

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'études

en vue d'obtention du

diplôme de Master académique en génie mécanique

Option : Science des matériaux

Thème

Caractérisation mécanique du polymère PP chargé à
30% de CaCO_3 et influence des charges et de l'ajout de
l'ABS sur son comportement mécanique

Réalisé par :

M. ZEGGANE Mnd Ouramdane

Dirigé par :

Mme. MOHELLEBI

2013/2014



REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu le Bon Dieu de m'avoir donné le courage d'aller au bout de mon objectif.

Je remercie ma promotrice Madame MOHELLEBI, d'avoir accepté de diriger mon travail, par son soutien et ses conseils pertinents qui m'ont permis de travailler tranquillement.

Je remercie les membres du jury qui me font l'honneur d'examiner travail.

Je remercie les membres des laboratoires de l'université, l'ENIEM, SISCOPLAST et EI pour leur aide précieuse.

Je remercie mes camarades de promotion pour leur soutien.



Dédicace

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

A mes frères et sœurs

A tous mes proches

A tous les enseignants

A tous mes amis

SOMMAIRE

Introduction générale

Présentation de l'entreprise ENIEM

Chapitre I : Présentation des polymères	1
I.1. Introduction :	1
I.2. Histoire du plastique :	1
I.3. Définitions :	3
I.3.1. Polymère :	3
I.3.2. Monomère :	3
I.3.3. Polymérisation :	3
I.3.4. Homopolymère :	4
I.3.5. Copolymère :	4
I.3.6. Tacticité :	5
I.4. Classification des polymères :	6
I.4.1. Classification selon le comportement thermomécanique :	6
I.4.1.1. Les thermoplastiques :	6
I.4.1.2. Les thermodurcissables :	6
I.4.1.3. Les élastomères :	7
I.4.2. Classification selon la morphologie :	7
I.4.2.1. Les polymères amorphes :	7
I.4.2.2. Les polymères semi-cristallins :	8
I.4.3. Classification selon la structure :	8
I.4.3.1. Structure linéaire :	8
I.4.3.2. Structure ramifié :	9
I.4.3.3. Structure réticulé :	9
I.5. Caractéristiques des polymères :	10
I.5.1. Elasticité :	10
I.5.1.1. Comportement élastique :	10
I.5.1.2. Comportement plastique :	10
I.5.2. Mise en forme :	11
I.5.2.1. Injection plastique :	11
I.5.2.2. Procédé d'extrusion :	12
I.5.2.3. Le thermoformage :	13
I.6. Propriétés des polymères :	14
I.6.1. Propriétés physique :	14
I.6.1.1. Masse volumique :	14

I.6.1.2. Indice de fluidité :	15
I.6.2. Propriétés thermiques	15
I.6.2.1. Température de fusion	15
I.6.2.2. Température de ramollissement Vicat	16
I.6.3. Propriétés mécaniques :	16
I.6.3.1. Contrainte au seuil d'écoulement en traction :	16
I.6.3.2. Résistance à la rupture	16
I.6.3.3. Allongement à la rupture :	16
I.6.3.4. Module de Young en traction :	17
I.6.3.5. Résistance au choc :	17
I.6.3.6. Dureté :	17
I.7. Principaux polymères :	17
I.7.1. Polypropylène (PP)	17
I.7.1.1. Présentation	17
I.7.1.2. Propriétés :	18
I.7.1.3. Applications	19
I.7.2. ABS :	20
I.7.3. Autres polymères	21
I.7.3.1. Polyéthylène (PE) :	21
I.7.3.2. Polychlorure de vinyle (PVC) :	22
I.7.3.3. Polystyrène (PS) :	22
I.7.3.4. Polycarbonates (PC) :	22
I.7.3.5. EPM et EPDM :	23
Chapitre II : Les mélanges de polymères	25
II.1. Introduction :	25
II.2. Mélange de polymères :	25
II.2.1. Morphologies des mélanges de polymères :	25
II.2.2. Etat de miscibilité :	26
II.2.3. Compatibilisation d'un mélange de polymères :	26
II.3. Charges :	27
II.3.1. Définition :	27
II.3.2. Incorporation des charges :	27
II.3.3. Nature et caractéristiques des charges :	28
II.3.4. Carbonate de calcium CaCO ₃ :	28
II.3.5. Autres charges	30
II.3.5.1. Plastifiant :	30

II.3.5.2. Additif anti-retrait :	30
II.3.5.3. Lubrifiant et agent de démoulage :	30
II.3.5.4. Stabilisant thermique:	31
II.3.5.5. Antioxydant et anti-UV :	31
II.3.5.6. Ignifugeant :	31
II.3.5.7. Agent gonflant :	31
II.3.5.8. Additif biodégradable :	31
II.4. Colorants :	32
II.4.1. Définition :	32
II.4.2. Identification :	32
II.4.3. Classification :	33
II.4.3.1. Pigments minéraux :	33
II.4.3.2. Pigments organiques :	33
II.4.3.3. Colorants solubles :	33
II.4.4. Préparations pigmentaires :	33
II.4.5. Propriétés du mélange polymère-colorant :	34
II.4.5.1. Résistance mécanique :	34
II.4.5.2. Résistance thermique :	34
Chapitre III : Recyclage des polymères.....	36
III.1. Introduction :	36
III.2. Définition :	36
III.3. Les déchets :	36
III.4. Broyage.....	37
III.5. Revalorisation.....	38
III.6. Conclusion.....	38
Chapitre IV : Matériels et essais.....	39
IV.1. Introduction :	39
IV.2. Analyse chimique :	40
IV.2.1. Le matériel utilisé :	40
IV.2.2. Les essais effectués :	41
IV.3. Elaboration des éprouvettes de traction :	42
IV.3.1.1. Elaboration des éprouvettes par poinçonnage :	42
IV.3.2. Elaboration des éprouvettes par injection plastique.....	42
IV.4. Elaboration des mélanges à étudier.....	43
IV.4.1. Présentation des mélanges.....	43
IV.4.2. Paramètres d'injection.....	44

IV.5. La microdureté	45
IV.5.1. Matériel :	45
IV.5.2. Essai de microdureté:	45
IV.6. Essai de Résilience :	46
IV.6.1. Préparation des éprouvettes :	46
IV.6.2. Déroulement de l'essai:	47
IV.7. Essai de traction :	48
IV.8. Observation au microscope électronique à balayage (MEB) :	48
Chapitre V : Résultats et discussion	50
V.1. Introduction :	50
V.2. Analyse chimique :	50
V.2.1. But :	50
V.2.2. Résultats de l'analyse chimique :	50
V.2.3. Interprétation :	50
V.3. Microdureté :	51
V.3.1. Résultats de la microdureté:	51
V.4. Essai de traction :	52
V.4.1. Traitement des données :	52
V.4.2. Résultats des essais de traction :	53
V.4.3. Analyse des courbes contraintes déformations:	58
V.4.3.1. Module de Young E :	59
V.4.3.2. Limite de rupture en traction σ_m :	60
V.4.3.3. Allongement à la rupture A%	61
V.4.4. Interprétations :	62
V.5. Essai Charpy :	63
V.5.1. Résultats :	63
V.5.2. Interprétation :	63
V.6. Résultats de l'observation au microscope électronique à balayage:	64
V.6.1. Interprétation :	66
V.7. Conclusion :	66

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Température de fusion et d'utilisation de quelques polymères	15
Tableau I.2 : Propriétés du PP	18
Tableau I.3 : Influence des paramètres structuraux sur les propriétés du PP	19
Tableau I.4 : Principales propriétés mécaniques des ABS	20
Tableau II 1 : compatibilité de polymère	25
Tableau II.2 : Propriétés physico-chimiques des deux formes cristallines de CaCO ₃	28
Tableau II.3 : Propriétés physico-chimique du CaCO ₃	29
Tableau IV.1 paramètres de la machine à injection	42
Tableau V.1 : résultat de la pesé de l'analyse chimique	50
Tableau V.2 Micro dureté Knoop des différents échantillons	51
Histogramme V.3 microdureté moyenne des mélanges PP/ABS	52
Tableau V.4 : module de Young des échantillons	59
Histogramme V.5 : module de Young des échantillons	60
Tableau V.6 : limite à la rupture des échantillons	60
Histogramme V.7 : limite à la rupture des échantillons	61
Tableau V.8 : Allongement à la rupture des échantillons	61
Histogramme V.9 : Allongement à la rupture des échantillons	62
Tableau V.10 Essai Charpy:(résistance au choc des échantillons)	63
Histogramme V.11 Essai Charpy	63

Liste des figures

Figure I.1 : Tacticité du PP	5
Figure I.2 : presse à injection plastique	12
Figure I.3 : Machine à extrusion	13
Figure I.4: Thermoformage	14
Figure I.5 : monomères de l'ABS	18
Figure II.1 Morphologies des mélanges	25
Figure IV.1 : cadre de réfrigérateur	38
Figure IV.2: Grains de polypropylène utilisé pour l'injection	38
Figure IV.3 : Dessiccateur	39
Figure IV.4 : four à brique	40
Figure IV.5 : Eprouvettes découpées par poinçonnage pour l'essai de traction.	41
Figure IV.6 : Eprouvette élaborée par injection	42
Figure IV.7 : microduromètre	44
Figure IV.8 : empreinte délimité par les réglettes	45
Figure IV.9 : éprouvette de résilience	45
Figure IV.10 : Dimensions de l'éprouvette de résilience	46
Figure IV 11 : position d'éprouvette et mouton-pendule	46
Figure IV.12 : machine de traction	47
Figure IV 13 : dimension de l'éprouvette de traction	47
Figure IV.14 : Microscope électronique a Balayage	48
Figure V.1 la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP	51
Figure V.2 la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP	51
Figure V.3 la courbe contrainte déformation pour 100% PP plus 3% de colorant	52
Figure V.4 la courbe contrainte déformation pour 100% PP plus 5% de colorant	53
Figure V.5 la courbe contrainte déformation pour le mélange 20%PP plus 80% ABS	54
Figure V.6 la courbe contrainte déformation pour le mélange 20%PP plus 80% ABS	55
Figure V.7 la courbe contrainte déformation pour le mélange 50%PP plus 50% ABS	55
Figure V.8 la courbe contrainte déformation pour le mélange 60%PP plus 40% ABS	56
Figure V.9 la courbe contrainte déformation pour le mélange 80%PP plus 20% ABS	56
Figure V.10 la courbe contrainte déformation pour le mélange 100% ABS	57
Figure V.11: courbe de traction analytique	58

Introduction générale

Notre étude porte sur une problématique industrielle rencontrée dans l'Entreprise Nationale de l'Industrie Électro-Ménager ENIEM, cette problématique consiste au fait que le rebut lors du montage du cadre réfrigérateur(en matière plastique) est important, ce problème cause des désagréments économiques ainsi qu'environnementaux importants à cette entreprise. Notre travail consiste à étudier ce problème, répondre aux attentes de l'entreprise, suggérer des solutions au problème.

Notre étude s'est déroulée dans trois sociétés nationales qui sont : ENIEM (l'entreprise nationale de l'industrie électro-ménager, siège Oued Aissi) la seconde est l'entreprise SISCOPLAST, entreprise de transformation des produits plastique (siège Draa El Mizan) et la troisième société est l'EI (électro-Industrie siège Fréha).Notre étude nous emporte dans deux mondes, le monde de l'industrie d'une part et le monde des plastiques d'une autre part.

Le polymère à étudier est le polypropylène, polymère qu'on trouve dans le marché des produits plastiques à bas prix, d'usage fréquent dans l'électro-ménager surtout dans les différents éléments du réfrigérateur.

Pour pousser nos connaissances sur les polymères, nous nous sommes intéressés aux mélanges de polymères, pour cela nous avons mélangé le polypropylène avec un autre plastique qui est l'ABS.

Notre travail est réparti en cinq chapitres :

- Le premier chapitre traite des généralités sur les polymères, où on trouve des définitions sur ces derniers, le second chapitre portera sur les mélanges de polymères et leurs procédés d'élaboration. Nous citerons dans le troisième chapitre les méthodes de revalorisation des polymères usagés tel que le recyclage. La partie expérimentale sera détaillée dans le chapitre quatre où nous exposons les différentes techniques utilisées pour l'élaboration des polymères ainsi que pour leurs caractérisation.
- Le dernier chapitre est une présentation des résultats avec leurs interprétations. Enfin une synthèse du travail sera donnée dans la conclusion générale.

Présentation de l'entreprise ENIEM

Situation géographique :

E.N.I.E.M est une Entreprise Publique Économique de droit Algérien constituée le 02 janvier 1983 mais qui existe depuis 1974 sous tutelle de l'Entreprise SONELEC.

Son siège social se situe au chef lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou. Les unités de production Froid, Cuisson, et Climatisation sont implantées à la zone industrielle Aissat Idir de Oued-Aissi, distante de 7 km du chef-lieu de wilaya.

La filiale sanitaire est installée à Miliana, wilaya de Ain Defla, et la filiale lampe à Mohammadia, wilaya de Mascara.

Objet social & champ d'activité :

ENIEM est leader de l'Electroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience de plus 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager, notamment :

- Les appareils ménagers domestiques,
- Les appareils de collectivités,
- Les lampes d'éclairage,
- Les produits sanitaires.

Historique :

ENIEM est entrée en production à partir de janvier 1977 dont l'activité principale est la fabrication et la commercialisation d'appareils électroménagers.

L'Entreprise est certifiée : ISO 9001/2008 qualité et ISO 14001/2004 environnement

Organisation générale :

A partir de janvier 1998, l'Entreprise s'est réorganisée en centre d'activités stratégiques qui s'articulent autour de la restructuration du complexe d'appareils ménagers créant plusieurs unités de production et de soutien à savoir :

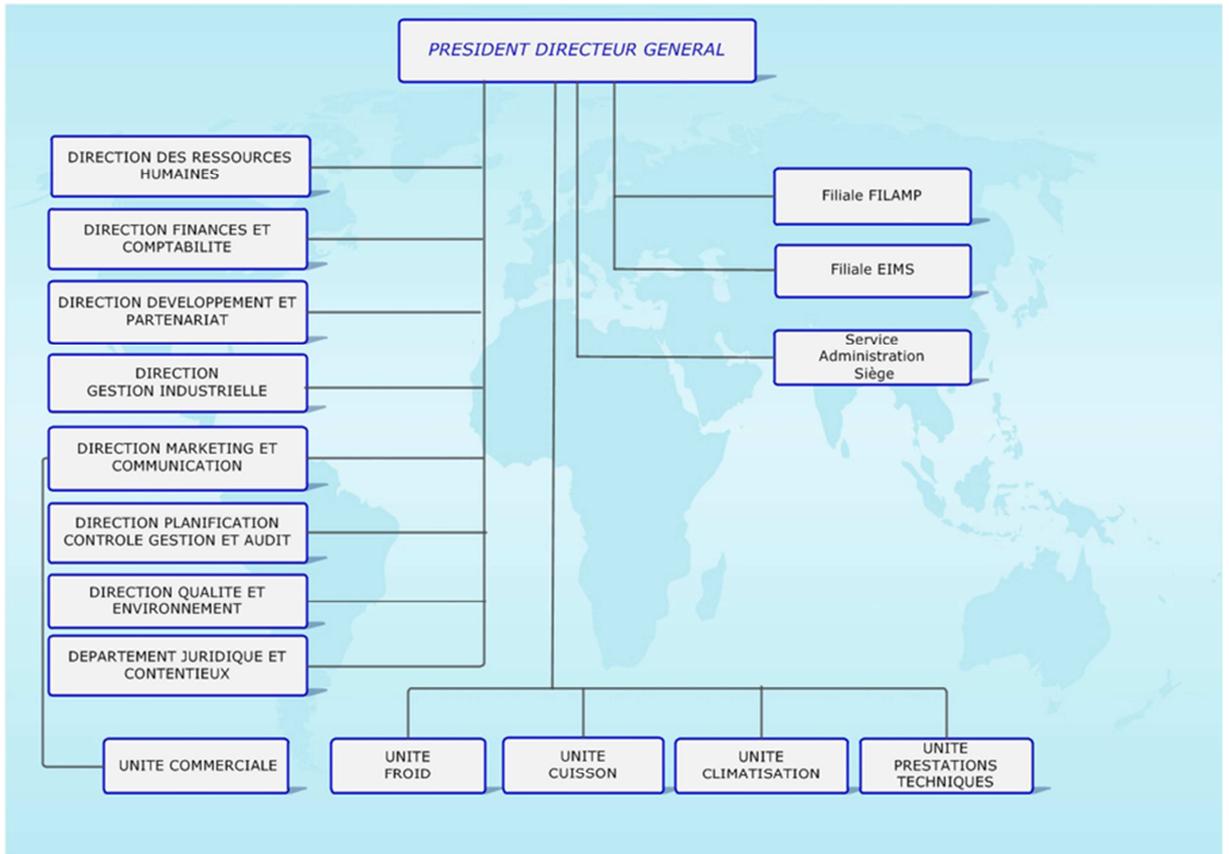


Figure : Organisation de l'entreprise

Partie théorique

Chapitre I :

Généralités sur les polymères

Chapitre I : Généralités sur les polymères

I.1. Introduction : [3]

Les travaux de Staudinger dans les années 1920 constituent la base de la science des polymères (Nobel en 1953) ou macromolécules. Flory énoncera plus tard les principes fondamentaux sur les polymères (Nobel 1974).

Pour bien mesurer l'importance des matériaux de synthèse, il faut savoir que, en volume physique, leur production annuelle mondiale a aujourd'hui largement dépassé celle des métaux. En effet, la réalisation des produits ne doit pas se mesurer en pondéral car, dans l'industrie, on ne cherche pas à fabriquer des masses mais des pièces pour réaliser des fonctions.

Comme pour l'acier, on retrouve ces matériaux dans tous les secteurs d'activité : automobile, ferroviaire, constructions navale et aéronautique, électricité, électronique, électroménager, sports et loisirs, santé, bâtiments et travaux publics (BTP), textiles, agriculture, emballage, etc. Ceci, contrairement à d'autres matériaux qui restent très focalisés sur un type d'activité : papier-carton (50 % emballage, 50 % écriture), verre (2/3 bouteille, 1/3 bâtiment), caoutchouc (2/3 pneumatiques), béton et ciment (100 % BTP).

Il faut aussi savoir que l'électricité et l'électronique, telles que nous les connaissons, n'existeraient pas sans ces matériaux qui, grâce à leurs propriétés isolantes, ont permis leur développement et leur miniaturisation. Pour le futur, on peut attendre beaucoup de la fonction inverse car en dopant certains d'entre eux on pourra créer des fonctions semi-conductrices.

