



Département de Technologie chimique industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
"Licence professionnel en Génie Chimique"

**Transformation des matières plastiques par le
procédé d'injection**

Préparer par :

M^{elle} MEDJHKOUH Hania

Tuteur de l'Institut :

M^{me} IGGUI Kahina

MCB / Enseignante

Tuteur de l'entreprise :

M^{me} BOUZIZ Karima

Ingénieur/SISCOPLAST

Juin 2018

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mes tuteurs M^{me} IGGUI Kahina et M^{me} BOUZIZ Karima pour leurs contribution et leurs aide à l'accomplissement de ce travail dans les meilleures conditions.

J'exprime mes profonds remerciements aux membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Ma profonde gratitude et remerciements vont aussi à toute l'équipe de l'entreprise nationale du plastique et caoutchouc ENPC, filiale SISCOPLAST de Draa-El-Mizan qui a tous mis à ma disposition afin de me fournir tous les renseignements et données utiles pour l'élaboration de ce travail durant mon stage.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Dédicaces

C'est avec une profonde gratitude et sincère mot que je dédis ce modeste travail au symbole de la vérité et de la promesse à la hauteur de la sympathie à ma chère mère qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études

Au bras protecteur et le reste de ma vie, à la source de mon désir je dédis ce travail à mon cher père que dieu prolonge son âge

À la truite rare à mes chères sœurs "Lynda, Hedjila" et mon cher frère "Farid"

Le symbole l'amitié et de bonne relation à mes camarades de classes, surtout mes amies "Karima, Katia, Leila, Radia"

MEDJKOUH Hania

Sommaire

| | |
|-------------------------|----|
| Liste des figures..... | i |
| Liste des tableaux..... | ii |
| Introduction | 1 |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | |
|--|----|
| I. Présentation de l'entreprise SISCOPLAST..... | 03 |
| II. Généralités sur les polymères..... | 07 |
| II.1. La science des macromolécules (polymères)..... | 07 |
| II.2. Définition et nomenclature des polymères..... | 08 |
| II.3. Caractéristiques des polymères..... | 08 |
| II.4. Classification des polymères..... | 09 |
| III. Mise en œuvre des polymères thermoplastiques..... | 11 |
| III.1. Etapes de transformation..... | 11 |
| III.2. Procédés de mise en œuvre..... | 11 |
| III.2.1. procédé d'extrusion..... | 11 |
| III.2.1.1. L'extrusion mono vis..... | 12 |
| III.2.1.2. L'extrusion soufflage..... | 13 |
| III.2.2. Procédé d'injection..... | 13 |
| III.2.2.1. L'injection soufflage..... | 14 |
| III.2.3. Procédé de calandrage | 15 |
| III.2.4. Procédé du thermoformage..... | 16 |
| III.2.5. Procédé de rotomoulage..... | 16 |

Chapitre II : Matériaux et tests de caractérisation

I. Matériaux utilisés.....17

II. Tests de caractérisation.....18

II.1. L'indice de fluidité.....18

II.2. La densité.....20

II.3. Point de fusion.....22

II.4. Test de traction.....24

Chapitre III : Procédé de transformation et résultats de caractérisation

I. Elaboration des éprouvettes26

II. Résultats de tests de caractérisation.....28

II.1. Caractérisation physique.....28

II.1.1. Indice de fluidité.....28

II.1.2. Mesure de densité.....29

II.1.3. Point de fusion.....30

II.2. Propriétés mécaniques par traction.....31

Conclusion.....33

Références Bibliographiques..... 34

Liste des figures

Figure01 : La consommation des matières plastiques dans divers domaines.....01

Figure02 : Plan général de l’usine.....05

Figure03 : Etapes de transformation de polymères thermoplastiques.....11

Figure04 : Coupe d’une extrudeuse mono vis.....12

Figure05 : Extrusion soufflage.....13

Figure06 : Machine à injection..... 14

Figure07 : Coupe d’une presse à injection.....14

Figure08 : Injection soufflage des bouteilles d’eau.....15

Figure09 : Production d’un film plastique.....15

Figure10 : Objet mise en œuvre par thermoformage.....16

Figure11 : Les différentes phases d’obtention d’une pièce par rotomoulage.....16

Figure12 : La formule brute du PEHD.....17

Figure13 : Appareil de mesure d’indice de fluidité (plastomètre).....20

Figure14 : Balance analytique compact à haut de gamme.....22

Figure15 : appareillage et procédure de point de fusion.....23

Figure16 : Tubes capillaires.....23

Figure17 : appareil de mesure de la traction.....25

Figure18 : L’élaboration des éprouvettes à partir d’une presse à injection.....26

Figure19 : courbe contrainte-déformation du PEHD extrusion.....32

Liste des tableaux

Tableau01 : Exemple de polymères et leurs applications.....10

Tableau02 : caractéristiques physico-chimique du PEHD EM-5204-UVH utilisé
.....17

Tableau03 : caractéristiques physico-chimique du PEHD 5502 utilisé.....18

Tableau04 : Les différentes formulations et désignation utilisés.....26

Tableau05 : Les différents paramètres d'une machine à injection.....27

Tableau06 : Les températures du fourreau.....28

Tableau07 : Les valeurs d'indice de fluidité de différents mélanges.....28

Tableau08 : Les valeurs d'indice de fluidité du PEHD injection vierge.....29

Tableau09 : Les valeurs d'indice de fluidité du PEHD injection après transformation...29

Tableau10 : Les valeurs d'indice de fluidité du PEHD extrusion vierge.....29

Tableau11 : Les valeurs d'indice de fluidité du PEHD extrusion après transformation...29

Tableau12 : Les valeurs d'indice de fluidité de du mélange (75%PEHD injection + 25%
PEHD extrusion).....30

Tableau13 : Les valeurs d'indice de fluidité du mélange (50%PEHD injection+ 50%
PEHD extrusion).....30

Tableau14 : Les températures de fusion.....31

Tableau15 : Les propriétés mécaniques du PEHD.....31

Introduction

Introduction

Les matériaux plastiques ont acquis une position majeure dans notre environnement quotidien, grâce à leur aptitude à la mise en œuvre, à leur faible densité, à de bonnes propriétés mécaniques, ainsi qu'à certaines propriétés spécifiques : isolantes, optiques ... Ils ont remplacé les matériaux traditionnels (bois, du verre et des métaux) dans des domaines très divers (figure 1) tels que : l'emballage, la construction, l'automobile, l'électronique, les applications médicales, etc.

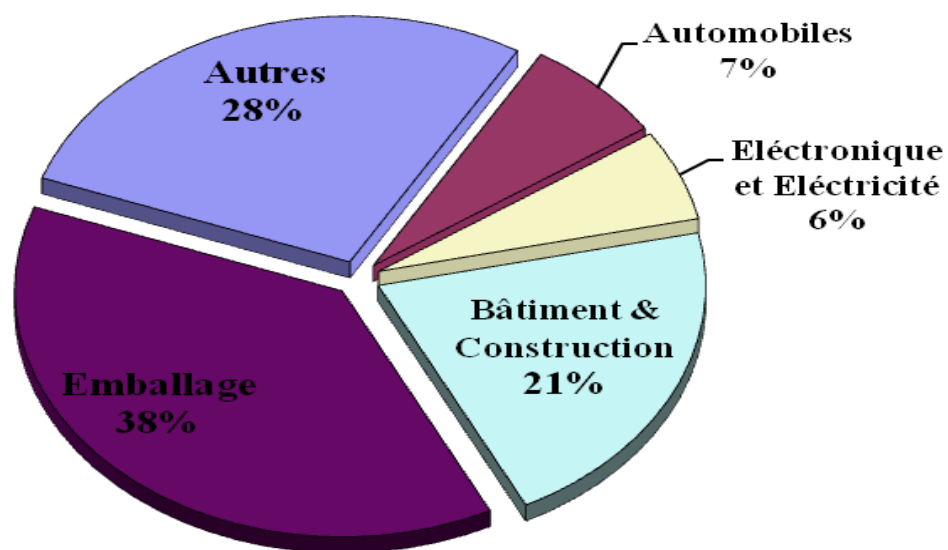


Figure 01 : la consommation des matières plastiques dans divers domaines

Cependant, il apparaît que si les performances de ces matériaux plastiques sont satisfaisantes à température ambiante, elles chutent soudainement pendant la mise en forme, à partir d'une certaine température caractéristique couramment appelée température de dégradation souvent proche de la température de fusion. C'est ainsi qu'est apparue l'idée d'étendre leur domaine d'application par l'optimisation des paramètres de mise en œuvre (température, vitesse de cisaillement, temps de séjours, choix du procédé de mise en forme ...etc.).

