

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie des Polymères

Intitulé du mémoire

**Élaboration et Caractérisation des Mélanges
d'Acrylonitrile Butadiène Styrène et de
polyéthylène haute densité (ABS/PEHD)**

Présenté par

BOUGHRASSA Razika

GEURBAI Fouzia

Encadré par

DEBBAH Ismahane

Année universitaire 2017/2018

ملخص

ركز هذا العمل على دراسة ميكانيكية وريولوجية للبولى إيثيلين عالية الكثافة و الاكريلونتريل بوتدين ستيران بدون و مع عامل الربط الستيران اثيلين بيوتيلان ستيران المطعم بالان دريد ملييك بنسب مختلفة
تم تحضير المزيج عن طريق الانصهار، وقد تم دراسة تأثير عامل الاختلاط على خواص خليط البولى إيثيلين عالية الكثافة و (أكريلونتريل بيوتادين ستارين بواسطة دراسات ؛ ريولوجيه (مؤشر الذوبان) ،ميكانيكية (الجذب ، الصدم و الصلابه)
تظهر النتائج أن عامل الاختلاط له تأثير سلبي و يؤدي الى تخريب خواص الخليط.
كلمات البحث اكريلونتريل بتاديان ستيران, البولى اثيلان عالي الكثافة, عامل الخلط, مزيج

Résumé

Ce travail porte essentiellement sur l'étude mécanique, rhéologique d'un mélanges de Poly Ethylène Haute Densité (PEHD) et Acrylonitrile Butadiène Styrene (ABS) (70/30) sans et avec l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH à des concentrations de 5, 7 et 9 %.

Le mélange a été préparé par une extrudeuse mono vis, l'effet du compatibilisant sur les propriétés du mélange de Poly Ethylène Haut Densité et Acrylonitrile Butadiène Styrene) a été étudiées par des études; rhéologiques (indice de fluidité), mécaniques (traction, choc).

Les résultats montre que l'SEBS-g-MAH à un effet négatifs et entraine une détérioration des propriétés du mélanges ABS/PEHD.

Mots-clés : PEHD, ABS, Compatibilité, mélange, SEBS-g-MAH

Abstract

This work focuses on the mechanical, rheological study of high density polyethylene (HDPE) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) blends (70/30) with and without SEBS-g-MAH compatibilizer with concentration of 5, 7 and 9 %.

The blends were prepared by extrusion machine in the molten state, the effect of the compatibilizer on the properties of Poly Ethylene High Density and Acrylonitrile Butadiene Styrene) blends has been studied by ; rheological (melt index), mechanical (traction, impact strength) studies.

The results show that SEBS-g-MAH has a negative effect and leads to a deterioration of the properties of the ABS / HDPE mixture

Keywords: ABS, HDPE, compatibilization, blend, SEBS-g- MAH

REMERCIEMENT

Dieu soit Loué AL HAMDOU LILLAH

Ce travail a été réalisé aux laboratoires de génie des polymères université

FERHAT ABBAS de Sétif-1

Un gros merci à nos chères parents qu'ils sont toujours poussés et motivés dans notre étude, et nos familles pour leur soutiens aussi bien morale que financier.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à mademoiselle DEBBAH ISMAHAN de nous avoir encadré dans notre mémoire

de fin d'étude.

Nous souhaiterons également remercier le doctorant BDJAOUI KHALED pour son suivi durant la période de formation au niveau de laboratoire.

Nous tenons également à remercier tous les professeurs de la faculté génie des procédés.

Finalement nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Tables des matières

Remerciements.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des Tableaux.....	iii
Liste des Figures.....	iv
Liste d'abréviations.....	
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Les Matières premières

I-1 Généralités sur l'acrylonitrile butadiène styrène.....	3
I-2 Généralité sur le polyéthylène haute densité.....	6

Chapitre II

Mélange de polymères

II-1 Introduction.....	9
II-2 Définition.....	9
II-3 Méthodes de préparation des mélanges polymériques.....	10
II-4 Thermodynamique des mélanges polymères.....	12
II-5 Comment concevoir un mélange de polymère.....	13
II-6 Compatibilisation des mélanges de polymères.....	14

Chapitre III

Matériaux et techniques expérimentales

III-1 Matières utilisées.....	17
III-2 Préparation des mélanges.....	18
III-3 Réalisation des échantillons par moulage par compression.....	20
III-4 Caractérisations des mélanges.....	20

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV- Caractérisation des mélanges préparés.....	25
IV-1 Caractérisation rhéologique.....	25
IV- Caractérisation des propriétés mécaniques.....	26

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : formule chimique du l'ABS.....	3
Figure I.2 : Schéma de synthèse du l'ABS.....	4
Figure I.3 : Motif de répétition du polyéthylène	6
Figure I.4 : Schéma de synthèse de PEHD.....	6

Chapitre II

Figure II.1 : schéma d'une extrudeuse	11
Figure II.2 : schéma d'un malaxeur.....	11
Figure II.3 : Variation de l'énergie libre en fonction de la composition Φ_2	13

Chapitre III

Figure III.1 : Extrudeuse de type CONTROLAB	19
Figure III .2 : Broyeur de type Polylab Brabender.....	19
Figure III.3 : Presse hydraulique de type Polylab.....	20
Figure III.4 : Fluidimètre de type MelIndexer.....	21
Figure III.5 : Machine de traction universelle de type ZWICK.....	22
Figure III.6 : Appareil de choc de type Resil Impactor	24

Chapitre IV

Figure IV.1 : Variation de l'indice de fluidité des mélanges ABS/PEHD avec et sans compatibilisant SEBS-g-MAH.....	25
Figure IV.2 : Courbe contrainte-déformation des composants purs PEHD et ABS.....	27
2Figure IV.3 : Courbe contrainte-déformation Du mélanges ABS/PEHD (70/30) sans et avec 5, 7 et 9 % de SEBS-g-MAH.....	27
Figure IV.4 : Variation de la contrainte à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) avec du taux d'SEBS-g-MAH.....	28
Figure IV.5 : Variation de la contrainte à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) avec le taux d'SEBS-g-MAH.....	29
Figure IV.6: Variation de la contrainte à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) avec le taux d'SEBS-g-MAH.....	30
Figure IV.7: Variation de la résistance à l'impacte du mélange ABS/PEHD (70/30) avec le taux d'SEBS-g-MAH.....	31