I.2. Histoire du plastique : [3]

En 1832 apparaît le terme polymère défini par le chimiste scandinave Berzelius.

Vers 1839 l'Anglais Thomas Hancock et l'Américain Charles Goodyear découvrent le procédé de vulcanisation du caoutchouc en chauffant du caoutchouc naturel en présence de soufre. Le procédé industriel sera développé à partir de 1850.

En dehors du caoutchouc, les premières matières plastiques sont apparues à la fin du XIX^{ème} siècle et existaient plutôt à l'échelle artisanale qu'industrielle. Parmi ces matériaux, on peut citer ceux d'origine naturelle comme :

Le Celluloïd (toute première matière plastique, 1870) ou le nitrate de cellulose (coton-poudre ou fulmicoton, produit inflammable utilisé dans les canons).

La Galalith, littéralement « pierre de lait », obtenue à partir de la caséine du lait, et utilisée en remplacement de la corne et de l'écaille dans la fabrication de peignes, de boutons... On trouve des brevets de fabrication de colle à base de caséine dès 1873 et déjà utilisée dans l'ancienne Egypte. De façon générale, les protéines peuvent être considérées comme des polymères naturels, car constituées d'enchaînement d'acides aminés.

Feretti invente le Lannital ou fibre de lait (Brevet Feretti, 1935).

Le véritable essor de la chimie des matières plastique se fait à partir de 1920 par l'exploitation des résines formo-phénoliques. C'est la naissance de la Bakélite[®]. Il s'agit du premier polymère thermodurcissable entièrement synthétique et ouvre la voie aux résines à base de phénol.

De 1920 à 1940 se développent les résines « phénol/formol » ; l'acétate de cellulose remplace le celluloïd trop inflammable dans des applications type films photo ou cinématographique. Les premières matières thermoplastiques sont produites en grande quantité.

Wallace Hume Carothers était un chimiste américain à la compagnie DuPont. En 1935, il synthétise le nylon. La découverte fut pour la première fois commercialisée en 1938 avec un premier produit, une brosse à dent dont les poils étaient en nylon sorti la même année. En 1940 sortait un produit qui allait marquer l'histoire du nylon, les bas pour femme. En 1941, pour l'entrée en guerre des USA, le matériau utilisé pour les toiles des parachutes. Il circule de nombreuses étymologies sur l'origine du mot nylon comme celles affirmant que le nylon provient de NY (New York) et LON (London), ou encore du prénom des épouses des inventeurs.

Depuis 1970 l'industrie du plastique s'accélère et apparaissent nombreux produits comme : les fibres aramides, puis polyéthylène, thermoplastiques renforcées de fibres longues, PEEK, polymères à cristaux liquides, polyamide 4- 6, alliages de plastiques, etc.

Enfin en ce qui concerne le polypropylène la découverte a eu lieu au début des années 50. Plusieurs sociétés sont à l'origine de cette découverte : Montecatini, devenue Montedison (contribution du Professeur Giulio Natta qui a obtenu en 1963 un prix Nobel partagé avec K. Ziegler), le groupe Ziegler, et Phillips Petroleum. Ces polypropylènes sont obtenus par polymérisation à partir d'un catalyseur (dit de Ziegler/Natta).

I.3. Définitions : [1] [3]

I.3.1. Polymère :

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère, reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Le résultat est une suite d'atomes de carbone reliés entre eux et combinés à d'autres éléments (hydrogène, azote, fluor, silicium, chlore, etc.).

I.3.2. Monomère :

Le mot monomère vient du grec (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie). Chaque monomère est constitué d'atomes unis par des liaisons chimiques covalentes très fortes et confère au polymère certaines propriétés

Les monomères sont produits par les raffineries de pétrole, à commencer par leur tête de file l'éthylène $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. Cela met la chimie des polymères en aval de la pétrochimie.

I.3.3. Polymérisation :

La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules (par exemple des hydrocarbures de 2 à 10 atomes de carbone) réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées. Les molécules initiales peuvent être des monomères ou des pré-polymères ; la synthèse conduit à des polymères en présence de réactifs et de catalyseurs, et sous l'action de la chaleur et de la pression, il se forme des chaînes macromoléculaires constituées de motifs de répétition identiques (homopolymère synthétisé) ou différents (copolymère obtenu), liés de façon covalente.

Les réactions de polymérisation peuvent être classées selon deux mécanismes :

- Polymérisations par étapes : réactions ayant lieu entre des groupes fonctionnels. La majorité des polymérisations par étapes se fait par polycondensation.
- Polymérisations en chaîne : réactions ayant lieu grâce à la formation de centres actifs comme des radicaux ou des ions. La majorité des polymérisations en chaîne se fait par polyaddition.

I.3.4. Homopolymère :

$[-A-]_n$, n unités constitutives liées entre elles par des liaisons covalentes.A-A-A-A-A-A

Exemple du PVC. $(CH_2-CHCl)_n$ Il peut donner lieu à des enchaînements réguliers (tête à queue) ou irréguliers (tête à tête ou queue à queue)

« tête à queue » : ... $CH_2-CHCl-CH_2-CHCl$...

« queue à queue » : ... $CH_2-CHCl-CHCl-CH_2$...

I.3.5. Copolymère :

Les polymères sont constitués de deux (ou plus) unités constitutives nommées A, B, C etc...

– Copolymères statistiques :

A et B se répartissent en suivant une statistique. Les copolymères désordonnés (Random) font partie de cette famille.

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

– Copolymères alternés :

Les deux motifs alternent régulièrement

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

– Copolymères séquencés linéaires ou copolymères à bloc :

Chaque unité constitutive est répétée plusieurs fois de suite pour former de longues séquences

-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B : dibloc [AB]

-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-A-A-A : tribloc [ABA]

– Copolymères séquencés et greffés :

Une chaîne d'un homopolymère principal, sur lequel des chaînes secondaires d'un autre polymère sont greffées

I.3.6. Tacticité :

La tacticité ne concerne que les molécules asymétriques ; il s'agit de molécules de même formule chimique dont l'arrangement des radicaux monovalents R le long du squelette de la molécule est différent d'une chaîne à l'autre.

Le groupement R rend le monomère asymétrique ; Il y a plusieurs façons de le lier sur le squelette de la chaîne :

- Polymère isotactique : les radicaux R sont tous du même côté du plan : on a un
- Polymère syndiotactique : les radicaux R sont situés alternativement de part et d'autre du plan.
- polymère atactique : les radicaux R sont fixés au hasard, de façon aléatoire.

La perfection de la stéréorégularité des polymères synthétiques n'existe pas, on observe seulement une tendance plus ou moins grande à un type de régularité stérique.

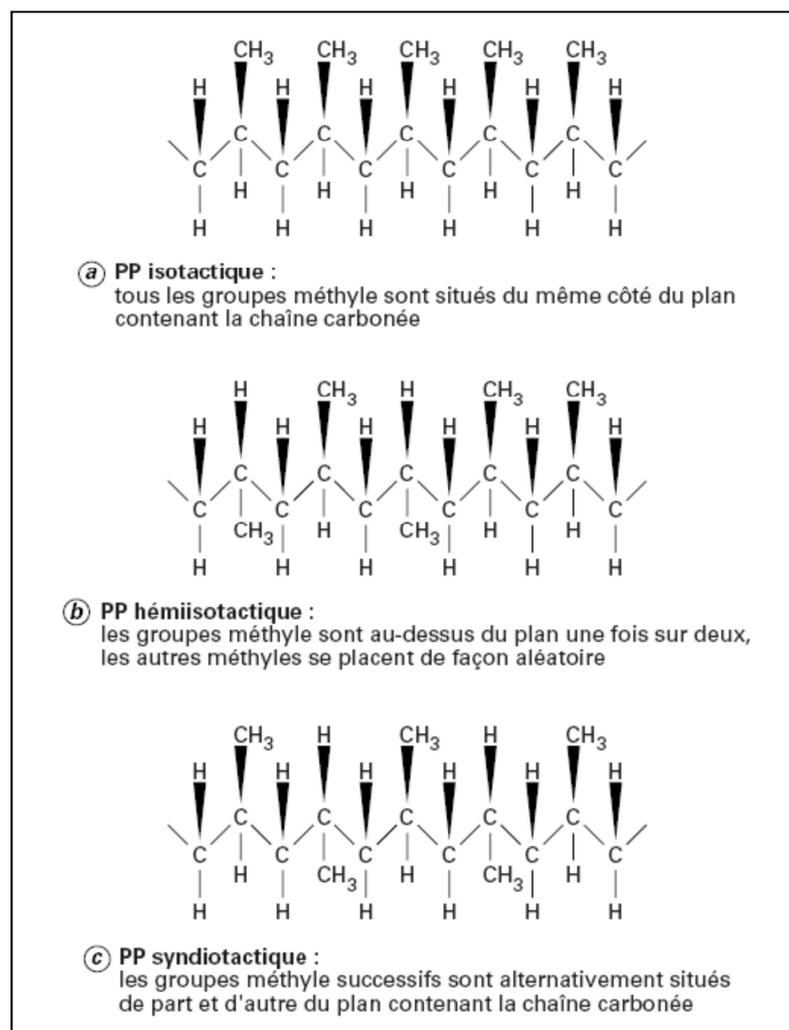


Figure I.1 : Tacticité du PP

I.4. Classification des polymères : [5] [10]

I.4.1. Classification selon le comportement thermomécanique :

Selon le comportement thermomécanique, on distingue ainsi trois grandes classes de polymères : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I.4.1.1. Les thermoplastiques :

Les matériaux thermoplastiques ou thermoplastes sont des solides généralement solubles, formés de chaînes distinctes bien compactes, liées entre elles par des seules liaisons secondaires (forces de van der Waals ou dipolaires, liaisons d'hydrogène, etc.) et mis en forme (même de façon répétitive) par chauffage et refroidissement.

Le polymère thermoplastique se ramollit lorsqu'elle est chauffée au-dessus d'une certaine température, mais qui, au-dessous, redevient dure (T_g température de transition vitreuse) Une telle matière conservera donc toujours de manière réversible sa thermoplasticité initiale. Cette qualité rend le matériau thermoplastique potentiellement recyclable (après broyage). Cela implique que la matière ramollie ne soit pas thermiquement dégradée et que les contraintes mécaniques de cisaillement introduites par un procédé de mise en forme ne modifient pas la structure moléculaire et que L'état de ramollissement permet leur déformation sous l'action de contraintes mécaniques, cette déformation étant figée par le refroidissement.

I.4.1.2. Les thermodurcissables :

Les matériaux thermodurcissables ou thermodurcis sont des solides infusibles et insolubles qui forment un réseau tridimensionnel à partir de segments moléculaires liées entre eux par une densité élevée de liaisons primaires ; les thermodurcis sont mis en forme de façon irréversible.

Les polymères thermodurcissables deviennent solides irréversiblement, le plus souvent après chauffage. La transformation s'effectue avec réaction chimique (polymérisation). Ils présentent des propriétés thermomécaniques très différentes des polymères thermoplastiques ; le réseau tridimensionnel est constitué de nœuds covalents (faisant intervenir des liaisons de haute énergie) dont la rupture est, par nature, irréversible.

Contrairement aux matières thermoplastiques, les matières thermodurcissables ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois ; les produits finis ne pourront plus être fondus (sans dégradation) par un chauffage éventuel. Les matières thermodurcissables sont donc non recyclables.

Exemples de matières thermodurcissables : celles obtenues par copolymérisation du styrène en présence d'un polyester insaturé réactif, les résines aminoplaste et époxyde, les élastomères vulcanisés, etc.

Une fois la transformation réalisée, les matériaux thermodurcissables sont typiquement rigides et leurs propriétés mécaniques dépendent peu de la température.

I.4.1.3. Les élastomères :

Les élastomères ou matériaux caoutchoutiques sont des solides souples et gonflables formés de chaînes peu compactés et très mobiles à température ambiante.

L'élasticité de ce polymère est d'origine entropique : au repos, les chaînes polymériques sont pelotonnées en désordre. Elles s'ordonnent lorsqu'on les étire, et retournent donc à l'état de pelote statistique lorsque cesse la tension.

Aujourd'hui, ces gommages ont complètement détrôné le caoutchouc naturel. Ces élastomères comprennent aussi des polyisoprène, polychloroprène, polybutadiène, et des copolymères éthylène-propylène, styrène-butadiène, ABS et SAN (styrène-acrylonitrile). Les pneus ne sont pas l'unique application. Les chaussées des routes, les bandes assujetties aux poids lourds en particulier, sont faites de mélanges d'asphalte et d'élastomères tels que le SBS (styrène-butadiène-styrène), à hauteur de 7 p. 100.

I.4.2. Classification selon la morphologie :

On peut classer les polymères selon leur morphologie microscopique en polymères amorphes et semi-cristallin.

I.4.2.1. Les polymères amorphes :

Dans la structure amorphe, les macromolécules sont flexibles et disposées sans une règle, de façon aléatoire. Elles donnent un corps assez homogène. En général, les polymères amorphes employés sans adjonction d'autres substances sont transparents. C'est le cas par

exemple des films de polyéthylène à basse densité. Mais le caractère de transparence n'est pas systématique, et inversement, il n'est systématiquement relié au caractère amorphe dans la matière. La structure amorphe correspond aussi bien à la structure des polymères à l'état fondu, qu'à celle des polymères à l'état vitreux, qui peuvent être considérés comme des liquides figés. On ne décèle aucun ordre à l'aide des rayons X, on observe un halo amorphe.

I.4.2.2. Les polymères semi-cristallins :

Pour certains polymères dont la chaîne présente les régularités de structure. Cet ordre n'est pas, celui des monocristaux, loin de là, mais il est évident que des zones se sont organisées. Corrélativement, il existe un domaine de températures restreint à une dizaine de kelvins où on observera toutes les caractéristiques d'une fusion- augmentation très rapide du volume spécifique avec absorption de chaleur, passage de l'état de solide à celui de liquide visqueux.

L'observation optique montre des zones de cristallisation plus réfringentes. La forme et la taille des zones dépendent des conditions de refroidissement et de la présence de germes hétérogènes. De nombreuses expériences indiquent que les zones cristallisées sont formées

De portion de chaînes arrangées régulièrement dans l'espace. Les chaînes peuvent être des zigzags plans régulièrement organisés comme dans le PE, ou des hélices comme dans le PP. les chaînes moléculaires sont beaucoup trop longues pour ne pas se replier hors de la zone du cristal, mais elles y entrent à nouveau de façon adjacente, ou pénètrent dans une zone voisine.

La difficulté d'organiser des chaînes très longues, leur enchevêtrement dans un échantillon liquide font que les polymères industriels présentent un degré restreint de cristallinité.

I.4.3. Classification selon la structure :

Les macromolécules sont obtenues par assemblage répétitif de motifs monomères associés, selon les conditions, en structures linéaires, ramifiées ou réticulées

I.4.3.1. Structure linéaire :

Les molécules des polymères linéaires sont formées de longues chaînes de monomères reliés les uns aux autres par des liaisons chimiques. Dans certains cas, les

monomères sont en outre organisés régulièrement dans l'espace, et le composé obtenu et partiellement cristallise ; on dit qu'il est semi-cristallin.

Dans le cas où la macromolécule est composée de la répétition d'un seul motif, ce qui résulte le plus souvent de la polymérisation d'un seul type de monomère, on parle d'homopolymère. Quand plusieurs motifs différents sont répétés, on parle de copolymère. On distingue ensuite plusieurs types de copolymères suivant l'organisation entre les différents monomères. Dans le cas le plus fréquent, on a un copolymère statistique où les différents monomères se mélangent en fonction de la réactivité et de la concentration de ceux-ci les propriétés mécaniques sont alors dans la moyenne. En revanche, dans un copolymère séquencé (anglicisme copolymère à blocs est parfois utilisé) ou copolymère alterné, il peut y avoir combinaison des propriétés mécaniques :

- copolymère statistique : ABBAAAABBBABABAABABAB
- copolymère séquencé : AAAAAAAAAABBBBBBB
- copolymère alterné : ABABABABAB

I.4.3.2. Structure ramifié :

Les polymères ramifiés se caractérisent par la présence de chaînes latérales qui sont raccordées aux chaînes principales. Faisant partie intégrante de la chaîne principale, les ramifications résultent des réactions latérales qui surviennent lors de la synthèse du polymère. Les ramifications latérales amoindrissent le potentiel de compaction d'une chaîne et, par conséquent, la masse volumique du polymère. Les polymères qui adoptent une structure linéaire peuvent aussi être ramifiés.

I.4.3.3. Structure réticulé :

Les monomères trifonctionnels, à trois liaisons covalentes actives, forment des réseaux tridimensionnels appelés polymères réticulés. Par ailleurs, les polymères comportant de très nombreuses liaisons transversales sont aussi des polymères réticulés. De tels matériaux possèdent des propriétés mécaniques et thermiques distinctives; Elles sont plus rigides et résistent mieux au fluage. Les époxydes et les phénols formaldéhydes appartiennent à ce groupe.

I.5. Caractéristiques des polymères : [9]

Le développement de l'utilisation des matières plastiques dans tous les secteurs d'activités s'explique par le fait que les polymères sont, par leur caractéristiques, en parfaite adéquation avec les applications envisagées ; chaque polymère ayant des propriétés qui lui sont propres.

Les polymères ont remplacé d'autres matériaux par leur :

- Élasticité.
- Légèreté.
- Mise en forme

I.5.1. Élasticité :

I.5.1.1. Comportement élastique :

Il correspond à de petits déplacements réversibles des atomes autour de leur position d'équilibre dans le réseau cristallin. Sous l'action d'une force, les atomes s'écartent. Une réaction due aux forces de liaison tendant à les rapprocher provoque la réaction.

Pour les polymères non étirés et non renforcés, les caractéristiques d'élasticité sont indépendantes de la direction et le comportement élastique est linéaire.

Ce n'est pas le cas pour certains polymères pour lesquels le module d'Young varie avec l'amplitude de la déformation du fait de l'orientation des chaînes macromoléculaires, ce comportement correspond à des lois d'élasticité non linéaire.

I.5.1.2. Comportement plastique :

Lorsque la limite d'élasticité est dépassée, les atomes du réseau cristallin ont changé de place sous l'action d'un effort de cisaillement.

La prise en compte des défauts du cristal, notamment des dislocations, est indispensable pour comprendre le comportement plastique.

Lorsqu'une déformation plastique est provoquée, on constate que la résistance à la déformation augmente car les dislocations interagissent entre elles et de nouvelles dislocations

prennent naissance, venant augmenter les interactions, cette augmentation de la résistance à la déformation plastique est appelé l'écrouissage.