Dans cette optique, lors de ce stage pratique, nous nous sommes chargés d'étudier le procédé d'injection utilisé au sein de l'entreprise SISCOPLAST pour la transformation d'un thermoplastique, polyéthylène haute densité (PEHD), en produits finis comme câbles électriques et tubes. Deux grade de ce matériau vont êtres étudiier (PEHD injection et PEHD

extrusion) et l'effet des paramètres de mise en forme sur les caractéristiques finales du produit fini va être discuté.

. Notre présent rapport sera divisé en trois chapitres :

Le 1^{er} chapitre qui consiste en une recherche bibliographique sur la présentation de l'entreprise SISCOPLAST, les généralités des matériaux plastiques (polymères) et les différents procédés de transformation de ces derniers.

Le 2^{ème} chapitre est axé sur la présentation des matériaux utilisés et les tests de caractérisation.

Le 3^{ème} chapitre qui présente le procédé de mise en œuvre et les résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I. Présentation de l'entreprise SISCOPLAST

L'entreprise SISCOPLAST (société d'injection plastique et de fabrication des articles scolaires) est une filiale du groupe ENPC (entreprise national des plastiques et des caoutchoucs) qui regroupe quatre (04) autres unités de production et de transformation de plastique sises respectivement à : Chlef, Sétif, Médéa et Alger.

L'entreprise SISCOPLAST de Draa-El-Mizan à été créée le 06/04/1980 et est gérée par un conseil de direction. C'est une société par action (SPA).

La superficie de cette entreprise s'étend sur 30000m², elle fonctionne avec un effectif de 89 salariés, dans 15 sont des femmes et les 75 restants sont des hommes. On distingue 27 travailleurs permanents et 61 temporaires et 01 salarié DAIP (contrat d'insertion des diplômés).

Malgré le marché concurrentiel entre les industries de plasturgie, l'entreprise SISCOPLAST a réussi à occuper une place prépondérante dans le marché locale de la fabrication plastique. Cette place est due grâce aux compétences des ingénieurs et techniciens qui sont formés dans différents instituts et universités algériennes, dans le but d'améliorer la production de cette entreprise afin de gagner la satisfaction des clients.

SISCOPLAST est certifiée suivant les deux systèmes de management de la qualité et de l'environnement depuis 2005 et 2008 respectivement. 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.

Le service technique est chargé de faire une étude, analyse et un contrôle pour chaque matière et produit soit fini ou semi fini, il a pour but :

- L'amélioration la qualité d'un produit donné ;
- La conception ou amélioration des emballages, le contrôle des produits et matières premières.

Ce service contient un matériel spécial pour contrôler les produits et leurs conformités aux différentes normes. Parmi ces appareils on cite :

- Le micromètre pour mesurer l'épaisseur
- Pieds à coulisse pour mesurer la largeur
- Une balance de précision pour avoir le poids des échantillons par exemple
- Une règle de 1m pour mesurer la longueur
- Une balance analytique compacte à haut de gamme pour la mesure de densité
- Un plastomètre pour la mesure d'indice de fluidité
- Un appareil de mesure d'attraction
- Un appareil de mesure de la teneur en noir de carbone
- DSC pour la mesure des propriétés thermiques et la cristallinité

Le contrôle des produits se fait soit tout au long du processus de production, soit après la production (contrôle de qualité des produits fini et semi fini). Cette opération se fait trois (03) fois par jour et presque chaque deux (02) heures pour vérifier si le produit est conforme aux normes.

L'entreprise SISCOPLAST se divise en plusieurs services et secteurs comme c'est présenté en figure 01 ci-dessous

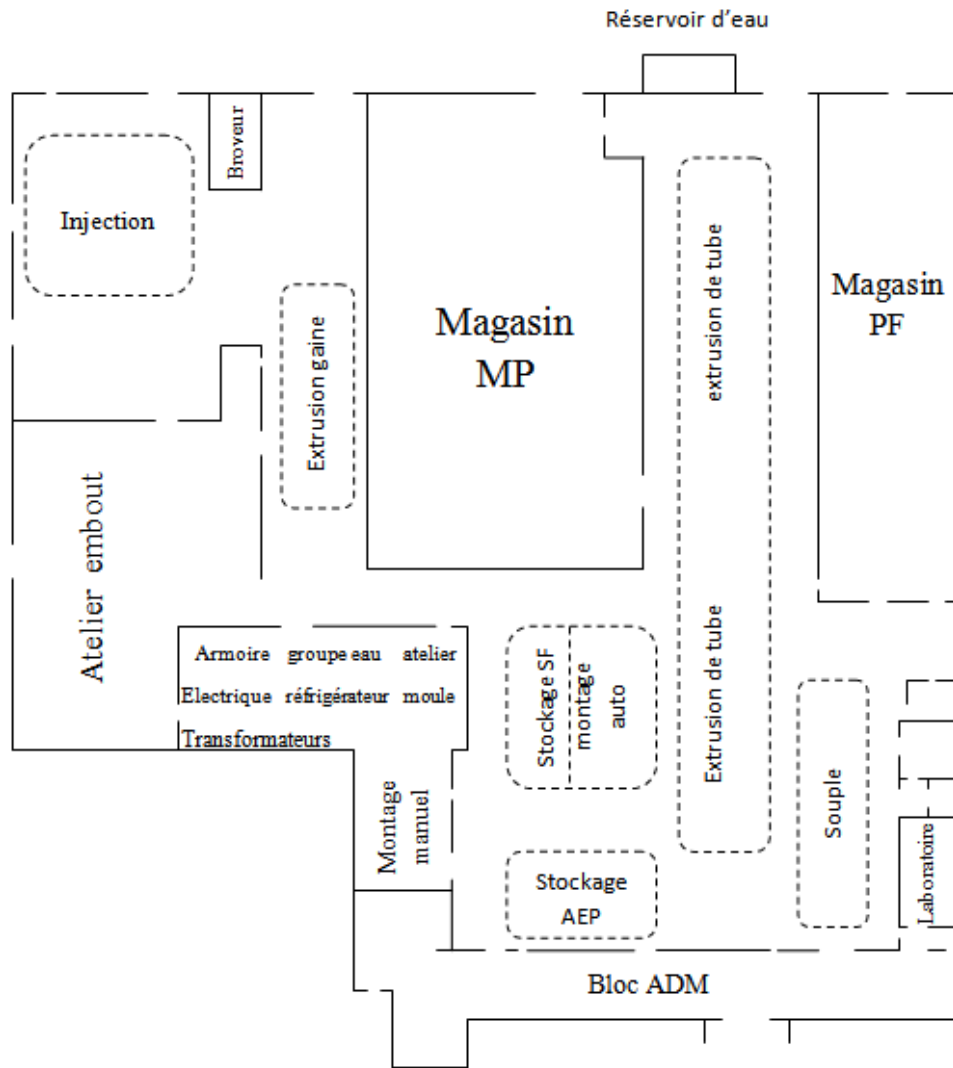


Figure 02: le plan général de l'usine

- Les secteurs de fabrication

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

- Le secteur d'injection

Actuellement ce secteur permis la fabrication de bouchon moubydes en polypropylène (PP), les fusettes d'injection en polyéthylène haute densité (PEHD) et bouchon Naftal en polypropylène(PP)

- Le secteur d'extrusion

Par ce procédé l'entreprise fabrique principalement le tube en PEHD pour AEP (Alimentation en Eau Potable), tube en PEBD (polyéthylène basse densité) pour l'irrigation et des gaines électriques.

- Le secteur de souples

Ce dernier secteur fabrique les protèges cahiers et livres et les pochettes vignette en Polychlorure de vinyle (PVC).