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1: Caractéristique du PEHD.....	17
Tableau III.2 : Caractéristique d'ABS.....	17
Tableau III.3 : Les caractéristiques de SEBS-g-MAH.....	18

LISTE D'ABREVIATIONS

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styrène
PEHD	Polyéthylène a Haut Densité
SEBS-g-MAH	Styrene-Ethylene –Butylene –Styrene gréffée par l'Anhydrid Maleique
Tg	Température de transition vitreuse
Tm	Température de fusion
IF	indice de fluidité
ΔG_m	l'énergie libre
ΔH_m	l'enthalpie de mélange
ΔS_m	l'entropie de mélange
T	la température
Φ_i	la fraction volumique d'un composant i dans le mélange.
ASTM	Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastis by Extrusion Plastomer

***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION

La réalisation des mélanges de polymères apparaît depuis quelques années comme un moyen d'accéder à des matériaux offrant des propriétés souvent inaccessibles par la synthèse directe d'homopolymères ou de copolymères. Depuis le début des années 1980, le nombre de mélanges de polymères commercialisés n'a cessé de croître alors que pendant la même période, très peu de nouveaux polymères de base sont apparus. Cette croissance des mélanges repose essentiellement sur des raisons économiques, la structure industrielle requise pour leur production étant plus légère que celle requise pour la production des mélanges polymériques [1].

Les mélanges des polymères constituent actuellement un point fort de l'innovation et du développement dans le domaine des matériaux plastiques [2]. En effet le non miscibilité des polymères entre eux a été un frein au développement de cette catégorie de matériaux. Heureusement, on sait aujourd'hui qu'il n'est pas nécessaire d'avoir miscibilité pour obtenir d'excellentes propriétés ; au contraire une démixtion et une morphologie biphasique contrôlées peuvent être à l'origine de synergies surprenantes. On parle alors non plus de miscibilité, mais de compatibilité [3].

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de l'agent compatibilisant styrène éthylène butylène styrène greffé par l'anhydride maléique (SEBS-g-MAH) sur les propriétés d'un mélange d'acrylonitrile butadiène styrène et polyéthylène haute densité (ABS/PEHD).

Ce manuscrit est présenté en deux parties : partie théorique et partie expérimentale. Dans la partie théorique nous avons développé deux chapitres ; le premier a porté sur la présentation des matières premières utilisées (PEHD et ABS). Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des mélanges polymériques et expose quelques notions sur la compatibilité des mélanges polymériques.

Le troisième chapitre décrit la méthodologie expérimentale ainsi que les techniques de mise en œuvre pour la caractérisation des matériaux étudiés. Celles concernent d'une part, les essais mécaniques (traction, choc), rhéologiques (indice de fluidité).

Le quatrième chapitre sera entièrement consacré aux résultats trouvés et leurs interprétations.

En conclusion, nous évoquerons les principaux résultats de notre étude expérimentale et essayerons de décrire brièvement les perspectives ouvertes et inspirées par la réalisation de ce travail.

Chapitre I

LES MATIERES PREMIERES

Chapitre I

LES MATIERES PREMIERES

I.1 Généralités sur l'acrylonitrile butadiène styrène

I.1.1. Présentation de l'ABS

L'ABS est un terpolymère obtenu par copolymérisation de styrène, de butadiène et d'acrylonitrile. Il est composé de deux éléments essentiels : un copolymère d'acrylonitrile/styrène (SAN), qui constitue la matrice, et des nodules de caoutchouc (Butadiène greffé de copolymères de styrène/acrylonitrile) [4]. La formule de l'ABS est donnée à la Figure I.1.

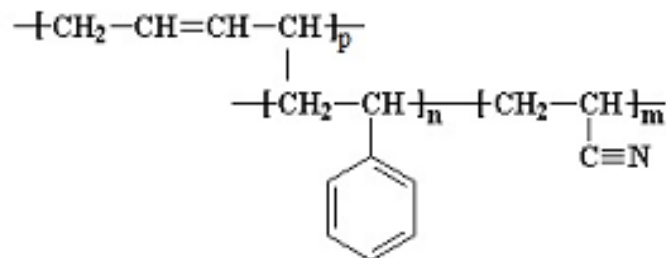


Figure I.1 : formule chimique de l'ABS [4]

I.1.2. Synthèse de L'ABS

L'ABS peut être obtenu selon deux méthodes :

- ✓ La polymérisation par émulsion : elle consiste à préparer dans un premier temps la phase élastomère pour former le polybutadiène réticulé qui est ensuite greffé avec des copolymères styrène/acrylonitrile.

✓ La polymérisation en masse: elle consiste à dissoudre le latex d'élastomère non réticulé dans un mélange de monomères styrène et acrylonitrile additionné d'un amorceur de polymérisation radicalaire.

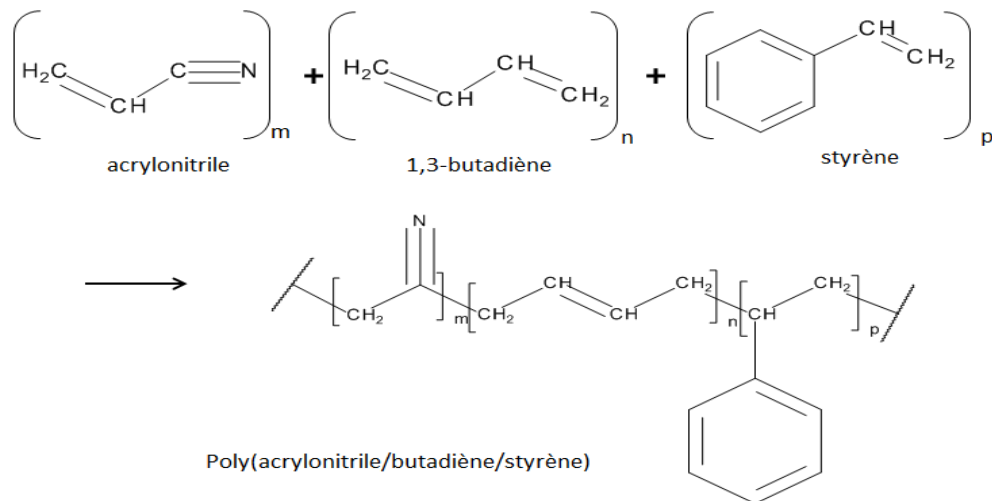


Figure I.2: Schéma de synthèse de l'ABS [5]

I.1.3. Mise en œuvre du l'ABS

La transformation des copolymères styréniques ne présente pas de difficulté particulière. Toutefois, il est souvent nécessaire de sécher au préalable les granulés, dans une étuve à circulation d'air, pendant plusieurs heures de 30 à 80 °C [6].