Si on relâche l'effort qui a provoqué la plasticité, on constate un retour élastique: le domaine élastique s'étend jusqu'à la contrainte qui était appliquée précédemment, ce qui se traduit par une augmentation de la limite élastique.

Ce phénomène est limité par l'apparition de microcavités qui provoquent une diminution de la section résistante et conduisent à la rupture ductile.

I.5.2. Mise en forme :

Parmi les atouts des polymères leur facilité à la mise en forme, on dénombre plusieurs technique, dans ce qui suit on présente deux procédés utilisés à l'ENIEM : l'injection plastique et le thermoformage.

I.5.2.1. Injection plastique :

La fabrication des pièces peut se faire par une presse à injecter.

La plastification est l'opération qui permet de transformer, par apport de chaleur, plus souvent granulé, en une masse de consistance pâteuse. La matière plastique à l'état plastifié a une viscosité telle qu'elle rend possible le remplissage de moules avec les pressions disponibles sur des presses à injecter (de 400 à 2 400 bar).

La première opération consiste à mettre le moule à la bonne température. Pour des moules qui fabriquent des pièces techniques, cette température varie entre 70 et 120 °C

En enclenche la vis-piston qui se déplace vers l'avant, quand la pression arrive à la valeur qui permet de vaincre la résistance de la matière dans le nez du cylindre, le plastique pénètre dans le moule, passe par le canal d'alimentation (carotte) et commence à remplir l'empreinte

En fin de remplissage, le plastique occupe le volume total de l'empreinte, le plastique, à ce stade, est à une température élevée.

Pendant le cycle, le plastique fondu se refroidit en passant de la température d'injection (le plus souvent voisine de 200 °C ou supérieure) à une température proche de celle du moule, à laquelle l'objet devient solide.

Sous l'effet du refroidissement, l'objet atteint la température qui permet de le démouler, L'injection est terminée.

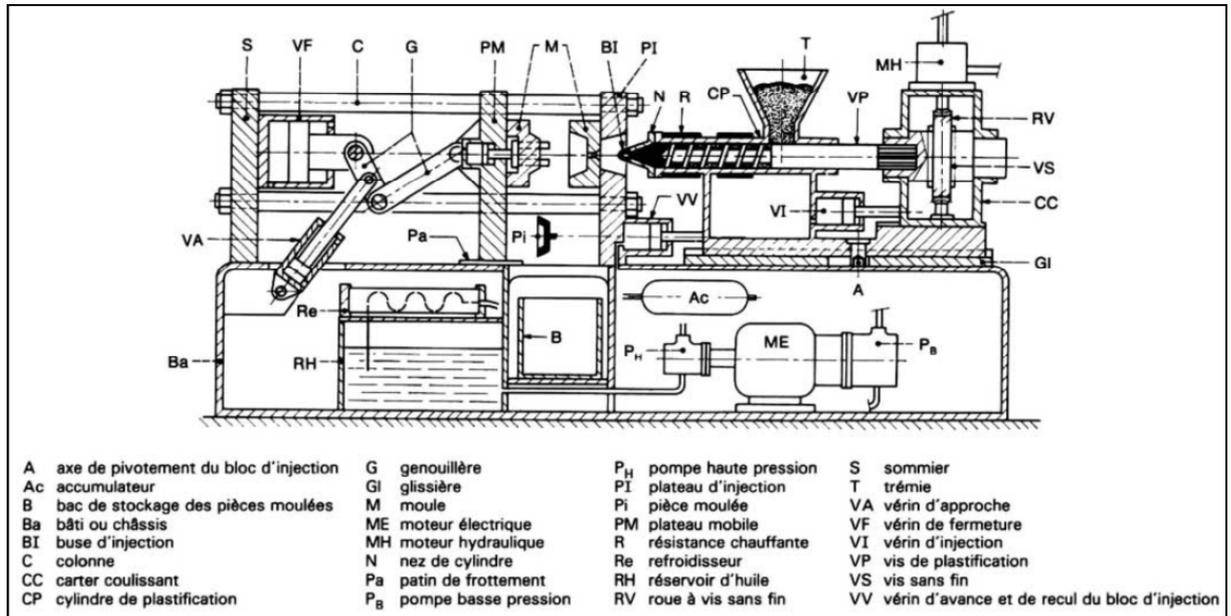


Figure I.2 : presse à injection plastique

I.5.2.2. Procédé d'extrusion :

Le procédé d'extrusion consiste à fabriquer en continu des produits finis ou des semi-produits, ou à transformer des matériaux, au sein d'un système vis/fourreau. On parle d'extrusion monovis lorsqu'il existe une vis unique, tournant au sein d'un fourreau cylindrique (cf. article [18] des Techniques de l'Ingénieur) et d'extrusion bivis lorsque l'on a affaire à deux vis, généralement parallèles, tournant à l'intérieur d'un fourreau dont la section a la forme d'un huit. Sous le vocabulaire très général d'extrusion bivis, on trouve toutefois des machines de conceptions très différentes et d'applications variées et spécifiques. Alors que les machines contrarotatives, issues des mélangeurs internes pour l'industrie du caoutchouc ou le pétrissage de la pâte, sont apparues vers les années 1880, les extrudeuses corotatives sont nées vers 1935 en Italie. Depuis cette date, cette technologie n'a cessé de se développer et connaît actuellement une progression sans précédent.

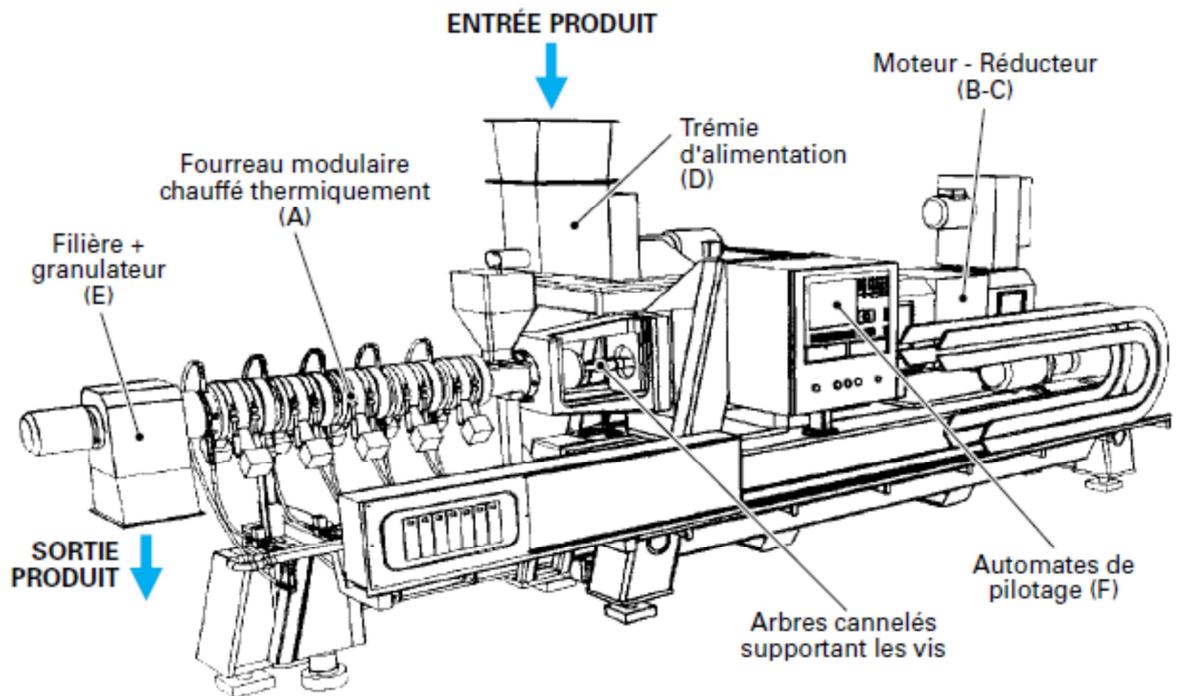


Figure I.3 : Machine à extrusion

I.5.2.3. Le thermoformage :

Le thermoformage consiste à chauffer une feuille à une température permettant sa déformation par application d'une charge sur un moule dont elle épouse la forme. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

Les matériaux ne peuvent être formés que lorsque leurs propriétés mécaniques ont chuté, dans la zone du plateau caoutchoutique pour les polymères amorphes et dans la zone de la température de fusion pour les semi-cristallins (entre 150 et 165°C pour le PP)

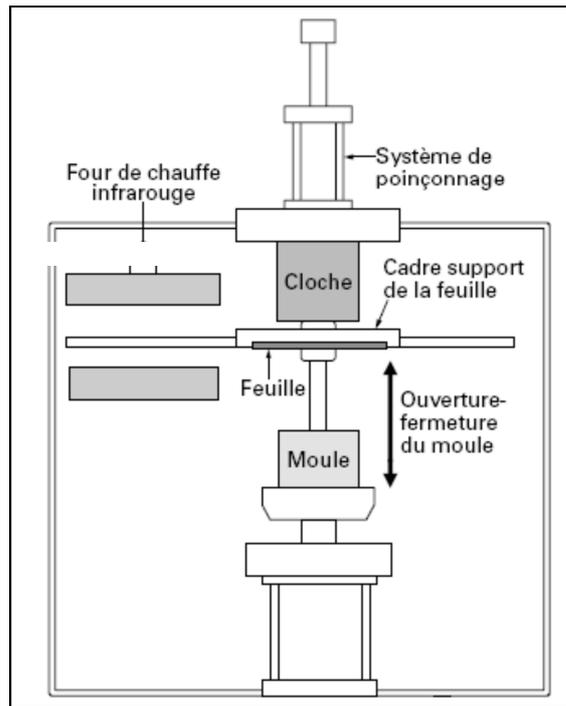


Figure I.4: Thermoformage

I.6. Propriétés des polymères :

I.6.1. Propriétés physique :

I.6.1.1. Masse volumique :

La masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.

Elle est généralement notée par les lettres grecques ρ (rhô)

Elle est déterminée par le rapport :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{I.1}$$

où m est la masse de la substance homogène occupant un volume V .

L'unité de mesure de la masse volumique $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ou $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

La masse volumique varie selon plusieurs paramètres. Elle dépend notamment de la température.

I.6.1.2. Indice de fluidité :

Indice de Fluidité (IF) ou Le Melt Flow Index (MFI), est une méthode communément utilisée dans l'industrie des plastiques pour la caractérisation des matériaux thermoplastiques, surtout les polyoléfinés. Elle permet d'estimer leur extrudabilité, par ailleurs elle renseigne sur la masse moléculaire moyenne de l'échantillon

L'appareil est essentiellement un plastomètre à extrusion à poids, la masse est écoulee à travers une filière cylindrique d'une matière thermoplastique à l'état fondu, dans des conditions définies de température et de pression, ensuite on mesure la masse écoulee pendant un temps donné (valeur du débit massique exprimée en g/10 min).

I.6.2. Propriétés thermiques

I.6.2.1. Température de fusion

Le point de fusion ou la température de fusion d'un corps représente la température à une pression donnée, à laquelle un élément pur ou un composé chimique fond c'est-à-dire passe de l'état solide à l'état liquide.

Il est possible de déterminer la nature d'une substance (identification) par la mesure de sa température de fusion. C'est pourquoi la température de fusion est une propriété caractéristique de la matière.

Tableau I.1 : Température de fusion et d'utilisation de quelques polymères

Type	Sigles	Point de fusion	Température d'utilisation
Acrylonitrile butadiène styrène	ABS	130 °C	60 °C / -35 °C
Polyamide 6	PA6	220 °C	100 °C / -40 °C
Polycarbonate	PC	230 °C	135 °C / -60 °C
Polyester thermoplastique	PET	255 °C	100 °C / -20 °C
Polyester thermoplastique transparent	PETG	255 °C	150 °C / -20 °C
Polyétheréthercétone	PEEK	220 °C	(250 °C)? / -60 °C
Polyéthylène basse densité	PEBD	~ 100 °C	70 °C / ?
Polyéthylène haute densité 300	PEHD	130 °C	80 °C / -100 °C
Polypropylène	PP	163 °C	100 °C / -10 °C
Polystyrène	PS	160 °C	60 °C / -10 °C
Polychlorure de vinyle	PVC	125 °C	60 °C / -10 °C

I.6.2.2. Température de ramollissement Vicat

Le point de ramollissement Vicat ou la dureté Vicat indique, par la mesure d'un enfoncement de 1 mm d'une aiguille donnée, la température à laquelle la résistance mécanique d'une matière thermoplastique devient insuffisante. Le point Vicat est lié à la résistance du matériau. Le dispositif est appelé appareil de Vicat.

I.6.3. Propriétés mécaniques :

I.6.3.1. Contrainte au seuil d'écoulement en traction :

La limite d'élasticité est la contrainte à partir de laquelle un matériau arrête de se déformer d'une manière élastique, réversible et commence donc à se déformer de manière irréversible.

Pour un matériau fragile, c'est la contrainte à laquelle le matériau se rompt, notamment du fait de ses micro-fissures internes.

Pour un matériau ductile, les déformations subies au-delà de la limite d'élasticité restent permanentes, ce sont des déformations plastiques. Elles se mesurent ou se vérifient habituellement à l'aide d'un essai de traction.

I.6.3.2. Résistance à la rupture

La résistance à la traction, ou charge maximale, est définie par la contrainte σ_m correspondant à la contrainte maximale sur de la courbe de traction. Cette valeur est en général différente de la charge à la rupture à cause du phénomène de striction. Pour des applications pratiques, c'est la résistance à la traction σ_m qui est couramment utilisée et qui caractérise la résistance d'un matériau.

I.6.3.3. Allongement à la rupture :

L'allongement à la rupture noté A% est une caractéristique sans dimension des matériaux. Elle définit la capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre lorsqu'il est sollicité en traction.

Un allongement à la rupture élevé caractérise un matériau ductile, par contre un allongement à la rupture faible caractérise un matériau fragile.

I.6.3.4. Module de Young en traction :

Le module d'Young ou module d'élasticité (longitudinale) ou encore module de traction est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et le début de la déformation d'un matériau élastique isotrope.

I.6.3.5. Résistance au choc :

La résistance au choc mesure la résistance du matériau à la rupture brutale, deux essais sont fréquemment utilisés : Charpy et Izod, donne une valeur en quantité d'énergie dissipé (joule).

I.6.3.6. Dureté :

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon

Il existe une grande variété d'essais de dureté possibles, ils sont très utilisés en contrôle qualité pour comparer ou estimer la résistance ou la rigidité des matériaux.

I.7. Principaux polymères : [1] [7]**I.7.1. Polypropylène (PP)****I.7.1.1. Présentation**

Le polypropylène (PP) est, comme le polyéthylène (PE), le poly (chlorure de vinyle) (PVC) et le polystyrène (PS) un thermoplastique de grande diffusion. Sa production représente plus du cinquième de la production totale des matières plastiques.

Le polypropylène est un semi-cristallin, c'est-à-dire qu'une partie seulement des chaînes est impliquée dans l'arrangement cristallin. Le reste forme une partie amorphe. La structure la plus fréquente consiste en l'alternance de lamelles cristallines dans laquelle les chaînes d'axe perpendiculaire à la lamelle sont repliées sur elles-mêmes et de zones interlamellaires amorphes. Dans le refroidissement à partir du fondu, les lamelles s'organisent en superstructures appelées sphérolites

Son développement exceptionnel au cours des dernières décennies est dû à une amélioration constante des procédés industriels de fabrication, à ses propriétés intéressantes dont sa température de fusion (130 à 170 °C), à la possibilité de faire varier largement ses propriétés en le copolymérisant de différentes manières et en lui ajoutant charges et renforts.

I.7.1.2. Propriétés :

Tableau I.2 : Propriétés du PP

Propriété	valeur
Propriétés physiques	
Masse volumique (kg • m ⁻³)	900 à 910
Indice de fluidité à chaud à 230 °C sous 2,16 kg (g/10 min)	1 à 55
Propriétés thermiques	
Température de fusion (°C)	160 à 170
Température de ramollissement Vicat, sous 1 kg (°C)	150 à 155
Température maximale d'utilisation (°C)	100
Propriétés mécaniques	
Contrainte au seuil d'écoulement en traction (MPa)	32 à 38
Résistance à la rupture (MPa)	31 à 42
Allongement à la rupture (%)	100 à 600
Résistance en flexion (MPa)	42 à 58
Module de Young en traction. (MPa)	1 200 à 1 700
Résistance au choc (Izod) à 23 °C (3) (kJ/m ²)	2,5 à 6
Dureté Shore D	72 à 74

Deux facteurs influencent les propriétés des polymères la masse molaire et cristallinité, dans le cas du PP l'influence de ces deux facteurs est présentée dans le tableau suivant.

Tableau I.3 : Influence des paramètres structuraux sur les propriétés du PP

Propriétés	Variation des propriétés	
	Cristallinité	Masse molaire
Température de fusion	↗	→
Température de ramollissement Vicat	↗	→
Résistance en traction	↗	↗
Module de Young	↗	→
Résistance au choc	↘	↗
Perméabilité aux gaz	↘	→
Indice de fluidité à chaud (IF)	→	↘
Viscosité à l'état fondu	→	↗
augmente ↗ varie peu → diminue ↘		

I.7.1.3. Applications

Les propriétés spécifiques des PP et leur prix leur ont ouvert des domaines très variés d'applications dans l'emballage, l'industrie automobile, l'électroménager, l'ameublement, le bâtiment et l'industrie textile.

L'injection concerne 67 % des utilisations du polypropylène et il y a peu de secteurs qui ne soient pas concernés.

Le polypropylène est utilisé dans presque tous les secteurs et en particulier dans l'emballage, l'industrie automobile, l'électroménager, le sanitaire et le textile

Il est imperméable aux liquides et aux gaz, ce qui en fait le plastique de choix pour des bouteilles de sodas.

Dans l'industrie automobile on exploite les propriétés du polypropylène dans de nombreux domaines depuis les réservoirs de liquides divers aux tapis de sols. En injection, on réalise de nombreuses pièces intérieures comme les planches de bords et autres aménagements de l'habitacle. Les enveloppes de batteries sont également en polypropylène. Les pare-chocs représentent l'application extérieure la plus massive.

I.7.2. ABS :

Le matériau ABS est biphasé (structure complexe), fabriqué en mélangeant un copolymère styrène-acrylonitrile avec un matériau élastomère à base de polybutadiène.

