à partir de celui-ci.

Depuis leur découverte au début du XXème siècle, les polymères ont révolutionné notre monde, interférant dans presque tous les aspects de notre vie quotidienne. Ce matériau, aux propriétés remarquables et à la variété infinie, a couvert de nombreux secteurs, de l'industrie automobile à l'emballage, en passant par la médecine et l'électronique [1].

L'utilisation de matériaux polymères a considérablement augmenté dans divers domaines en raison de leurs propriétés caractéristiques telles que de bonnes propriétés mécaniques, une faible densité et une stabilité chimique élevée.

Le comportement des matériaux polymères est influencé par des facteurs externes tels que l'environnement, ce qui rend nécessaire l'étude de ces réactions pour évaluer leurs propriétés et prédire leur comportement dans diverses conditions opératoires [2].

Lorsque nous parlons de ce sujet, plusieurs questions nous viennent à l'esprit, sur lesquelles nous sommes impatients d'en savoir plus, où nous posons les questions suivantes :

Que sont les polymères ?

À quels risques pouvons-nous faire face et que pouvons-nous leur proposer comme solutions ?

Comment ils sont fabriqués et classés ?

De là est née l'idée de la thèse dans laquelle nous parlons des polymères et de leurs propriétés, puisqu'au niveau de **l'entreprise SPA Condor** nous avons sélectionné deux polymères pour l'étude. Ce qui nous a donné l'opportunité de pénétrer le monde des polymères.

Comme il est d'usage, la thèse est divisée en deux parties : théorique et pratique.

La première partie se compose de deux chapitres, le premier parle d'une introduction générale aux polymères et d'une analyse bibliographique complète du polypropylène renforcé de fibre de verre et du polyéthylène basse densité.

La deuxième partie traite les procédés de fabrication et les méthodes de caractérisation.

Quant à la partie pratique, elle est sous forme de résultats, de discussion et d'analyse. Enfin, nous proposons un ensemble de solutions sur les risques auxquels nous sommes confrontés lorsque nous travaillons sur le recyclage des deux matériaux.

Nous concluons cette thèse par un aperçu de ce que nous avons tiré de nos humbles recherches.

Les polymères sont rarement utilisés seuls, mais avec des additifs tels que des stabilisants, des colorants et des plastifiants pour améliorer leurs propriétés et les adapter aux utilisations requises.

CHAPITRE N°I

Introduction aux Polymères : Définition, Structure et Applications

Et Analyse de (PP-FV, PEBD)

I.1 Introduction

Récemment, le monde des polymères est devenu un très grand groupe de matériaux qui font partie intégrante de nos vies, qu'il s'agisse d'objets du quotidien tels que les plastiques et le caoutchouc ou des articles les plus sophistiqués utilisés en médecine jusqu'à l'espace [3].

Dans un contexte où les défis environnementaux et technologiques sont de plus en plus pressants, les polymères offrent des solutions innovantes et durables [4].

Sans exagération, les polymères sont devenus un halo entourant toutes les industries.

Par conséquent, nous tenons pour acquis la compréhension de la science des polymères, y compris les propriétés, la structure chimique et leurs applications [5].

I.1.1 Applications pratiques des polymères

Pour les applications polymères, il comprend divers secteurs, notamment :

- Emballage, conditionnement et protection.
- Travaux Publics.
- Automobiles.
- Tissage.
- Électronique.
- Médical.

Cette liste est partielle en raison de la multiplicité des applications de polymères renouvelées quotidiennement [6].

I.2. Définition des polymères

Les polymères sont des grandes macromolécules organiques ou inorganiques formées par la répétition de monomères via des liaisons covalentes. Cette structure en chaîne leur confère des propriétés uniques par rapport aux monomères individuels.

Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère [7, 8].

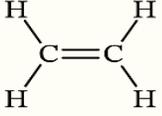
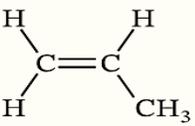
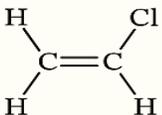
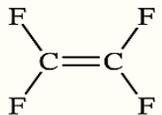
I.2.1. Différenciation avec les monomères

La différence principale entre les polymères et les monomères réside dans leur taille et leur structure. Les monomères sont des molécules simples, tandis que les polymères sont de longues chaînes de monomères liées ensemble [9].

I.2.2 Importance du degré de polymérisation

Le degré de polymérisation, qui mesure le nombre de monomères répétés dans une chaîne polymérique, influence directement les propriétés du polymère final, notamment sa résistance, sa flexibilité et sa densité [10].

Tableau I.1 : Classification des additifs polymères et de leurs fonctions dans l'amélioration des propriétés et des applications des polymères [11]

Polymère <i>Autres noms</i>	Monomère	Utilisations du polymère	Propriété utile
Poly(éthène) <i>Polyéthylène, polythène, PE</i>		Sacs plastiques Bouteilles en plastique Gants jetables	Souple et résistant aux produits chimiques
Poly(propène) <i>Polypropylène, PP</i>		Contenants alimentaires Emballages Tissus Jouets	Fort et dur
Poly(chloroéthène) <i>Chlorure de polyvinyle, vinyle, PVC</i>		Tuyaux de plomberie Isolation de câbles électriques Cadres de fenêtres	Fort mais souple
Poly(tétrafluoroéthène) <i>Polytétrafluoroéthylène, PTFE</i>		Revêtements antiadhésifs Joints mécaniques Isolation électrique	Résistant à la chaleur, isolant électrique antiadhésif, et inerte

I.2.3 Structure chimique des polymères

La structure chimique des polymères est essentielle pour comprendre leurs propriétés et leurs comportements. Cette section explore les aspects clés de la structure des polymères, notamment les chaînes macromoléculaires, l'influence des groupes fonctionnels, et les mécanismes de polymérisation [12].

I.2.3.1 Chaînes macromoléculaires

Les polymères se caractérisent par leurs chaînes macromoléculaires, composées de répétitions de monomères. Ces longues chaînes confèrent aux polymères leurs propriétés physiques uniques, telles que la flexibilité, la résistance et la ductilité [13].

I.2.3.2 Influence des groupes fonctionnels

Les groupes fonctionnels présents dans la structure des polymères jouent un rôle crucial dans leurs propriétés chimiques et physiques. Par exemple, la présence de groupes hydrophiles ou hydrophobes peut influencer la solubilité, l'adhérence et d'autres caractéristiques importantes des polymères [14].

I.2.3.3 Mécanismes de polymérisation

Les mécanismes de polymérisation déterminent la manière dont les monomères se combinent pour former des polymères. Deux mécanismes courants sont la polymérisation par addition et la polymérisation par condensation, chacun ayant des implications distinctes sur la structure et les propriétés des polymères [15].

I.2.3.3.1 Polymérisation par addition

La polymérisation par addition implique la liaison de monomères sans production de sous-produits. Ce processus conduit à des polymères linéaires ou ramifiés et est couramment utilisé dans la production de polymères synthétiques comme le polyéthylène et le polypropylène [16].

I.2.3.3.2 Polymérisation par condensation

La polymérisation par condensation, en revanche, produit des polymères tout en libérant des sous-produits tels que l'eau ou l'alcool. Cela conduit souvent à des polymères réticulés ou en réseau, comme le polyuréthane et les résines phénoliques, avec des propriétés spécifiques telles que la résistance à la chaleur et la durabilité [16].

Tableau I.2 Comparaison des polymères formés par polymérisation par addition et polymérisation par condensation [17]

Caractéristiques	Polymérisation par Addition	Polymérisation par Condensation
Formation de sous-produits	Non	Oui (eau, alcool, etc.)
Types de polymères formés	Linéaires, ramifiés	Réticulés, en réseau
Exemples de polymères	Polyéthylène, polypropylène	Polyuréthane, résines phénoliques
Propriétés typiques	Flexibilité, légèreté	Résistances à la chaleur, durabilité

I.2.4 Classification des polymères

La classification des polymères est un élément clé de l'étude des matériaux polymères, permettant de les regrouper selon différents critères. Cette section aborde la classification des polymères en fonction de leur origine, de leur structure et de leur comportement thermique [18].

I.2.4.1 Selon leur origine

Les polymères peuvent être classés en deux grandes catégories en fonction de leur origine naturelle ou synthétique. Cette distinction est importante, car elle influence les propriétés et les applications des polymères [18].

I.2.4.1.1 Polymères naturels

Les polymères naturels sont des polymères présents dans la nature, souvent d'origine biologique. Ils sont généralement biodégradables et peuvent être extraits de sources renouvelables telles que les plantes, les animaux ou les micro-organismes. Des exemples de polymères naturels incluent la cellulose, le caoutchouc naturel et la kératine [19].

I.2.4.1.2 Polymères synthétiques

Les polymères synthétiques sont créés et conçus à partir de matières premières telles que le pétrole, le gaz naturel ou d'autres matériaux, pour répondre à certains besoins.

Caractérisés par une variété de propriétés, on cite parmi ces polymères le polypropylène fibre de verre (PP-FV) et le polyéthylène basse densité (PEBD) [20].



Figure I.1: Polypropylène fibre de verre (PP-FV) [21].

I.2.4.2 Selon leur structure moléculaire

La classification des polymères en fonction de leur structure moléculaire est extrêmement importante. Cette classification est divisée en trois branches [18].

I.2.4.2.1 Polymères linéaires

Grâce à des chaînes linéaires, ces polymères se caractérisent par une certaine souplesse et facilité de mouvement moléculaire, ce qui leur confère la propriété de ductilité [22, 8].



Figure I.2 : Polyéthylène basse densité (PEBD) [23].

I.2.4.2.2 Polymères ramifiés

Ces polymères ont des branches latérales le long de la chaîne principale, où ils modifient les propriétés du polymère en affectant son cristal, sa densité et sa viscosité. Ce type a une flexibilité et une résistance relatives [22, 8].

I.2.4.2.3 Polymères réticulés

Ces polymères sont caractérisés par des liaisons chimiques qui forment une structure tridimensionnelle plus rigide et stable. Ce qui lui confère une résistance et une durabilité exceptionnelles, ainsi qu'une résistance à la chaleur [22, 8].

I.2.4.3 Selon leur comportement thermique

Cette classification est considérée comme l'une des classifications les plus importantes, car elle facilite la compréhension de leurs propriétés et de leur interaction avec la chaleur lors de la formation, où elles se ramifient en deux branches [18].

I.2.4.3.1 Polymères thermoplastiques

Lorsqu'ils sont chauffés, ces polymères deviennent élastiques et plastiques, conservent leur structure moléculaire et peuvent être dissous et reconstitués plusieurs fois avec un changement chimique important en eux [22, 8].

I.2.4.3.2 Polymères thermodurcissables

Ils sont un type de polymère qui réagit chimiquement lorsqu'il est chauffé au-dessus du degré de sa transformation, conduisant à la formation de liaisons qui le rendent solide. Ce qui conduit à l'impossibilité de le dissoudre une fois qu'il durcit. Caractérisé par la stabilité, la résistance mécanique et la résistance à haute température [22, 8].

I.3 Applications des polymères

En raison de l'importance des polymères, les colorants ont de nombreuses applications dans divers domaines, dont les plus importants sont [15].

I.3.1 Polymères dans l'industrie automobile

Dans l'industrie automobile, les polymères occupent un grand espace avec leurs applications en raison de leur légèreté, de leur facilité de formation de complexes et de leur grande résistance aux chocs. Leur développement permet d'améliorer l'efficacité et la sécurité des véhicules [15].

I.3.2 Utilisations des polymères dans l'électronique

Dans l'industrie électronique, les polymères agissent comme matériaux isolants, protecteurs et conducteurs. Permet de réduire le poids des appareils, d'améliorer leur durabilité et de fournir des solutions flexibles pour les applications électroniques portables et les dispositifs miniaturisés [15].

I.3.3 Polymères dans l'industrie médicale

Récemment, l'utilisation de polymères dans l'industrie médicale est devenue très répandue, des dispositifs médicaux aux emballages pharmaceutiques. Les polymères biocompatibles sont utilisés dans la fabrication de fournitures médicales [15].

I.4 Défis et développements actuels

L'innovation dans les technologies de synthèse et de gestion des déchets, conduisant à la durabilité environnementale, est l'un des défis auxquels sont confrontés la recherche et les développements dans ce domaine. L'exploration de ces aspects donne un aperçu complet des développements contemporains de l'industrie des polymères [24].

I.4.1 Durabilité et écologie des polymères

Le principal défi de l'industrie des polymères est de rendre le matériau plus durable et respectueux de l'environnement. Nous devrions donc travailler davantage sur les points suivants :

1. Développement de polymères biosourcés à partir de sources renouvelables telles que les plantes, les algues et les déchets agricoles.
2. Recherche sur les polymères biodégradables pour réduire l'accumulation de déchets plastiques dans l'environnement.

Adoption de pratiques de production durables et éco-efficaces pour minimiser l'empreinte carbone des polymères [24].

I.4.2 Recyclage et gestion des déchets polymériques

Le recyclage des polymères est au cœur des efforts visant à réduire l'accumulation de déchets plastiques. Les nouvelles technologies de recyclage, telles que le recyclage chimique et mécanique, offrent des solutions pour transformer les déchets plastiques en matières premières utilisables. La

sensibilisation, l'éducation et les politiques environnementales jouent également un rôle important dans la promotion de l'économie circulaire des polymères [24].

I.5 Renforts

Un renfort est un matériau qui est ajouté à une matrice plastique (généralement une résine thermodurcissable ou thermoplastique) afin d'améliorer ses propriétés mécaniques. Les fibres sont la forme de renforcement la plus efficace, avec des contraintes transmises aux fibres plus fortes et plus rigides à travers la matrice souvent plus molle, produisant ainsi un matériau composite qui a des propriétés améliorées par rapport au matériau de la matrice. L'utilisation de fibres pour renforcer les matériaux fragiles remonte à l'époque égyptienne, lorsque les pots en argile étaient renforcés à l'aide de fibres d'amiante, il y a environ 5000 ans. Les fibres sont classées comme minérales, polymères ou naturelles. Les renforts peuvent être classés, selon : [25].

- Leur nature : animale, végétale ou minérale.
- Leur forme : courte, longue ou continue.
- Leur disposition : mate ou tissée.

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure I.3

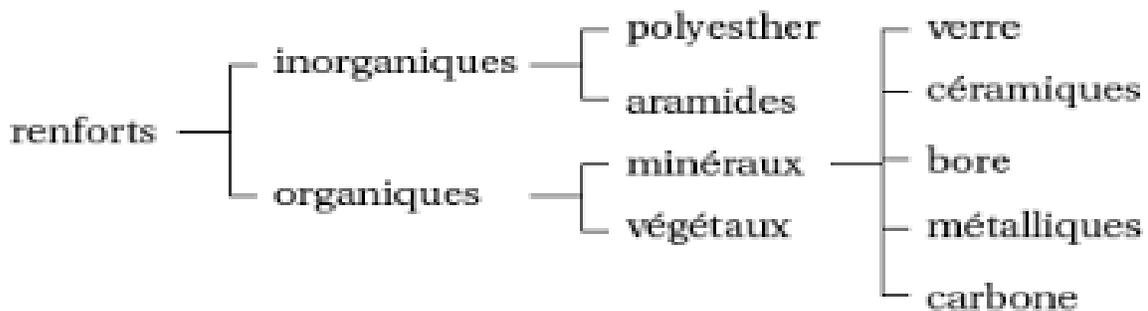


Figure I.3 Types de renfort [25].