I.1.4. propriétés du l'ABS

L'ABS est opaque, mais il existe toutefois des grades d'ABS transparents dans lesquels un autre monomère est ajouté : le méthacrylate de méthyle. La brillance est une propriété qui peut être appréciée pour certaines applications. Elle est liée à des paramètres structuraux comme la composition en acrylonitrile greffe et la taille des particules d'élastomères. Plus la taille des particules diminue, plus la brillance ne diminue. Cette propriété est fonction également des conditions d'injection. Ainsi, une vitesse d'injection, une pression d'injection et une température de moule élevées font augmenter la brillance.

➤ Propriétés thermiques

-Température de transition vitreuse $T_g=105$ à 115°C

- Température de fusion $T_f=180$ à 200°C

➤ **propriétés mécaniques**

- bonne rigidité, Bon compromis choc/rigidité.

➤ **Propriétés électriques**

-L'Acrylonitrile butadiène Styène est un excellent isolant électrique, compte tenu de sa forte résistivité volumique, l'humidité n'a aucune influence sur les propriétés électriques de l'Acrylonitrile butadiène styrène.

➤ **Propriétés chimiques**

-L'Acrylonitrile butadiène styrène résiste bien : aux solutions salines, d'acides et de bases diluées, à la plupart des alcools.

-L'Acrylonitrile butadiène styrène ne résiste pas : aux acides oxydants : acides nitriques, sulfuriques.

- aux acides organiques : acides acétiques, formiques,-aux esters : acétate d'éthyle-aux hydrocarbures aliphatiques, hydrocarbures aromatiques [7].

I.1.5. Les applications du l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) sont les suivantes

- ✓ Grand public : jouets, biens de consommation, téléphones, casques de sécurité
- ✓ Automobile : panneaux intérieurs de portière, montants, garnitures de sièges, grilles, tableaux de bord, boîtiers de rétroviseurs
- ✓ Electroménager : habillages d'appareils de cuisine, boîtiers d'aspirateurs, panneaux de commande de produits blancs
- ✓ Extrusion : feuilles, receveurs de douche, toits de tracteurs, chants de meubles, revêtements de réfrigérateurs [8].

I.1.6. Les avantages et les inconvénients de l'ABS

➤ **Avantages :**

- Facile à usiner.
- Facile à colorer par pigmentation dans la masse.
- Légèreté.
- Bonne résistance aux agressions chimiques.
- Excellentes propriétés d'isolation.

➤ **Inconvénients :**

- Résistance aux chocs plus faible.
- Gamme de températures d'utilisation plus restreinte.
- Utilisation à l'extérieur non recommandé.
- N'existe pas en version transparente [9].

I.2. Généralité sur le polyéthylène haute densité

I.2.1. Présentation du PEHD

Le polyéthylène (PE) est un polymère semi-cristallin présentant une structure moléculaire dans laquelle les segments -CH₂- sont alignés selon une disposition simple. La longueur des chaînes détermine principalement les propriétés du polyéthylène [10]. La structure chimique du PE est donnée par la structure donnée dans **la figure I.3**:

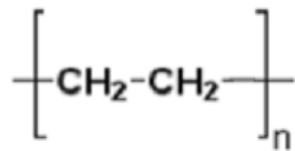


Figure I.3 : Motif de répétition du polyéthylène [10].

Les deux voies essentielles pour fabriquer des polyéthylènes hauts densité sont des réactions de polymérisation catalysées par des systèmes à base d'oxyde de chrome ou des composés organométalliques de type Ziegler-Natta [11].

I.2.2. Polymérisation de PEHD

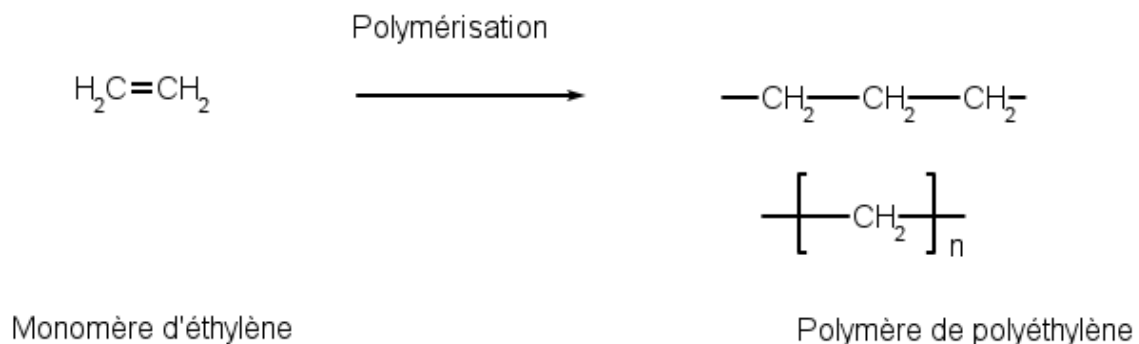


Figure I.4 : Schéma de synthèse de PEHD [12]

I.2.3. Propriétés du polyéthylène haute densité PEHD

Les propriétés d'une pièce fabriquée à base de polyéthylène haute densité dépendent: des paramètres structuraux du PEHD: cristallinité, masse volumique et distribution des masses molaires.

I.2.3.1. Propriétés physiques

Les polyéthylènes haute densité sont presque parfaitement linéaires (avec un faible taux de ramification) et hautement cristallisables. Leur taux de cristallinité élevé (environ 70%) leur permet d'avoir une densité qui peut atteindre 0,970 [13].

I.2.3.2. Propriétés mécaniques

Le PEHD conserve une bonne rigidité jusqu'à des températures importantes à 80°C, elle augmente avec la cristallinité et le masse molaire. La résistance au choc varie en sens inverse de la rigidité, elle est d'autant meilleure que sa masse molaire est plus élevée, sa cristallinité est plus faible et la température est plus élevée (mais la rigidité décroît fortement avec la température). Le polyéthylène haut densité possède une dureté relativement faible; sa dureté varie relativement peu d'une résine à l'autre et augmente avec la cristallinité.

I.2.3.3. Propriétés thermiques

La température de fusion du PEHD est comprise entre 125 et 135 °C.