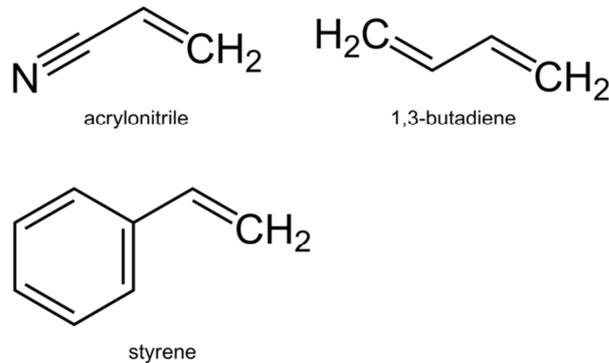


Figure I.5 : monomères de l'ABS

Il montre une bonne résistance aux chocs jusqu'à $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, il est opaque du fait de l'influence du butadiène.

La résistance aux chocs est principalement en fonction du taux de caoutchouc

En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration (il est facilement colorable), l'ABS est beaucoup utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs tels que l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique et le jouet.

Tableau I.4 : Principales propriétés mécaniques des ABS

Propriétés	valeur
Propriétés en traction	
Contrainte à la limite élastique (MPa)	30 à 60
Allongement à la limite élastique (%)	> 2
Résistance à la rupture (MPa)	25 à 40
Allongement à la rupture (%)	15 à 60
Module d'Young (GPa)	1,6 à 2,6
Propriétés en flexion	
Résistance en flexion (MPa)	45 à 78
Module de flexion (GPa)	1,7 à 2,8
Résistance au choc	
Choc Charpy entaillé (kJ/m ²)	6 à 25
Choc Izod (kJ/m)	10 à 45
Choc multiaxial (J)	10 à 65
Dureté Brinell (MPa)	70 à 115

I.7.3. Autres polymères

On dénombre plusieurs polymères de base, dans ce qui suit nous traitons que les plus utilisés sur le marché.

I.7.3.1. Polyéthylène (PE) :

Le terme « polyéthylène », désigne toute une famille de polymères, tous de même constitution chimique $(-CH_2-)_n$. Mais ils diffèrent, suivant que la chaîne est linéaire ou branchée, suivant que ces branches sont courtes ou longues, disposées régulièrement ou pas au long de la chaîne... De même que des spaghettis crus sont emballés de façon dense, des chaînes polymériques linéaires peuvent se disposer parallèlement, en des empilements compacts, pour réaliser du PE haute-densité ($> 940 \text{ kg/m}^3$). De bonnes résistances mécanique, opaque et dur, fondant vers $135 \text{ }^\circ\text{C}$, il sert à faire des récipients pour le lait ou les détergents, ou encore les ordures ménagères. Au contraire, des chaînes très ramifiées et désordonnées caractérisent le PE-basse densité ($910\text{-}925 \text{ kg/m}^3$). Ce dernier, plus ductile et flexible, imperméable à la vapeur d'eau mais absorbant les huiles en s'amollissant, au point de fusion

d'environ 115-120 °C, oxydable au soleil, est la matière des sachets en plastique et d'enveloppes transparentes pour aliments. Entre ces deux types, le PE moyenne-densité (926-940 kg/m³) a des applications très diverses. Trois ou quatre autres variantes, de diverses densités, coexistent avec ces trois formes. On les obtient à volonté, par le choix du catalyseur de polymérisation : chrome-silice, Ziegler-Natta (halogénures de titane + organoaluminiques) ou métallocènes, introduits en 1976 par Walter Kaminsky (né en 1941) et Hansjörg Sinn (né en 1929).

I.7.3.2. Polychlorure de vinyle (PVC) :

Ce polymère thermoplastique, mis en forme par extrusion, eut un rôle primordial dans l'avènement des plastiques au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. Aux utilisations multiples, il prédomine néanmoins dans le bâtiment, sous sa forme rigide : des tuyaux d'évacuation d'eau aux toits ondulés. Le PVC, dont la production est un indicateur de l'activité économique, est produit à une trentaine de millions de tonnes annuelles. L'addition de chlore à l'éthylène fournit le dichloréthylène. Ce dernier forme à son tour, par élimination d'acide chlorhydrique, le chlorure de vinyle. Ce monomère est toxique (cancers du foie). La polymérisation s'effectue surtout par suspension du monomère en milieu aqueux. Ce polymère fut découvert accidentellement en 1838 par Henri Victor Regnault (1810-1878), puis en 1872 par Eugen Baumann (1846-1896).

I.7.3.3. Polystyrène (PS) :

On doit à Hermann Mark et Carl Wulff, de la BASF (1930), la fabrication industrielle du monomère par addition de l'éthylène au benzène, donnant l'éthylbenzène qui, par déshydrogénation, fournit le styrène. Cette découverte accompagna l'introduction de la notion de macromolécule par Hermann Staudinger. Ce polymère présente l'avantage, du fait de la stabilité du cycle benzénique, d'une inflammabilité réduite. Ayant un module de Young élevé (3 GPa), il n'a qu'une faible résistance à l'étirement. Sa production mondiale est d'une vingtaine de millions de tonnes par an.

I.7.3.4. Polycarbonates (PC) :

Leur découverte date de 1898 (Günther Einhorn). Ce sont des thermoplastiques. La plupart dérivent du bisphénol A, molécule sur la sellette pour son action parahormonale sur

les organismes. Ce sont des esters de l'acide polycarbonique linéaire : le motif structural $(-O-(C=O)-O-)$ est répété, intercalé entre divers groupements fonctionnels. On observe une exceptionnelle stabilité dimensionnelle. L'allongement à la rupture est de l'ordre de 100 p. 100. La résistance au choc de ces matériaux est excellente, dans une large gamme de températures, de -20 à $+140$ °C. Leur très grande transparence en fait d'excellents substituts du verre dans nombre d'applications : lunettes et lunettes de soleil, CD et DVD, lentilles de caméras à infrarouge, fenêtres de phares automobiles. Solubles dans les solvants organiques, ils sont attaqués aussi par les acides concentrés. Ils se prêtent à des mélanges avec d'autres polymères, tels que les ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène). Un autre type de polycarbonate, non dérivé du bisphénol A, fournit par réticulation des résines encore plus dures, idéales pour la confection de verres de lunettes à l'indice de réfraction supérieur à celui du verre – combinant donc faible épaisseur et grande légèreté.

I.7.3.5. EPM et EPDM :

Ce sont des copolymères d'éthylène et de propylène, ces deux monomères seulement pour les EPM, donc des molécules saturées, et un troisième comonomère diénique pour les EPDM (ethylene-propylene diene monomer rubber, ou élastomère monomère diène éthylénique-propylénique). Ce comonomère peut être l'éthylidène norbornène, l'hexadiène 1-4, le dicyclopentadiène.

Ces caoutchoucs peuvent absorber une énorme quantité d'huile (jusqu'à 75 %) ; cela permet de leur incorporer beaucoup de charges. Le produit final pourra contenir deux parts d'huile et trois parts de charge pour une part de polymère.

La mise en œuvre par calandrage, moulage, extrusion ne pose pas de problèmes, mais le collant à cru est mauvais.

Les seuls solvants hydrocarbonés détériorent ces caoutchoucs dont la nature chimique est voisine ; en revanche ils résistent bien aux solvants polaires, aux acides et aux bases. La résistance à l'ozone est bonne et la tenue à la chaleur excellente (160 °C). La tenue au froid est bonne car la transition vitreuse est au-dessous de -50 °C.

Les caractéristiques mécaniques se maintiennent même pour des taux de polymère peu élevés dans le mélange, ce qui est un bon argument économique de leur emploi. L'industrie automobile fait un large usage de ces élastomères pour les tubulures et les joints divers, y compris cellulaires ; le bâtiment utilise des profilés d'étanchéité et des joints de canalisations.

Dans différentes industries on trouve des tuyaux d'incendie, d'air comprimé, de transport de produits chimiques, etc.

Chapitre II :

Mélange des polymères

Chapitre II : Les mélanges de polymères

II.1. Introduction : [11]

L'intérêt porté depuis ces vingt dernières années aux mélanges de polymères provient du fait qu'ils constituent un moyen peu onéreux de réaliser de nouveaux matériaux offrant des propriétés intermédiaires et parfois même supérieures à celles de leurs constituants, en partant de monomères et de polymères facilement accessibles.

La principale difficulté rencontrée dans la préparation des mélanges de polymères aux propriétés intéressantes, est la non miscibilité quasi-générale des polymères de structure chimique différente.

II.2. Mélange de polymères :

II.2.1. Morphologies des mélanges de polymères : [11]

L'optimisation des possibilités d'application des mélanges de polymères passe nécessairement par le contrôle de leur morphologie finale. Les principales morphologies rapportées à l'échelle macroscopique dans la littérature sont finalement assez bien résumé sur les illustrations de la Figure 2-1. A cette échelle, la morphologie globale d'un mélange de deux polymères 1 et 2 pourrait se limiter à l'une des trois possibilités suivantes :

- une morphologie particulière où le polymère 1 est dispersé au sein du polymère 2,
- une morphologie bicontinue où les phases 1 et 2 sont interconnectées,
- une morphologie particulière, mais correspondant cette fois à la dispersion du polymère 2 dans le polymère 1.

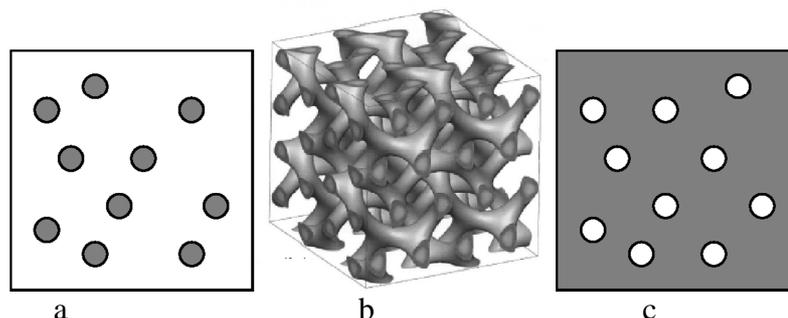


Figure II.1 Morphologies des mélanges

II.2.2. Etat de miscibilité : [11]

Toute étude de la miscibilité d'un mélange de polymères va finalement permettre de classer le système considéré dans l'une des trois catégories suivantes :

- les polymères sont non miscibles, quelles que soient leurs proportions relatives et la température considérée,
- les polymères sont miscibles en toutes proportions sur tout le domaine de température où ils sont stables,
- les polymères sont partiellement miscibles : selon les conditions (température, composition), l'état thermodynamiquement stable correspond soit à l'existence d'une phase unique homogène, soit à l'existence de deux phases distinctes, dont chacune est enrichie en l'un des deux constituants.

Tableau II 1 : compatibilité de polymère

		Matière mélangé											
		ABS	PC	PMMA	PS	PVC	SAN	PA	PBT	PE	PET	POM	PP
matière de la matrice	ABC	-	3	3	2	2	3	0	1	0	1	1	0
	PC	3	-	3	0	1	3	0	3	0	3	0	0
	PMMA	3	3	-	1	3	3	0	0	0	0	1	0
	PS	2	0	1	-	0	2	1	0	0	1	0	0
	PVC	2	1	3	0	-	3	0	0	0	0	0	0
	SAN	3	3	3	2	3	-	0	0	0	0	0	0
	PA	0	0	0	1	0	0	-	1	0	1	0	0
	PBT	1	3	0	0	0	0	1	-	0	0	0	0
	PE	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	3
	PET	1	3	0	1	0	0	1	0	0	-	0	0
	POM	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-	0
	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-

Légende :(3) : compatible; (2) : compatibilité limitée; (1) : compatibilité en petites quantités; (0) : incompatible.

le mélange PP/ABS est incompatible d'après le tableau.

II.2.3. Compatibilisation d'un mélange de polymères : [11]

Les mélanges miscibles ne constituent qu'une minorité des cas rencontrés. Leur intérêt principal est qu'ils permettent d'étendre la fenêtre d'utilisation des homopolymères qui les

composent. Les mélanges de polymères non miscibles sont beaucoup plus fréquents ; ils se caractérisent par une structure multiphasique. Ces mélanges sont généralement incompatibles, du fait de l'absence d'interactions favorables entre les chaînes de polymères constitutifs.

Les méthodes d'amélioration de l'adhésion entre les phases, impliquent l'ajout d'un tiers-corps qui assure le contrôle et la stabilisation de la morphologie par réactions ou interactions entre fonctions ou sites actifs sur chacune des phases en présence.

II.3. Charges : [6] [8]

II.3.1. Définition :

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé.

Comme les plastifiants, les charges se distinguent des autres adjuvants par un taux d'incorporation beaucoup plus élevé; par un mode d'action plutôt physico-mécanique que chimique, au sein de la résine.

II.3.2. Incorporation des charges :

En règle générale, le polymère préalablement synthétisé subit une nouvelle fusion pour permettre l'incorporation et la dispersion des charges.

Dans la plupart des cas, on peut utiliser des mélangeurs rapides à chaud, parfois même des mélangeurs à cylindres. On pourra, par exemple, effectuer le mélange de la charge et du polymère en présence d'un agent mouillant dans un mélangeur à tonneau ou à ruban, puis procéder à l'extrusion du mélange pour obtenir des joncs débités en granules. Le plus souvent, la mise en œuvre des matières thermoplastiques chargées sera effectuée à partir de ces granules prêts à l'emploi, contenant le polymère et la charge (et éventuellement d'autres adjuvants).

II.3.3. Nature et caractéristiques des charges :

Pour un polymère donné, le choix d'une charge est déterminé en fonction des modifications recherchées pour l'objet fini. Mais, d'une manière générale, les substances utilisables comme charges des matières plastiques devront d'abord satisfaire à un certain nombre d'exigences énoncées ci-après :

- Compatibilité avec la résine de base : non-toxicité, absence de coloration ou d'impuretés gênantes, neutralité et inertie chimiques, stabilité à la chaleur et à la lumière, faible absorption d'eau, aucune influence sur la stabilité du polymère ou sa couleur.
- Mouillabilité : bonne répartition des poudres dans la matrice polymérique ou adhérence des fibres à la résine de base.
- Uniformité de qualité et de granulométrie.
- Faible action abrasive sur l'outillage de mise en œuvre.
- Bas prix de revient (sauf pour des applications bien spécifiques de haute performance : pour l'industrie aéronautique, par exemple).

On distingue différents types de charges :

- Charges organiques naturelles tel l'amidon qu'on obtient à partir de graines de céréales, utilisés pour obtenir des plastiques biodégradables.
- Charges organiques synthétiques par addition de matières thermoplastiques finement divisées, telles que du polyéthylène à un taux compris entre 1 et 2 %. Les petites particules caoutchoutiques introduites agissent, en cas de choc, comme absorbeurs d'énergie dispersés dans la matrice, c'est le cas du polystyrène choc.
- Charges minérales tel le carbonate de calcium CaCO_3 (§ II.2.4).
- D'autres charges comme les oxydes et les poudres métalliques, le carbone etc.

II.3.4. Carbonate de calcium CaCO_3 :

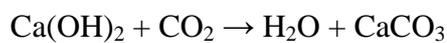
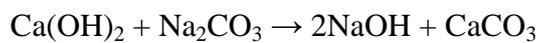
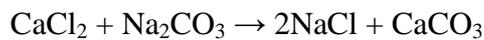
Les carbonates de calcium CaCO_3 existent sous deux formes cristallines : calcite et aragonite

Tableau II.2 : Propriétés physico-chimiques des deux formes cristallines de CaCO_3

propriétés	Calcite	Aragonite

Réseau cristallin	rhomboédrique	orthorhombique
Densité	2,71	2,93
Dureté Mohs	3,0	3,5
Forme	Stable	Transformée en calcite par chauffage

Le carbonate de calcium précipité est un mélange pratiquement pur à 99,00 % de calcite et d'aragonite, obtenu sous forme de particules très fines (0,05 à 16 µm). Il est préparé par voie chimique suivant les différentes réactions ci-après :



Il est souvent traité par des acides gras, pour ses applications dans les plastiques.

Il est surtout utilisé avec le PVC et dans les matières thermodurcissables ainsi que les polyuréthanes en raison de son caractère hydrophobe.

Pour le polyéthylène, on emploie de plus en plus des carbonates de calcium de granulométrie fine et traités superficiellement (feuilles, corps creux, câbles), de même pour le polypropylène (feuilles d'emboutissage, pièces moulées, fibres, bandelettes).

Des études de photovieillissement accéléré, effectuées sur des PP et PEHD sous forme de films minces, ont montré que CaCO_3 ne modifie pas le photovieillissement des polyoléfinés et qu'il est compatible avec les principaux photostabilisants.

Par addition de CaCO_3 dans du polystyrène choc, on améliore l'aptitude à l'emboutissage et l'on économise les agents de nucléation destinés à améliorer la transparence. Il en est de même pour le polypropylène.

Le taux d'incorporation varie entre 5 et 33% (en masse).

En général, l'ajout de CaCO_3 améliore la brillance ainsi que la résistance mécanique et facilite l'extrusion.

Tableau II.3 : Propriétés physico-chimiques du CaCO_3

Propriétés	CaCO ₃
Eau de constitution	< 2,0 %
Densité	2,60 à 2,75
Dureté Mohs	3,0
Température de fusion (°C)	900
Indice de réfraction	1,49
Couleur	blanc
Forme	prismatique granulaire
Taux d'humidité	< 0,2 %

II.3.5. Autres charges

II.3.5.1. Plastifiant :

C'est un composé organique dont le rôle est d'améliorer la mobilité des chaînes moléculaires, d'abaisser la viscosité, lors du moulage, ce qui peut avoir pour effet ultérieur d'augmenter la tenue au choc et l'allongement à la rupture de la pièce fabriquée.

II.3.5.2. Additif anti-retrait :

Essentiellement utilisé pour les résines polyester dont le retrait important à la polymérisation peut créer des fissures ou contraintes internes, sinon des défauts d'aspect de surface, c'est un produit souple, poudre de polyéthylène par exemple, où la déformation de chaque grain compense le retrait de la résine.

II.3.5.3. Lubrifiant et agent de démoulage :

Ce sont des stéarates et cires diverses, sous forme de lubrifiant interne incorporé à la matière, dont le rôle est d'améliorer la malléabilité de celle-ci au moulage (un peu comme les plastifiants) ou de lubrifiant externe qui migre à la surface pour éviter que la matière ne colle sur le moule. Les agents de démoulage sont des produits similaires que l'on applique directement sur la surface du moule.

II.3.5.4. Stabilisant thermique:

Son rôle est de prévenir les dégradations susceptibles d'apparaître à la suite des traitements thermiques subis par les matériaux au cours de leur mise en œuvre. Ils participent également au maintien de leur couleur. Ce sont souvent des sels métalliques.