I.5.1 La fibre de verre

Les fibres de verre sont fabriquées (fondues) dans diverses compositions en modifiant la quantité de matières premières telles que l'argile pour l'alumine, la colémanite pour l'oxyde de bore, le sable pour la silice et la calcite pour l'oxyde de calcium, ce qui octroie à chaque type des performances différentes telles que des propriétés mécaniques élevées ou résistance aux alcalis, les

produits en fibre de verre sont classés selon le type de composite dans lequel ils sont utilisés (E-verre : verre électrique, C-verre : verre chimique, D-verre : verre diélectrique...). La production de fibre de verre existe depuis l'antiquité, mais la fabrication de masse de fibre de verre a été initiée par Edward Drummond Libby en 1893 qui exposait une robe faite d'un tissu combinant soie et fibre de verre. En 1938, le premier brevet relatif à la production de laine de verre a été délivré par Russell Games Slayter. Au cours des années suivantes, la fibre de verre a commencé à être utilisée comme renfort pour les matériaux composites. Là où les résines synthétiques jouaient un rôle particulier, les phénols occupaient un rôle important dans les plastiques renforcés en raison de leur bonne résistance au feu et de leur faible coût. À partir de 1939, la fibre de verre a été utilisée sur les navires de guerre de la Marine américaine comme isolant. De plus, pendant la Seconde Guerre mondiale, la production de résines polyester insaturées issues du développement de la fibre de verre a été la force motrice pour produire des pièces structurelles des avions et des dômes radar (Radom). En 1953, General Motors, pour la première fois, a commencé à produire en série une voiture de sport Chevrolet Corvette en fibre de verre pleine carrosserie [25].

I.5.2 Les additifs

Pour renforcer les propriétés mécaniques des matériaux composites, des charges peuvent être incorporées dans la résine sous forme de liquides ou de poudres (minérales, végétales ou synthétiques), et pour diminuer le coût des matrices en résine, des charges non renforcées peuvent être utilisées. Dans la conception de structures en matériaux composites, des additifs, tels qu'un colorant ou un agent de démoulage, sont largement utilisés [25].

I.5.3 Les charges

Apportent de nouvelles propriétés et modifient les caractéristiques du produit fini. Elles peuvent influencer les propriétés du produit au moment de la mise en œuvre : La viscosité, la densité, la couleur, l'opacité, le temps de gel, etc. [26].

I.5.4 L'EVA

EVA (acétate d'éthylène vinyle) est un polymère thermoplastique. L'EVA est un matériau léger et flexible qui peut être facilement moulé en différentes formes, ce qui le rend idéal pour les applications nécessitant une grande flexibilité et résistance aux chocs [27].

I.6 Analyse du PP Fibre de verre (15 %, 30 %) et du PEBD

Il existe plusieurs types de polypropylène, parmi lesquels nous mentionnons :

- Polypropylène renforcé par fibres de verre 13 %.
- Polypropylène renforcé par fibres de verre 15 %.
- Polypropylène renforcé par fibres de verre 30 %.

Entre autres types, ces derniers sont considérés comme ceux qui existent au niveau de l'usine. Après une étude du type le plus recherché et controversé, nous avons décidé de choisir le polypropylène renforcé par fibres de verre 15 % et 30 %.

La différence entre PP-FV 15 % et PP-FV 30 % réside dans le fait que PP-FV 15 % est moins rigide que PP-FV 30 %. Ceci est mis en évidence par la différence dans les pièces faites de chaque matériau.

Où PP-FV 15 % se spécialise dans les pièces pesant 6 kg / 8 kg, tandis que PP-FV 30 % se spécialise dans les pièces pesant 12 kg et plus.

Quant au deuxième matériau, le choix s'est porté sur le polyéthylène. Il existe deux types de PE : PE haute densité et PE basse densité. Mais nous nous sommes basées sur le PEBD en raison de ses caractéristiques très importantes.

I.6.1 Polypropylène renforcé par fibres de verre

I.6.1.1 Définition de PP-FV

C'est un polymère composé de deux composants, le polypropylène et la fibre de verre :

PP : le polypropylène, également appelé polypropylène, est une résine thermoplastique obtenue par polymérisation du monomère de propylène grâce à des catalyseurs. Le polypropylène est très populaire. C'est un matériau hydrophobe, semi-solide et résistant à la corrosion. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines [28].

Les fibres de verre : les fibres de verre sont des filaments en verre très fins et résistants. Elles apportent au PP des propriétés mécaniques accrues, telles que la rigidité, la résistance à la traction et la résistance à la flexion [29].

I.6.1.2 Composition chimique du polypropylène renforcé de fibres de verre

Le polypropylène renforcé de fibres de verre (PP-FV), est un matériau composite composé de deux éléments principaux :

Matrice en polypropylène (PP)

- Formule chimique : $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$
- Composition : Carbone (C), Hydrogène (H)
- Structure : chaînes moléculaires longues et flexibles [30].

Renfort en fibres de verre

- Formule chimique : $[\text{SiO}_2]_x$.
- Composition : Silice (SiO_2), Alumine (Al_2O_3), Oxydes alcalino-terreux (CaO, MgO)
- Structure : filaments en verre très fins et résistants [31].

I.6.1.3 Propriétés du PP Fibre de verre

Ce matériau présente plusieurs caractéristiques qui lui confèrent une niche sur le marché, nous mentionnons les principales.

I.6.1.3.1 Propriétés mécaniques

✓ Résistance à la traction

Le PP-FV a une résistance à la traction beaucoup plus élevée que le reste des ratios, jusqu'à 50 % plus élevée. Cela le rend plus adapté aux applications nécessitant une résistance mécanique élevée.

✓ Résistance aux chocs

Il a l'avantage d'être un matériau résistant aux chocs, en raison de sa durabilité, ce qui lui confère une grande résistance pour devenir moins sujet à la rupture.

✓ Module de flexion

Ils sont considérés comme moins sujets à la déformation sous charge. Parce que c'est un matériau solide et qu'il a une résistance portante élevée [32, 33, 8].

I.6.1.3.2 Propriétés physiques

✓ Densité

Sa densité par rapport au matériau vierge est légèrement plus lourde, bien qu'il reste un matériau relativement léger par rapport aux autres matériaux composites [32, 33, 8].

I.6.1.3.3 Propriétés électriques

Il est considéré comme un bon isolant électrique, ce qui le rend utile dans les applications électriques et électroniques [32, 33].

I.6.1.3.4 Propriétés thermiques

✓ Température de fusion (Tf)

En raison de sa valeur, le matériau peut être utilisé dans une variété d'environnements, y compris des nuances allant de -20 C° à 100 C°.

✓ Conductivité thermique

La faible conductivité thermique du matériau indique qu'il s'agit d'un meilleur isolant thermique et qu'il retient mieux la chaleur [32, 33, 8].

I.6.1.4 Applications du PP Fibre de verre

Il existe de nombreuses applications de PP Fibre de verre dans divers domaines, notamment :

- ✓ **Automobile et transport** : le PP-FV est utilisé dans une large gamme de pièces automobiles, telles que les pare-chocs, les tableaux de bord, les garnitures intérieures et les conduits d'air.
- ✓ **Industrie** : le PP-FV est utilisé dans des machines, des équipements et des outils industriels, où sa résistance mécanique et sa stabilité dimensionnelle sont des atouts majeurs [34].
- ✓ **BTP et Construction** : le PP-FV est utilisé dans des tuyaux, des profilés, des panneaux et d'autres composants de construction, où sa résistance mécanique et sa résistance aux intempéries sont importantes.

- ✓ **Électroménager** : le PP-FV est utilisé dans des pièces d'appareils électroménagers, telles que des cuves de lave-linge, des paniers de lave-vaisselle et des boîtiers d'aspirateur.
- ✓ **Articles de sport et loisirs** :
Clubs de golf, raquettes, casques, etc.
Valises, sacs à dos, coques de protection, etc. [34].

I.6.1.4.1 Autres applications

- ✓ **Industrie textile** : on le trouve dans les fils et les tissus techniques pour des applications nécessitant une résistance et une stabilité dimensionnelle élevées, telles que les rubans, les bâches et les géotextiles.
- ✓ **Équipement médical** : utilisé pour fabriquer des attelles, des prothèses et d'autres équipements médicaux qui nécessitent une combinaison de rigidité et de légèreté.
- ✓ **Équipement de sécurité** : on le trouve dans les casques de protection, les protections corporelles et autres équipements de sécurité pour leur résistance aux chocs.
- ✓ **Électronique** : il peut être utilisé pour fabriquer des boîtiers d'appareils électroniques portables en raison de sa légèreté et de sa bonne résistance chimique.
- ✓ **Agriculture** : il peut être utilisé pour fabriquer des serres, des systèmes d'irrigation, etc., qui nécessitent une résistance aux produits chimiques et aux intempéries [33].

I.6.1.5 Avantages et inconvénients de PP-FV

I.6.1.5.1 Principaux avantages de PP-FV

- Rigidité accrue.
- Résistance à la traction et à la compression.
- Meilleure stabilité dimensionnelle.
- Résistance aux chocs [35].

I.6.1.5.2 Principaux inconvénients de PP-FV

- Moins ductile que le PP vierge.
- Difficulté de soudure.
- Aspect de surface moins lisse.
- Prix plus élevé.

- Recyclabilité plus difficile [36].

I.6.2 Polyéthylène basse densité PEBD

I.6.2.1 Définition de polyéthylène basse densité PEBD

Le PEBD est un polymère thermoplastique fabriqué à partir de monomères d'éthylène. C'est un plastique très humide, ce qui rend sa densité faible, ainsi que son point de fusion bas et sa dureté faible [37, 8].

- Formule chimique : $(-CH_2-CH_2-)_n$.
- Composition : Carbone (C), Hydrogène (H).
- Structure : longue chaîne cristalline variable en zigzag [38].

I.6.2.2 Propriétés du polyéthylène basse densité PEBD

Ductilité et flexibilité élevées : le polyéthylène basse densité (PEBD) est un matériau polyvalent et facilement pliable qui peut être facilement façonné pour une large gamme d'applications.

Bonne résistance chimique : les acides et bases dilués, les alcools et les huiles ne sont que quelques-unes des substances auxquelles le PEBD résiste.

Faible densité et faible poids : étant l'un des polymères les plus légers, le PEBD est une option convaincante pour les situations où le poids est une considération cruciale.

Bonne isolation électrique : le PEBD est un matériau précieux pour les applications électriques et électroniques, car c'est un bon isolant électrique.

Transparence variable : selon sa formulation et son épaisseur, le PEBD peut être opaque, translucide ou transparent.

Température de fusion relativement basse : le PEBD est plus facile à traiter et à sceller, car il a une température de fusion plus basse que les autres thermoplastiques.

Bonne soudabilité : le thermoplastique peut être utilisé pour fusionner rapidement le PEBD, permettant la création de systèmes robustes et étanches.

Limitations mécaniques de puissance : la résistance mécanique et la rigidité du PEBD sont modestes. Les applications exigeant un degré élevé de résistance structurelle ne doivent pas l'utiliser.

Sensible à la détérioration par les UV : lorsqu'il est exposé aux rayons ultraviolets (UV) du soleil, le PEBD se détériore. Sa résistance aux UV peut être augmentée en ajoutant des composés anti-UV [39, 8].

I.6.2.3 Application du PEBD

Les applications du PEBD sont nombreuses et comprennent :

Emballage : les sacs d'épicerie, les sacs poubelles, les films alimentaires, les blisters, les doublures de bouteilles et de bouchons et les blisters.

Isolation électrique : isolant pour les fils et câbles qui transportent l'électricité.

Agriculture : Les tuyaux d'arrosage, les tuyaux d'irrigation et les gaines pour fils électriques sont des exemples de tuyaux et de pipelines.

Produits pour les consommateurs : sacs de congélation, couvercles, bouchons, peluches et couches jetables.

Industrie et construction : revêtements de réservoirs, films de protection et gaines thermorétractables.

Pharmaceutique et médical : gadgets médicaux jetables, flacons pharmaceutiques et emballages [40, 41, 8].

I.6.2.4 Avantages et inconvénients de PEBD

I.6.2.4.1 Principaux avantages du PEBD

- Résistance au choc même à froid.
- Résistance à l'abrasion.
- Faible coefficient de friction.
- Qualité du souple au rigide.
- Inertie chimique.

- Qualité de contact alimentaire.
- Isolation électrique.
- Faible coût.

I.6.2.4.2 Principaux inconvénients du PEBD

- Faible résistance à la traction.
- Collage difficile.
- Températures maxi d'utilisation de 50 à 80 °C suivant les qualités.
- Retrait important.
- La difficulté de recyclage due à sa faible densité [42].

I.6.3 Conclusion

Les polymères sont des matériaux de plus en plus essentiels en raison de leur grande polyvalence et de leurs caractéristiques exceptionnelles, utilisés dans diverses applications allant de l'emballage à l'aérospatiale et à la médecine. Ils sont cruciaux pour la gestion durable des déchets et la création de produits biodégradables et biosourcés, ce qui en fait l'essentiel pour l'innovation et le développement technologique [43].

CHAPITRE N°II

Procédés de fabrication

Et Méthodes de caractérisation

II.1 Introduction

Les matériaux plastiques proposent une variété étendue de méthodes de transformation. Les premiers produits (appelés également matériaux polymères) sont présents sous forme de granulés, de poudre, de pastille, de pâte ou de liquide. Avant d'être utilisés, les matériaux hygroscopiques tels que le PP-FV, PEBD, etc., doivent être préséchés pour éviter tout défaut lié à l'humidité sur les pièces plastiques. Il est essentiel d'utiliser des matériaux plastiques ou visqueux pour mettre en place les techniques de mise en forme des matériaux polymères. Les transformateurs fabriquent les objets finis pour les utilisateurs en utilisant des équipements et des matériaux fournis par les fabricants de polymères [44].

Donc, cette partie vise à approfondir les connaissances sur les procédés de fabrication et les méthodes de caractérisation des polymères. L'objectif principal est de fournir une définition générale des différentes méthodes de fabrication et d'évaluation, ainsi qu'une analyse détaillée des technologies utilisées au niveau de l'usine pour la fabrication et l'évaluation des propriétés des polymères.

II.2 Les principaux procédés de fabrication du plastique

Les différents procédés de fabrication du plastique :

Injection : L'injection plastique est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques. Il consiste à ramollir la matière plastique pour l'amener en phase plastique, à l'injecter dans un moule pour le mettre en forme et à la refroidir [45].

Extrusion : L'extrusion est un procédé de transformation thermomécanique en continu. Le granulé ou bien la poudre entre dans un tube chauffé muni d'une vis sans fin. La matière chauffée et homogénéisée grâce à la vis sans fin est contrainte d'avancer et de se comprimer, puis passe à travers une filière pour être mise à la forme souhaitée. Il y a trois types : extrusion profile, soufflage et gonflage.

C'est un procédé qui permet d'obtenir des produits de formes diverses et de grande longueur comme les tubes, tuyaux, profilés, films ou plaques [46].

Thermoformage : Le thermoformage est un procédé de traitement à chaud des semi-produits rigides en plaques, feuilles, tubes et profilés. Les semi-produits sont ramollis par chauffage pour être

déformés 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 sur le moule froid [46].

Moulage : Le moulage plastique est le procédé de plasturgie qui consiste à mouler des pièces en matières thermoplastiques. Utilisée en prototypage rapide comme en phase d'industrialisation dans de nombreux secteurs d'activités et industries.

Il y a trois types de moulage : moulage par rotation, par compression et par réaction [45, 8].

Impression 3D : L'impression 3D plastique est un processus de fabrication additive qui utilise un modèle numérique tridimensionnel pour créer un objet solide en couches successives de matériau plastique. Le matériau plastique est généralement fondu et déposé par une buse, mais d'autres méthodes, telles que le frittage de poudre et la stéréolithographie, peuvent également être utilisées [47].