I.2.3.4. Propriétés chimiques

Le polyéthylène haut densité, par sa nature paraffinique non polaire, résiste bien aux acides forts non oxydants et aux bases. La résistance chimique augmente avec le taux de cristallinité et, dans une moindre mesure, avec la masse molaire; elle diminue fortement quand la température augmente [14].

I.2.4. Les applications de PEHD (polyéthylène à haute densité)

- ✓ les secteurs alimentaire, médical, et chimique.
- ✓ Fabrication des réservoirs.
- ✓ Fabrication des équipements sportifs.
- ✓ Fabrication des produits d'emballage [15].

I.2.5. Les avantages et inconvénients de PEHD

➤ Avantage

- mise en œuvre aisée.
- Excellents propriétés d'isolation électrique.
- Résistance aux chocs.
- Grande inertie chimique.
- qualité alimentaire **[16]**.

➤ Inconvénients

- Sensibilité aux UV en présence d'oxygène.
- Sensibilité à la fissure sous contrainte.
- Mauvaise tenue à la chaleur.
- Collage important **[16]**.

Chapitre II

MELANGE DE POLYMERES

Chapitre II

MELANGE DE POLYMERES

II.1. Introduction

L'industrie des polymères favorise de plus en plus la technologie élevée et les matériaux à valeur ajoutée élevée ; ceux-ci sont obtenus, soit au moyen de synthèse de nouveaux monomères, ou en développant de nouvelles méthodes de polymérisation ou encore en mélangeant des polymères [17,18]. Cette dernière s'est avérée la stratégie la plus convenable pour les raisons suivantes:

- i) Des raisons technologiques:** recherche de nouveaux matériaux et de nouvelles propriétés.
- ii) Des besoins industriels:** polymères modifiés pour des applications spécifiques nouvelles.
- iii) Des Raisons économiques:** recherche de matériaux moins coûteux, obtention de nouveaux matériaux à partir de polymères déjà préparés et disponibles.
- iv) Des considérations environnementales:** diminuer la pollution par le recyclage et la réutilisation des matériaux plastiques en général [19].

Par ailleurs, les raisons liées aux producteurs se résument essentiellement en: une meilleure transformabilité et uniformité du produit et la réduction du nombre de grades stockés ou produits [20].

II.2. Définition

On appelle un mélange de polymère tout mélange d'au moins deux polymères ou copolymères. Ces polymères peuvent être miscibles ou non miscibles [21]. Ce sont des mélanges de polymères de natures chimiques différentes. Ils obéissent principalement à des systèmes multiphasiques dont la structure dépend de la composition et des conditions de transformation. Ils peuvent être classifiés suivant leur miscibilité et la méthode de préparation [22], On distingue:

II.2.1. Mélange miscible

C'est un mélange de polymère qui se comporte comme un système monophasé à l'échelle moléculaire. Son comportement est celui d'un homopolymère. Ses propriétés varient avec la composition suivant une loi de mélange simple [23].

II.2.2. Mélange non miscible

Un mélange de deux polymères est considéré non miscible lorsqu'il se sépare en deux phases quelles que soient leurs proportions relatives et la température considérée.

II.2.3. Mélange partiellement miscible

Un mélange dit partiellement miscible s'il se sépare en deux phases, dont chacune est enrichie en l'un des deux constituants [24].

II.3. Méthodes de préparation des mélanges polymériques

Un mélange polymérique peut être effectuée soit en solution, soit à l'état fondu.

II.3.1. Mélange en solution

La préparation des mélanges polymériques en solution est réalisée à partir des solutions des deux polymères dans un même solvant. Le mélange peut être récupéré à partir de la solution, par précipitation ou par évaporation du solvant. Cette méthode est fréquemment utilisée dans des études académiques à l'échelle de laboratoire et moins appropriée à l'échelle industrielle vu le coût élevée et la non disponibilité des solvants et, en particulier, la difficulté d'enlèvement d'immense quantité des solvants organiques parfois toxiques [25].

II.3.2. Mélange a l'état fondu

Les procédés les plus couramment utilisés pour le mélange de polymères sont, sans aucun doute, l'extrusion et le malaxage comme montre les figures. Cette technique est la plus utilisée dans la transformation des polymères dans l'industrie et qui présente un intérêt pratique. La dégradation thermomécanique des polymères est la principale limitation de cette technique [26].

➤ Extrudeuse

Est formée d'une trémie qui permet l'introduction des polymères sous forme de granulés, d'un fourreau à l'intérieur duquel se trouve une vis sans fin qui permet de mettre en forme le polymère.

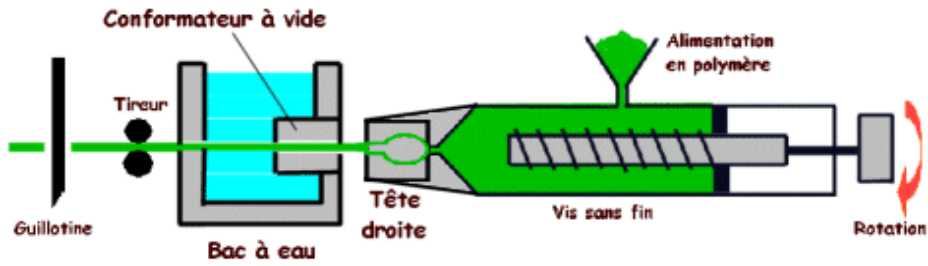
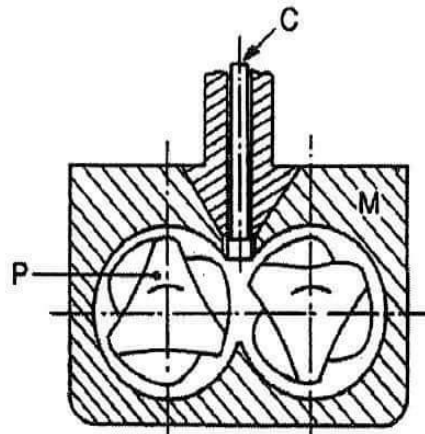


Figure II.1 : schéma d'une extrudeuse [27]

➤ **Malaxeur**

Il existe aussi de nombreux types de malaxeur, des malaxeurs verticaux ou horizontaux, du plus simple, formé d'une chambre dans laquelle tournent deux rotors en forme d'hélices figureII-2, au plus compliqué avec plusieurs chambres dans lesquelles tournent des hélices aux profils variés. Le volume total des chambres peut varier de 0.5 L à 1600 L.