- Les matières premières utilisées au sein de l'entreprise sont :

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

- Les objectifs de l'entreprise et ses missions

- Les objectifs

Le complexe de Draa-El-Mizan a pour vocation principale, la fabrication des articles scolaires et fournitures de bureaux. Ces objectifs sont :

- L'élargissement de la transformation du plastique et caoutchoucs.
- Réaliser un chiffre d'affaire maximale.
- Maximiser le nombre de clients.
- Rétablir l'équilibre financière.
- Diminuer les coûts.
- Améliorer la rentabilité et le rendement de différentes activités.
- Gagner ou protéger les parts du marché actuel.
- Améliorer la qualité et l'efficience.
- Apprécier les résultats par type d'activité.

- Les missions

Les principales missions de l'entreprise SISCOPLAST sont :

- D'être à la hauteur des exigences du marché de l'information commerciale mondiale en qualité de l'information diffusée.

- D'améliorer l'outil de travail en comptant sur les critiques et les suggestions des employeurs.
- De contribuer au développement et à l'essor de notre pays.

II. Généralités sur les polymères

II.1. La science des macromolécules « polymères »

Le concept de macromolécule a été formulé au début du vingtième siècle par le chimiste pionnier allemand, Staudinger. Il étudia dès 1920 la structure et les propriétés de ces molécules géantes et inhabituelles à cette époque. Ces travaux constituant la base de la science des polymères, lui permirent de recevoir le prix Nobel de chimie beaucoup plus tard, en 1953 les hypothèses de Staudinger furent trop controversées par les scientifiques d'alors en effet ceux-ci pensait que les polymères étaient formés de petites molécules soudées entre elle ou des particules colloïdales.

Cependant, le concept de macromolécule fut vérifié par les études «cristallographie par rayon X » de la structure des polymères naturelles de Mark et Mayer, ainsi que la réparation de polyamides et polyesters par Carothers, dans les années 1930. La synthèse totale de macromolécule par réaction chimique de polycondensation fut d'une fécondité importante, car elle a ouvert la voie à la synthèse d'autres types de macromolécules.

Par la suite les principes fondamentaux sur les polymères furent énoncés. Un énorme travail couronné en 1974, par le prix Nobel de chimie attribué à Flory, a permis d'asseoir les connaissances expérimentales et théoriques de la science des polymères qui est arrivé à maturité, à cette époque (découverte de la morphologie des lamelles cristallines).

Le quart de la fin du dernier siècle a été marqué par l'explosion des connaissances de la science des polymères, grâce à l'apparition de concepts physiques ou mathématiques novateurs, et des nouvelles méthodes de caractérisation (diffusion des neutrons et des rayons X, microscopie électronique, spectroscopie, simulation et modélisation numérique,...) ce qui est permis d'attribuer à de Gennes un prix Nobel en 1991.

Tous ces progrès contribuèrent à de nombreuses publications, traités, livres et ouvrages de référence, parmi lesquels on peut citer ceux de Perez, G'sell et Naudin, Kausch, Neymans, Plummer, Decroly, de Gennes, Doi, Edwards, Champetier, Ferry, et bien d'autre... [1]

II.2. Définition et nomenclature des polymères

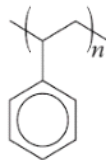
Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère [2].

Les polymères peuvent être nommés selon :

- La nomenclature de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (U.I.C.P.A) on donne le nom de l'unité monomère et après mise entre parenthèse, on ajoute le préfixe « poly »

Exemple :

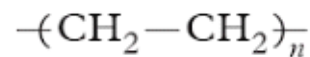
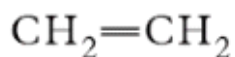
- Poly (1-phényléthylène)



- Poly (méthylène) $(\text{CH}_2)_n$
- Une nomenclature dérivant de la méthode de polymérisation mise en œuvre pour obtenir le polymère

Exemple :

Le polyéthylène est obtenu à partir de l'éthylène :



II.3. Caractéristiques des polymères

Les caractéristiques spécifiques des polymères se varient d'un polymère à l'autre. Les principales caractéristiques sont [3]:

- La légèreté : la densité de la plupart des polymères est comprise entre 0.9 et 1.8
- La résistance mécanique : elle varie selon 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 vision de celui du verre et bon nombre sont transparents translucides.
- L'inaltérabilité : ils résistent à l'agression extérieure et à de nombreux produits chimiques, certains demandent une protection contre les ultraviolets (U.V).
- L'esthétique : les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre sont 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.
- L'imperméabilité : ils assurent une bonne barrière à l'eau et aux gaz.
- L'entretien : ils ne nécessitent aucun traitement de surface, ils résistent à la corrosion.

II.4. Classification des polymères

Les polymères peuvent être classés selon quatre principaux critères:

- ***Selon l'origine*** : peuvent être de différentes origines: animale, végétale, de synthèse ou de transformation
- ***Selon la nature chimique des macromolécules (chaînes)*** : On distingue les polymères minéraux, organiques et mixtes
- ***Selon la structure des chaînes*** : Les polymères peuvent avoir une structure linéaire (monodimensionnelle), bidimensionnelle (lamellaire) ou tridimensionnelle (réseau).
- ***Selon les propriétés thermiques*** : On distingue les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

Les thermoplastiques: ils se ramollissent sous l'action de la chaleur et se durcissent en se refroidissant de manière réversible. La plupart des plastiques utilisés dans l'emballage sont des thermoplastiques, ce qui permet de les recycler. Principaux thermoplastiques : Polyéthylène (PE), Polychlorure de vinyle (PVC), Polyéthylène téréphtalate (PET), Polypropylène (PP), Polystyrène (PS), Polyamide (PA).

Thermodurcissables: sous l'action de la chaleur, ils se durcissent progressivement pour atteindre un état solide irréversible en formant un réseau tridimensionnel infusible et

insoluble. Ces matières ne peuvent être recyclées. Exemples: Polyuréthane (PUR), silicone, Polyesters insaturés (UP),...

Elastomères: Les élastomères sont des polymères qui peuvent être étirés de plusieurs fois leur longueur d'origine, et reprendre leur forme initiale sans déformation permanente. Ils supportent de très grandes déformations avant rupture. Le terme de caoutchouc est un synonyme usuel d'élastomère. [4] Le tableau N 01 présente quelques exemples des polymères et leurs applications

Tableau 01 : quelques exemples des polymères et leurs applications [5]

| Monomères | Polymères | Applications |
|---|--|---|
| Ethylène $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ | Polyéthylène Basse densité Polyéthylène Haute densité | Film, objets ménagers, emballages, câbles. Objets moulés, bouteilles, corps creux. |
| Propylène $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ | Polypropylène | Articles moulés pour véhicules, mobiliers, sanitaires, câble, etc. |
| Chlorure de vinyle $\text{Cl}-\text{CH}=\text{CH}_2$ | Polychlorure de vinyle ou PVC | Rigide : tuyaux, gaines électriques, bouteilles. Souple : film, feuilles, câbles, chaussures, jouets, revêtement de sol |
| Styrène $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$ | Polystyrène | Bacs, cuves, jouets, ameublement. Expansé (98% d'air) : isolation, emballages, antichocs. |
| Tétrafluoroéthylène $\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$ | Polytétrafluoroéthylène ou téflon | Matériaux thermorésistants à haute résistance chimique, pièces mécaniques. |
| Butadiène $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ | Polybutadiène | Pneumatiques, caoutchoucs. |
| Isoprène | poly isoprène | Chambres à air. |

III. Mise en œuvre des polymères thermoplastiques

III.1. Etapes de transformation

Les procédés de transformation des polymères thermoplastiques sont essentiellement thermomécanique ; ils comportent trois étapes (Figure 02):

- La fusion, c'est-à-dire le passage de l'état solide, en poudre ou en granulés, à un état fondu, suffisamment homogène et fluide.
- La mise en forme à l'état fondu, par écoulement sous pression à travers une filière ou dans un moule
- La conformation et le refroidissement avec éventuellement des opérations d'étirage et soufflage