Calandrage : Le calandrage permet de fabriquer des feuilles ou des films plastiques d'épaisseur fine ou moyenne par écrasement de la matière entre des rouleaux.

La matière plastique est préalablement chauffée et malaxée (état pâteux) puis acheminée vers la Calandreuse [48].

II.2.1 Processus de fabrication par injection plastique

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injectées sous pression dans un moule (monté sur la presse).

II.2.1.1 Moulage par injection

Le moulage par injection ou injection thermoplastique permet de fabriquer des objets en moyenne ou très grande série, dans la bonne matière. La qualité du moule et la précision du processus permettent d'obtenir des pièces de production visuelles et fonctionnelles. Ces pièces séries sont produites pour de nombreux domaines. Elles sont utilisables pour les appareils ménagers ou dans l'automobile, par exemple.

II.2.1.2 Le principe du moulage par injection

L'injection thermoplastique consiste à injecter un polymère fondu (matière thermoplastique) sous haute pression dans un moule, grâce à une presse d'injection.

II.2.1.3 Le fonctionnement du moulage par injection

Le moulage par injection utilise des matières thermoplastiques. Ces dernières se présentent sous forme de granulés avant la phase de transformation. Elles sont ramollies sous l'effet de la chaleur. Une fois sous forme liquide, la matière est injectée dans un moule et prend l'empreinte de celui-ci. Ensuite, elle va refroidir et se solidifier. Lorsqu'elle a retrouvé sa dureté, on peut extraire la pièce qui devient utilisable [44].

SCHÉMA D'UNE PRESSE À INJECTER

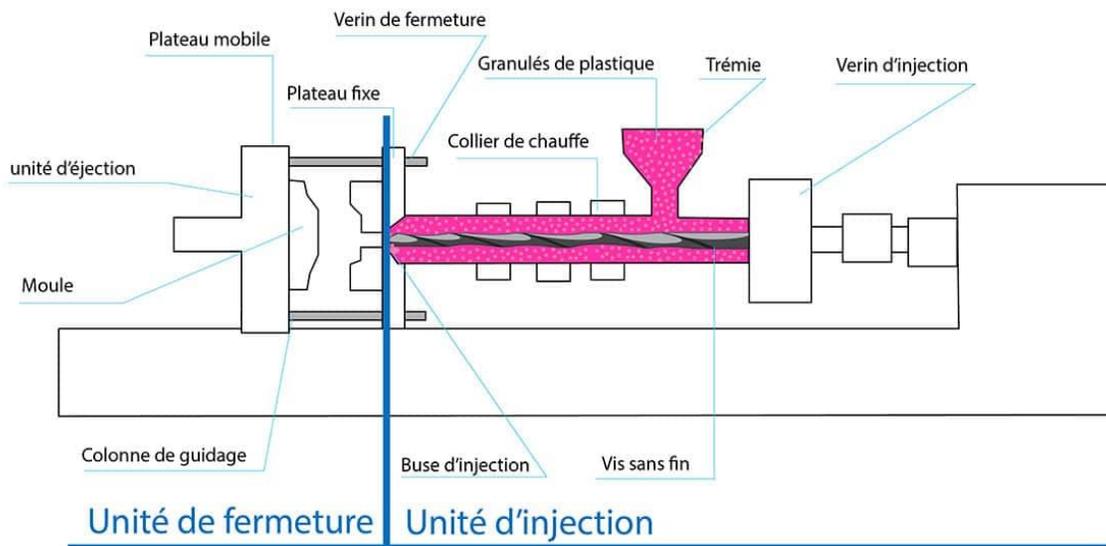


Figure II.1 Structure de la presse d'injection [49].

II.2.1.4 Les grandes étapes du moulage par injection plastique

- Réaliser un moule. Ce dernier est composé de deux parties, une partie fixe et une partie mobile. La conception du moule doit permettre une éjection facile des pièces.

- Installer le moule sur une machine spécifique : la presse à injection. Les deux parties du moule sont pressées fortement l'une contre l'autre. Le matériau (sous forme de granulés) est versé dans une vis de plastification (ou vis sans fin) qui est chauffée. La rotation de la vis alliée à la température va ramollir les granulés, qui se transforment en matière plastique fondue. La matière fondue et déformable est stockée à l'avant de la vis, avant l'injection.

- Injecter sous haute pression les matières plastiques ramollies sous l'effet de la chaleur dans le moule. Dans cette phase, il faut s'assurer que le moule soit complètement rempli avant que le matériau ne se solidifie. Voilà pourquoi on continue à envoyer de la matière sous-pression, afin de pallier le retrait qui s'exerce lorsque la matière refroidit.

- Refroidir le tout, par le biais de circuits de refroidissement à l'intérieur du moule.

Suite à cette opération, l'objet est éjecté du moule.

- Éjecter la pièce.

- Recommencer avec la prochaine pièce [44].

II.2.1.5 Le cycle d'injection

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique.

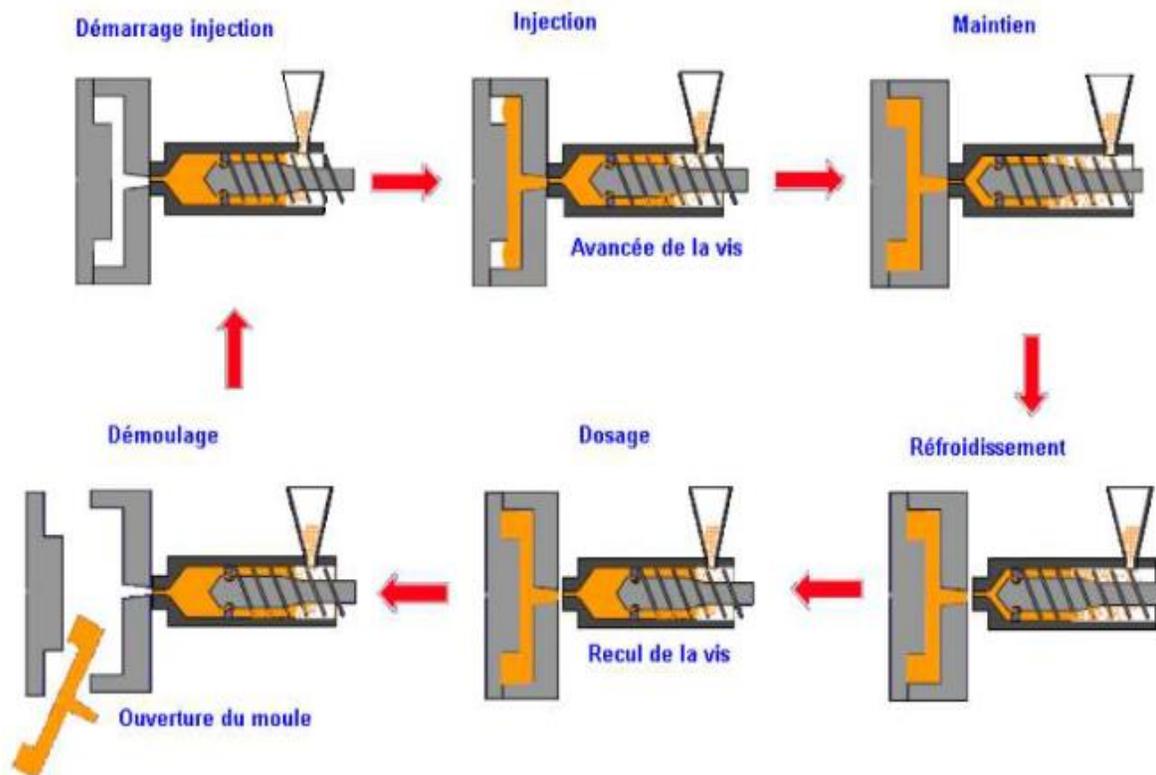


Figure II.2 Cycle d'injection [50]

II.2.1.6 Le procédé injection-soufflage

Le procédé d'injection-soufflage permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Il se décompose en deux phases distinctes :

Une première phase d'injection : Cette phase consiste à injecter une préforme (éprouvette) dans un moule d'injection.

Une deuxième phase de soufflage : Cette phase consiste à souffler la préforme dans un moule.

Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques. Le cycle de fabrication se compose de cinq étapes :

- Injection de la préforme. Celui-ci est définitivement réalisé à ce stade de fabrication de l'objet.
- La préforme encore chaude (120°C - 200°C) est transférée dans un moule de soufflage.
- Soufflage. L'air comprimé est introduit au travers du noyau portant la préforme.
- La pièce est démoulée, puis transférée à l'aide du noyau sur le poste d'éjection.
- Éjection [44].

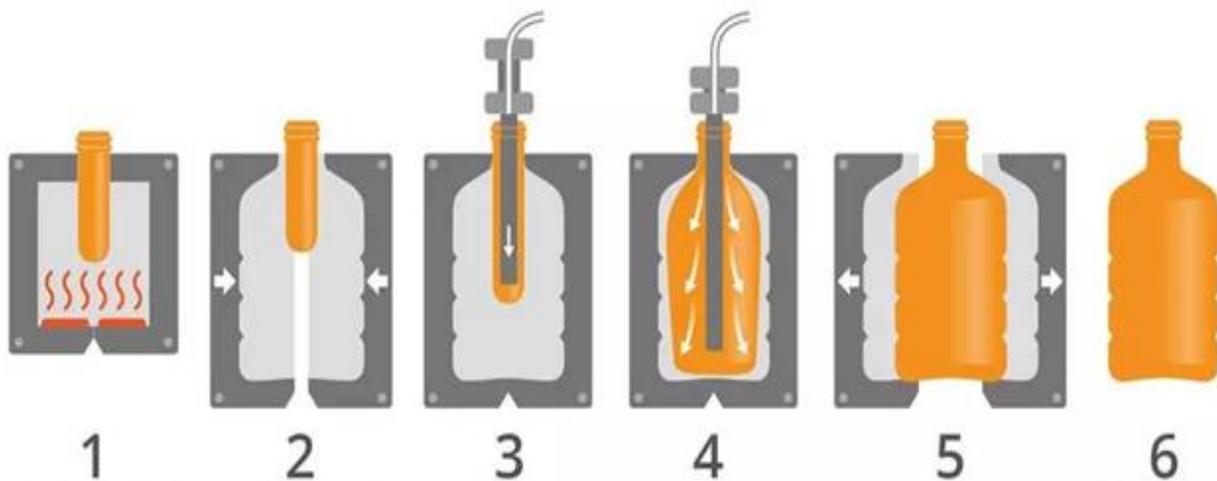


Figure II.3 Injection soufflage [51].

1. Préforme moulée par injection chauffée.
2. Préforme fixée dans le moule de soufflage.

3. Préforme étirée avec tige centrale.
4. L'air comprimé soufflé simultanément dans la préforme se gonfle jusqu'au moule.
5. Le produit est démoulé.
6. Produit fini, prêt pour la prochaine étape de production.

II.3 Méthodes de caractérisation

La caractérisation plastique est un ensemble de tests et d'analyses visant à déterminer les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du matériau. La caractérisation est nécessaire pour la sélection des matériaux adaptés à l'application spécifique, le contrôle de la qualité des produits en plastique et la résolution des problèmes liés aux matériaux [52].

II.3.1 Les très importantes méthodes de caractérisation du plastique dans un laboratoire

II.3.1.1 Analyse thermique

Calorimétrie différentielle à balayage (DSC)

Cette analyse permet de mesurer la quantité de chaleur absorbée ou dégagée par un échantillon de plastique en fonction de la température. Elle est utile pour déterminer les transitions thermiques du matériau, telles que la température de fusion (T_f), la température de cristallisation (T_c) et la température de verre [53].

II.3.1.2 Analyse mécanique

✓ Résistance à traction

Ce test nous permet de mesurer la résistance à la traction d'un échantillon plastique. Ceci est fait en étirant l'échantillon jusqu'à ce qu'il se brise et en enregistrant la force appliquée et l'allongement du matériau [54].

✓ Résistance au choc

Cet essai permet de mesurer la résistance au choc d'un échantillon de plastique. Il est réalisé en frappant un échantillon entaillé avec un pendule et en mesurant l'énergie absorbée par le matériau lors de la fracture [55].

II.3.1.3 Analyse physico-chimique

✓ Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Cette analyse permet d'identifier la structure chimique d'un échantillon de plastique. Elle est basée sur l'absorption de la lumière infrarouge par les groupes fonctionnels présents dans le matériau [56].

II.4 La méthode utilisée dans le laboratoire de l'usine

II.4.1 Résistance à la traction

La traction est un phénomène physique qui consiste à exercer une force longitudinale sur un objet afin de l'étirer ou de le casser afin de voir dans quelle mesure le matériau tient. Cette force est généralement appliquée aux deux extrémités du corps, ce qui provoque l'allongement du corps et augmente sa tension interne [57].

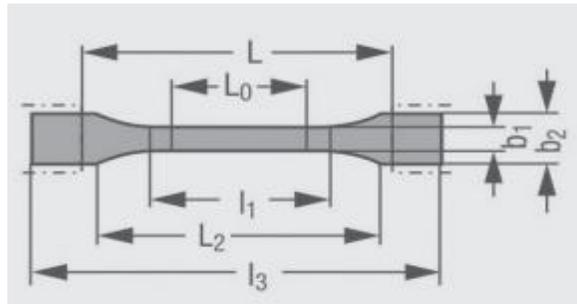


Figure II.4 Forme éprouvette et dimension [58].

L_0 : Longueur de référence.

L : Écartement entre outillages.

L_1 : Longueur de la partie parallèle étroite/diamètre interne.

L_2 : Écartement entre les parties parallèles larges.

L_3 : Longueur totale /diamètre externe.

b_1 : Largeur éprouvette dans la zone de la longueur de référence.

b_2 : Largeur éprouvette dans la zone de l'épaulement.

h : Épaisseur éprouvette.

II.4.2 Principes fondamentaux

La traction est régie par la loi de Hooke, qui stipule que la déformation d'un matériau élastique est directement proportionnelle à la force appliquée. En d'autres termes, plus la force de traction est importante, plus la longueur du corps est grande.

La résistance à la traction d'un matériau est sa capacité à résister à la rupture sous l'influence de la force de traction. Il est généralement mesuré en mégapascals (MPa) ou en livres par pouce carré (lb) [59].

II.4.3 Les principales propriétés de la traction

II.4.3.1 Résistance à la traction (RT)

Il s'agit de la résistance maximale que le matériau peut supporter avant de se casser. Il est généralement exprimé en mégapascals (MPa) ou en livres par pouce carré (Psi).

II.4.3.2 Limite élastique (RE)

Il s'agit de la limite au-delà de laquelle le matériau ne peut pas reprendre sa forme d'origine. En d'autres termes, si la résistance à la traction est inférieure à la limite élastique, le matériau reprendra sa forme initiale dès que la force sera supprimée. Après la limite élastique, la déformation devient permanente [60].

II.4.3.3 Coefficient de Young (E)

Il s'agit d'une mesure de la dureté d'un matériau sous tension. Il représente le rapport entre la contrainte appliquée et la déformation résultante. Le coefficient de Young est généralement exprimé en GPA (GPA cumulé) ou en livres par pouce carré (lb) [61].

II.4.3.4 Allongement à la rupture (A %)

C'est le pourcentage d'allongement du matériau avant sa rupture. Il fait référence à la ductilité du matériau, c'est-à-dire à sa capacité à se déformer avant de se casser [61].

II.4.3.5 Durabilité

La durabilité est une mesure de la capacité d'un matériau à absorber l'énergie avant de se briser. Il prend en compte à la fois la résistance à la traction et l'allongement à la rupture [62].