II.3.5.5. Antioxydant et anti-UV :

Ce sont des composés organiques ou organo-métalliques qui améliorent la résistance à l'oxydation et au rayonnement solaire.

II.3.5.6. Ignifugeant :

Sous forme de charge (hydrate d'alumine, borate de zinc, etc.) ou sous forme d'additif (ester phosphorique, paraffine chlorée, etc.), sa fonction est d'améliorer la résistance du polymère à la combustion. Selon leur nature, l'action consiste à absorber l'énergie de combustion par une réaction de dégradation endothermique, ou à créer des produits de dégradation inhibant la combustion (eau, gaz carbonique), voire à créer une couche de matière difficilement inflammable en surface (carbonisation).

II.3.5.7. Agent gonflant :

Son rôle consiste à créer des alvéoles lors de la mise en œuvre du polymère de manière à obtenir une mousse souple ou rigide. Il est incorporé à la matière et se dégrade en créant un gaz à partir d'une certaine température.

II.3.5.8. Additif biodégradable :

Les préoccupations écologiques et l'accroissement important de l'emploi des plastiques développent une nouvelle catégorie d'additif dont le rôle est de rendre biodégradable le polymère en fin de vie. Son action consiste le plus souvent à fragmenter la matière par rupture de chaîne moléculaire.

II.4. Colorants : [2]

II.4.1. Définition :

Les polymères sont, par nature, peu ou pas colorés. La coloration participe à la mise en valeur d'un objet. Elle peut servir aussi de repérage (pour différencier la densité des mousses souples de polyuréthanes, par exemple). La coloration permet également d'améliorer la signalisation (travaux routiers, par exemple) et peut aussi assurer le camouflage.

« Matières colorantes » est la dénomination commune des pigments et colorants. Elles se divisent en deux grands groupes. On distingue :

- les colorants, noir ou de couleur, solubles dans les solvants et les substrats et présentés sous forme de poudre ;
- les pigments blanc, noir et de couleur insolubles dans les solvants et les substrats. On distingue les pigments minéraux et les pigments organiques. Ils sont présentés également sous forme de poudre.

II.4.2. Identification :

Le Colour Index CI est un moyen systématique d'identifier une matière colorante et sa formule chimique. Ce système de codification est connu de manière universelle, qui a attribué à chaque composé chimique utilisé en coloration une dénomination composée de lettres suivies de chiffres, quelque soit le fabricant.

Identification d'une matière colorante par CI

La première lettre du CI est la catégorie :

- P (Pigment), pour les pigments ;
- S (Solvant), pour les colorants.

La seconde lettre du CI est la nuance, soit l'indication de couleur :

B (blue) : bleu ; Bl (black) : noir ; G (green) : vert ; O (orange) : orange ; – R (red) : rouge ; Y (yellow) : jaune ; V (violet) : violet ; W (white) : blanc.

Le numéro d'ordre est le numéro d'inscription chronologique de dépôt des nouvelles formules chimiques.

Pigment	Red	57:1
↓	↓	↓
P	R	57:1
catégorie	couleur	Identification chronologique

Soit, en abrégé: PR 57:1, indique le sel de calcium

II.4.3. Classification :

II.4.3.1. Pigments minéraux :

Ce sont des sels minéraux stables. Ils ont été les premiers à être utilisés, car on les trouve en quantité importante sur notre planète sous forme d'oxydes métalliques ou de dérivés chimiques tels que sulfates, chromates, aluminates, silicates, etc.

II.4.3.2. Pigments organiques :

Ce sont des composés organiques insaturés et aromatiques qui sont utilisés comme colorants.

Ils peuvent être classés en deux groupes majeurs :

- les pigments azoïques ;
- les pigments polycycliques.

II.4.3.3. Colorants solubles :

Ils sont utilisés pour colorer les matières plastiques transparentes comme le polystyrène cristal, le polycarbonate, le PMMA, le PET. Presque tous sont des dérivés anthraquinoniques. Ils ont de très bonnes résistances à la chaleur (de 260 à 300 °C) et des solidités à la lumière, de bonne à moyenne.

II.4.4. Préparations pigmentaires :

La coloration à partir de pigments purs (coloration à sec) est une opération délicate qui se traduit souvent par des irrégularités de nuances et toujours par un poussiérage très salissant

pour le matériel et l'environnement. C'est pourquoi les transformateurs de matières plastiques utilisent souvent des préparations pigmentaires :

- les préparations pigmentaires solides sont appelées mélanges maîtres ;
- les préparations pigmentaires liquides sont appelés colorants liquides.

Les mélanges maîtres sont des concentrés solides dans le polymère de base qui sert alors de liant ou de support, le colorant 204 PE de l'ENIEM en fait parti.

Les colorants liquides sont des liquides plus ou moins visqueux dans les quels les pigments sont dispersés finement sous forme concentrée dans un support compatible avec la plupart des thermoplastiques.

II.4.5. Propriétés du mélange polymère-colorant :

II.4.5.1. Résistance mécanique :

En c'est concerne les polymères amorphes elle ne pose pas, en général, de problèmes concernant les résistances mécaniques. Les molécules de pigments sont emprisonnées dans le réseau macromoléculaire sans modification de ce réseau.

Par contre dans le cas des polymères semi-cristallins, deux cas peuvent se produire :

- la coloration est uniquement réalisée à partir de pigments minéraux ; dans ce cas, il ne doit pas y avoir de problème majeur puisque les pigments sont également cristallins ;
- la coloration s'effectue avec des pigments organiques ; l'ordre du réseau cristallin est généralement modifié à un point tel que les résistances mécaniques (ou les contraintes internes) sont modifiées. En particulier, le retrait, le gauchissement, le module de flexion et le « stress cracking » sont détériorés. C'est le cas des bleus et des verts de phtalocyanines.

II.4.5.2. Résistance thermique :

Dans l'industrie des matières plastiques, il est nécessaire que la matière colorante résiste sans altération aux températures de mise en œuvre des polymères et aux conditions d'utilisation de l'objet fini (le polypropylène est mis en œuvre entre 260 et 280 °C).

La résistance thermique d'une matière colorante s'exprime par la température (en °C) maximale à laquelle elle peut être exposée sans présenter d'altération.

La dégradation thermique du pigment se produit par une diminution de la force colorante et par un changement de la teinte.

Certaines associations de polymères et de pigments peuvent accélérer le processus de dégradation n'existant pas avec le pigment pur. Les essais de stabilité des colorations doivent être confirmés par l'étude du polymère coloré.

Chapitre III :

Recyclage des polymères

Chapitre III : Recyclage des polymères

III.1. Introduction :

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie. Au-delà de leurs atouts, une fois consommés, ils génèrent des déchets volumineux par rapport à leur poids. Ces déchets occupent un volume important dans les points de collecte et autres installations de gestion de déchets dont les centres d'enfouissements techniques. Leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est, dans la plupart des cas, faible. Il y a donc lieu d'encourager leur recyclage. Malheureusement, la multiplicité des types de matière plastique et de composition d'une même matière plastique, l'incompatibilité de certains polymères entre eux et la difficulté de reconnaître et de séparer les différents polymères induisent de nombreux problèmes au niveau, notamment, du tri sélectif, en particulier pour les déchets plastiques de post-consommation.

III.2. Définition : [12]

Le recyclage est un procédé de traitement des matériaux qui permet de réintroduire la matière du déchet, sans destruction de sa structure chimique, dans la production d'un nouvel objet. Le recyclage du plastique présente deux contraintes :

- le plastique est récupéré sous forme d'objets qu'il faut transformer avant tout traitement.
- la formulation du plastique contient en plus du polymère principal des additifs et des charges.

Le recyclage s'applique surtout aux matériaux thermoplastiques.

Il est possible de recycler les déchets en matières plastiques après leur fragmentation (recyclage mécanique) ou après leur dissolution.

III.3. Les déchets :

Les déchets de matières plastiques sont classés par catégories et par secteurs d'applications.

Les déchets industriels sont le plus souvent homogènes, bien identifiés et peu souillés ; ils sont vendus à des récupérateurs ou recycleurs.

Ces déchets peuvent représenter des quantités notables mais ils sont propres, bien identifiés et l'intérêt économique du transformateur vis-à-vis de son bilan matière est de les recycler in situ.

Les déchets sont produits lors des mises en route et des arrêts des machines ou sont inhérents aux procédés eux-mêmes : carottes d'injection, chutes de découpage de films ou de profilés, etc. Sauf en cas de produits souillés ou oxydés, ils sont réintégrés dans le procédé de transformation après broyage et granulation, ou de séchage pour les plastiques sensibles à l'humidité (polyamides par exemple).

Dans le cas des plastiques mélangés dans la mesure où l'ensemble des fractions plastiques considérées garde après mélange une bonne thermoplasticité et sont compatibles, on peut envisager des techniques dites de recyclage des plastiques mélangés.

III.4. Broyage

Au cours de cette opération, le déchet va subir une réduction de taille lui permettant d'accepter les traitements ultérieurs dans de bonnes conditions. Lorsque les déchets sont de taille importante (pare-chocs, fûts, bidons...), ils sont déchiquetés par des cisailles rotatives pourvues de lames tranchantes, de dents ou de pointes... Ces équipements de forte puissance travaillent généralement avec de faibles vitesses de rotation.

À l'issue du déchiquetage, appelé souvent aussi prébroyage, le déchet est broyé plus finement dans des installations dont les caractéristiques dépendront essentiellement du type de matériau à broyer (matériau dur, friable, abrasif, renforcé par des fibres...). Les broyeurs présents dans la profession sont relativement nombreux sur le plan de leur conception, mais les plus couramment rencontrés sont les broyeurs à couteaux. Plusieurs lames sont fixées sur un rotor, parallèlement à l'axe ou en biais (cas du broyage des films). Le rotor peut être creux, plein ou encore hélicoïdal, et des contre-couteaux, tranchants ou non, sont fixés sur le châssis du broyeur. Ce dernier dispose en partie basse de grilles de différentes mailles permettant ainsi d'isoler la fraction broyée en fonction de la taille des particules. Le réglage de l'écart entre couteaux et contre-couteaux (généralement 0,2 à 0,3 mm) conditionne la finesse de broyage.

III.5. Revalorisation

Le broyat est fondu dans une extrudeuse équipée le plus souvent d'un système de filtrage manuel ou automatique. La matière est extrudée en joncs puis découpée en granulés, ou encore granulée directement par un système de coupe en tête. Le produit obtenu est qualifié de régénéré.

Dans le cas des thermorigides, le broyat est réincorporé à un taux optimal de 30 % en masse dans des formules qui développent des propriétés très proches d'une formule réalisée à partir de produits vierges.

Ou encore dans le cas des polymères capables de restituer la plus grande part de l'énergie nécessaire à leur fabrication, une incinération avec récupération de chaleur et production de vapeur, d'eau chaude ou d'électricité est utilisée pour récupérer l'énergie thermique.

III.6. Conclusion

Le recyclage a un intérêt économique dans l'industrie par la réutilisation des déchets, et un intérêt écologique en éliminant ces déchets.

Le recyclage en général est une solution durable, surtout avec l'augmentation des prix de la matière première.

Le recyclage en Algérie immerge, et l'ENIEM fait parti des entreprises qui recyclent ses déchets industriels.

Partie expérimentale

Chapitre IV :

Matériels et essais

Chapitre IV : Matériels et essais

IV.1. Introduction :

Dans le cadre de préparation de ce projet de fin d'études, le responsable des études de l'entreprise publique de l'électroménager ENIEM nous a proposé l'étude du matériau des cadres réfrigérateur qui se cassent pendant l'assemblage.



Figure IV.1 : cadre de réfrigérateur

Ce cadre est élaboré par procédé d'injection du polymère polypropylène PP vierge chargé de 30% de talc (CaCO_3).

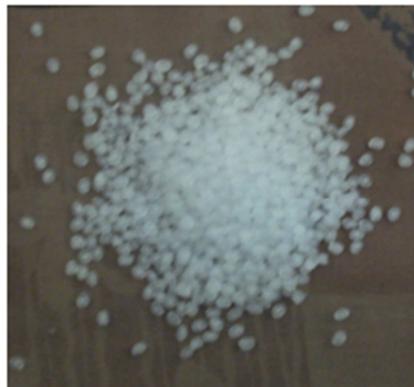


Figure IV.2: Grains de polypropylène utilisé pour l'injection

Les techniques expérimentales utilisées sont :

- Analyse chimique (calcination)
- Essai de traction
- Essai de dureté
- Essai de résilience
- Microscopie électronique à balayage.

IV.2. Analyse chimique :

Cette analyse s'est déroulée dans le laboratoire chimie de l'EI(entreprise publique en électro-industrie).Nous avons analysé les échantillons PP vierge chargé à 30% de talc et PP vierge non chargé.

IV.2.1. Le matériel utilisé :

Pour cette analyse qu'on appelle couramment la calcination, le matériel utilisé est décrit dans ce qui suit :

a) Balance électronique :

Le principe de fonctionnement de ces balances repose sur les variations des caractéristiques électriques de certains matériaux lorsqu'ils sont soumis à des compressions mécaniques. Ces variations électriques sont mesurées et envoyées à un cadran qui permet de donner une indication sur la masse de la charge inconnue qui a comprimé le matériau.

b) Creuset :

Un creuset est un pot en céramique, matériau réfractaire servant à la fusion ou la calcination.

c) Dessiccateur :

Il est formé d'un récipient cylindrique utilisé en verrerie de laboratoire servant à protéger des substances contre l'humidité.



Figure IV.3 : Dessiccateur

d) Bec de benzène :

Un bec benzène est un appareil de laboratoire destiné à produire une flamme ouverte avec du gaz combustible afin de chauffer des préparations, stériliser du matériel ou brûler des substances.

e) Four à brique :

Un four est une enceinte muni d'un système de chauffage puissant qui transforme par la chaleur les produits, il existe plusieurs types dont le four à brique.



Figure IV.4 : four à brique

IV.2.2. Les essais effectués :

a) La pesé :

En premier temps nous pesons les échantillons suivant la procédure suivante :

- 1) On met un creuset dans le dessiccateur pour enlever toute humidité pouvant perturber la pesé
- 2) On pèse le creuset vide numéroté dans une balance de précision.
- 3) On tare (on remet la balance à zéro sans retirer le creuset)
- 4) On met de 3 à 5g d'échantillon dans le creuset et on pèse.
- 5) On refait les étapes précédentes 3 fois pour chaque échantillon.

b) Précalcination :

En deuxième étape nous chauffons les échantillons avec un bec benzène pendant 30 min dans une enceinte fermée afin d'éviter les gaz toxiques de combustion.

c) Calcination :

- 1) Nous chauffons les échantillons dans le four à brique à 800°C pendant 1h jusqu'à combustion et évaporation de toute la matière organique (de couleur noir)
- 2) Nous arrêtons le four et attendons le refroidissement.
- 3) Nous sortons les échantillons du four et les mettons dans le dessiccateur.

d) La pesé :

Nous pesons chaque échantillon (creuset + reste de la combustion)

e) Traitement :

- 1) Nous mettons le reste de la combustion (poudre blanche) dans un tube à essai.
- 2) Nous ajoutons le HCL de concentration 1 pour 1 (1mole/litre).
- 3) Effervescence (réaction chimique).

IV.3. Elaboration des éprouvettes de traction :

IV.3.1.1. Elaboration des éprouvettes par poinçonnage :

Nous utilisons pour cela des cadres défectueux de réfrigérateur d'où nous avons prélevé des éprouvettes normalisés suivant les étapes suivantes :

- 1) On découpe des plaques plates.
- 2) On place chaque plaque dans le moule et on presse avec une presse manuelle.

Nous obtenons alors des éprouvettes découpées par poinçonnage, pour l'essai de traction.



Figure IV.5 : Eprouvettes découpées par poinçonnage pour l'essai de traction.

IV.3.2. Elaboration des éprouvettes par injection plastique

Pour étudier le comportement mécanique des mélanges PP/ ABS nous avons élaboré des éprouvettes des mélanges par procédé d'injection plastique, ce travail a été mené à

l'entreprise SISCOPLAST de Draa El Mizan, ce qui nous a permis d'avoir des éprouvettes normalisées (éprouvettes de traction selon la norme NF EN ISO 725).

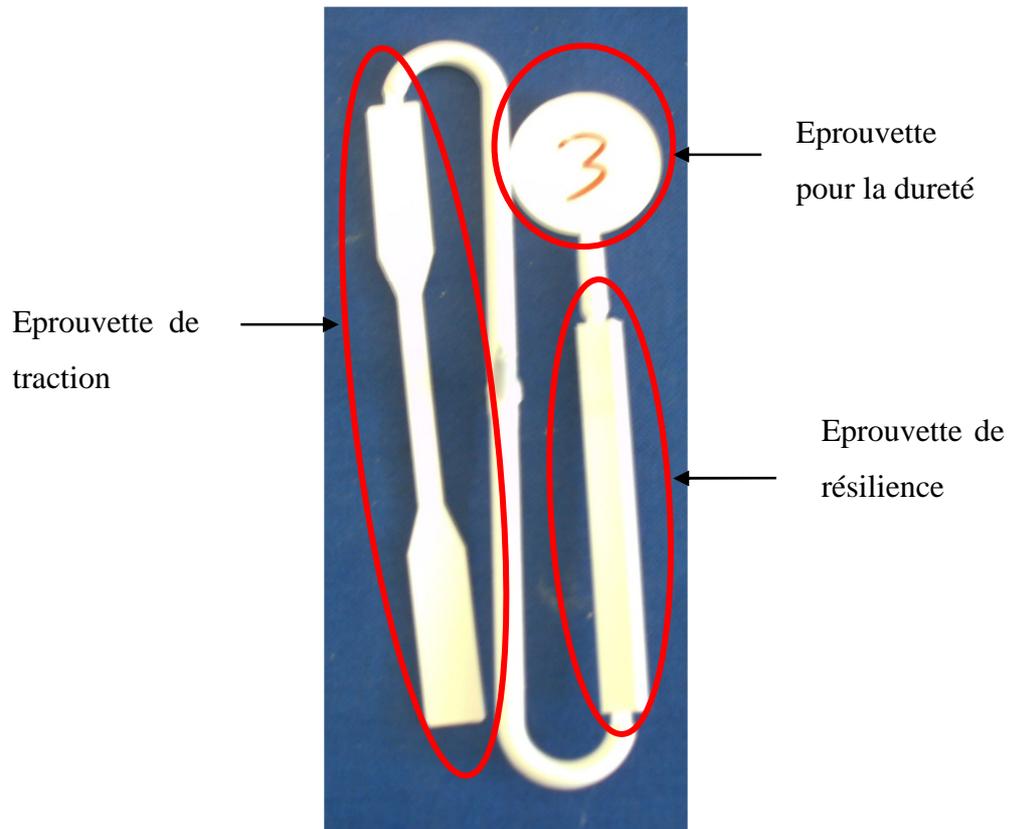


Figure IV.6 : Eprouvette élaborée par injection

IV.4. Elaboration des mélanges à étudier

IV.4.1. Présentation des mélanges

Notre étude porte sur plusieurs volés, on s'intéresse d'un côté à l'influence du colorant sur la résilience du cadre réfrigéré et d'un autre côté nous complétant notre recherche par l'étude du comportement mécanique des mélanges PP/ABS.