C cheminée d'introduction du polymère en poudre
M malaxeur à température régulée
P pales tournant à vitesse constante

Figure II.2: schéma d'un malaxeur [28]

Tous ces malaxeurs possèdent des systèmes chauffants permettant de fondre les polymères, ils sont en général situés sur la paroi arrière, la plaque frontale et la chambre du malaxeur.

II.4. Thermodynamique des mélanges de polymères

Un mélange de deux polymères peut être homogène ou hétérogène. Le second principe de la thermodynamique permet d'établir que l'état de miscibilité de tout mélange est gouverné par l'énergie libre de mélange ΔG_M :

$$\Delta G_M = \Delta H_M - T\Delta S_M \quad (\text{éq. 1})$$

Où :

ΔH_M : Enthalpie du mélange

ΔS_M : Entropie du mélange

T : Température absolue

La condition nécessaire, mais non suffisante, pour qu'un mélange soit miscible est que soit ΔG_M négatif. Si ΔG_M est positif, la non miscibilité se traduira par une séparation de phase du mélange.

ΔG_M doit également satisfaire une deuxième condition qui assure la miscibilité et prévient la séparation de phase :

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta G_m}{\partial \Phi_i^2} \right)_{T,P} > 0$$

Φ_i étant la fraction volumique d'un composant i dans le mélange, T et P sont respectivement la température et la pression.

La miscibilité d'un mélange de polymère peut être analysée à partir de l'allure de la courbe ΔG_M en fonction de la composition du mélange à une température fixe.

La figure II-3 montre les trois dépendances possibles, pour lesquelles l'énergie libre de mélange peut varier avec la composition du mélange binaire, exprimée en fraction volumique Φ_2 d'un des constituants.

-Dans le cas (A), l'énergie libre de mélange est toujours positive, et les deux composants ne sont jamais miscibles, quelles que soient les proportions.

-Dans le cas (B), c'est l'inverse qui se produit, et les composants sont complètement miscibles en toute proportion.

-Dans le cas (C), le mélange peut développer des niveaux d'énergie faibles en se séparant en deux phases; ceci résulte de la miscibilité partielle pour certaines valeurs de la composition

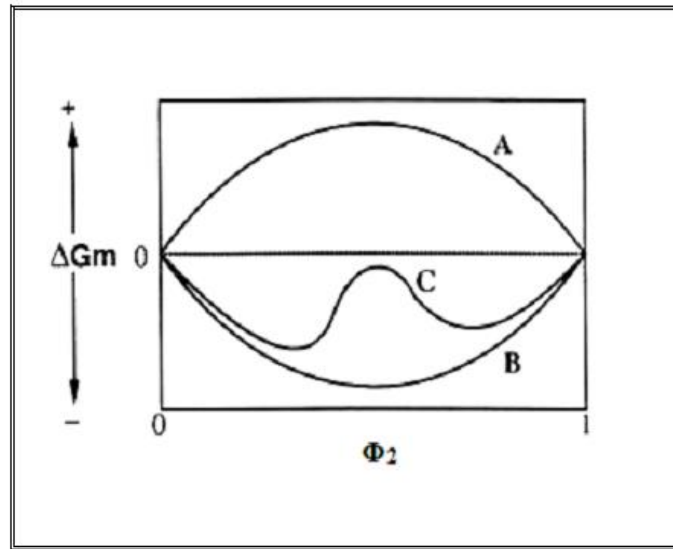


Figure II.4 : Variation de l'énergie libre en fonction de la composition Φ_2 [29]

II.5. Comment concevoir un mélange de polymère ?

Pour concevoir un mélange de polymères ayant les propriétés désirées, plusieurs facteurs doivent être pris en considération :

Etape 1 : Définir les propriétés physiques et chimiques que le mélange idéal doit avoir.

Etape 2 : Sélectionner les polymères qui peuvent présenter ces propriétés.

Etape 3 : Tabuler les avantages et les inconvénients des polymères sélectionnés.

Etape 4 : De la liste des polymères candidats, sélectionner ceux qui assurent le plus la complémentarité des propriétés.

Etape 5 : Déterminer la miscibilité des polymères sélectionnés et/ou utiliser la méthode de les rendre compatibles.

Etape 6: Examiner l'aspect économique, le prix des polymères, le coût de comptabilisation de maintenance....etc. Si le coût est élevé, se revenir à l'étape 4 et sélectionner d'autre polymères.

Etape 7: Définir la morphologie idéale qui assure la performance optimale du produit fini.

Etape 8: Sélectionner les propriétés rhéologiques des composants du mélange, concentration des ingrédients, quantité du comptabilisant.

Etape 9: Déterminer la méthode de stabilisation de la morphologie, par exemple celle de cristallisation, réaction chimique...etc.

Etape 10: Sélectionner la méthode optimale de fabrication qui assure la morphologie finale. Si la morphologie ne s'accorde pas avec l'optimum, revenir à l'étape 8 plus de 10 ans [30].

II.6. Compatibilisation des mélanges de polymères

II.6.1. définition

C'est un procédé physique ou chimique, modifiant les propriétés interfaciales des mélanges de polymères non miscibles, et la comptabilisation d'un mélange de polymères immiscibles est de loin la méthode la plus appropriée pour la conversion d'un système hétérophasique en un alliage hautement performant, caractérisé par des propriétés stables et reproductibles. Aussi, puisque les performances d'un matériau dépendent non seulement de ses constituants et de leurs concentrations mais, aussi de la morphologie.

Différents auteurs ont fait le point à un instant donné sur les méthodes utilisées pour la compatibilisation des mélanges de polymères [31,32].

II.6.2. Objectifs de la Compatibilisation

Les principales raisons de la compatibilisation sont la génération et la stabilisation d'une morphologie optimale, pour maximiser les performances du produit. La compatibilité doit permettre [33] :

- L'optimisation de la tension interfaciale.
- La stabilisation de la morphologie contre les fortes contraintes lors de la transformation.
- L'amélioration de l'adhésion entre les phases à l'état solide

II.6.3. Rôle du compatibilisant

Un compatibilisant efficace mène à une réduction de la taille des particules de la phase dispersée et à une dispersion plus fine d'une phase dans l'autre. D'autre part, un comptabilisant augmente l'adhésion interfaciale en couplant les phases ensembles et stabilise la phase dispersée afin d'éviter la coalescence [34,35]. En résumé les aspects recherchés par l'utilisation du compatibilisant sont [36] :

- Diminution de la tension interfaciale pour faciliter la dispersion, et pour assurer une fine dispersion ;
- Stabilisation de la morphologie afin d'éviter son évolution au cours des étapes de transformation et de mise en œuvre ;
- Amélioration de l'adhésion interfaciale entre phases pour favoriser le transfert de contraintes entre les phases et donc améliorer les propriétés mécaniques.