II.4.4 Types de traction

Il existe deux types principaux de traction :

- ✓ **La traction uniaxiale** : C'est le type de traction le plus simple, où la force est appliquée dans une seule direction.
- ✓ **La traction multiaxiale** : Dans ce cas, la force est appliquée dans plusieurs directions simultanément [63].

À l'usine, il y a le premier type de traction.

II.4.5 Diagramme de contrainte-déformation

Le comportement d'un matériau sous traction est souvent représenté par un diagramme de contrainte-déformation. Ce diagramme montre la relation entre la contrainte et la déformation du matériau [64].

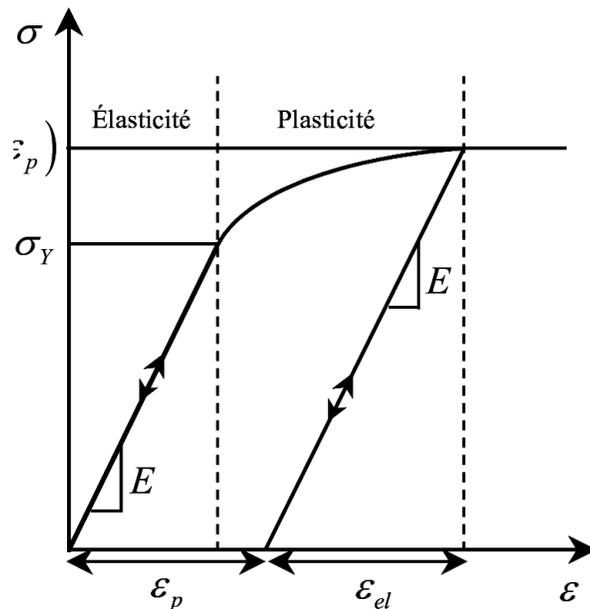


Figure II.5 Diagramme de contrainte déformation [65].

La zone linéaire du diagramme correspond au comportement élastique du matériau, où la déformation est réversible. Au-delà de la limite élastique, le matériau se déforme de manière plastique et la déformation peut ne pas être entièrement réversible. La rupture du matériau survient lorsque la contrainte atteint la résistance à la traction maximale [64].

II.4.6 Facteurs influençant les propriétés de la traction

Les propriétés de la traction d'un matériau peuvent être influencées par plusieurs facteurs, tels que :

- **La composition chimique du matériau :** La nature des atomes et des molécules constituant le matériau joue un rôle important dans sa résistance et sa ductilité.
- **La structure cristalline du matériau :** La disposition des atomes dans la structure cristalline du matériau influence sa rigidité et sa résistance à la rupture.
- **Les traitements thermiques et mécaniques :** Les traitements thermiques, tels que le recuit et le trempage, peuvent modifier la structure cristalline du matériau et ainsi influencer ses propriétés de traction. Les traitements mécaniques, tels que le laminage et le forgeage, peuvent également modifier la structure du matériau et affecter ses propriétés.
- **La présence de défauts :** Les défauts, tels que les fissures et les inclusions, peuvent affaiblir le matériau et réduire sa résistance à la traction [58].

II.5 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de dresser un panorama complet des procédés de fabrication et des méthodes de caractérisation des polymères. Ces deux aspects sont indissociables de la maîtrise de la production de matériaux aux caractéristiques cibles et de la satisfaction des exigences croissantes des différentes applications. Parce qu'ils sont un défi crucial pour exploiter pleinement son potentiel et innover pour un avenir durable.

Chapitre N°III
Partie Expérimentale

III.1 Introduction

Il existe plusieurs usines de plastique en Algérie, et dans l'État de Bordj Bou Arréridj en particulier, nous trouvons un groupe des usines de plastique les plus importantes au niveau national, nous mentionnons : Rhinos, OXXO et Attia Plastique.

Nous n'oublierons certainement pas Condor, qui est l'une des plus importantes entreprises spécialisées dans ce domaine. Où elle était la destination pour entrer dans le domaine des polymères.

III.1.2 Présentation de l'entreprise

III.1.2.1 Historique

SPA CONDOR ELECTRONIQUE est une société spécialisée dans la fabrication d'équipements électroniques et électroménager, informatique. Avec une ancrée dans la diversité, Condor Électroniques rayonne sur le marché des équipements domestiques. Ceci s'explique par l'importance des investissements industriels, ce qui lui a permis de brasser un gros volume d'affaires et de projets.

09/02/2002 : date de création de la société.

Juin 2002 : climatiseur.

Octobre 2003 : polystyrène.

Mai 2004 : injection plastique.

2006 : créations l'unité réfrigérateurs.

Février 2008 : produit brun.

Août 2011 : produit blanc.

23/11/2002 : entreprise en production.

25 /06/2013 : Unité panneaux solaires.

III.1.2.2 Fiche d'identité de l'entreprise

- Nom de la société : SPA Condor Électroniques.
- Forme juridique : SPA.
- Numéro de registre de commerce : 0462772B02.
- Numéro d'identification fiscale : 000234046277228.
- Marque déposée : Condor (dépôt à l'INAPI le 30 avril 2003).
- Président du conseil d'administration : Abderrahmane Benhamadi.
- Directeur général : Omar Benhamadi.
- Adresse : zone d'activité route de M'silla Bordj Bou Arreridj 34000 Algérie, lot 70, section 161 Bordj Bou Arreridj 34000 Algérie.
- Activité : fabrication, commercialisation, et SAV d'appareils électroniques et électroménagers.
- Site Web : www.condor.dz
- E-mail : info @ condor.dz
- Nature juridique du terrain : Propriété.
- Superficie totale : 112 559 m².
- Couverte : 63 822 m².
- Non couverte : 480737 m².
- Lieu : Bordj Bou Arreridj.
- Client : Grossets, entreprise et establishments.
- Nombre d'emplois : 3600.
- Unité de production : 07 unités.
- Complexe réfrigérateur.
- Unité produits bruns.
- Unité d'injection plastique.
- Complexe climatiseur /ML.
- Unité produits blancs.
- Unité polystyrène.
- Unité panneaux solaires.

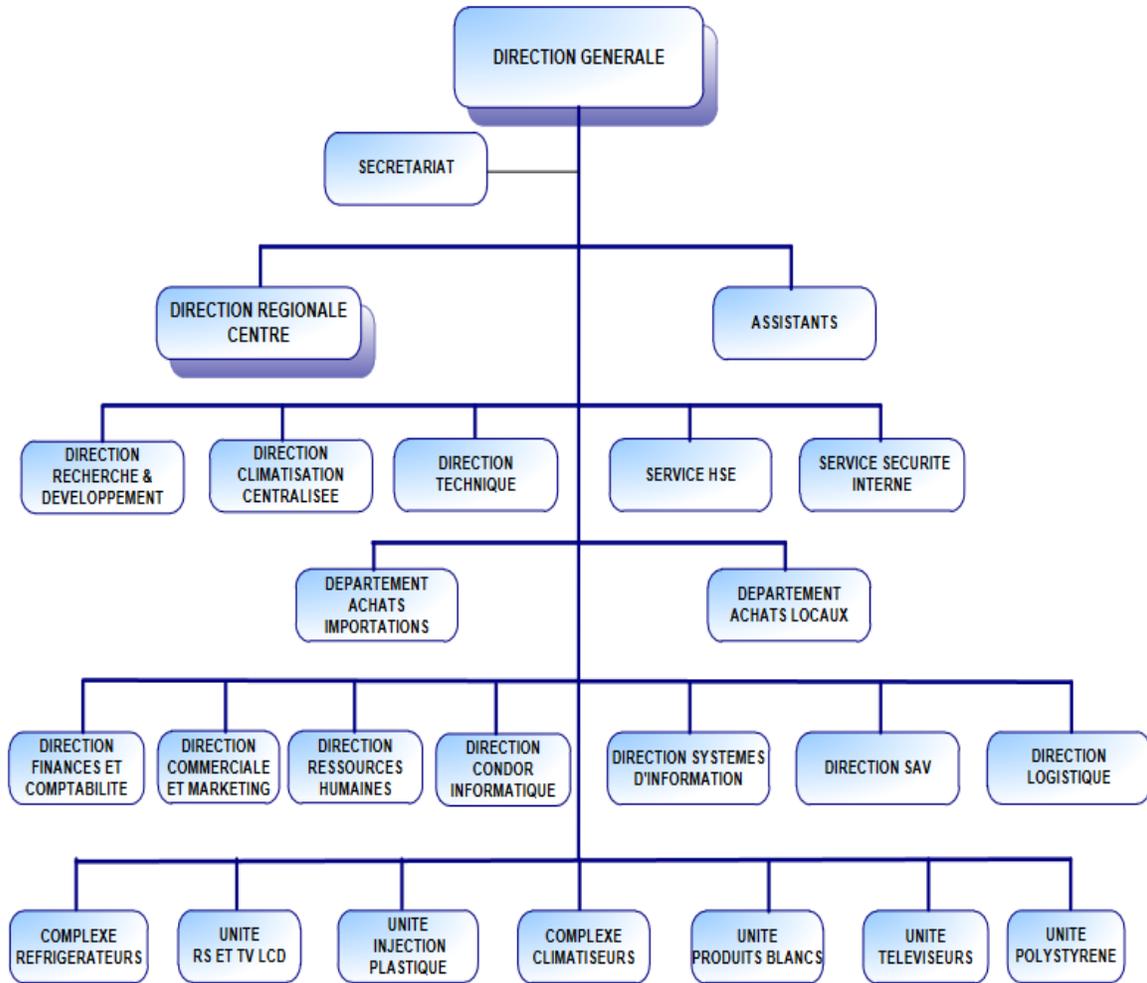


Figure III.1 Organigramme de l'entreprise

III.1.2.3 Le succès de CONDOR

Le succès de Condor repose essentiellement sur le facteur humain (femme et homme), éléments clés de son approche. Ces derniers ont été investis d'une autonomie telle qu'ils ne peuvent que s'épanouir et développer leurs compétences professionnelles. L'enthousiasme et l'implication totale de chacun et chacune au service de l'entreprise, et ce, dans un même esprit d'équipe, a contribué à atteindre les objectifs fixés, à savoir l'élargissement de la gamme à d'autres produits toujours plus innovants, qui apportent plus de confort, de satisfaction, de simplicité d'utilisation et de sécurité. Nos clients ont su apprécier tout cela et nous le rendent bien en nous faisant encore plus confiance.

En 2004 a été marquée par l'avènement de nouveaux secteurs au sein du groupe, à savoir : la climatisation professionnelle et les produits électroménagers (réfrigérateurs).

III.1.2.4 Profils de CONDOR

En Algérie, Condor est une marque très fortement implantée et réputée pour sa capacité d'innovation, ses produits de qualité et son engagement permanent pour la satisfaction de la clientèle.

III.2 Unité d'injection plastique

Parmi les unités de production du complexe Condor, nous trouvons l'unité d'injection plastique. L'activité principale de cette unité est la production de toutes les pièces plastiques utilisées dans la fabrication de tous les produits fabriqués par le complexe Condor.

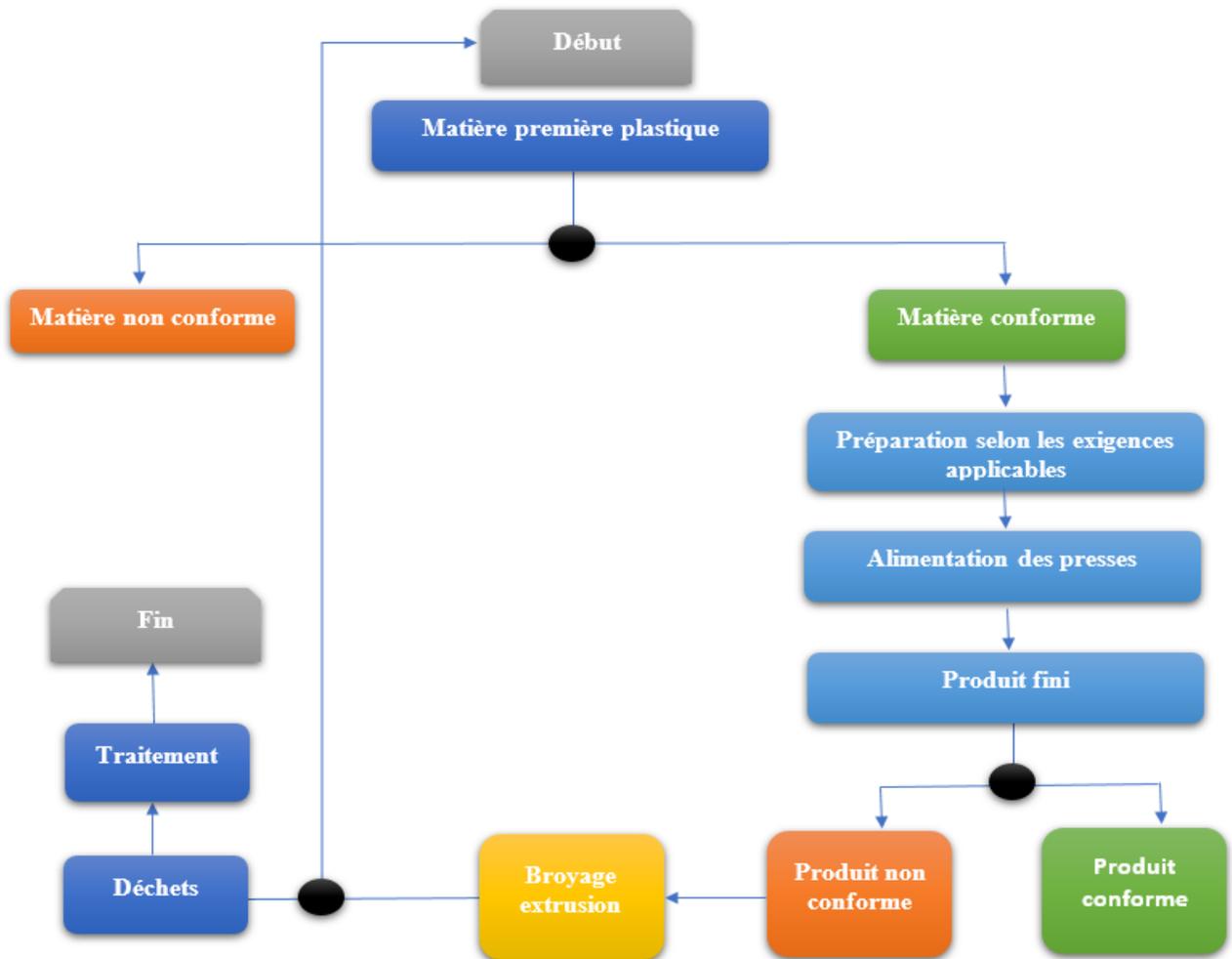


Figure III.2 Organigramme structurel des étapes de fabrication des produits

III.3 Cycle de vie

Succession des différentes étapes de la vie d'un produit, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à sa fin de vie.