On utilise du PP (chargé à 30% CaCO_3) et de l'ABS, ces deux polymères sont généreusement offerts par la société nationale ENIEM. Les colorants utilisés sont de deux natures, le premier utilisé pour le cadre et est fourni par l'ENIEM et le second fourni par la société SISCOPLAS.

Les mélanges élaborés pour notre étude sont :

- 1) 100% PP
- 2) 100% PP + 3% colorant ENIEM

- 3) 100% PP + 5% colorant ENIEM
- 4) 100% PP + 0,5% colorant SISCOPLAST
- 5) 80% PP + 20% ABS
- 6) 60% PP + 40% ABS
- 7) 50% PP + 50% ABS
- 8) 40% PP + 60% ABS
- 9) 20% PP + 80% ABS
- 10) 100% ABS.

IV.4.2. Paramètres d'injection

On a utilisé une machine à injection dont les spécificités suivantes :

- Modèle : 305-201-700
- Poids : 1500 Kg
- Clamp force : 700 KN

Les paramètres de la machine d'injection sont résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.1 paramètres de la machine à injection

Paramètre	valeur	Paramètre	valeur
Dosage	164 mm	Vitesse d'ouverture	2 tours
Temps d'injection	2,5 s	Vitesse de fermeture	3 tours
Temps de maintien	1,6 s	Vitesse d'injection	4 tours
Temps de refroidissement	16 s	Vitesse d'éjection arrière	4 tours
Temps de pause	0,2 s	Vitesse d'éjection avant	4 tours
Retard départ injection	0,2 s	Vitesse de rechargement	2,5 tours

Températures de zones est 170 – 180 – 200 – 220 °C pour les échantillons.

Dans le cas du 100% ABS on a augmenté le paramètre température de zone à 180 – 190 – 220 – 240 °C

IV.3.3 Elaboration des mélanges à étudier

On suit les étapes citées en dessous pour la préparation des différents mélanges

- 1) On prépare les différents mélanges à partir de PP, ABS et colorants en granulés avec une balance électronique pour un poids total de 1,5kg pour chaque mélange.

- 2) L'opérateur de la machine à injection verse le 1^{er} mélange et commence l'injection après avoir réglé la machine sur les paramètres appropriés pour la matière utilisée.
- 3) On élimine les premières éprouvettes, qui en gardent des résidus de la matière d'avant.
- 4) On recommence l'opération pour tous les mélanges, on obtient une dizaine d'éprouvettes pour chaque mélange.

IV.5. La microdureté

IV.5.1. Matériel :

Nous utilisons pour l'essai de la microdureté le micro-duromètre du laboratoire de génie civil de marque : Zwick Roell ZHV

On utilise l'échelle de dureté Knoop qui est appropriée pour les polymères.

Les paramètres de la machine sont 25gF pendant 20s

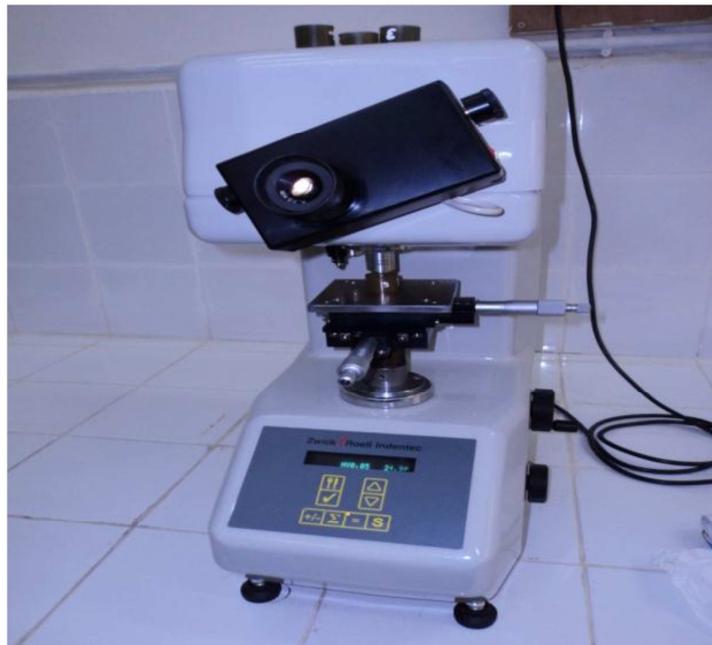


Figure IV.7 : microduromètre

IV.5.2. Essai de microdureté:

Nous effectuons une dizaine d'essais pour chaque échantillon. Nous procédons comme suit :

- 1) placer l'éprouvette sur le palier

- 2) actionner le pénétrateur
- 3) visualiser l’empreinte et délimiter le diamètre avec les réglettes.
- 4) lancer le calcul de HK.

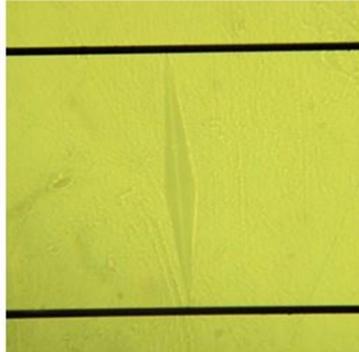


Figure IV.8 : empreinte délimitée par les réglettes

IV.6. Essai de Résilience :

Pour étudier la tenue au choc de nos matériaux, nous réalisons l’essai Charpy sur des éprouvettes normalisés.

IV.6.1. Préparation des éprouvettes :

Nous préparons des éprouvettes avec entaille V de norme EN ISO 179 dans le hall de technologie de l’université UMMTO. Les deux figures suivantes montrent la forme de l’éprouvette ainsi que ses dimensions.



Figure IV.9 : éprouvette de résilience

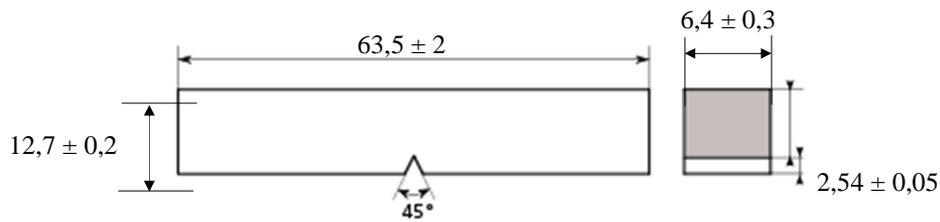


Figure IV.10 : Dimensions de l'éprouvette de résilience

Nous effectuons des entailles avec une fraiseuse, nous utilisons une fraise de 2 mm à 45°.

Nous préparons en tout 5 éprouvettes pour chaque échantillon.

IV.6.2. Déroulement de l'essai:

A l'entreprise EI de Freha nous effectuons l'essai Charpy sur la machine comme suit :

- 1) On utilise un mouton-pendule de 0,5j (le poids minimal de la machine) pour plus de précision.
- 2) On place l'éprouvette de façon à ce que l'entaille soit parallèle au couteau.
- 3) On actionne le mouton-pendule et on lit sur le cadran la mesure en joule.
- 4) On refait les étapes pour toutes les éprouvettes.
- 5) Pour le cas du 100% ABS le mouton-pendule de 0,5j est insuffisant pour casser les éprouvettes, nous utilisons celui de 2j.

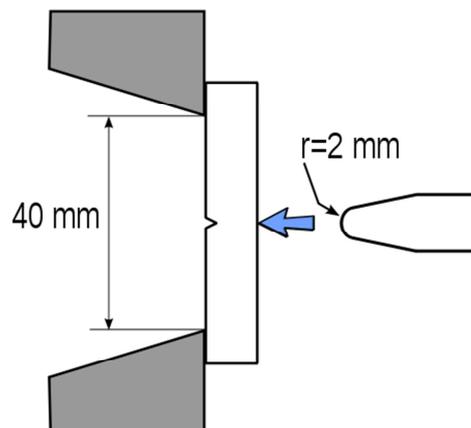


Figure IV.11 : position d'éprouvette et mouton-pendule

IV.7. Essai de traction :

Nous utilisons pour cet essai la machine de traction du laboratoire de génie mécanique qui est une machine hydraulique de capacité 100 KN de marque IBERTEST.

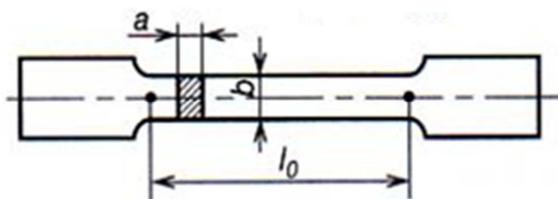
Nous utilisons une vitesse de 10 mm/min.

Les étapes de l'expérience sont les suivantes :

- 1) Fixer l'éprouvette sur les mors de la machine
- 2) Actionner la machine à partir de son programme sur ordinateur.
- 3) Attendre jusqu'à la rupture de l'éprouvette pour arrêter la machine
- 4) Refaire les étapes pour tous les échantillons.
- 5) Les résultats sont enregistrés et copier pour traitement.



Figure IV.12 : machine de traction



l_0	70 mm
a	7 mm
b	3 mm

Figure IV 13 : dimension de l'éprouvette de traction

IV.8. Observation au microscope électronique à balayage (MEB) :

Nous préparons des échantillons en découpant la partie (1cm) des faciès de ruptures des éprouvettes de traction utilisées.

Les échantillons seront examinés avec le MEB au niveau du laboratoire de chimie de Hasnaoua.



Figure IV.14 : Microscope électronique a Balayage

Chapitre V :

Résultats et interprétation

Chapitre V : Résultats et discussion

V.1. Introduction :

Dans ce dernier chapitre nous exposerons les résultats obtenus des différents essais effectués et nous essayerons d'interpréter ces résultats.

V.2. Analyse chimique :

V.2.1. But :

Nous voulons vérifier la quantité de la charge dans notre polymère, la valeur donnée par le fournisseur est de 30% de CaCO_3 , pour cela nous allons faire une calcination. Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau ci dessous

V.2.2. Résultats de l'analyse chimique :

Tableau V.1 : résultat de la pesé de l'analyse chimique

Echantillon	Masse du creuset (g)	Masse de l'échantillon (g)	Masse après calcination (g)	Taux de charge (%)
PP non chargé	34,3439	3,6937	34,3438	0
	38,5829	4,1215	38,5926	
	34,4596	3,0288	34,4614	
PP chargé	35,0198	3,5860	35,7021	19,02
	36,0925	2,1010	36,5028	19,52
	38,0453	2,2343	38,4830	19,59
	38,3337	2,0413	38,7290	19,36

– Calcul du taux de charge :

$$\text{taux de charge (\%)} = \frac{\text{masse après calcination} - \text{masse du creuset}}{\text{masse de l'échantillon}} \times 100$$

La moyenne du taux de charge est : 19,37 %

V.2.3. Interprétation :

Cette valeur calculée de charge, en vérité correspond à la quantité de CaO uniquement car au dessus de $550\text{ }^\circ\text{C}$ les carbonates se décomposent selon cette équation:



Se qui fait, en calculant le rapport des masses molaires $MCaO/MCaCO_3$, on trouve que le pourcentage en charge de $CaCO_3$ dans le PP est de 30%.

V.3. Microdureté :

La microdureté nous informe sur la dureté des différentes phases pouvant exister dans un élément.

V.3.1. Résultats de la microdureté:

Dans le tableau ci-dessous on regroupe les résultats de la microdureté

Tableau V.2 Micro dureté Knoop des différents échantillons

N°	Echantillon	Duretés HK	Moyenne
1	100% PP	11-11-10	11
2	100% PP + 3% colorant ENIEM	12-9-12-13	12
3	100% PP + 5% colorant ENIEM	18-43-50-42-26-30-23-39	34
4	100% PP + 0,5% colorant SISCOPLAST	18-18-12-12-12-28-40-26	18
5	80% PP + 20% ABS	13-42-25-18	24
6	60% PP + 40% ABS	10-41-16-28-33-35	27
7	50% PP + 50% ABS	42-20-11-17-19-27	23
8	40% PP + 60% ABS	15-17-19-19-25	19
9	20% PP + 80% ABS	44-17-19-23-41	29
10	100% ABS	16-14-30-9-34-35-29-15-16	22

Les valeurs de la dureté HK sont éloignées pour quelques échantillons, par exemple pour l'échantillon avec 5% de colorant les valeurs sont de 18 à 43 HK

Aussi nous avons remarqué que les valeurs sont proches si l'expérimentation se fait sur une petite zone de l'éprouvette.

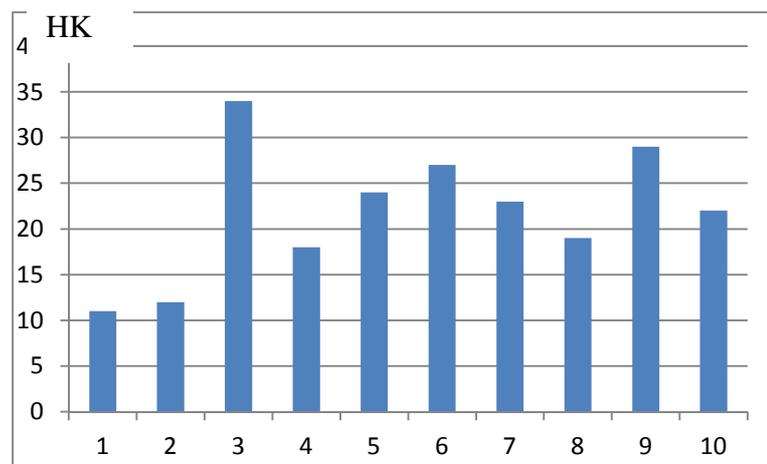
Nous constatons que chaque zone de l'éprouvette à sa microdureté spécifique, l'éprouvette est répartie sur des parties plus ou moins durs.

Nous expliquons cela par le fait que la microstructure des polymères est un enchevêtrement de longue chaîne (structure spaghetti) entre les quelles se trouve des vides, et en plus de ça n'oublions pas que nos polymères contiennent des charges plus durs.

Nous remarquons aussi que la microdureté moyenne de l'échantillon avec 5% de colorant est élevée par rapport au 3% et le sans colorant.

On peut expliquer cela par le fait que le pourcentage important de colorant influe sur la dureté.

Histogramme V.3 donne un aperçu sur la microdureté de nos échantillon, nous observant une dureté moyenne la plus importante pour le mélange ,100% PP avec 5% de colorant ENIM et une dureté moyenne la moins importante pour le mélange 1 qui est le 100 % PP sans aucun ajout.



Histogramme V.3 microdureté moyenne des mélanges PP/ABS

V.4. Essai de traction :

V.4.1. Traitement des données :

Sur Excel nous transformons les résultats reçus de l'expérience course (mm) et force appliqué (KN) en contraintes σ (MPa) en fonction de déformations ε (%)

$$\sigma = F / S \quad \text{V.2}$$

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 = \text{course} / L_0 \quad \text{V.3}$$

$$S = 7 \times 3 = 21\text{mm}^2 \text{ (} 13 \times 2 = 26\text{mm}^2 \text{ pour éprouvettes cadres)} \quad \text{V.4}$$

$$L_0 = 70\text{mm}$$

V.4.2. Résultats des essais de traction :

Les résultats des essais de traction sont donnés sous formes de courbes de traction (contraintes-déformations), à partir de chaque courbe nous allons tirer les enseignements nécessaires

Dans la figure V.1 on représente la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP, réalisée par injection.

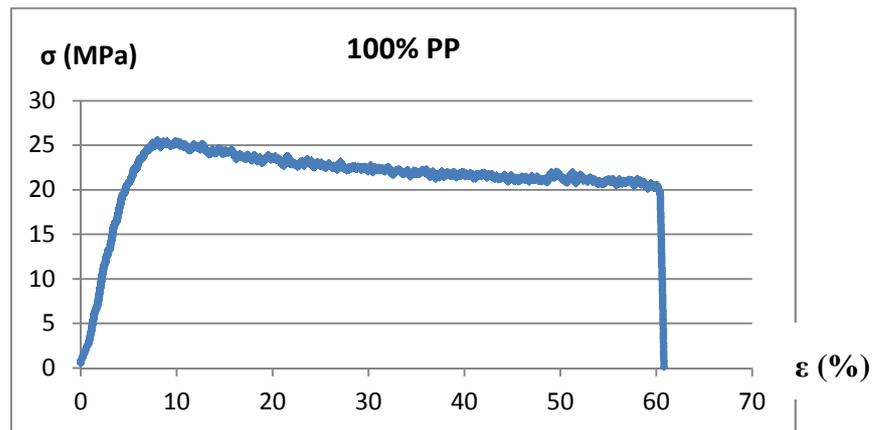


Figure V.1 la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP

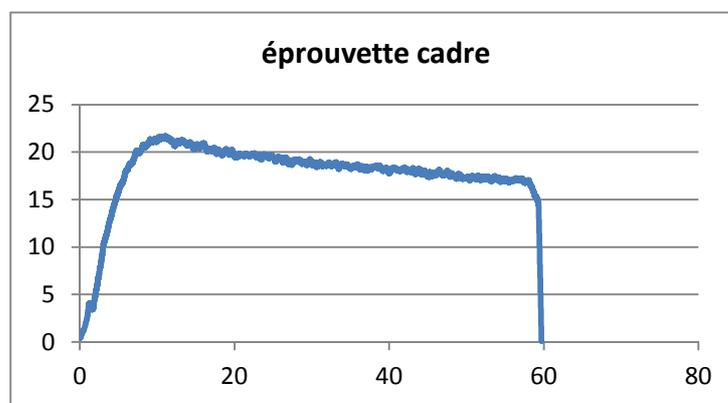


Figure V.2 la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP

Dans la figure V.2 on représente la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP, réalisée par poinçonnage à partie du cadre du réfrigérateur.

En comparant les deux éprouvettes obtenues par deux méthodes différents la première est par injection directement, la seconde est par injection sous forme de plaque puis découpée par poinçonnage, on remarque que les deux courbes on même allure, atteignent les même valeurs

de déformation et ont une différence en regardant les résistances mécanique maximales, la première éprouvette résiste mieux.