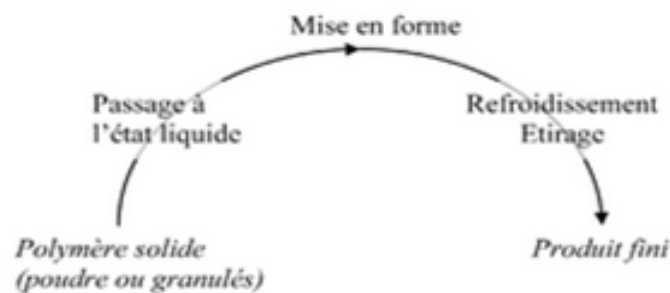


Figure 03: Etapes de transformation de polymères thermoplastiques

III.2. Procédés de mise en œuvre

La mise en œuvre des polymères thermoplastiques s'effectue par les procédés suivants :

- L'extrusion
- L'injection
- Calandrage
- Le thermoformage
- Le rotomoulage

III.2.1. Procédé d'extrusion

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation. Elle permet à partir de

poudre ou de granulés de polymères la fabrication des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, tubes, câble électriques de plaques ondulées,...etc. [6]

Dans l'extrudeuse, la matière est ajoutée dans la trémie sous forme de poudre ou de granulés. La trémie alimente en continu le cylindre chauffé contenant une vis rotative. La vis assure à la fois le chauffage, le malaxage, la mise en pression et le dosage du polymère qui est refoulé sous pression dans la tête d'extrusion. La tête contient une filière qui donne la forme approximative de la pièce dont le polymère est ensuite refroidi à l'eau ou à l'air pour prendre sa forme finale. Les dispositifs de tirage entraînent le polymère qui se refroidit, soit pour l'enrouler en bobine, soit pour permettre de le couper à la longueur

III.2.1 .1. L'extrudeuse mono-vis

Une extrudeuse mono-vis est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé. Ce système assure les trois fonctions suivantes.

- **Une fonction de convoyage** : le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède
- **Une fonction de plastification** : le passage de l'état solide à l'état liquide est réalisé progressivement grâce à la fois à la chaleur fournie par conduction et à la dissipation d'énergie de cisaillement ;
- **Une fonction de pompage** : le diamètre de la vis augmente entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse, ce qui aboutit à mettre le polymère liquide en pression pour obtenir un débit régulier dans la filière.

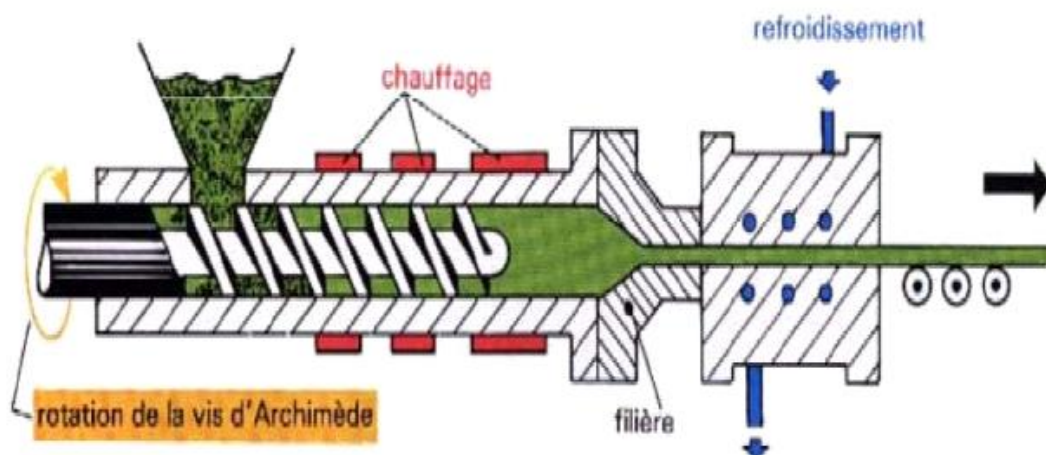


Figure 04 : coupe d'une extrudeuse mono vis

III. 2.1. 2. L'extrusion soufflage

Permet de réaliser des films d'épaisseur inférieure à 0,2 mm. Une filière annulaire (pouvant atteindre 1,80 m de diamètre) produit une gaine dans laquelle on admet de l'air sous pression. Le gonflage permet d'étirer la matière et d'obtenir l'épaisseur désirée.

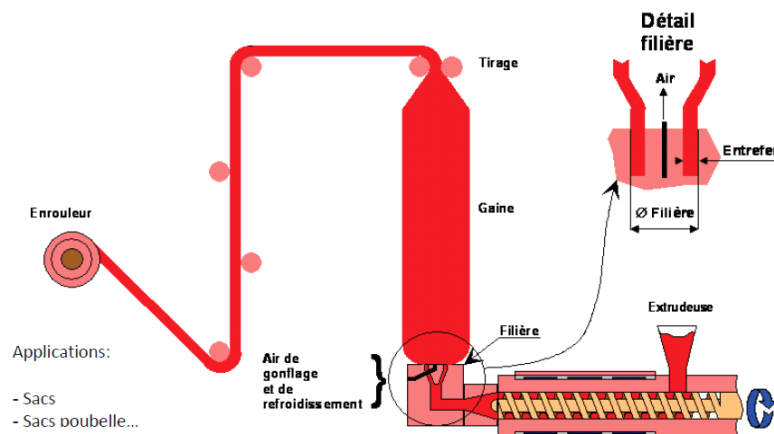


Figure 05: Extrusion soufflage

III.2.2.Procédé d'injection [7]

Le procédé d'injection permet de fabriquer des pièces de géométrie complexes en une seule opération. Les polymères utilisés, la dimension des pièces et les conditions d'injection sont différents mais les phases du cycle d'injection, se déroulent toujours de la manière suivante :

- Le polymère sous forme de granulés est versé dans une trémie puis sera fondu dans un dispositif vis-fourreau, dans le premier temps, la buse à l'extrémité du fourreau étant fermée, la vis tourne en reculant et le polymère fondu s'accumule en tête de la vis.
- Une fois la quantité de polymères nécessaire à la fabrication de la pièce a été fondue, la buse s'ouvre et la vis se transforme en piston qui injecte à grande vitesse le polymère chaud dans un moule fermé et refroidis : c'est la phase de remplissage
- Au contacte des parois froides la matière fondue prend la forme du moule et se solidifie, le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir les pièces. Pour changer la forme de la pièce il suffit de changer le moule. La figure (05) suivante montre les parties constituantes d'une presse à injection