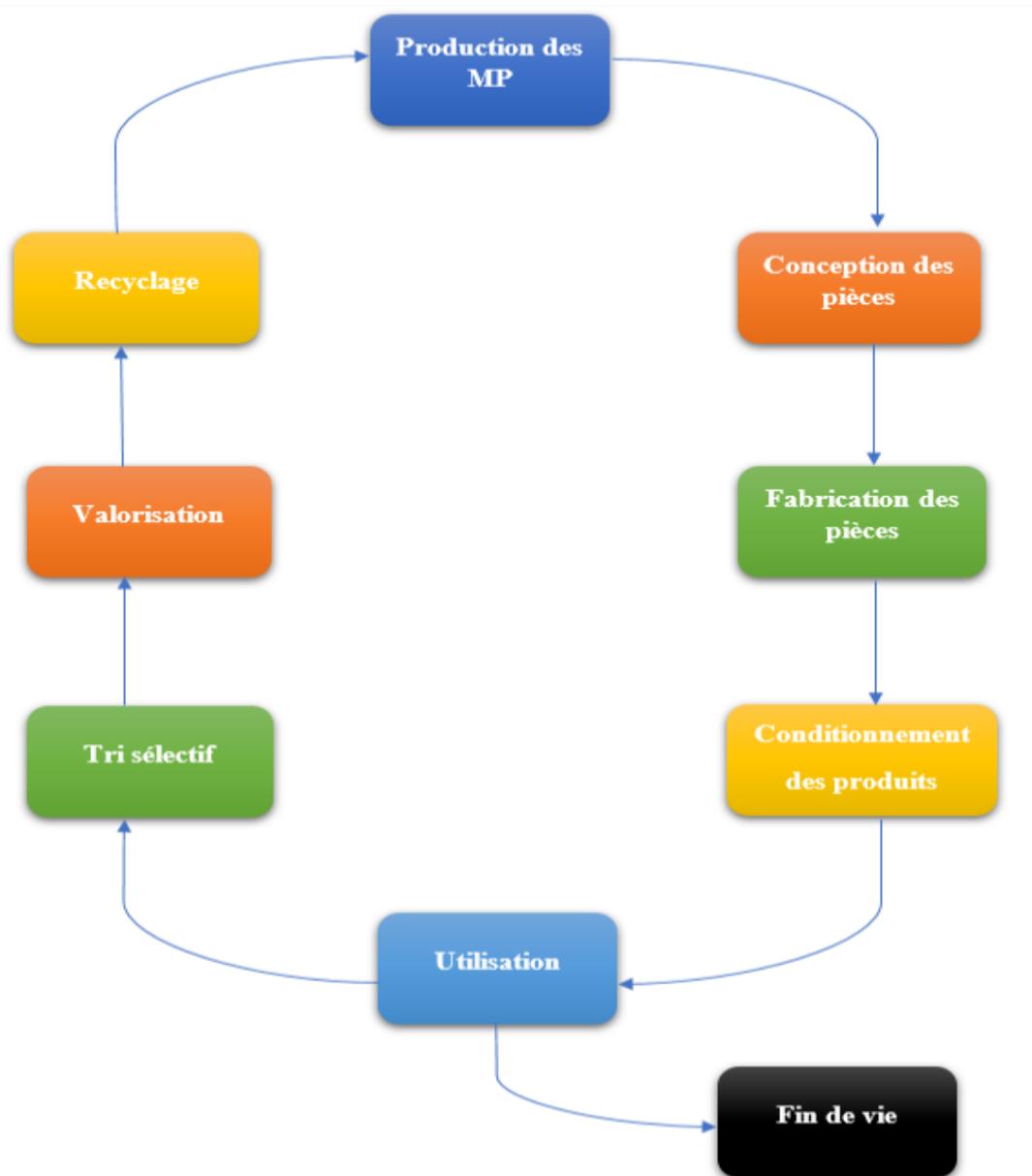


Figure III.3 Organigramme de cycle de vie

III.4 Essai de traction :

L'essai de traction a été effectué en utilisant des éprouvettes obtenues selon les spécifications de la norme ASTM D-638. La machine de traction utilisée est de type « **Zwick /Roell (D-89079ULM)** » assistée par un micro-ordinateur.

L'éprouvette de géométrie parfaitement définie est encastrée à deux extrémités dans des mâchoires. L'une de ces mâchoires est fixe, l'autre est mobile qui est reliée à un système d'entraînement à vitesse de déplacement égale à 20 mm/min.

❖ **Les matières choisies depuis l'unité d'injection plastique**

Nous avons choisi PP-FV 15 %, 30 % et PEBD pour leurs caractéristiques, nous faisons cette étude pour l'année 2023.

III.5 Le PP-FV15 % est commercialisé sous le nom FH7300GM

Le PP fibre de verre 15 %, également connu sous le nom de polypropylène renforcé de fibre de verre 15 %, est un matériau composite composé de polypropylène (PP) et de fibres de verre. Le polypropylène est un plastique thermoplastique courant, tandis que les fibres de verre sont des filaments en verre très fins et résistants à 15 %.

Cette matière est caractérisée par plusieurs propriétés, que nous listerons dans le tableau suivant :

Tableau III.1 Propriétés physico-chimiques de FH7300GM (PP-FV15 %)

MECANIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Résistance à la Traction	ASTM-D-638	550 kg/cm ²
Allongement à la rupture	ASTM-D-638	7 %
Module de Flexion	ASTM-D-790	29000 kg/cm ²
Résistance à la Flexion	ASTM-D-790	850 kg/cm ²
Impact Izod (1/4'') 23°C	ASTM-D-256	6 kgf/cm
PHYSIQUE		
PHYSIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Gravité spécifique 23°C	ASTM-D-792	1.1
Retrait au moulage	NPK Méthode	0.5-0.7 %
THERMIQUE		
THERMIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Température de Déflexion Thermique (4.6 kgf/cm ²)	ASTM-D-648	145 C°
Indice de fluidité à chaud 230°C	ASTM-D-1238	4 g/10min

III.5.1 Composition chimique de FH7300GM (PP-FV15 %)

Le PP-FV15 % est un composite à deux composants :

Polypropylène et fibre de verre par 15 %. Dans la fabrication des pièces, on a utilisé 100 % de la matière première PP-FV15 %.

Tableau III.2 Composition chimique de FH7300GM

	PP	FV15 %
Formule chimique	$(-CH_2-CH(CH_3)-)_n$	$[SiO_2]_{0.15}$
Composition	Carbone (C) : 85,7 %, Hydrogène (H) : 14,3 %	Silice (SiO ₂) : 35-45 % Alumine (Al ₂ O ₃) : 7-17.5 % Oxydes alcalino-terreux (CaO, MgO) : 3.5-17.5 %
Structure	Chaînes moléculaires longues et flexibles	Filaments en verre très fins et résistants

III.5.2 Fabrication des pièces plastiques en PP-FV15 %

Pour produire les pièces finies, le matériau passe par plusieurs étapes, que nous résumons dans l'organigramme suivant :

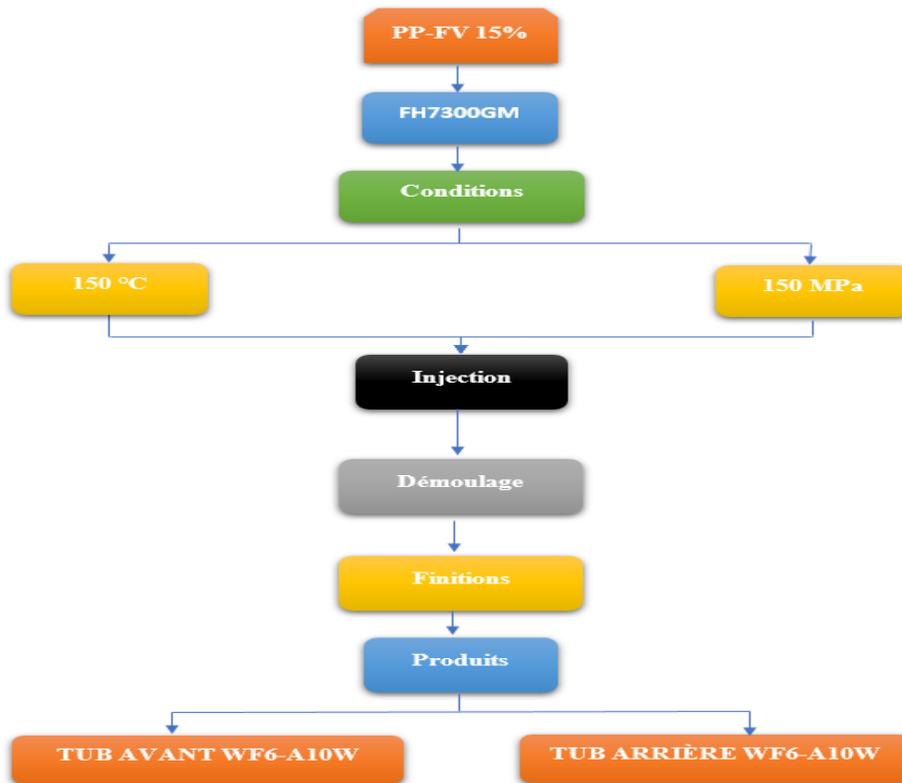


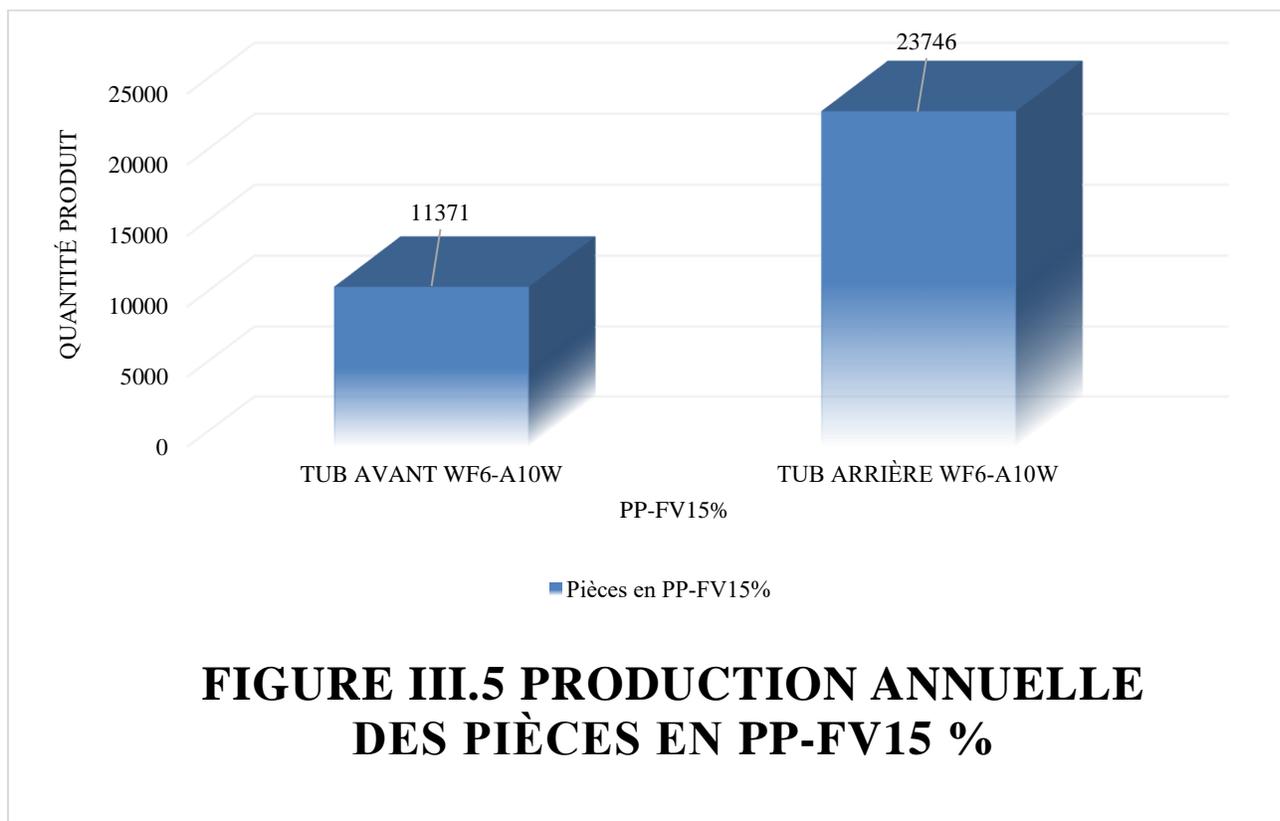
Figure III.4 Organigramme illustratif des étapes de fabrication des pièces plastiques en PP-FV15 %

Le tableau III.3 résume la quantité de produits obtenue en utilisant du PP-FV15 % pour l'année 2023 :

Tableau III.3 La quantité des pièces en FH7300GM (PP-FV15 %) produites au cours d'une année

Articles	Matière	Quantité produit (pièces)
TUB AVANT WF6-A10W (FRONT TUB WF6-A10W)	PP-FV15 %	11 371
TUB ARRIÈRE WF6-A10W (REAR TUB WF6-A10W)	PP-FV15 %	12 375
TOTAL		23746

Afin de clarifier les données que nous avons obtenues, les histogrammes suivants ont été tracés pour l'année 2023 :



Après la production des pièces, il y a naturellement une quantité de rebut, soit MP ou pièces. Nous les avons regroupés dans le tableau III.4 pour l'année 2023 :

Tableau III.4 La quantité des pièces en FH7300GM (PP-FV15 %) et de matière première rebutée

MP consommé (Kg)	Quantité rebuté (pièces)	MP rebuté (Kg)
64757,788	774	1332,054
179688,186	470	2440,71
244445,974	1244	3772,764

Afin de clarifier les données en rebut, nous les avons présentés sous la forme des histogrammes sur la figure III.6 pour l'année 2023 :

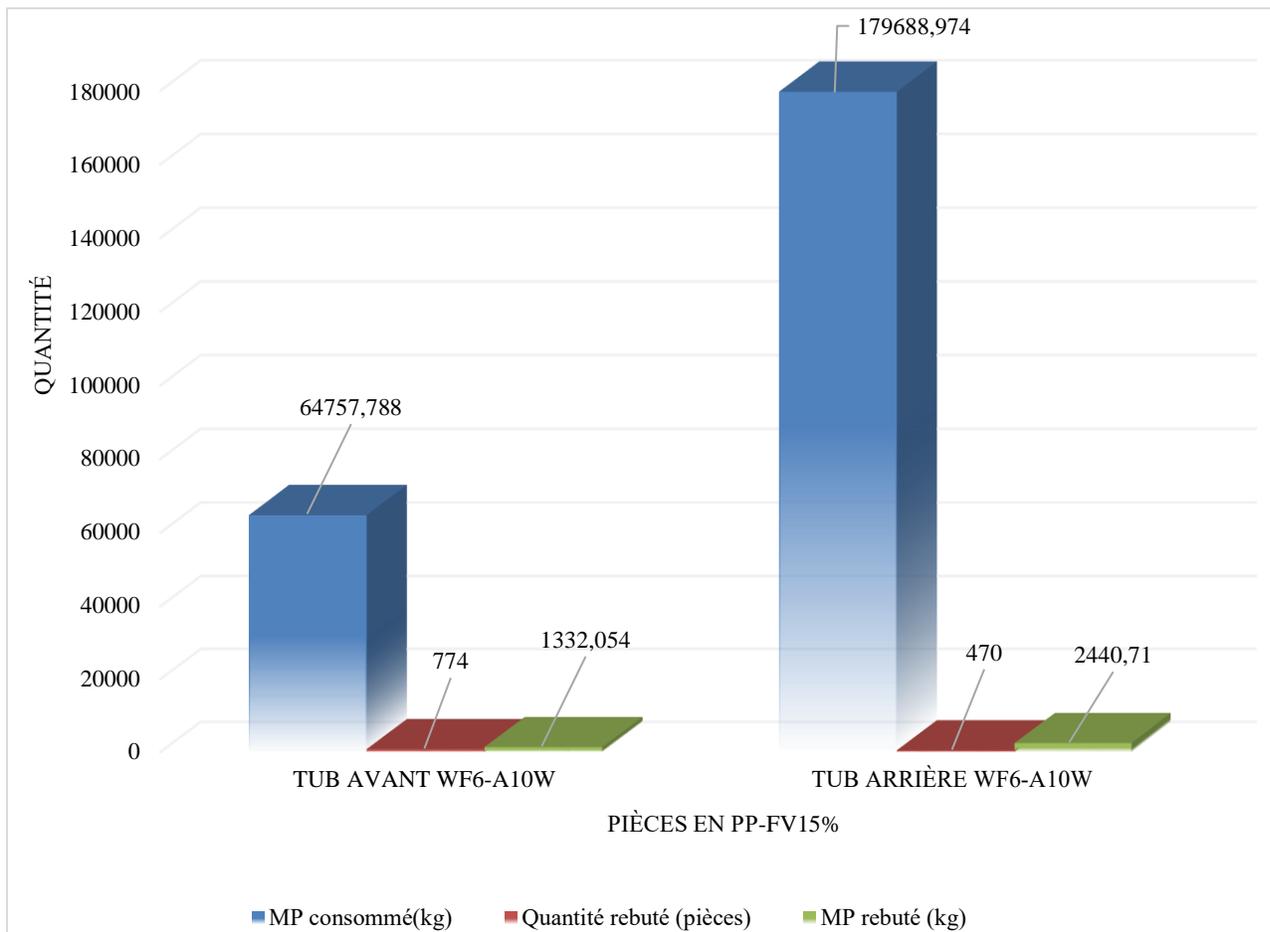


FIGURE III.6 QUANTITÉ ANNUELLE DES PIÈCES EN FH7300GM (PP-FV15 %) ET DE MP REBUTÉ ET MP CONSOMMÉ

III.6 Le PP-FV30 % est commercialisé sous le nom GP430F

Le PP fibre de verre 30 %, également connu sous le nom de polypropylène renforcé de fibre de verre 30 %, est un matériau composite composé de polypropylène (PP) et de fibres de verre. Le polypropylène est un plastique thermoplastique courant, tandis que les fibres de verre sont des filaments en verre très fins et résistants à 30 %.