Dans la figure V.3 on représente la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100% PP plus 3% de colorant fourni par l'entreprise ENIEM,

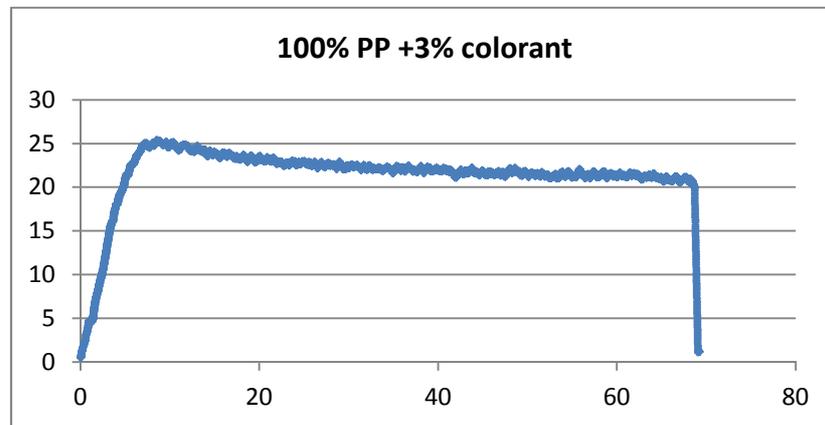


Figure V.3 la courbe contrainte déformation pour 100% PP plus 3% de colorant

L'ajout du colorant de L'entreprise ENIEM avec un pourcentage allant jusqu'à 3% donne une belle coloration blanc bleuté au produit de l'entreprise, en analysant la courbe contrainte déformation de ce PP, nous observons une bonne résistance mécanique maximale et aussi une plus importante déformation, ceci implique que l'ajout du colorant avec ce pourcentage n'est que bénéfique pour le cadre du réfrigérateur et que le colorant est loin d'être la cause de la fragilité de ce cadre.

Dans la figure V4 on représente la courbe contrainte déformation de l'échantillon 100% PP avec 0,5% de colorant fourni par l'entreprise SISCOPLAST

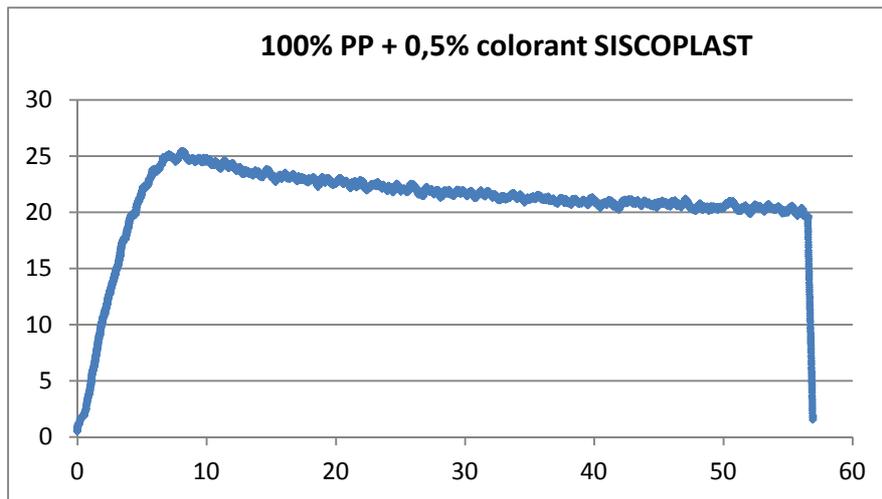


Figure V.4 la courbe contrainte déformation pour 100% PP plus 0,5% de colorant

Les courbes contraintes déformation des différents mélanges PP/ABS sont données dans ce qui suit :

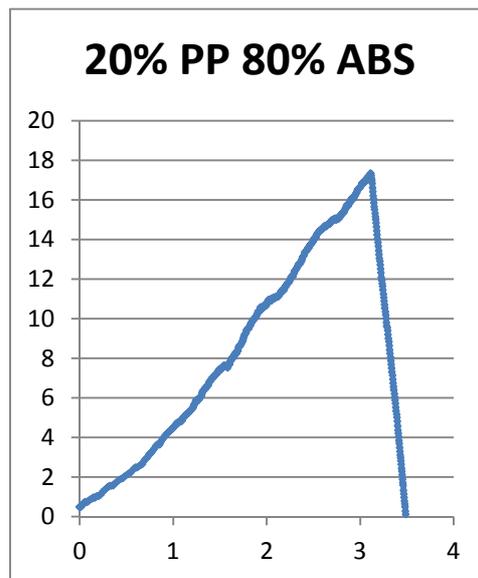


Figure V.5 la courbe contrainte déformation pour le mélange 20%PP plus 80% ABS

On observant cette figure, on voit le changement du comportement mécanique du PP, qui devient fragile et cassant, qui atteint une résistance mécanique de faible valeur environ 17MPa et une déformation de faible valeur aussi qui est de 3,5%.

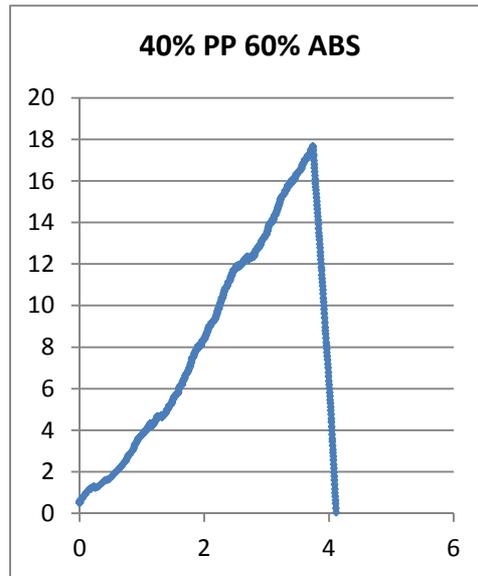


Figure V.6 la courbe contrainte déformation pour le mélange 20%PP plus 80% ABS

Même constatation sur l'allure de cette courbe que sur l'allure de la courbe du premier mélange, le comportement est fragile.

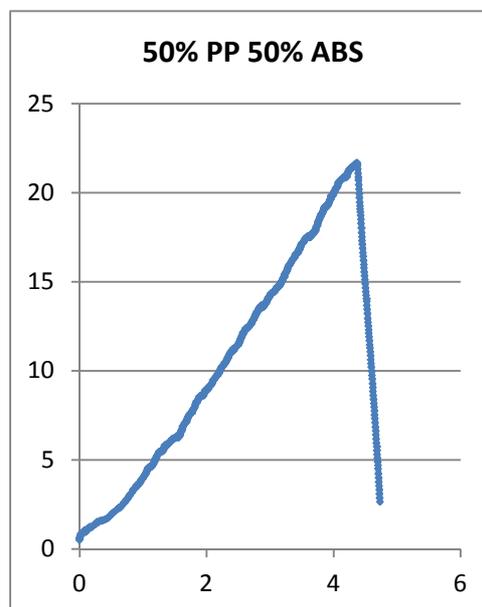


Figure V.7 la courbe contrainte déformation pour le mélange 50%PP plus 50% ABS

Même constatation sur l'allure de cette courbe que sur l'allure des courbes des mélanges précédents, le comportement est fragile.

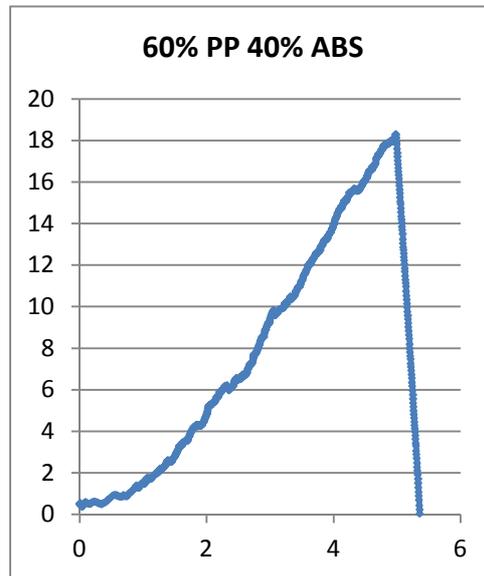


Figure V.8 la courbe contrainte déformation pour le mélange 60%PP plus 40% ABS

Même constatation sur l'allure de cette courbe que sur l'allure des courbes des mélanges précédents, le comportement est fragile.

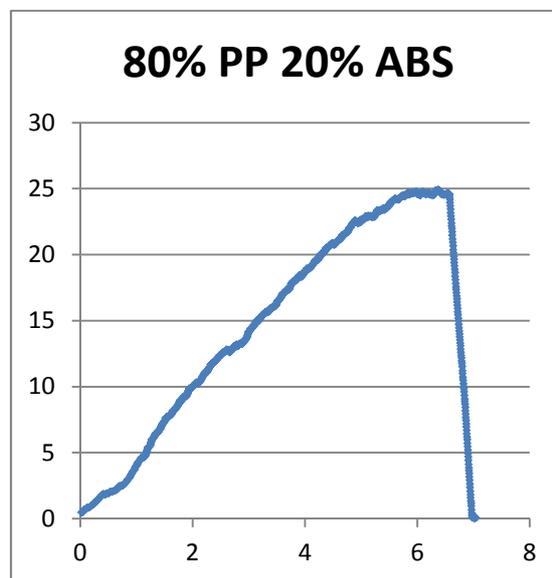


Figure V.9 la courbe contrainte déformation pour le mélange 80%PP plus 20% ABS

Même constatation sur l'allure de cette courbe que sur l'allure des courbes des mélanges précédents, le comportement est fragile.

Notons toutefois que plus la quantité de PP augmente dans le mélange PP/ABS plus la déformation du mélange augmente ainsi que pour sa résistance maximale.

En finale, on présente la courbe contrainte déformation pour l'échantillon 100%PP.

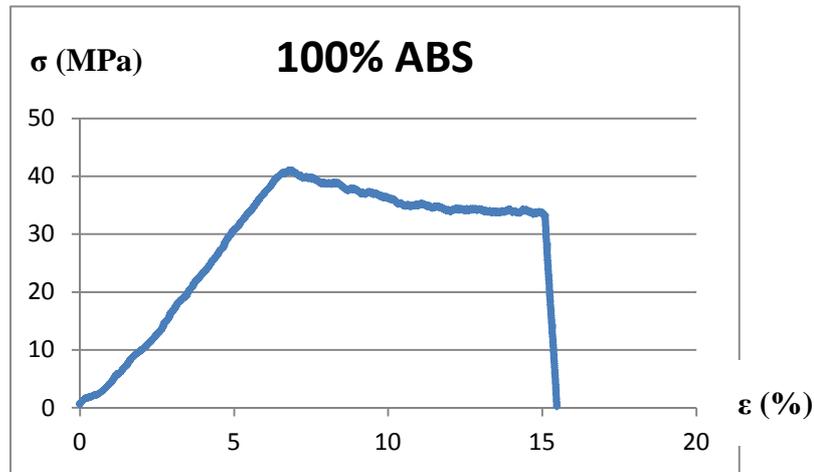


Figure V.10 la courbe contrainte déformation pour le mélange 100% ABS

La figure V.10 présente une nouvelle qui reflète le comportement mécanique de l'ABS un comportement élastique allant jusqu'à 7% de déformation, suivit d'un domaine de déformation plastique très large, allant jusqu'à 16% de déformation avant la rupture. La résistance mécanique maximale de l'ABS atteint dans cette courbe la valeur de 40 MPa.

V.4.3. Analyse des courbes contraintes déformations:

Nous utilisons pour analyser les courbes de traction ce graphe :

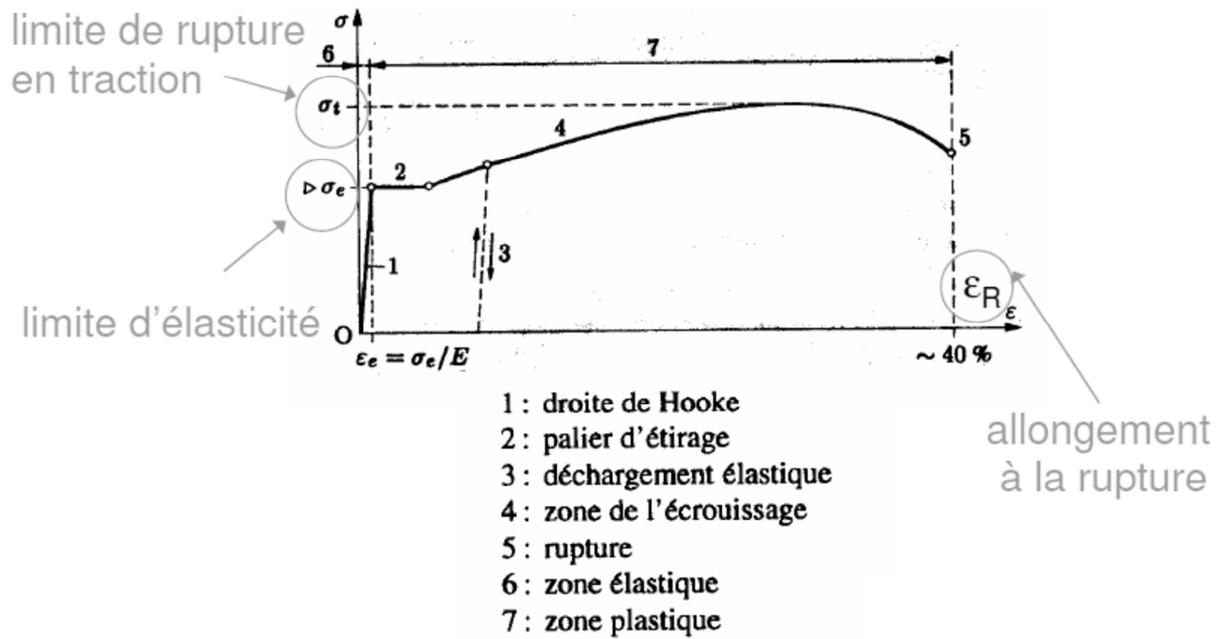


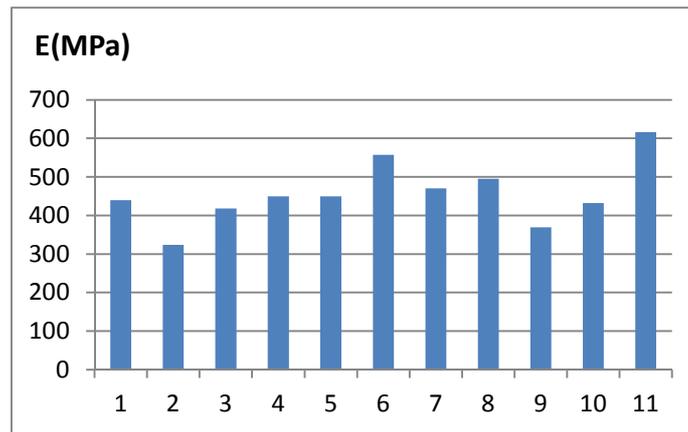
Figure V.11: courbe de traction analytique

V.4.3.1. Module de Young E :

On extrait les valeurs des modules d'élasticité à partir des courbes de déformation et on regroupe les résultats dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : module de Young des échantillons

N°	Echantillon	Module de Young (MPa)
1	100% PP	440
2	100% PP cadre	324
3	100% PP +3% colorant	418
4	100% PP +5% colorant	450
5	100% PP +0,5% colorant Siscoplast	450
6	80% PP + 20% ABS	557
7	60% PP + 40% ABS	470
8	50% PP + 50% ABS	495
9	40% PP + 60% ABS	369
10	20% PP + 80% ABS	432
11	100% ABS	616



Histogramme V.5 : module de Young des échantillons

Observation :

L'éprouvette réalisée par poinçonnage a un module Young inférieur à celle réalisée en injection.

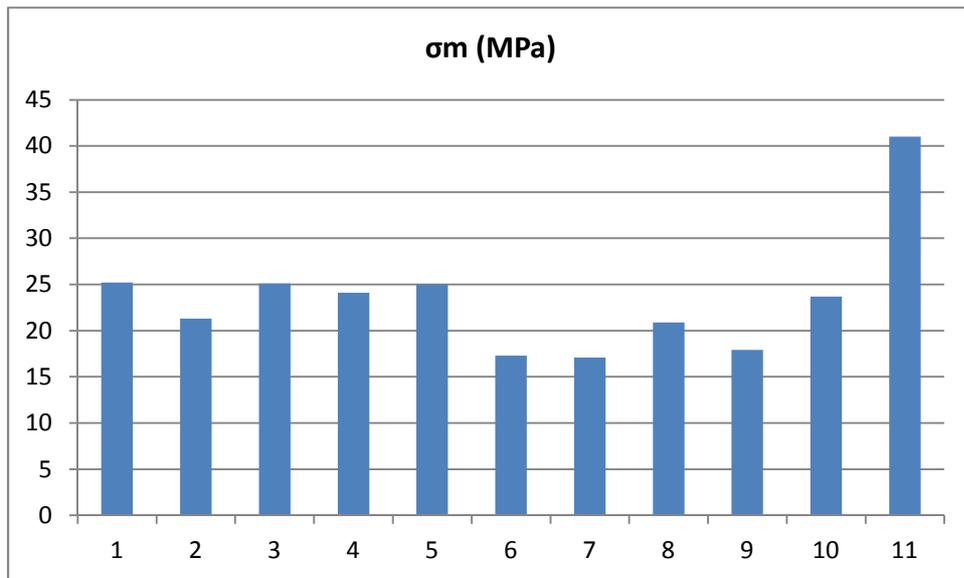
Les modules de Young des échantillons à base de PP injectés sont proches, mais au dessous des valeurs théoriques (1200 à 1700MPa) cela est dû aux conditions de l'expérimentation.

V.4.3.2. Limite de rupture en traction σ_m :

On regroupe les valeurs de la contrainte limite à la rupture obtenues à partir des différentes courbes contraintes –déformations dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.6 : limite à la rupture des échantillons

N°	Echantillon	Limite de rupture σ_m (MPa)
1	100% PP	25,2
2	100% PP cadre	21,3
3	100% PP +3% colorant	25,1
4	100% PP +5% colorant	24,1
5	100% PP +0,5% colorant Siscoplast	25
6	80% PP + 20% ABS	17,3
7	60% PP + 40% ABS	17,1
8	50% PP + 50% ABS	20,9
9	40% PP + 60% ABS	17,9
10	20% PP + 80% ABS	23,7
11	100% ABS	41



Histogramme V.7 : limite à la rupture des échantillons

Observation :

L'éprouvette réalisée par poinçonnage a une limite à la rupture inférieure à celle réalisée en injection.