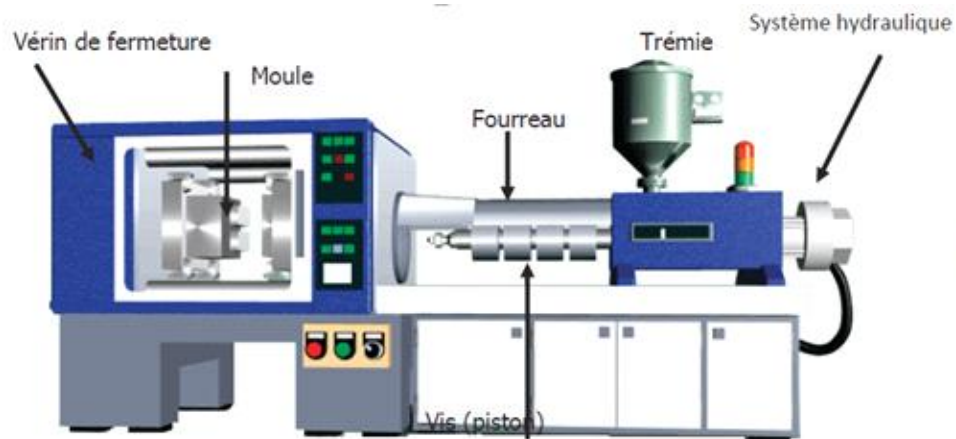


Figure 06: machine à injection

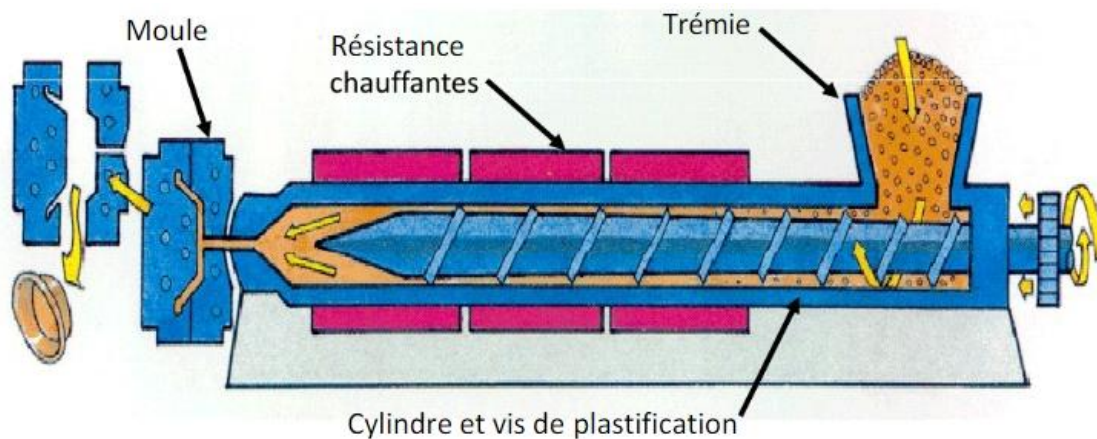


Figure 07: coupe d'une presse à injection

III.2.2.1. L'injection soufflage

L'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles. Ce procédé consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une préforme de polymère « éprouvette », qui est soufflée à la forme voulue. Ensuite « éprouvette », est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale. [8]

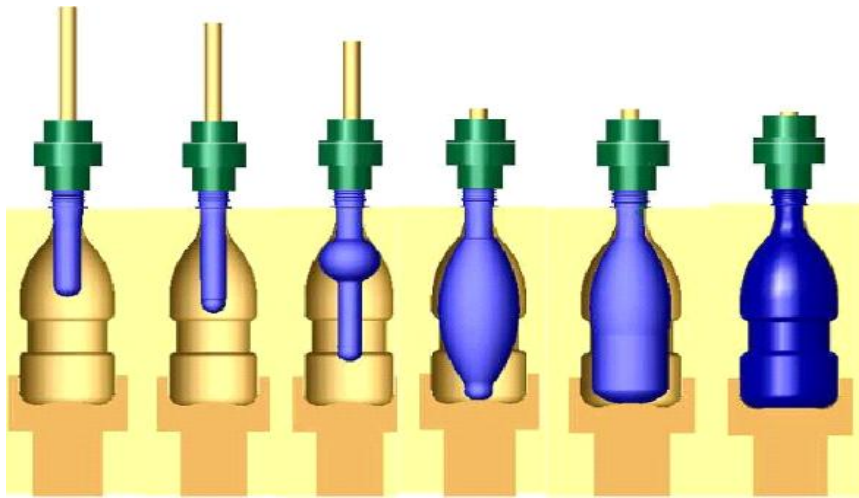


Figure 08: injection soufflage des bouteilles d'eau

III.2.3. Procédés de calandrage

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles. Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée. [9]



Figure 09: production d'un film plastique

III.2.4. Procédé du thermoformage

Le thermoformage est un procédé de transformation qui utilise des produits semi-finis tels que des feuilles et des plaques et les transforme en objets finis à large domaine d'applications comme les carrosseries, planches à voile, bateaux, vasques de luminaires, vitres blindées, panneaux publicitaires, emballages de produits alimentaires et d'articles de consommation.[10]



Figure 10 : Objets mis en œuvre par thermoformage

III.2.5. Procédés de rotomoulage

Le rotomoulage ou moulage par rotation est utilisé plus spécialement pour la fabrication de corps creux de grande capacité (cuve de 10000 L).

On part du polymère solide : il n'y a pas de préparation à l'état fondu ou plastifié. La matière à mouler est introduite dans un moule qui tourne autour de deux axes perpendiculaires. Au contact de la paroi chaude, la matière thermoplastique fond et y adhère. Les moules sont alors refroidis et le corps creux est démoulé.

Le polymère le plus utilisé dans ce procédé de transformation est le PE (90% des applications), PP, PA, PC, PVC sont également utilisés. [11]

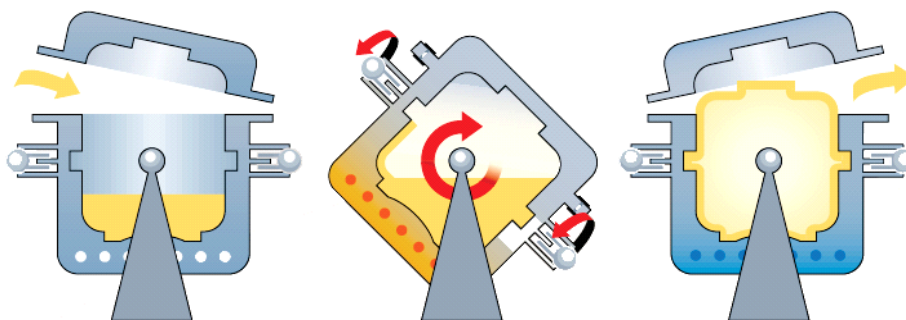


Figure 11: les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage

Chapitre II

Matériaux utilisés et tests de caractérisation

Chapitre II

Matériaux utilisés et tests de caractérisation

I. Matériaux utilisés

Dans le but d'élaborer des éprouvettes nous avons utilisé deux grades de polyéthylène haute densité, le PEHD EM-5204-UVH utilisé pour l'injection et le PEHD 5502 utilisé pour l'extrusion. Les principales propriétés de ces polymères telles qu'elles sont données par la fiche technique du fournisseur sont regroupées dans les Tableaux (02) et (03) respectivement. Le PEHD est un thermoplastique, présente une structure moléculaire simple comme illustré en figure 12.

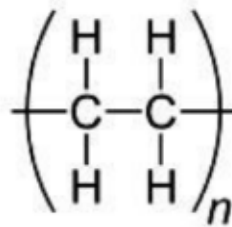


Figure12 : la formule brute du PEHD

Tableau02: Caractéristiques physico-chimiques du PEHD EM-5204-UVH utilisé [12].

| Propriétés | Unité |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Indice de fluidité (2,16Kg/190°C) | 4.4g/10min |
| Densité (23°C) | 0.962 g/cm ³ |
| Module de flexion | 1100 MPa |
| Allongement à la rupture | 1200 % |
| Contrainte de traction à la rupture | 31MPa |
| température de fusion | 131°C |
| Température de cristallisation | 119°C |
| Température de fragilité | <-76°C |

Tableau03: Caractéristiques physico-chimiques du PEHD 5502 utilisé [13].

| Propriétés | Unité |
|-------------------------------------|------------------------|
| Indice de fluidité (2,16Kg/190°C) | 0.35g/10min |
| Densité (23°C) | 0.955g/cm ³ |
| Dureté | 67° |
| Elongation à la rupture | 600 % |
| Contrainte de traction à la rupture | 28MPa |
| Intervalle de température de fusion | 194-216°C |
| Module de flexion | 1200MPa |
| Température de fragilité | >-76°C |

II. Tests de caractérisation

La caractérisation de la matière première et du produit fini ont été caractérisés par plusieurs tests de caractérisation à savoir :

- La détermination des propriétés physique par l'indice de fluidité
- Un teste de densité pour des matières solides (granulés) utilisé.
- La température de fusion appelée aussi le point de fusion.
- Les propriétés mécaniques sont déterminées par test de traction.

Ces tests sont réalisés au niveau de la société d'injection plastique et de fabrication des articles scolaires (SISCOPLAST) de Draa-El-Mizan.