III.6.1 Composition chimique de GP430F (PP-FV30 %)

Le PP-FV30 % est un composite à deux composants :

Polypropylène et fibre de verre par 30 %. Dans la fabrication des pièces, on a utilisé 100 % de la matière première PP-FV30 %.



Figure III.7 PP-FV30 %

Tableau III.5 Composition chimique de GP430F

	PP	FV30%
Formule chimique	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$.	$[\text{SiO}_2]_{0.3}$
Composition	Carbone (C) : 85,7 %, Hydrogène (H) : 14,3 %	Silice (SiO_2) : 50-65 %, Alumine (Al_2O_3) : 10-25 %, Oxydes alcalino-terreux (CaO, MgO) : 5-25 %
Structure	Chaînes moléculaires longues et flexibles	Filaments en verre très fins et résistants

Cette matière est caractérisée par plusieurs propriétés, qui sont résumées dans le tableau suivant pour l'année 2023 :

Tableau III.6 Propriétés physico-chimiques de GP430F (PP-FV30 %)

MECANIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Résistance à la Traction	ASTM-D-638	90 Mpa
Allongement à la rupture	ASTM-D-638	3 %
Module de Flexion	ASTM-D-790	5.500 Mpa
Résistance à la Flexion	ASTM-D-790	110 Mpa
Impact Izod (1/4'')	ASTM-D-256	9 kgf/cm
PHYSIQUE		
PHYSIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Indice de fluidité à chaud	ASTM-D-1238	25±2 g/10min
Densité	ASTM-D-792	1.12±0.02 g/cm ³
Retrait au moulage	ASTM-D-955	0.4 %
Teneur en cendres	METHODE GP	30±2 %
THERMIQUE		
THERMIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Température de Déflexion Thermique (4.6 kgf/cm ²)	ASTM-D-648	155 C°

III.6.2 Fabrication des pièces plastiques en PP-FV30 %

Pour produire les pièces finies, le matériau passe par plusieurs étapes, que nous résumons dans l'organigramme suivant :

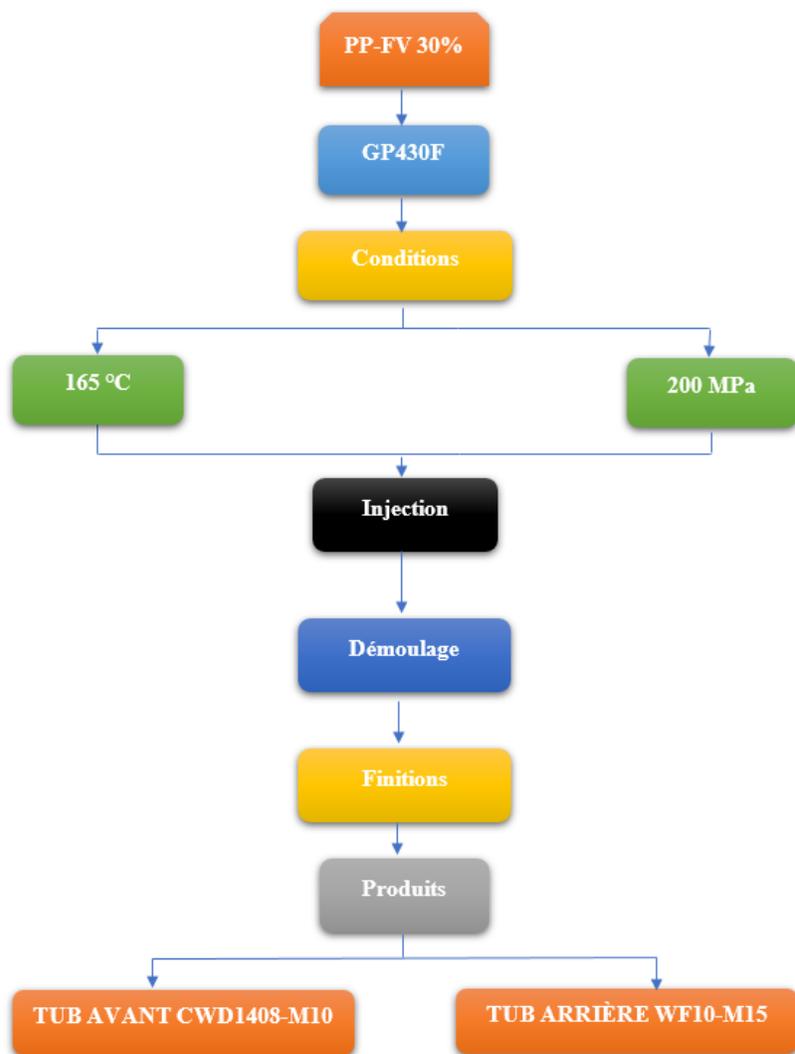


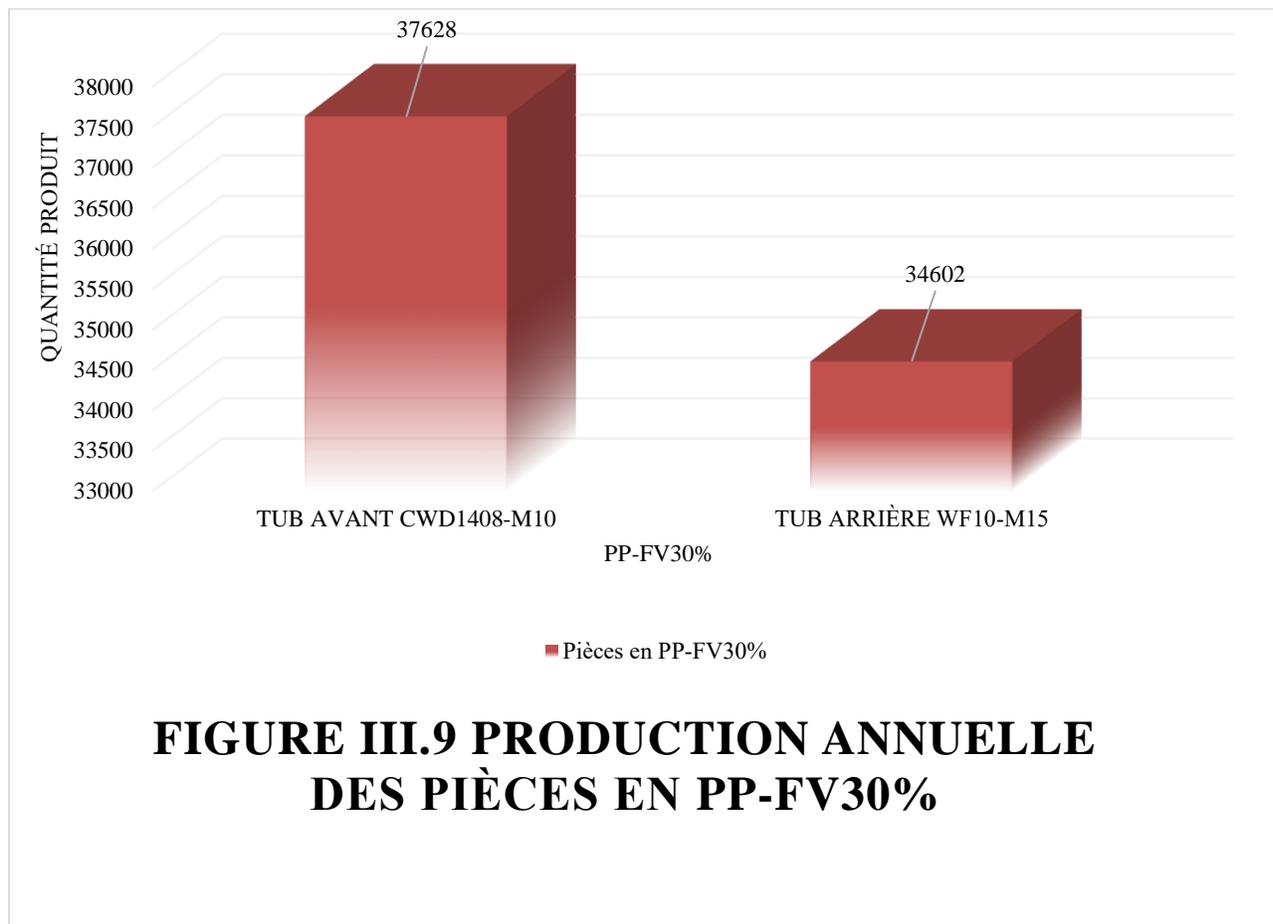
Figure III.8 Organigramme montrant les étapes de fabrication des pièces plastiques en PP-FV 30%

En utilisant du PP-FV30 % sont produits des volumes de pièces en plastique à l'année 2023, que nous résumons dans le tableau suivant :

Tableau III.7 La quantité des pièces en GP430F (PP-FV30 %) produites au cours d'une année

Articles	Matière	Quantité produit (pièces)
TUB AVANT CWD1408-M10 (FRONT TUB CWD1408-M10)	PP-FV30 %	37 628
TUB ARRIÈRE WF10-M15 (REAR TUB WF10-M15)	PP-FV30 %	34 602
TOTAL		72230

Afin de clarifier les données, nous avons prévu de tracer les histogrammes suivants pour l'année 2023 :

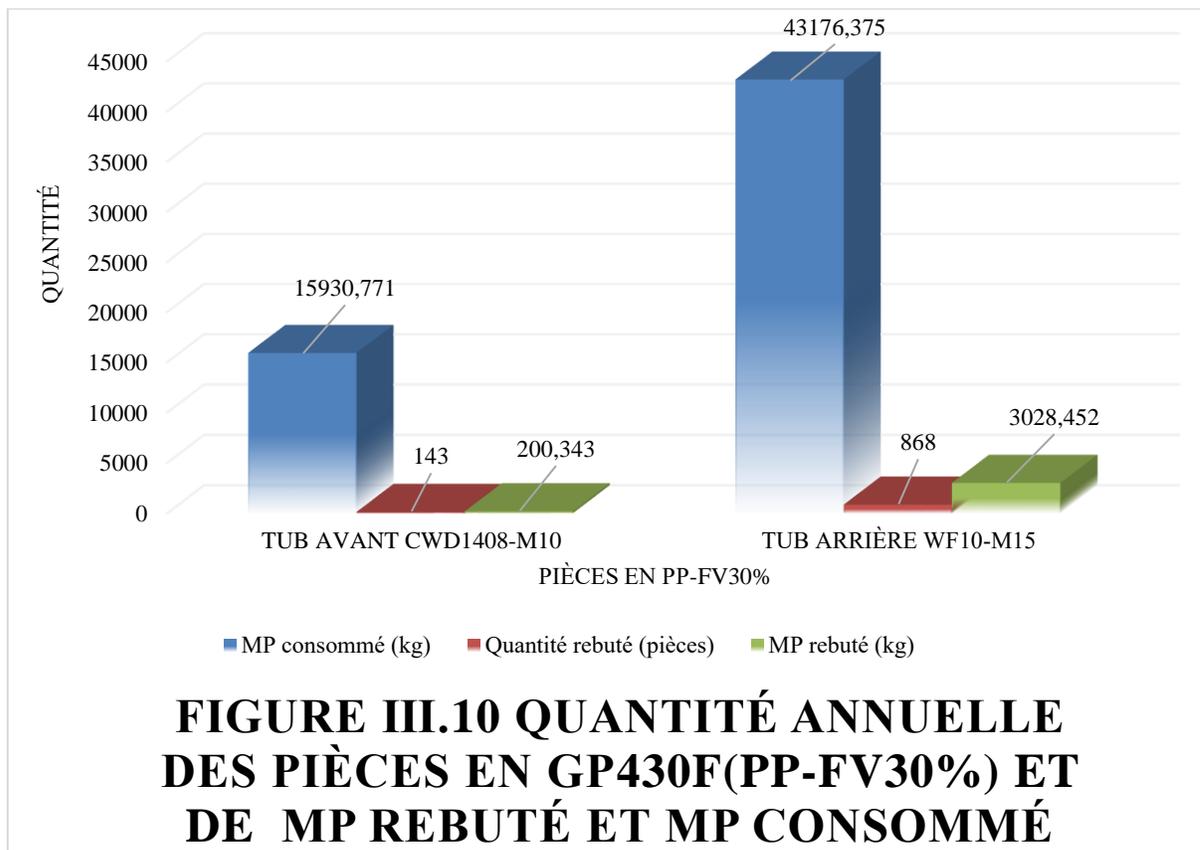


Après la production des pièces, il y a naturellement une quantité de rebut, soit MP ou pièces. Nous les avons collectés dans le tableau III.8 pour l'année 2023 :

Tableau III.8 La quantité des pièces en GP430F (PP-FV30 %) et de matière première rebutée

MP consommé (Kg)	Quantité rebuté (pièces)	MP rebuté (Kg)
15930,771	143	200,343
43176,375	868	3028,452
59107,146	1011	3228,795

Afin de clarifier les données que nous avons prévues sous la forme d'un histogramme suivant pour l'année 2023 :



III.7 Le PEBD est commercialisé sous le nom HP2022NN

Le PEBD, sigle de polyéthylène basse densité, est un thermoplastique obtenu par polymérisation du monomère éthylène (C₂H₄) à basse pression et haute température.



Figure III.11 Polyéthylène basse densité (PEBD)

III.7.1 Composition chimique de PEBD :

70 % PEBD.

28 % EVA.

2 % Colorant.