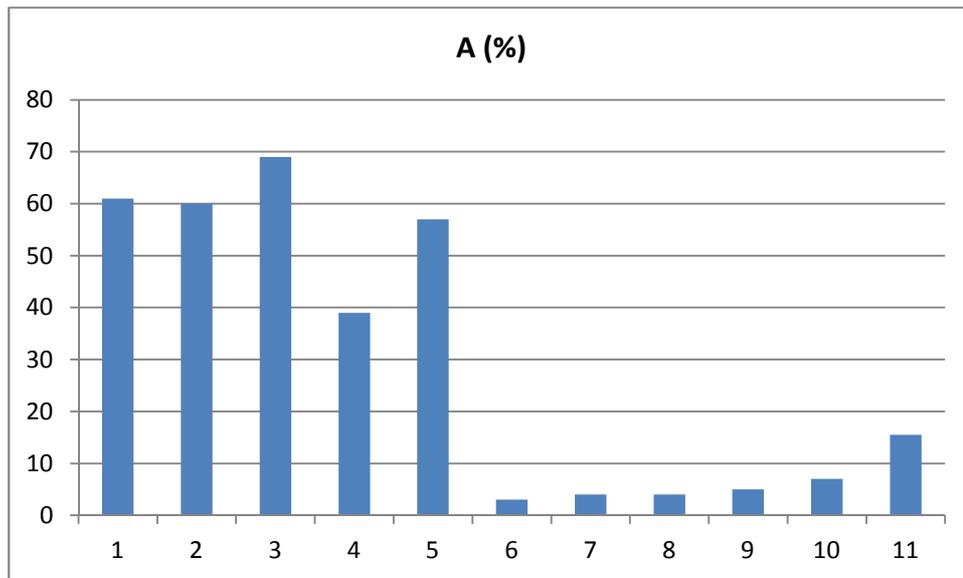
Les valeurs de la limite à la rupture des échantillons à base de PP sont proches.

V.4.3.3. Allongement à la rupture A%

On regroupe les valeurs obtenues de l'allongement à la rupture à partir des différentes courbes contraintes –déformations dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.8 : Allongement à la rupture des échantillons

N°	Echantillon	Allongement A%
1	100% PP	61
2	100% PP cadre	60
3	100% PP +3% colorant	69
4	100% PP +5% colorant	39
5	100% PP +0,5% colorant Siscoplast	57
6	80% PP + 20% ABS	3
7	60% PP + 40% ABS	4
8	50% PP + 50% ABS	4
9	40% PP + 60% ABS	5
10	20% PP + 80% ABS	7
11	100% ABS	15,5



Histogramme V.9 : Allongement à la rupture des échantillons

Observation :

Nous constatons que l'allongement du 100% PP injectés et celui prélevé sur les cadres est très proche.

Celui avec 3% de colorant a un meilleur allongement, par contre à 5% il perd de la plasticité.

V.4.4. Interprétations :

Mode de conception des éprouvettes influe sur leurs caractéristiques, le poinçonnage induit des contraintes internes qui détériorent le matériau et faussent les résultats.

Le colorant n'influe pas sur la traction, mais à forte concentration il influe négativement.

Nous avons essayé le mélange PP/ABS qui n'est pas compatible, malgré cela on a pu constater avec les expériences effectués que les caractéristiques de ce mélange sont médiocres pour l'ensemble des pourcentages, cela confirme non compatibilité d'un tel mélange.

V.5. Essai Charpy :

V.5.1. Résultats :

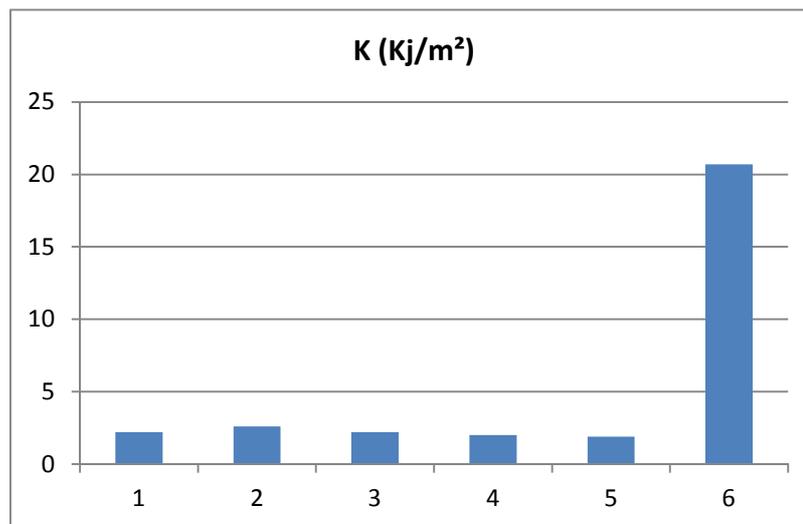
La machine utilisée nous donne les résultats de l'énergie Charpy directement que nous traduisons en résistance au choc avec cette formule :

Surface de rupture : $9 \times 6,5 = 58,5 \text{ mm}^2$

Résistance au choc = énergie / surface de rupture

Tableau V.10 : Essai Charpy (résistance au choc des échantillons)

N°	échantillon	Energie Charpy (j)	Résistance au choc (Kj/m^2)
1	100% PP	0,13	2,2
2	100% PP + 3% colorant	0,15	2,6
3	100% PP + 5% colorant	0,13	2,2
4	80% PP + 20% ABS	0,12	2
5	50% + 50% ABS	0,11	1,9
6	100% ABS	1,21	20,7



Histogramme V.11 Essai Charpy

V.5.2. Interprétation :

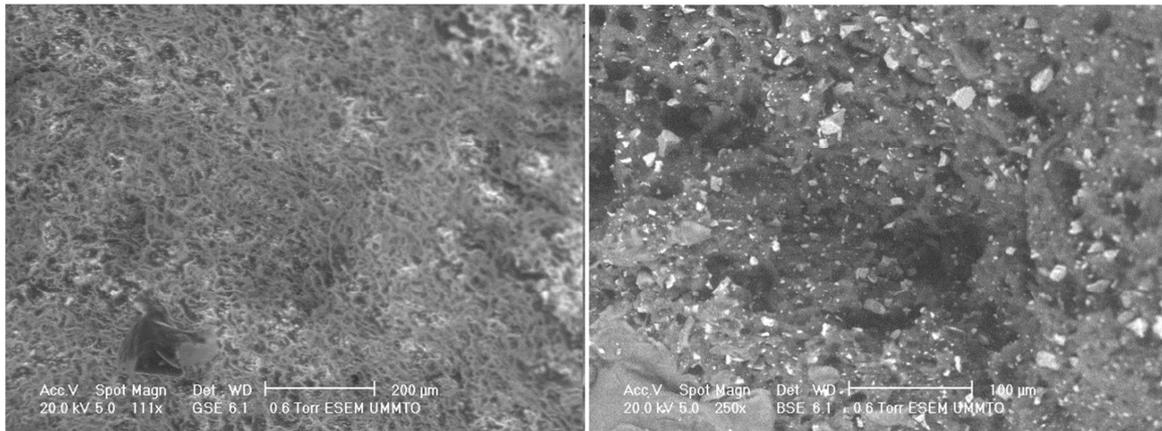
Nous constatons que le colorant n'a pas une influence sur la résilience du PP, et les valeurs restent proches des valeurs théoriques.

Comme prévu l'ABS a une très forte résilience.

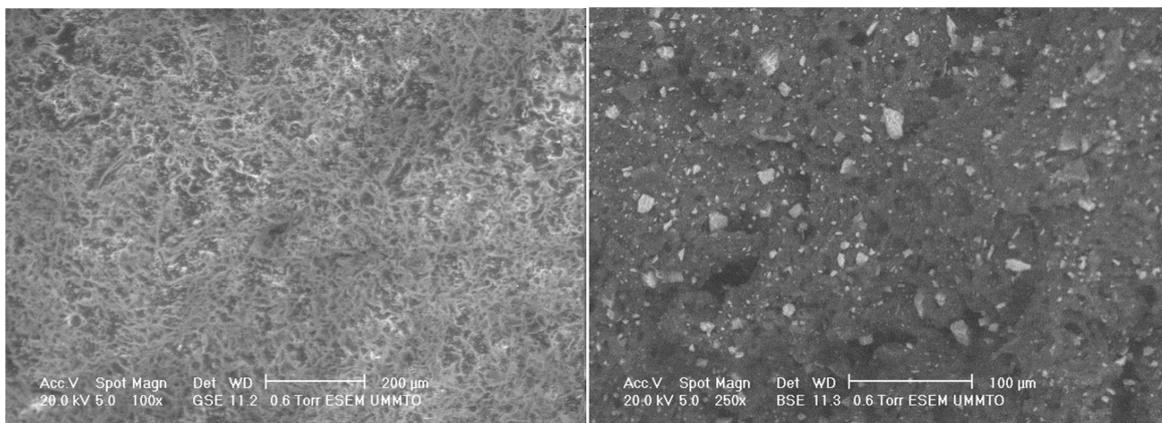
V.6. Résultats de l'observation au microscope électronique à balayage :

Les micrographies obtenues par observation au microscope électronique à balayage des différents mélanges PP/ABS sont donnés dans les figures qui suivent, nous nous contentons de données ces figure sans les commenter, car l'analyse de ces résultats nécessite plus de connaissance qu'on ne possède à notre niveau.

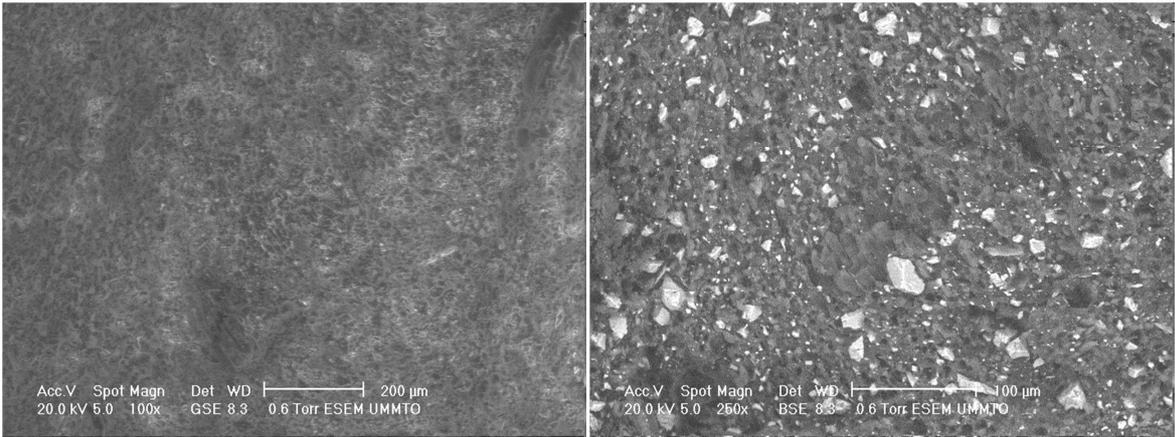
a) Echantillon cadre :



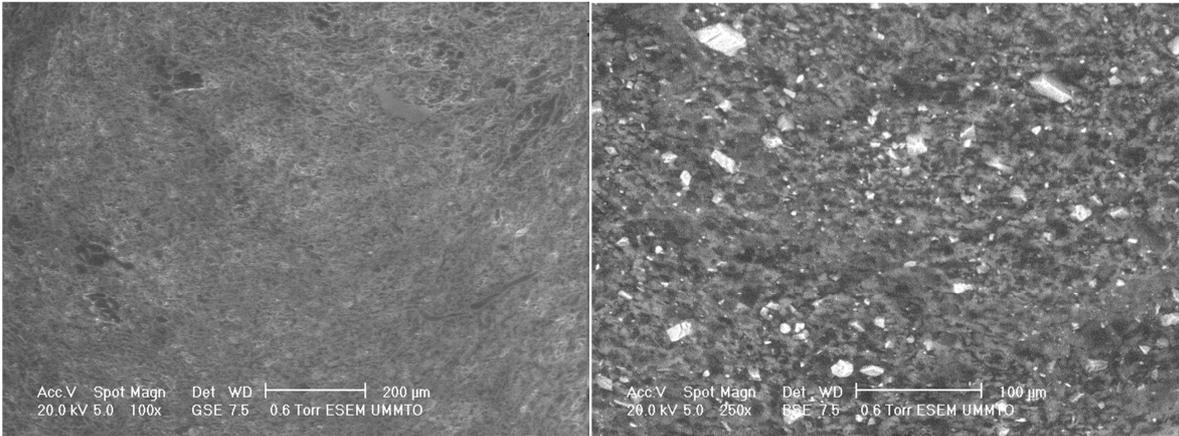
b) 100% PP :



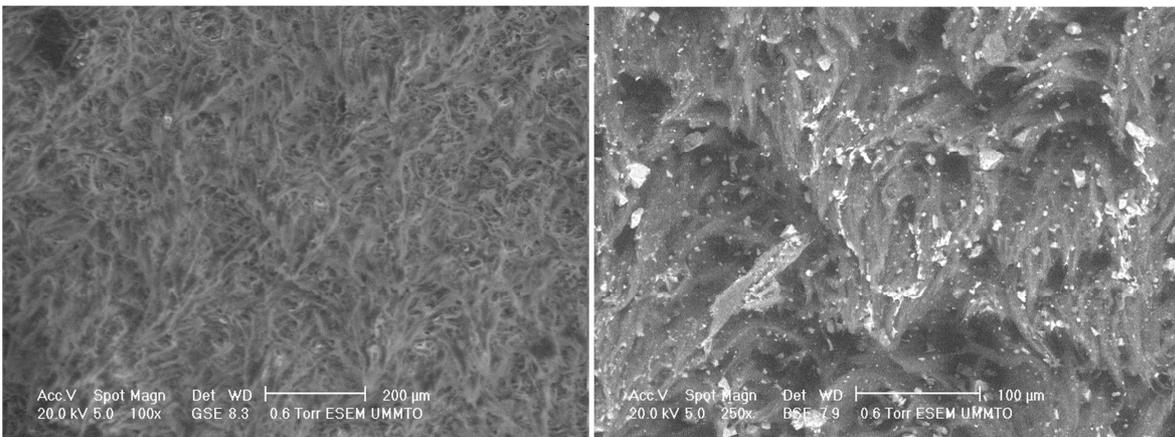
c) 100% ABS



d) 100% PP + 3% colorant :



e) 50% PP 50% ABS :



V.6.1. Interprétation :

Tout d'abord nous remarquons la ressemblance entre les micrographies sauf avec celle du mélange 50% PP 50% ABS qui montre clairement la non compatibilité de ses deux polymères.

Les charges se présentent en grains clairs de quelques micromètres, même l'ABS en contient.

V.7. Conclusion :

On ne décèle aucun problème au niveau du PP et les résultats obtenus confirment les données théoriques, dans le cas des essais effectués.

Malgré cela la cassure du produit peut survenir par d'autres causes

Conclusion générale :

Le stage effectué au niveau de l'ENIEM a été bénéfique à plus d'un titre. En effet, il m'a permis de m'initier au monde industriel, d'une part, et de confronter mes connaissances théoriques aux travaux pratiques. Comme il fallait s'y attendre, le monde industriel est complexe car il fait appel à plusieurs disciplines.

Le sujet, intitulé, « caractérisation mécanique du polymère PP chargé à 30% CaCO_3 et influence des charges et l'ajout d'ABS sur son comportement mécanique » a été réalisé en deux étapes. La partie élaboration a été entreprise au niveau de SISCOPLAST de Draa El Mizan alors que la partie caractérisation a été réalisée à l'EI de Freha et l'UMMTO.

Le problème initialement posé est l'influence du colorant (blanc bleuté) sur la résilience du polypropylène utilisé dans l'injection du cadre du réfrigérateur, on a essayé dans ce travail de donner une explication au problème à travers plusieurs expériences (essai de traction, essai Charpy, essai de dureté, observation au MEB et analyse chimique).

Pour approfondir notre manipulation dans le domaine des polymères, nous avons poursuivi notre caractérisation du polypropylène chargé 30% CaCO_3 par l'étude de ses mélanges avec un autre plastique qui est l'ABS.

Les résultats obtenus montrent que l'influence du colorant en petites quantités tel qu'utilisé dans la société ENIEM, ne peut être que bénéfique, car il augmente la résilience du polymère, nous éliminons dans nos suggestions la mauvaise qualité du PP et la non compatibilité du PP avec le colorant et dirigeant toute fois l'attention des opérateurs de la société à varier les paramètres d'injection tel que la vitesse d'injection ainsi que le temps de refroidissement sans oublier la géométrie du cadre lui-même qui peut présenter des concentrations de contraintes dans les angles où il y a fragilisation et cassure .

L'étude des mélanges PP/ABS, ne révèle pas d'intérêt technologique, car les résultats de ces mélanges ne sont pas concluants, en fait aucun des deux polymères n'a su tirer profit de l'autre, cela s'explique par l'incompatibilité du mélange, comme cité auparavant en bibliographie.

Nous espérons continuer notre investigation dans le monde des polymères, refaire ces mélanges en ajoutant un compatibilisant adéquat afin de tirer profit des propriétés de chacun des polymères.

Bibliographie

- [1] Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et composites, Polypropylènes AM3220.
- [2] Techniques de l'ingénieur, traité peintures et colorants, colorants et pigments AM3234.
- [3] Sites http://perso.univ-rennes1.fr/jean-luc.audic/Cour_polym.pdf
- [4] Hans-Henning Kausch, Nicole Heymans, Christopher John Plummer, Pierre Decroly.
Traité des matériaux : Matériaux polymers : propriétés mécaniques et physique.
- [5] Mémoire. Didouche.A : Elaboration et caractérisation des mélanges de polymères PP/PS, PP/PEHD, PP/PEBD et application au recyclage.2010. UMMTO.
- [6] Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et composites, charges A3220.
- [7] Encyclopidie Universalis.
- [8] Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et composites, Introduction aux plastique et composites en mécanique B5170.
- [9] Techniques de l'ingénieur, traité plastiques et composites, injection des thermoplastiques A3680, A3690 et thermoformage A3660.
- [10] Wikipédia
- [11] Thèse. Mnif .N : Elaboration et caractérisation de mélanges complexes à base de polypropylène en vue de son écoconception et de son recyclage dans lesvéhicules hors d'usage. 2008. INSA Lyon.
- [12] Techniques d'ingénieur, traité plastiques et composites, valorisation et recyclage des déchets A3830