II.1. L'indice de fluidité

La fluidité est l'aptitude de la matière plastique à couler dans des conditions de températures et de pression bien définies. Pour déterminer l'indice de fluidité « melt flow index », une méthode simple rapide est adoptée. L'indice de fluidité est mesuré à l'aide d'un appareil «plastomètre» de type « RM4d-A », selon la norme *ASTM Standard D1238* et *ISO 1133-1 (197-01-05)*. Il consiste à déterminer la quantité de matière qui s'écoule à travers une filière de diamètre et de longueur donnée, placée dans un four, sous un poids spécifique (2.16 Kg) et sous une température de 190 °C, pendant un temps de 10 minutes. La formule de l'indice de fluidité est donnée par la relation suivante :

$$I.F (T, M) = (g/10min)$$

T : température d'essai

M : la charge normale en Kg

s : le temps de référence en second (600s)

m : la masse moyenne des extrudât en g

t : l'intervalle de temps en second (s) entre deux coupes d'un extrudât

Mode opératoire

- Nettoyer l'appareil avant de commencer une série d'essai, le cylindre et le piston doivent être à la température choisi depuis 15 min au moins (190°C).
- Placer ensuite de 4 à 8g d'échantillon dans le cylindre selon l'indice de fluidité prévu
- Pendant le chargement, comprimer la matière en exerçant une pression manuelle sur le piston pour assurer un chargement aussi exempt d'air
- Lâcher le piston dans le cylindre, chargé ou non selon l'indice de fluidité

Si l'indice de fluidité à chaud de la matière est élevé c'est-à-dire 10 à 25, la perte d'échantillon lors du préchauffage sera importante, dans ce cas un piston chargé ou faiblement chargé peut être utilisé pendant la période de préchauffage, la charge pouvant être amenée à la valeur voulue à la fin de cette période (égale à 04 minutes)

- Laisser descendre le piston sous l'action de pesanteur, ou le pousser de 05 à 10 mm au dessous du bord supérieur du cylindre .La durée de cette opération ne doit pas dépasser an aucun cas 1 min
- Sectionner la matière extrudée et l'écarté
- Laisser alors le piston, chargé descendre sous l'action de la pesanteur
- Recueillir ensuite, afin de mesurer la vitesse d'extrusion, les extrudât
- Successivement coupé à des intervalles de temps qui dépendent de l'indice de fluidité de teks sorte que la longueur d'un extrudât inférieur à 10mm et soit de préférence entre 10 à 20mm
- Arrêter le découpage lorsque le repère supérieur de la tige du piston atteint le bord supérieur du cylindre

- Peser individuellement les extrudats restant au nombre de trois (03) au minimum après refroidissement peser au « mg » près leur masse moyenne.



Figure13 : appareil de mesure d'indice de fluidité (plastomètre)

L'appareillage de contrôle comporte les parties principales suivantes

- Un cylindre
- Un piston en acier
- Un système de contrôle de température
- Une filière
- Un bâti

II.2. La densité

La densité d'un solide est déduite de la différence entre le poids d'un échantillon mesuré dans l'air et celui mesuré dans un liquide de densité connue (par exemple l'eau). La densité ainsi mesurée n'est représentative que de l'échantillon utilisé (densité volumique). On a appliqué ce test sur trois matières le PEHD injection, le PEHD extrusion et une matière broyée valide

pour le recyclage (25% PEHD injection + 75% PEHD extrusion). Ce teste est mesuré par une balance analytique compact à haut de gamme.

La densité = poids de l'échantillon dans l'air – poids de l'échantillon dans le liquide

Mode opératoire

Mettre l'appareil ou la balance en marche en appuyant sur le bouton ON/OFF

- On appuie sur la touche « mode » puis sur les touches de navigation jusqu'à l'obtention de « F6 » et ensuite sur « print » pour le confirmer
- On appuie sur la touche « F » puis sur « print » pour choisir la nature de fluide (eau, éthanol ou méthanol)
- Après le choix du fluide on appuie sur « print » pour la confirmation de fluide en donnant la température du liquide
- Poser le matériau sur la cuvette porte-échantillon du haut
- On attend l'affichage se stabilisant en appuie sur « print » et on obtient le poids de l'échantillon mesuré dans l'air
- On dépose ensuite l'échantillon sur le tamis du bas
- On attend la stabilisation de résultat on appuie sur « print »
- La densité de l'échantillon est obtenue par la soustraction de poids d'échantillon mesuré dans le liquide de poids mesuré dans l'air

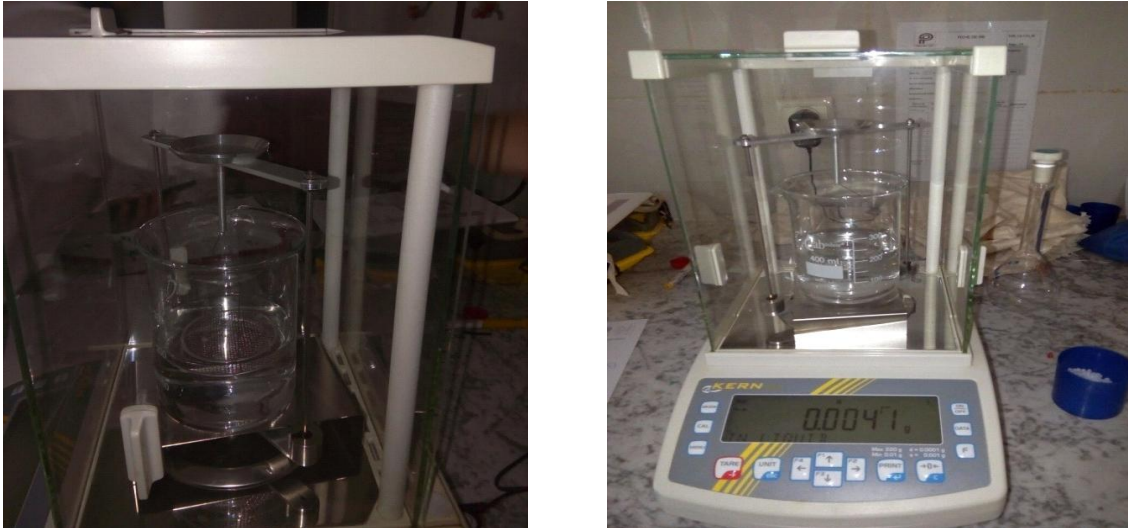


Figure 14: balance analytique compact à haut de gamme

Les différents composants de la balance analytique :

- Cuvette porte échantillon du haut du panier d'immersion.
- Bâti
- Goblet
- Tamis inférieur du panier d'immersion
- Coute poids
- Plate forme

II.3. Le point de fusion

On définit la température de fusion d'un polymère T_m comme la température dans laquelle la dernière trace de cristallinité se disparaît à la réchauffe. Ce teste alors nous permet de déterminer la température de fusion de chaque matière utilisé lors de ce contrôle [14].

La température de fusion d'un polymère quelconque se mesure par un fusion-mètre



Figure 15 : appareillage et procédure de point de fusion

Principe d'essai

- Préparer au début la matière qu'on veut traiter en la découpant en tout petits morceaux.
- Prendre des tubes capillaires et les diviser en deux pour mettre les petits morceaux du polymère de dans.
- Mettre les tubes capillaires dans les trous du fusion-mètre.
- lire la température de fusion sur le thermomètre après avoir eu une brillance sur la surface des morceaux du polymère.



Figure 16 : tubes capillaires

II.4. Test de traction

Les propriétés mécaniques des plastiques sont déterminées par l'essai de traction qui permet de déterminer des caractéristiques normalisées, souvent exigées dans les cahiers des charges : limites d'élasticité, charge et allongement de rupture, et on en déduit la relation rationnelle entre contrainte et déformation.

Principe d'essai

L'essai consiste à placer une éprouvette normalisée du matériau entre deux mors de la machine de traction, on applique une contrainte jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La mesure des propriétés mécaniques à la rupture des éprouvettes est effectuée au niveau de l'entreprise «SISCOPLAST » à l'aide d'une machine de traction de marque «C42.563E ».

Mode opératoire

- Effectuer le mode opératoire suivant la température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- Mesurer à 0.01mm près, la longueur et l'épaisseur minimale de la partie centrale de l'éprouvette située entre les repères.
- Monter l'éprouvette sur la machine d'essai de traction de telle manière que l'axe de l'éprouvette coïncide sensiblement avec la direction de la force de traction.
- Serrer les mors uniformément et fortement pour éviter tout glissement de l'éprouvette.
- Appliquer une petite contrainte si nécessaire puis commencer l'essai à la vitesse d'essai spécifiée.
- Enregistrer la courbe force / déformation jusqu'à la rupture de l'éprouvette et relever sur cette courbe la force au seuil d'écoulement et la longueur entre les repères après la rupture.
- Eliminer toute éprouvette ayant glissé dans les mors et celle qui se sont rompues dans l'un des épaulements ou qui se sont déformées, modifiant ainsi la largeur des épaulements et refaire l'essai sur un nombre identique d'éprouvettes.