Tableau III.9 Composition chimique de HP2022NN (PEBD)

	PEBD
Formule chimique	(-CH ₂ -CH ₂ -) _n
Composition	Carbone (C) : 85,71 % Hydrogène (H) : 14,29 %
Structure	Longue chaîne cristallin variable en zigzag

Cette matière est caractérisée par plusieurs propriétés, que nous listerons dans le tableau suivant :

Tableau III.10 Propriétés physico-chimiques de HP2022NN (PEBD)

Propriétés du Polymère		
MECANIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Force d'impact des fléchettes	ASTM-D-1709	2 g/μm
PHYSIQUE		
PHYSIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Débit de fusion à 190°C et 2.16 kg	ASTM-D-1238	2 g/10 min
Densité à 23°C	ASTM-D-1505	0.922 g/cm ³
OPTIQUE		
OPTIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Brume	ASTM-D-1003	10 %
Brillant à 45°C	ASTM-D-2457	55

Propriétés du Film		
Propriétés de TACTION	STANDARD	VALEUR et UNITE
Stresse à la pause, MD	ASTM-D-882	29 MPa
Stresse à la pause, TD	ASTM-D-882	15 MPa
Déformation à la pause, MD	ASTM-D-882	120 %
Serain à la pause, TD	ASTM-D-882	530 %
Contrainte à la limite d'élasticité, MD	ASTM-D-882	11 Mpa
Contrainte au rendement, TD	ASTM-D-882	11 Mpa
Module sécant à 1 %, MD	ASTM-D-882	180 MPa
Module sécant à 1 %, TD	ASTM-D-882	230 MPa
Résistance au DECHIREMENT	STANDARD	VALEUR et UNITE
MD	ASTM-D-1922	18 g/μm
TD	ASTM-D-1922	4 g/μm
THERMIQUE		
THERMIQUE	STANDARD	VALEUR et UNITE
Température de ramollissement Vicat	ASTM-D-1525	92 °C

III.7.2 Fabrication des pièces plastiques en PEBD

Pour produire les pièces finies, le matériau passe par plusieurs étapes, que nous résumons dans l'organigramme suivant :

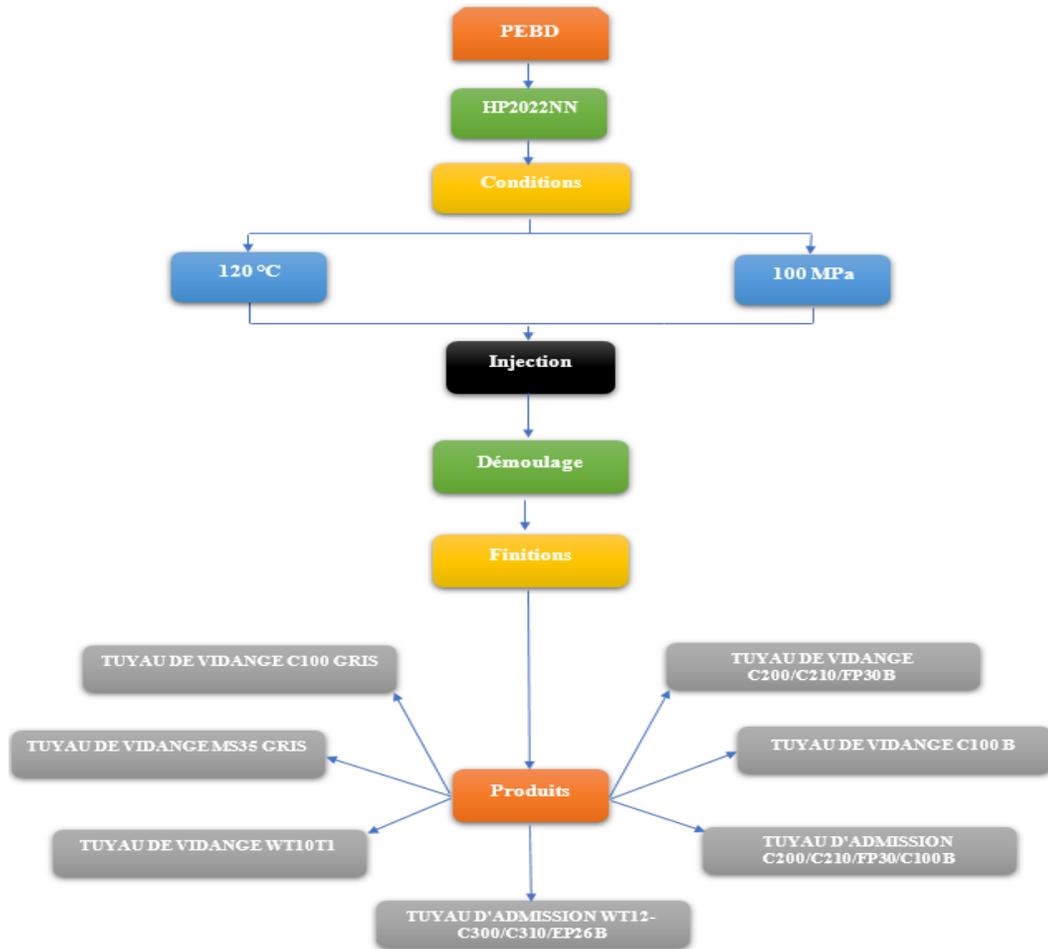


Figure III.12 Organigramme représentant les étapes de fabrication des pièces plastiques en PEBD

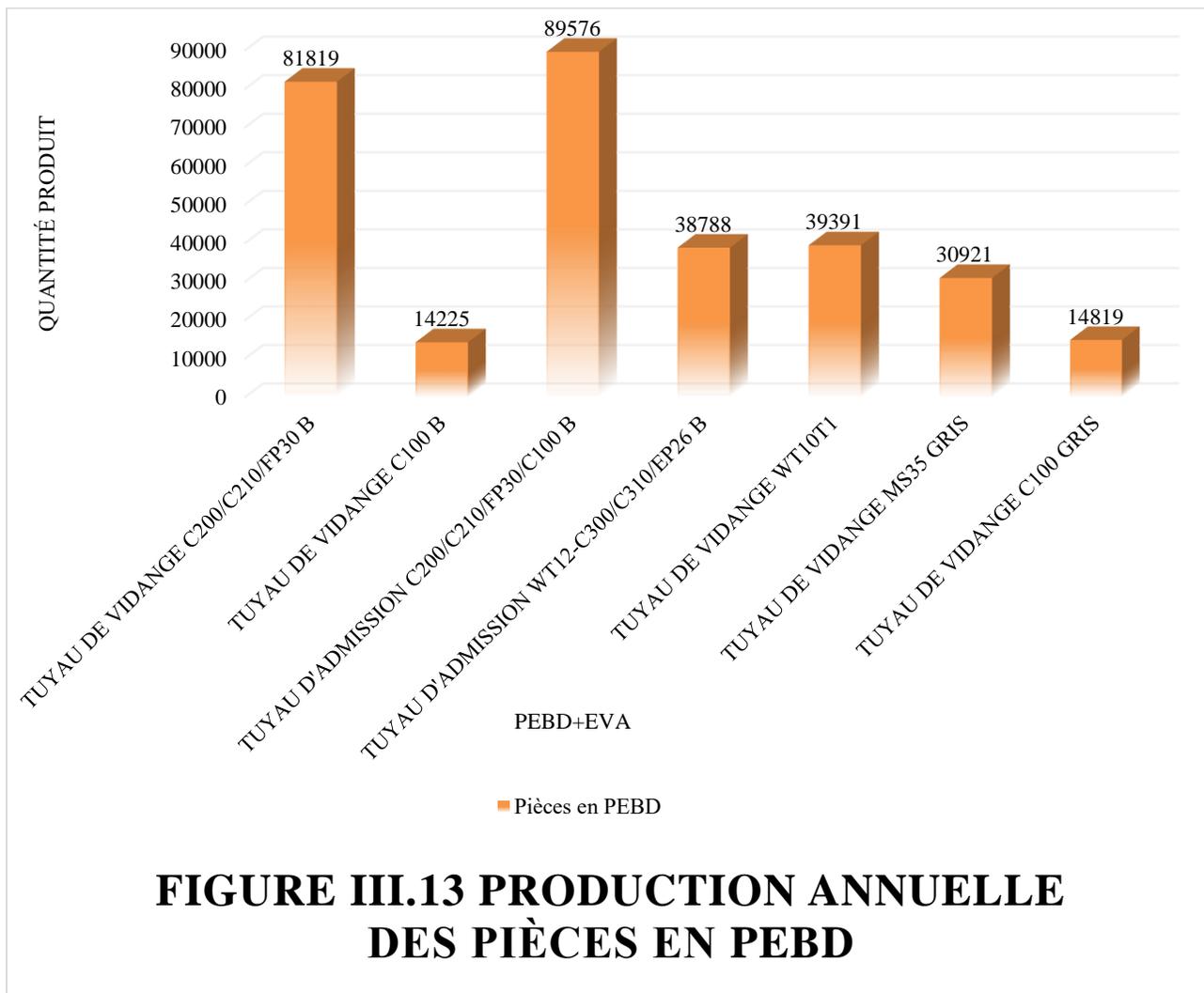
Dans le tableau III.11 sont résumés la matière et la quantité de produit en PEBD qui sont produites durant l'année 2023 :

Tableau III.11 La quantité des pièces en HP2022NN (PEBD) produites au cours d'une année

Articles	Matière	Quantité produit (pièces)
TUYAU DE VIDANGE C200/C210/FP30 B (DRAIN HOSE C200/C210/FP30 B)	EVA+ PEBD + COL B	81 819
TUYAU DE VIDANGE C100 B (DRAIN HOSE C100 B)	EVA+ PEBD + COL B	14 225
TUYAU D'ADMISSION C200/C210/FP30/C100 B (INLET HOSE C200/C210/FP30/C100 B)	EVA+ PEBD + COL B	89 576

TUYAU D'ADMISSION WT12-C300/C310/EP26 B (INLET HOSE WT12- C300/C310/EP26 B)	EVA+ PEBD + COL B	38 788
TUYAU DE VIDANGE WT10T1 (DRAIN HOSE WT10T1)	EVA+ PEBD + COL B	39 391
TUYAU DE VIDANGE MS35 GRIS (DRAIN HOSE MS35 GRIS)	EVA+ PEBD+ COL GRIS clair	30 921
TUYAU DE VIDANGE C100 GRIS (DRAIN HOSE C100 GRIS)	EVA+ PEBD + COL GRIS clair	14 819
TOTAL		309539

Afin de clarifier les données que nous avons obtenues, les histogrammes suivants sont représentatifs de la production annuelle des pièces en PEBD pour l'année 2023 :

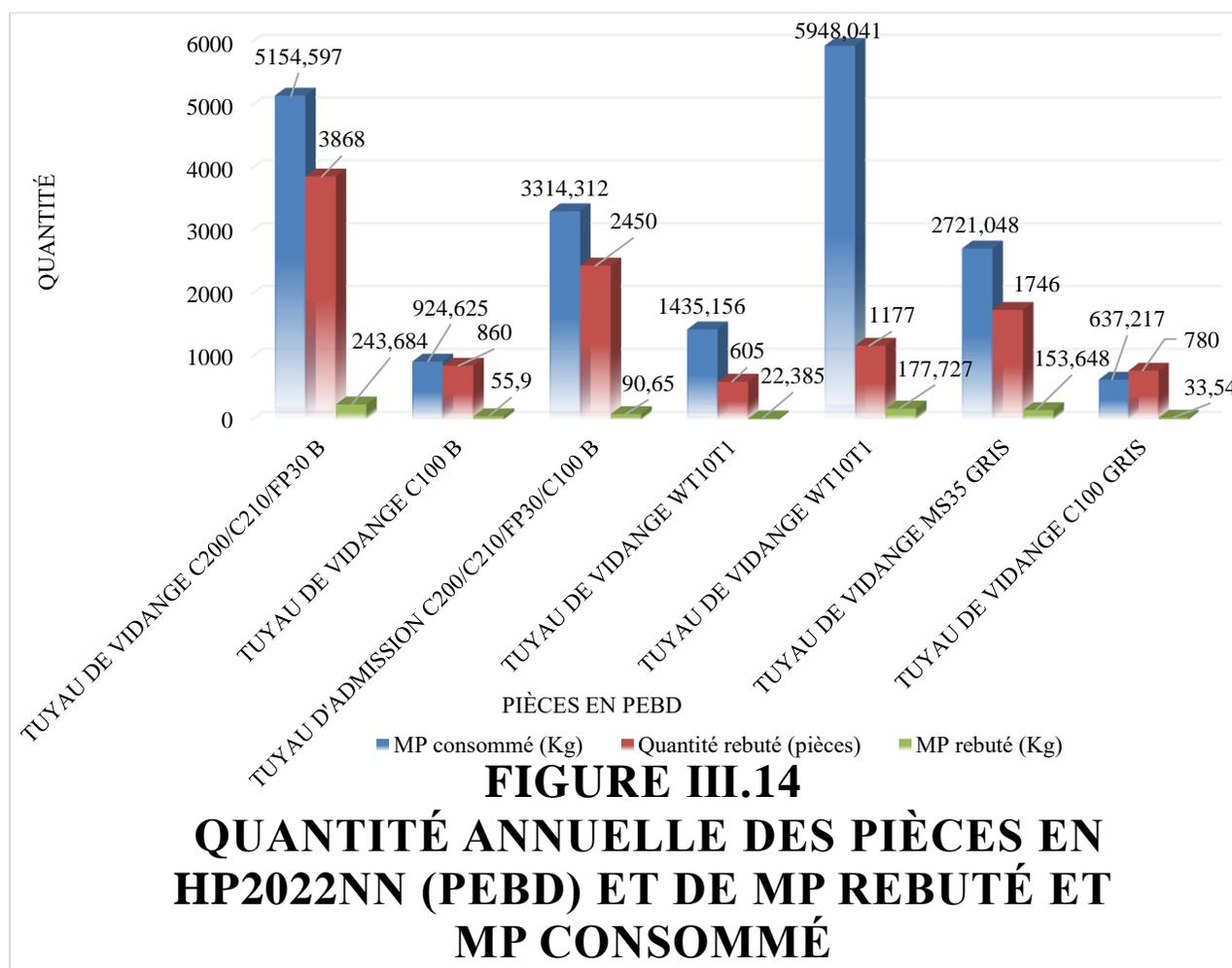


Après la production des pièces, il y a naturellement une quantité de rebut, soit MP ou pièces pour l'année 2023 :

Tableau III.12 La quantité des pièces en HP2022NN (PEBD) et de matière première rebutée

MP consommé (Kg)	Quantité rebuté (pièces)	MP rebuté (Kg)
5154,597	3868	243,684
924,625	860	55,9
3314,312	2450	90,65
1435,156	605	22,385
5948,041	1177	177,727
2721,048	1746	153,648
637,217	780	33,54
20134,996	11486	777,534

Les données sont illustrées sur la figure III.14 pour l'année 2023 :



L'EVA, ou éthylène-acétate de vinyle, est un additif utilisé dans les plastiques pour modifier leurs propriétés. Il s'agit d'un copolymère, ce qui signifie qu'il est composé de deux sous-unités monomères différentes : l'éthylène et l'acétate de vinyle.



Figure III.15 EVA

Tableau III.13 Composition chimique d'EVA

	EVA
Formule chimique	$C_4H_6O_2-C_2H_4$

III.8 Les risques et les problèmes des matières

III.8.1 Les risques rencontrés pendant le recyclage de PP-FV

Les travailleurs rencontrent des obstacles et des risques lors du recyclage du PP-FV :

- L'absence de machines de découpe spéciales pour leur dureté entraîne la destruction des lames de la machine.
- Émission de poudre qui est pleine de fibres de verre nocives pour la santé et l'environnement.
- Changement de couleur après le recyclage.

Ces problèmes sont résumés dans les 5 M :

- ✓ Matériel.