II.6.4. Mode d'addition du compatibilisant

Le mélange en une seule étape : consiste à introduire les composants simultanément dans le mélangeur, il présente une morphologie assez grossière et une faible résistance au choc.

Le mélange en deux étapes : le compatibilisant et le polymère qui forme la phase dispersée, sont mélangés séparément avant le mélange final ; la morphologie dans ce cas est beaucoup plus fine, sa résistance au choc est nettement meilleure [37].

Le mode d'incorporation du compatibilisant réactif dans le mélange a un grand effet sur la morphologie des mélanges, des recherches ont indiqué qu'une morphologie fine était obtenue par le pré-mélangeage du compatibilisant réactif dans la phase mineure puis mélangé avec la phase majeure [38].

II.6.5. Les méthodes de compatibilisation

En général, la compatibilisation des mélanges de polymères est effectuée à l'aide de deux voies principales [39,40].

II.6.5.1. La compatibilisation non réactive

Historiquement, la méthode la plus classique pour la compatibilisation d'un mélange de polymères est l'incorporation d'un troisième composant [41].

Cette méthode est basée sur l'addition d'un compatibilisant avant ou durant le processus de malaxage. Il s'agit souvent d'un copolymère greffé ou en bloc, ayant des segments miscibles

avec au moins un des composants du mélange, il se localise à l'interface entre les phases du mélange immiscible pour réduire la tension interfacial entre les phases du mélange, réduire la taille de la phase dispersée et la stabilise contre la coalescence [42,43]. Cependant, l'utilisation des copolymères greffés ou en blocs présente des limitations qui résident dans leurs localisation non sélective à l'interface, formant des micelles dans l'un des deux phases pures et cause l'augmentation de la viscosité du système [41-44].

II.6.5.2. La compatibilisation réactive

La plupart des compatibilisants sont chers, non disponibles commercialement, et souvent difficiles à synthétiser. Par conséquent, il est essentiel de remplacer ces copolymères en employant une alternative et une efficace méthode pour produire des mélanges compatibles de polymères avec les propriétés désirées [45].

La compatibilisation réactive est la méthode la plus dominante aujourd'hui ; elle est basée sur la formation d'un copolymère à l'interface pendant la transformation à travers une réaction chimique spécifique entre les deux segments des deux polymères. Par conséquent, un agent interfacial est produit in situ [41]; le copolymère formé in situ assure une morphologie fine et augmente l'adhésion interfaciale entre les phases [46].

La compatibilisation réactive permet de générer des mélanges déjà connus avec de nouvelles gammes de propriétés et de développer de nouveaux mélanges [41].

Chapitre III

MATERIAUX ET TECHNIQUE EXPERIMENTALES

Chapitre III

MATERIAUX ET TECHNIQUE EXPERIMENTALES

Dans ce chapitre, nous avons tenu à présenter les principales caractéristiques des matériaux qui ont été utilisés pour la réalisation des mélanges ABS/PEHD. On y a décrit également les techniques mises à profit pour l'élaboration et la caractérisation des mélanges.

III.1 Matériaux utilisés

III.1.1. Le Polyéthylène Haute Densité (PEHD)

Le PEHD utilisé est du type ExxonMobil HYA 800, fabriqué par la firme Chemical Company [47]. Ses principales caractéristiques sont données dans le **tableau III.1**.

Tableau III.1: Caractéristique du PEHD

Propriétés	PEHD
Forme	Granulé
Densité	0.961
Indice de fluidité	1.80 g/10min
Température de fusion	200
Couleur	Blanc

III.1.2. Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS)

L'acrylonitrile butadiène styrène utilisée dans ce travail est commercialisé sous la référence : **Porene GA800**, dont les caractéristiques sont:

Tableau III.2 : Caractéristique d'ABS

Propriétés	ABS
Forme	granulé
Densité	1.05
Indice de fluidité	10 g/10min
Température de fusion	220 °C
Couleur	gris

III.1.3. L'agent Compatibilisant (SEBS-g-MAH)

C'est un copolymère de type (Styrène- Ethylène –Butylène- Styrène), commercialisé sous le nom Kraton FG1901x, est un copolymère à trois block de type S-EB-S greffé par environ 2% en poids d'anhydride maléique. Le pourcentage de la phase de polystyrène dans le polymère est environ 29%. Ses caractéristiques techniques sont rassemblées dans le (tableau) ci-dessous :

Tableau III.3: les caractéristiques de SEBS-g-MAH

Propriétés	SEBD-g-MAH
Source	SHELL
Densités	0.919
Indice de fluidité	3.2 g/10min à 230°C
Forme Bloc finale Bloc centraux Température de mise en œuvre	Granulé Polystyrène Poly(éthylène/butylène) 190-260

III.2. Préparation des mélanges

Comme il est connu, l'ABS est un matériau hygroscopique qui absorbe rapidement l'humidité donc l'opération de séchage de l'ABS est indispensable afin d'éviter au maximum toute trace d'humidité et éviter ainsi la dégradation hydrolytique.

Après un étuvage soigné d'ABS à une température de 80°C pendant 4 heures, le mélange de ABS/PEHD a été préparé sur une extrudeuse mono-vis de marque CONTROLAB ayant un diamètre de vis de 25 mm et un rapport (L/D=20), la vitesse de rotation de la vis était de 40 tr/min et suivant le profil de température : 200, 220, 240 °C.

La préparation des mélanges a été effectuée par l'introduction des trois composés (PEHD, ABS, SEBS-MAH) dans l'extrudeuse. Enfin les extrudats ont été refroidis à l'air libre puis réduits en granulés dans un broyeur.



Figure III.2 : Extrudeuse de type CONTROLAB



Figure III.3 : Broyeur de type Polylab Brabender

III.3. Réalisation des échantillons par moulage par compression

Les échantillons destinés aux essais mécaniques (à savoir choc, traction) ont été obtenus par moulage par compression dans une presse hydraulique. Après l'étuvage des mélanges à 80 °C pendant une durée de 4 heures, la préparation des échantillons a été effectuée à une température de 220 °C, sous une pression égale à 220 Kg/cm², pendant 15 minutes dont 10 minutes pour le préchauffage et 5 minutes pour le dégazage et la compression. L'extraction des éprouvettes se fait mutuellement après un refroidissement à une température ambiante.