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 d'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 17 : appareil de mesure de la traction

Chapitre III

Procédé de transformation et résultats de caractérisation

Chapitre III

Procédé de transformation et résultats de caractérisation

I. Elaboration des éprouvettes par procédé d'injection

Des éprouvettes des différentes matières sont élaborées par le procédé d'injection, à l'aide d'une presse à injection de type « LK machinerie POTENZA / PT 80 tonnes », illustrée en figure ci-dessous. La capacité de sa trémie est 25 kg.

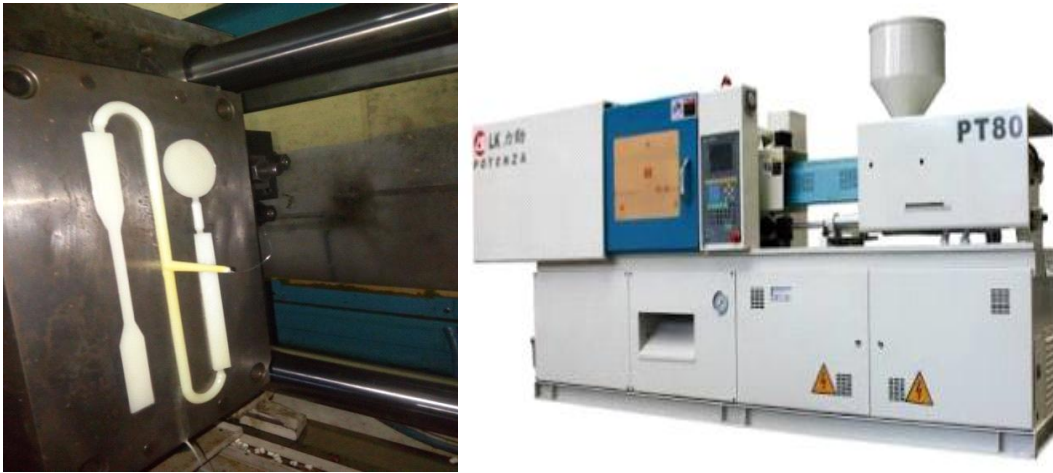


Figure 18 : l'élaboration des éprouvettes à partir d'une presse à injection

Les différentes formulations préparées et les désignations utilisées sont présentées dans le Tableau N04:

Tableau N04 : les différentes formulations et désignation utilisé

| Les différents mélanges | Polymère | Pourcentage |
|-------------------------|------------------|-------------|
| Mélange A | PEHD injection | 100% |
| Mélange B | PEHD extrusion | 100% |
| Mélange C | PEHD injection + | 50% |
| | PEHD extrusion | 50% |
| Mélange D | PEHD injection + | 75% |
| | PEHD extrusion + | 25% |
| | colorant | |

Les éprouvettes ont été préparées en deux étapes par mélangeage à l'état "fondu" :

- La première étape consiste à préparer un mélange à l'état fondu dans une extrudeuse co-rotative mono vis. La deuxième étape consiste à injecter le mélange de matière plastique à l'état fondu à grande vitesse par un injecteur (piston) dans le moule à éprouvette.

Le mélange a été réalisé à l'aide d'une presse à injection de type hydraulique à profil cisailant, d'un diamètre de vis (35 mm) et rapport (L/D) (20). Les matières plastiques utilisées sont introduites dans la presse à injection à la vitesse de rotation de la vis de (230 tr/min). Le profile de températures l'entrée à la filière est le suivant 210°C / 220°C / 215°C / 190°C. Après extrusion la matière fondue est injectée dans le moule à éprouvette .Les paramètres de la machine d'injection sont résumés dans le tableau N05 suivant :

Tableau N05 : les différents paramètres d'une machine à injection

| Paramètre | Valeur |
|---------------------------------|------------------------|
| Temps de cycle | 34.51s |
| Retrait / avance du chariot | 0.3s |
| Temps d'injection | 2s |
| Temps de maintien | 3s |
| Temps de refroidissement | 26s |
| Temps de pose | 0s |
| Température de l'eau | 16°C - 20°C |
| Pression de fermeture | 50 / 80 / 140 /130 bar |
| Pression d'injection | 80 bar |
| Pression de maintien | 60 bar |
| Pression de chargement | 80 bar |
| Pression d'ouverture | 65 / 20 / 20 bar |
| Pression d'éjection | 80 bar |
| Pression de succion | 80 bar |
| Vitesse de rotation de la vis | 80 % |
| Vitesse de chargement de la vis | 70 % |
| Vitesse d'ouverture de moule | 80 % |
| Vitesse de fermeture de moule | 50 % |
| Vitesse d'injection | 50 % |
| Vitesse d'éjection | 60 % |
| Vitesse de succion | 70 % |
| Vitesse de retour d'éjecteur | 99 % |

Les températures des zones de fourreau

Tableau N06 : les températures du fourreau

| N° de zone | Température |
|------------|-------------|
| 01 | 210 °C |
| 02 | 220 °C |
| 03 | 215 °C |
| 04 | 190 °C |

II. Résultats de tests de caractérisation

II.1. Caractérisation physique

II.1.1. Indice de fluidité

On note pour les différentes formulations l'indice de fluidité que nous avons consigné dans le tableau N07 :

Tableau N07 : les valeurs d'indice de fluidité de différents mélanges

| Désignation du mélange | Indice de fluidité (g / 10min) |
|--|--------------------------------|
| PEHD injection vierge | 4.4 |
| PEHD extrusion vierge | 0.35 |
| 100% PEHD injection | 4.52 |
| 100% PEHD extrusion | 0.87 |
| 50% PEHD injection 50% PEHD extrusion | 1.16 |
| 75% PEHD injection 25% PEHD extrusion | 1.17 |

D'après les résultats obtenus on constate une augmentation de l'indice de fluidité du PEHD injection et du PEHD extrusion après le procédé de transformation. On constate également que le mélange à 50% et à 25% de PEHD extrusion on la même valeur de l'indice de fluidité de l'ordre de 1,17, qui est supérieure en comparaisant avec les valeurs des matériaux avant transformation.

II.1.2. Mesure de densité

Pour chaque formulation les résultats obtenus sont noté dans les tableaux (N° 8, 9, 10, 11, 12, 13) ci-dessous

- **PEHD injection avant transformation**

Tableau N08 : les valeurs de la densité du PEHD injection vierge

| | Essai N01 | Essai N02 | Essai N03 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0256 | 0.0235 | 0.0242 |
| Poids dans le liquide (g) | 0.0037 | 0.0200 | 0.0042 |
| Densité moyenne | 0.962 | | |

- **PEHD injection après transformation**

Tableau N09 : les valeurs de la densité du PEHD injection après transformation

| | Essai N01 | Essai N02 | Essai N03 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0983 | 0.1024 | 0.1022 |
| Poids dans le liquide (g) | 00.307 | 0.0183 | 0.0181 |
| Densité | 1.143 | 0.959 | 0.942 |
| Densité moyenne | 1.014 | | |

- **PEHD extrusion avant transformation**

Tableau N10 : les valeurs de la densité du PEHD extrusion vierge

| | Essai N01 | Essai N02 |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0328 | 0.0333 |
| Poids dans le liquide (g) | 0.0047 | 0.0054 |
| Densité moyenne | 0.955 | |

- **PEHD extrusion après transformation**

Tableau N11 : les valeurs de la densité du PEHD extrusion après transformation

| | Essai N01 | Essai N02 | Essai N03 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0762 | 0.0680 | 0.0734 |
| Poids dans le liquide (g) | 0.0126 | 0.0129 | 0.0124 |
| Densité | 0.939 | 0.941 | 0.946 |
| Densité moyenne | 0.942 | | |