- ✓ Milieu.
- ✓ Main-d'œuvre.
- ✓ Méthode.
- ✓ Matière.

III.8.2 Les solutions

Matériel : renforcer les équipements si nécessaire pour réduire les risques de rupture ou de défaillance lors de l'utilisation.

Milieu : adopter des pratiques de gestion des déchets efficaces pour minimiser les risques de pollution environnementale liés aux fibres de verre.

Main-d'œuvre : fournir une formation adéquate aux travailleurs sur la manipulation sûre des matériaux contenant des fibres de verre, et l'utilisation correcte des équipements de protection individuelle (EPI) tels que les gants, les lunettes de protection et les masques respiratoires.

Méthode : développer et mettre en œuvre des procédures de travail sécurisées pour réduire les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs et intégrant des mesures de contrôle de l'exposition aux fibres de verre tout au long du processus de fabrication.

Matière : mettre en place des mesures de contrôle appropriées pour la manipulation, le stockage et l'élimination des matériaux contenant des fibres de verre en veillant à ce qu'ils soient correctement étiquetés et stockés dans des zones appropriées.

Elaborer des procédures d'élimination sûres et conformes aux réglementations environnementales.

III.8.3 Les problèmes rencontrés pendant le recyclage de PEBD

Le polyéthylène est difficile à recycler en raison de sa faible densité, ce qui le rend difficile à contrôler pendant la fusion, et d'autres problèmes courants auxquels ils sont confrontés lors du recyclage :

Contamination : Il a tendance à être plus facilement contaminé par d'autres substances. Cette contamination peut affecter la qualité du PEBD recyclé et limiter ses utilisations finales.

Faibles propriétés mécaniques : faible résistance à la traction et ductilité. Cela peut limiter son utilisation dans certaines applications.

Difficultés de traitement : le PEBD recyclé est plus difficile à traiter, ce qui peut augmenter les coûts de production.

La présence d'additifs : Il contient des colorants, des stabilisants, ce qui peut compliquer le processus de recyclage et nuire à la qualité du matériau recyclé.

III.8.4 Les solutions

Matériel : développer des technologies de recyclage plus efficaces pour séparer le PEBD des contaminants et pour améliorer la qualité du matériau recyclé, et investir dans des installations de recyclage modernes équipées de technologies de pointe pour le traitement du PEBD.

Milieu : mettre en place des réglementations et des incitations pour encourager le recyclage du PEBD et pour réduire l'utilisation de plastiques à usage unique, et investir dans la recherche et le développement de technologies de recyclage innovantes pour améliorer la durabilité et l'efficacité du processus.

Main-d'œuvre : éduquer le public sur l'importance du recyclage du PEBD et sur les bonnes pratiques de tri, et former les travailleurs aux techniques de tri et de recyclage du PEBD afin d'améliorer la qualité du matériau recyclé.

Méthode : développer et mettre en œuvre des procédures de travail sûres pour réduire la contamination du matériau et intégrer des mesures pour contrôler la densité du polyéthylène tout au long du processus de recyclage.

Matière : concevoir des produits PEBD faciles à démonter, trier et recycler, et ajouter des matériaux à sa composition de base afin d'améliorer sa densité sans compromettre ses propriétés.

III.9 Vente :

Comme on le sait dans le domaine de la vente, l'offre dépend de la demande, et c'est ce qui se passe chez Condor, car ils suivent les développements pour répondre aux besoins des gens, et c'est sur cette base que la production a lieu.

Mais avant d'arriver au produit fini, il passe par plusieurs étapes de fabrication et d'installation. Chaque pièce est fabriquée séparément puis assemblée.

Et nous arrivons ici aux pièces en plastique, car ces pièces sont fabriquées en fonction du produit souhaité, car c'est un élément très important pour fournir d'excellentes performances du produit.

Les déchets sont soit recyclés au niveau de l'unité, soit, s'ils ne sont pas en mesure de le faire, ils sont vendus à d'autres usines de recyclage.

De ce point de vue, la vente n'est qu'interne, car Condor est divisé en plusieurs branches, où la vente des pièces est effectuée entre elles et installée jusqu'à ce que le produit atteigne le stade de l'emballage, et de là, il est dirigé vers ses clients sur le marché, à la fois localement et globalement, pour atteindre la main du consommateur. C'est ce qu'on appelle une vente externe.

Conclusion générale

Les plastiques sont des matériaux difficiles à dégrader par les microorganismes, ils ne sont pas biodégradables, et c'est ce qui les a désignés comme un excellent matériau dans plusieurs utilisations.

Afin d'approfondir notre connaissance de ce merveilleux matériau, ce mémoire a été développé. En se concentrant sur deux polymères spécifiques, le polypropylène renforcé de fibres de verre et le polyéthylène basse densité, il vise à analyser leurs propriétés, leurs procédés de fabrication, leurs méthodes de caractérisation au niveau de laboratoire et les risques associés à leur recyclage. Après avoir mené cette étude, nous avons pu découvrir en détail tout ce qui concerne les deux matériaux et ce qu'ils traversent jusqu'à ce qu'ils atteignent la phase d'installation, et à compter la production annuelle et les déchets collectés à partir des deux matériaux polymères.

Les matériaux passent par une étape de fabrication appelée moulage par injection. Après ça, la résistance à la traction et l'adaptabilité sont testées, classées comme pièces conformes et non conformes, et elles sont recyclées ou vendues à des usines spécialisées dans ce domaine.

Quant à la production, les quantités varient d'un matériau à l'autre, de même que l'utilisation varie entre eux. Nous trouvons que le PP-FV et le PEBD sont utilisés dans les machines électroménager.

Nous arrivons ici à la difficulté de manipuler les deux matériaux lors du recyclage, tout d'abord le PP-FV : ils sont difficiles à casser à cause de leur dureté. Si cela est fait, ils risqueront leur santé et causeront une pollution de l'environnement, car lorsqu'ils sont écrasés, ils émettent une poudre dangereuse remplie de fibres de verre. Nous suggérons quelques solutions telles que l'utilisation de machines spéciales, le port de gants, de lunettes et d'un masque respiratoire.

Le PEBD, un matériau léger, se volatilise à l'intérieur de la machine lors de sa fusion, ce qui empêche la production de fils plastiques. Ce problème peut être résolu par des méthodes de solubilité spéciales et des additifs et des charges, sans changer leurs propriétés et leur structure.

Nous nous tournons vers le processus d'achat et de vente, l'achat de matières premières auprès d'entreprises saoudiennes. Et la vente de pièces fabriquées pour les unités Condor uniquement.

L'exploration se poursuit afin de découvrir de nouvelles propriétés, de développer de nouvelles applications et de réduire leur impact environnemental.

En conclusion, ce mémoire se présente comme une contribution précieuse à la connaissance des polymères, ouvrant la voie à une utilisation plus responsable et durable de ces matériaux de base.

LES REFERENCES

- [1] "Polymères Et Recherches : Une Histoire D'atomes Crochus.". 4 Jan. 2023.
- [2] Lakhdar, Youcef. Etude de la Stabilité et de la Dégradation de Polymères et Mélanges de Polymères à Base de Styrène. Diss. Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.
- [3] Fouassier, Jean-Pierre et Jan F. Rabek. Polymérisation par rayonnement en technologie polymère Scienq MCnd. Springer Science et médias d'affaires, 1993.
- [4] "Polymer Additives - PCC Group Product Portal.", 10 Sept. 2019.
- [5] Brosseau, C. "Mésostructure Et Propriétés Macroscopiques Des Polymères Chargés : Applications Aux Propriétés Diélectriques." Annales De Chimie Science Des Matériaux, vol. 28, no. 4, Elsevier BV, July. 2003.
- [6] "Chemical Products | Manufacturer of Specialty Chemicals | PCC." PCC Group Product Portal, 30 Nov. 2023.
- [7] Stevens, Malcolm P. Polymer Chemistry. Oxford UP, USA, 1999.
- [8] Djender, Melha, and Sabrina Chouali. Etude et conception d'un moule à injection plastique de la pièce de fixation de la soupape de décharge. Diss. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2014.
- [9] Massardier, Valérie. "Le recyclage des mélanges de polymères thermoplastiques. Aspects thermodynamiques, chimiques et applications industrielles." Comptes rendus. Chimie 5.6-7 : p 507-512, 2002.
- [10] Degré De Polymérisation. 22 Jan. 2024.
- [11] Nagwa_label. "Fiche Explicative De La Leçon : Polymérisation | Nagwa, 23 Avr. 2024.
- [12] Conseil, Recherche nationale, et coll. Science et ingénierie des Polymères. Presses des Académies nationales, 1994.
- [13] Raphael. "Matériaux Polymères Organiques - Blablareau Chimie." Blablareau Chimie, 17 Aug. 2022.
- [14] "Functional Group.", 6 Mar. 2024.
- [15] Oladele, Isiaka Oluwole, et al. "Modern Applications of Polymer Composites in Structural Industries : A Review of Philosophies, Product Development, and Graphical Applications." Applied

Science and Engineering Progress, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, July. 2023.

[16] Polymères, Observatoire Français Des Techniques Avancées. Groupe Nouveaux. Matériaux Polymères. Elsevier Masson, 1995.

[17] Li, Fang, et al. "Pressure-Induced Polymerization : Addition and Condensation Reactions." *Molecules*, vol. 26, no. 24, MDPI AG, p. 7581 Dec. 2021.

[18] Fried, Joel R. *Polymer Science and Technology*. Prentice Hall, 2014.

[19] "Polymère Naturel - Etude En Laboratoire - FILAB.", 20 Dec. 2023.

[20] Marc, Herman François et Arza Seidel. *Encyclopédie de la Science et de la Technologie des Polymères*. John Wiley et Fils incorporés, 2014.

[21] Den. Tuyau En Polypropylène Renforcé De Fibre De Verre Pour Le Chauffage Et L'eau Chaude. Avantages Et Inconvénients, Shaanxi World Iron & Steel Co., Ltd | Apr 14, 2020.

[22] Cheremisinoff, Nicholas. *Handbook of Polymer Science and Technology*. CRC Press, 2023.

[23] [Hot Item] Pebd En Plastique De Qualité D'Injection. 18 Jan. 2024.

[24] "Page D'accueil | Agence Nationale Des Déchets.", 27 Feb. 2024.

[25] KAREK, Rabie. *Valorisation des matériaux composites d'origine naturelle*. Diss. Université Kasdi Merbah Ouargla. 7 Sept. 2022.

[26] "Charges Et Additifs - Samaro." Samaro, 2021.

[27] De WeDressFair, Marie. "Eva." WeDressFair, 11 Aug. 2023.

[28] *Tout Savoir Sur Le Polypropylène L Vink France*.1995.

[29] Mofakhami, Eeva. *Effets du soudage par vibration sur la microstructure et le comportement en traction de polymères semi-cristallins renforcés par des fibres de verre*. Diss. Paris, HESAM, 2020.

[30] Bouzouita, Sofien. *Optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel*. Diss. Ecole Centrale de Lyon ; Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, 2011.

[31] Zitouni, Safidine. *Etude Des Propriétés Des Mélanges Composites A Base De Polypropylène/PP-g-Mah/Polyamide 6-6 Renforce Par Les Fibres De Verre, Influence De La Modification Interfaciale*. Diss. 2018.

[32] *Tout Savoir Sur Le Polypropylène L Vink France*. 27 Oct. 2023.

[33] Markus. "PP+GF - Plasticprop.", 29 Sept. 2022.

- [34] Polypropylène Fibre De Verre De Recreus PPGF 23 Sept. 2022.
- [35] Polypropylène : Avantages De Ce Matériau 31 Mai. 2021.
- [36] Matières Plastiques - Le Rotomoulage - AFR [Association Francophone Du Rotomoulage] 19 Sept 2019.
- [37] Hager, Katharina. "Polyéthylène Basse Densité (PEBD) | Linseis Messgeräte GmbH." Linseis Messgeräte GmbH, 9 Jan. 2024.
- [38] Jyo, Charles. "HDPE Injection Molding Vs. LDPE Injection Molding." Prototool, 8 Oct. 2023.
- [39] Shebani, Anour, et al. "The influence of LDPE content on the mechanical properties of HDPE/LDPE blends." Res. Dev. Mater. Sci 7.5: 791-797, 2018.
- [40] Maréchal, P. "Polyéthylènes basse densité PE-BD et PE-BDL." Techniques de l'ingénieur : p 1-19, 2011.
- [41] "Applications." Techniques De L'Ingénieur, 9 Sept. 2019.
- [42] Nelinkia. Qu'est-ce Que Le Polyéthylène Et À Quoi Sert-il ? 8 Mai. 2024.
- [43] "Les Polymères - myMaxicours.", 14 juin. 2023.
- [44] Salsaby, Laabidi. Techniques De Recyclage Des Plastiques Au Niveau Industriel. P 34-37, 18 Sept 2022.
- [45] Nicolas. "Injection Plastique : Définition." ASYTEC | Sous-Traitance Industrielle, 23 Feb. 2023.
- [46] "Les Techniques De Transformation Des Plastiques - Elydan.", 2024.
- [47] Carmel. "Impression 3D Industrielle : Comment Fonctionne La Vraie Fabrication Additive ?" Sculpteo, 12 Mar. 2021.
- [48] "Fabrication Du Papier Et Calandrage." Techniques De L'Ingénieur, 18 Août. 2023.
- [49] "Pourquoi Installer Une Presse À Injecter Électrique Ou Hybride ?" Eqinov, 3 June. 2019.

- [50] “Reversible Encrypted Data Concealment in Encrypted Images by Reserving Room Approach for Data Protection System.” *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 5, no. 2, *International Journal of Science and Research*, pp. 969–74, Feb. 2016.
- [51] “Aperçu De La Technologie De Moulage Par Soufflage | Xometry Pro.”, 18 Dec. 2023.
- [52] Biron, Michel. “Caractérisation Et Contrôle Des Matières Plastiques.” *Techniques De L’Ingénieur*, 10 Oct. 2013.
- [53] “Analyse Calorimétrique Différentielle À Balayage DSC - Centre SPIN.” *Centre SPIN*, 3 Sept. 2020.
- [54] *Essai De Traction*. 26 Apr. 2024.
- [55] *Plastique Avec De Bonnes Propriétés Mécaniques | Ensinger*, 17 Dec. 2023.
- [56] Zhu, Xin Di. "Examination of potential applicability of Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy for routine identification of pathogenic bacteria and fungi and for human saliva-based detection of viral infection." 2024.
- [57] Ait Belkacem, Mohand Arezki. *Conception d'un pendule charpy chauffant instrumente*. Diss. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2015.
- [58] “Essai De Traction Plastique ISO 527-1 | ISO 527-2.”, 28 Mai. 2024.
- [59] *Alloprof Aide Aux Devoirs | Alloprof*. 9 Sept 2019.
- [60] “Essai De Traction : Machines D’essais De Traction, 29 Mars. 2023.
- [61] *Module De Young - Définition Et Explications.*” *Techno-Science.net*, 21 Mai. 2022.
- [62] *Qu’est-ce qu’un Matériau Durable ? Démystifier la notion de durabilité – Upcyclea.*” *Upcyclea*, 8 Feb. 2024.
- [63] Aouidad, Adel, and Malik Fouchal. *Etude de l'effet de la triaxialité de contrainte sur le comportement du PEHD en sollicitation combinée*. Diss. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.

[64] Formfedern, Gutekunst, and Gutekunst Formfedern. “Diagramme Contrainte-déformation Acier À Ressorts.” Gutekunst Formfedern GmbH, 21 Dec. 2021.

[65] Figure 1-1: Courbe Contrainte-déformation Caractéristique Du comportement d’un matériau” ResearchGate, 7 Fev. 2024.