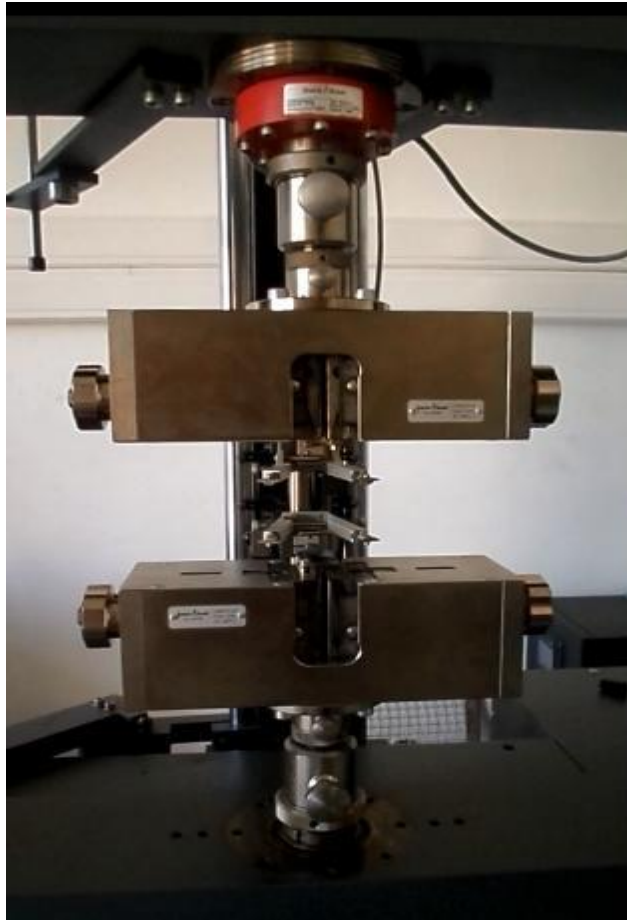
Figure III.4 : Presse hydraulique de type Polylab

III.4. Caractérisations des mélanges

III.4.1. Caractérisation rhéologique : détermination de l'indice de fluidité (IF)

L'indice de fluidité est un test de contrôle qualité qui mesure l'écoulement d'une résine à travers une filière. C'est le taux de polymère fondu, en gramme, qui est exclu par la filière en 10 minutes, poussé par une charge spécifique. Les mesures de l'indice de fluidité des mélanges ont été réalisées à l'aide d'un fluidimètre type Melt- Indexer modèle 5, qui consiste en un cylindre d'axe vertical se terminant à son extrémité inférieure par une filière standard d'une longueur égale à 5 mm et d'un diamètre de 2.09 mm. Les essais ont été réalisés à une

température de 240°C et sous une charge de 2,16 Kg selon la procédure standard ASTM D1238 qui permet le calcul d'IF selon l'expression :



Les éprouvettes de test de traction fabriquées selon la norme ASTM-632 type 2, sont soumis à l'essai à l'aide d'un appareil de traction de type ZWICK Modèle Matériel Prufung 1445, couplé à un micro-ordinateur, qui permet d'obtenir les valeurs de la contrainte à la rupture ainsi que les valeurs d'allongements à la rupture et le module de Young. Il calcule d'autre part, la moyenne des essais pour les valeurs précédentes. Les essais de traction ont été réalisés à température ambiante et à une vitesse de 20 mm/min jusqu'à la rupture.

Les propriétés en traction (module d'élasticité E , contrainte à la rupture σ_r , déformation à la rupture ϵ_r) sont évaluées à partir des courbes contrainte / déformation.

Le module d'élasticité s'exprime comme suit :

$$E = \sigma / \epsilon \text{ (N/m}^2\text{)}$$

E : Module d'élasticité

σ : contrainte

ϵ : Allongement

La contrainte à la rupture est donnée par l'expression suivante :

$$\sigma_r = F / S \text{ (N/m}^2\text{)}$$

F : charge de traction supportée par l'éprouvette (N)

S : Section initiale

L'allongement à la rupture est indiqué en pourcentage sous la formule suivante :

$$\epsilon_r = \Delta l / l_0 \text{ (\%)}$$

$\Delta l = l - l_0$: Déformation à la rupture

l_0 : longueur initiale de l'éprouvette

l : longueur finale de l'éprouvette.

III.4.2.2. Essai de choc

Les essais de choc ont été réalisés sur un appareil de type Resil Impactor consistant en un pendule portant à son extrémité libre un marteau, un support pour éprouvette et un cadran indicateur de l'énergie absorbée au cours du choc.

Les éprouvettes sans entaille ont été préparées par compression selon les dimensions $(14 \times 3 \times 62) \text{ mm}^3$, Les essais ont été réalisés sur des barreaux lisses selon la norme ISO 179. Le choc est donné au centre de l'éprouvette par un marteau de 7.5 joule.

L'énergie de fracture ou la résilience sur barreau lisse (sans entaille) est calculée selon l'équation suivante :

$$A_n = A_N / L \cdot e$$

A_N étant l'énergie cinétique (en Joule) absorbée par l'éprouvette au moment de l'impact (choc) alors que L et e sont respectivement la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette (en millimètre).