- **mélange (50%PEHD injection + 50% PEHD extrusion)**

Tableau N12 : les valeurs de la densité du mélange

| | Essai N01 | Essai N02 | Essai N03 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0838 | 0.0923 | 0.0787 |
| Poids dans le liquide (g) | 0.0138 | 0.0143 | 0.0176 |
| Densité | 0.942 | 0.933 | 1.012 |
| Densité moyenne | 0.962 | | |

- **mélange (25% PEHD injection +75% PEHD extrusion+ colorant)**

Tableau N13 : les valeurs de la densité de mélange (25% PEHD injection +75% PEHD extrusion)

| | Essai N01 | Essai N02 | Essai N03 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Poids dans l'air (g) | 0.0882 | 0.0910 | 0.0755 |
| Poids dans le liquide (g) | 0.0211 | 0.0176 | 0.0140 |
| Densité | 1.038 | 0.972 | 0.963 |
| Densité moyenne | 0.991 | | |

D'après les résultats obtenus on déduit que :

- la densité du PEHD injection augmente après une transformation thermique de la matière
- la densité du PEHD extrusion diminue après une transformation thermique de la matière
- la densité du PEHD injection diminue avec la diminution du taux du PEHD injection utilisé

II.1.3. Le point de fusion

Le tableau 14 résume les valeurs de la température de fusion des différentes formulations PEHD injection, PEHD extrusion avant et après transformation et mélange (50% PEHD injection+ 50% PEHD extrusion) et mélange (75% PEHD injection + 25% PEHD extrusion + colorant). D'après les résultats du tableau ci-dessus, on constate une diminution de la température de fusion de l'ensemble des formulations après le procédé de transformation.

Tableau 14 : les températures de fusion des différentes formulations

| Matière ou mélange | Température de fusion (°C) |
|--|----------------------------|
| PEHD injection vierge | 131 |
| PEHD extrusion vierge | 129 |
| 100% PEHD injection transformé | 127 |
| 100% PEHD extrusion transformé | 124 |
| 50% PEHD injection+ 50% PEHD extrusion | 120 |
| 75% PEHD injection + 25% PEHD extrusion + colorant | 124 |

II.2. propriétés mécaniques par traction

Les propriétés mécaniques en traction ont été déterminées pour PEHD extrusion (5502) après transformation. Le tableau 15 regroupe l'ensemble des propriétés mécaniques obtenues. La figure 19 illustre la courbe contrainte-déformation du PEHD 5502. D'après les résultats obtenus on constate une diminution des propriétés mécaniques après le procédé de transformation. Cette diminution est due à la chute de la masse molaire du PEHD après transformation qui se manifeste également par la diminution de la température de fusion et de l'indice de fluidité.

Tableau15 : les propriétés mécaniques du PEHD

| | Résistance à la traction à la rupture (MPa) | Module de flexion (MPa) | Elongation à la rupture (%) |
|-------------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|
| PEHD extrusion vierge (5502) | 28 | 1200 | >600 |
| PEHD extrusion après transformation | 25 | 1057 | 215 |

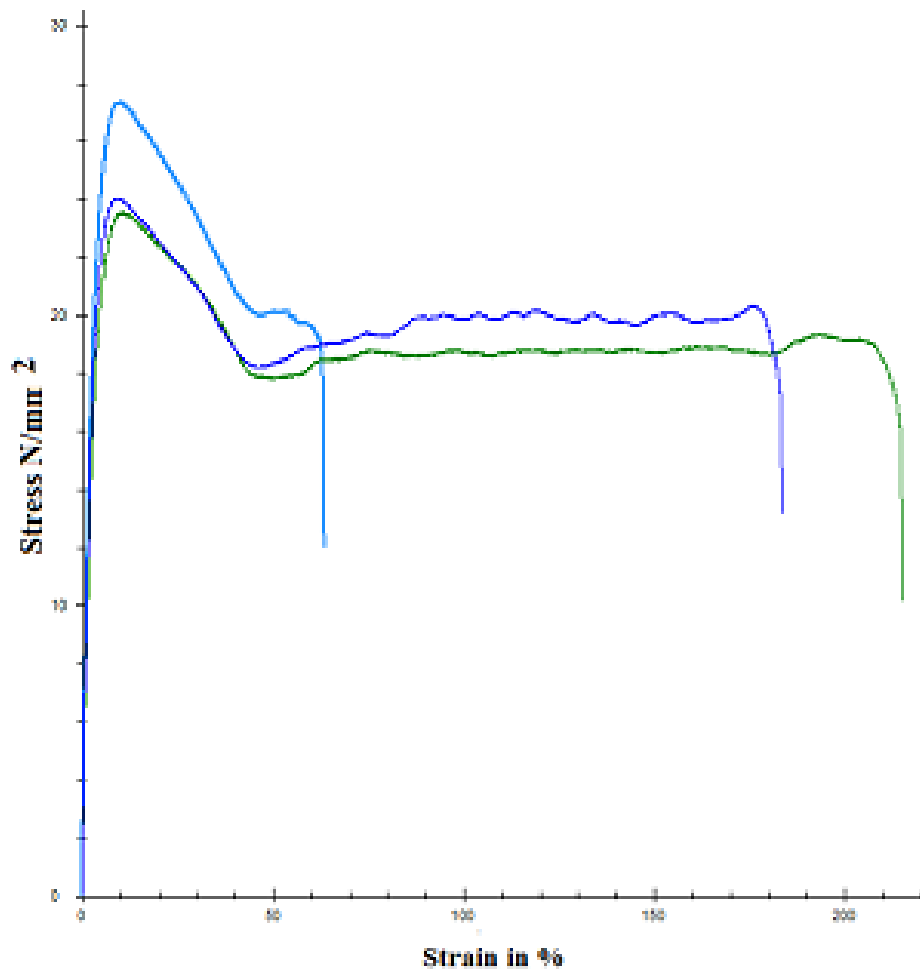


Figure 19 : courbe de la contrainte en fonction de la déformation du PEHD

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail était d'étudier le procédé d'injection utilisé au sein de l'entreprise SISCOPLAST de Draa-El-Mizan pour la transformation d'un thermoplastique, polyéthylène haute densité (PEHD) en produit fini. Pour cela nous avons élaborés des éprouvettes à base de mélanges de deux grades de PEHD destinés pour l'injection et l'extrusion.

Au terme de cette étude, on peut conclure que le procédé de transformation et la composition du mélange influent sur les propriétés du produit fini, en effet les résultats ont montré:

- Une diminution de l'indice de fluidité
- Une diminution de la température de fusion
- Diminution de la densité pour PEHD extrusion
- Une augmentation pour PEHD injection
- Les mesures du test de traction montrent que les caractéristiques des matériaux étudiés sont celles des thermoplastiques.

Ce stage technique que nous avons effectué au sein de l'entreprise SISCOPLAST m'a aidé à renforcer l'aspect pratique de ma formation en génie chimique et s'ouvrir à l'environnement industriel.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Patrick Combelte ; Ernoult ; Isabelle ; presses inter polytechnique ; 2005
- [2] Chimie-thermodynamique Matériaux PC édition Bréal
- [3] Physique des polymères-volume 1 ; pages 97
- [4] C.Bathias ; matériaux composites ; édition l'usine nouvelle ; Dunod ; 2005
- [5] M.Fantanille et Y.Gnanou ; chimie et physico chimie des polymères (cours) ; 2^{ème} et 3^{ème} cycle ; Dunod ; Paris, 4-8 ; 2005
- [6] Amik Bouroche ; Michèle le Bars ; édition Quae ; 1996 ; 95 pages
- [7] Claude Mercier ; édition TECHNIP. 1966. 176 pages
- [8] Transformation des plastique ; dossier enseignants (voyage en industrie) ; cap sciences ; 2006
- [9] M.Birron ; aide mémoire, transformation des matières plastiques
- [10] M.Carrega ; aide mémoire ; matière plastique 2^{ème} édition ; Dunod ; Paris ; 2005-2009
- [11] Mounir Frija ; aide mémoire ; transformation des matières plastiques
- [12] Fiche technique du PEHD EM-5204-UVH
- [13] Fiche technique du PEHD 5502
- [14] Jean.P Mercier ; Gérald Zambelli ; Wilfried Kurz ; PPUR presses polytechniques ; 1999 ; 199 pages