Figure III.7: Appareil de choc de type Resil Impactor

Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSION

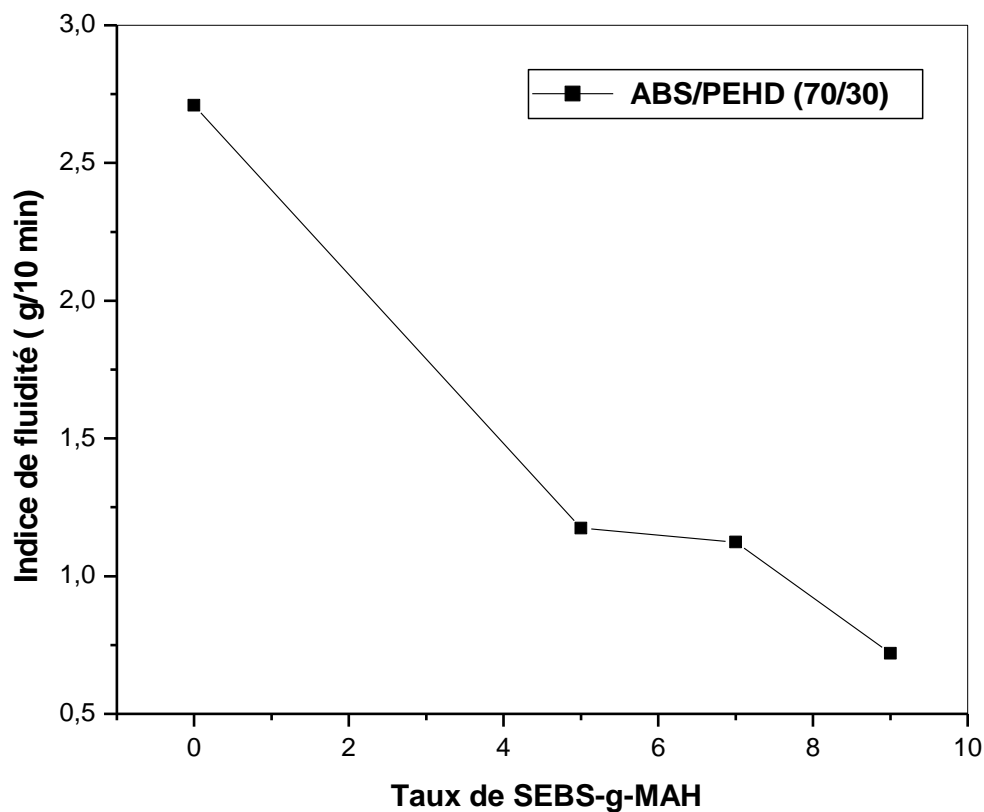
Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSION

IV. Caractérisation des mélanges préparés

IV.1. Caractérisation rhéologique

La figure IV.1 illustre la variation de l'indice de fluidité IF de la composition ABS/PEHD (70/30) en fonction du taux de l'agent compatibilisant SEBS-g-MAH, variant de 5, 7 et 9%.



Figure

IV.1 : Variation de l'indice de fluidité des mélanges ABS/PEHD avec et sans compatibilisant SEBS-g-MAH.

La figure illustre clairement que la présence de l'agent compatibilisant SEBSg-MAH provoque une diminution remarquable dans les valeurs de l'indice de fluidité et les mélanges deviennent de plus en plus visqueux. Ce résultat peut s'expliquer par l'effet du compatibilisant qui développe des interactions à l'interface entre l'ABS et le PEHD, ces interactions peuvent être d'ordre chimique ou physique. Les liaisons d'ordre physiques sont associées à la diminution de la tension interfaciale entre les phases individuelles et à l'amélioration de l'adhésion. On remarque aussi que les valeurs d'IF ne montrent pas une grande variation avec la variation du taux du compatibilisant.

IV.2. Caractérisation des propriétés mécaniques

IV.2.1. Test de traction

Les courbes contrainte-déformations du PEHD et de leurs mélanges sans et avec l'agent compatibilisant sont illustrées sur la figure IV.2. et IV.3.

A partir de la figure IV.2 on observe que le PEHD présente un comportement ductile avec un module d'élasticité de 1321 MPa et un allongement de 160 %.

D'après la figure IV.3, on constate que l'addition de l'ABS au PEHD entraîne une diminution des propriétés des mélanges ABS/PEHD (70/30), et ces propriétés sont intermédiaires entre celle des composants purs, présentant un comportement fragile.

La figure montre que l'addition du compatibilisant entraîne la fragilisation du mélange ABS/PEHD, et ce dernier se comporte comme un matériau rigide et cassant avec un allongement à la rupture inférieur à celle du mélange non compatibilisés.

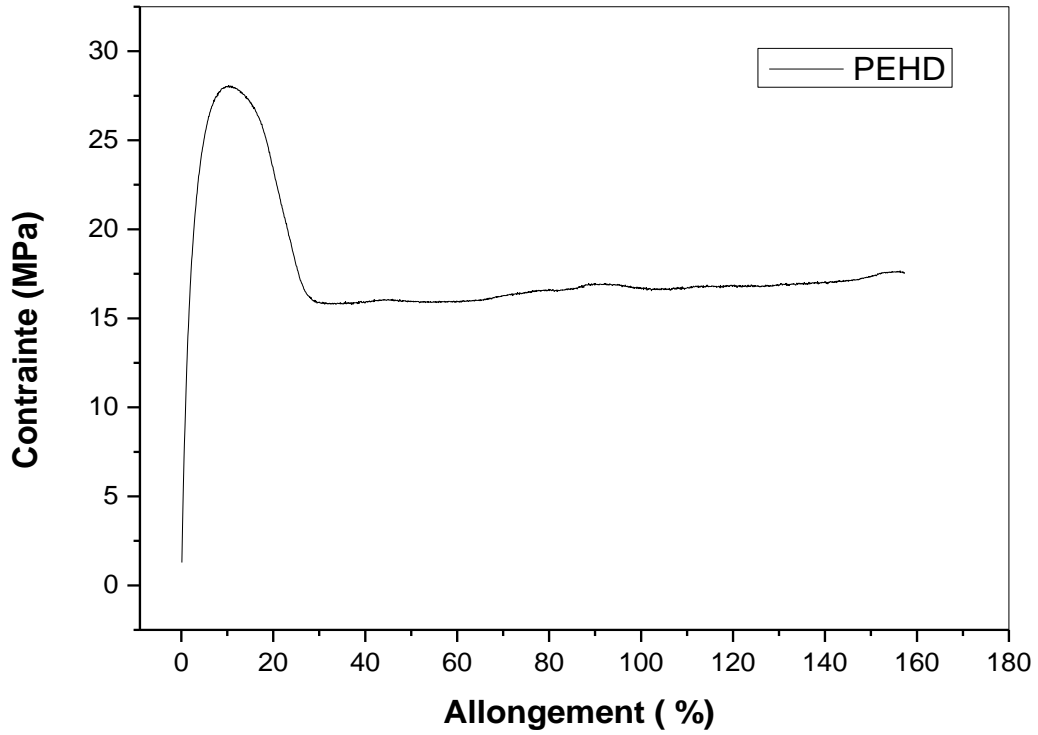


Figure IV.2 : Courbe contrainte-déformation des composants purs PEHD et ABS

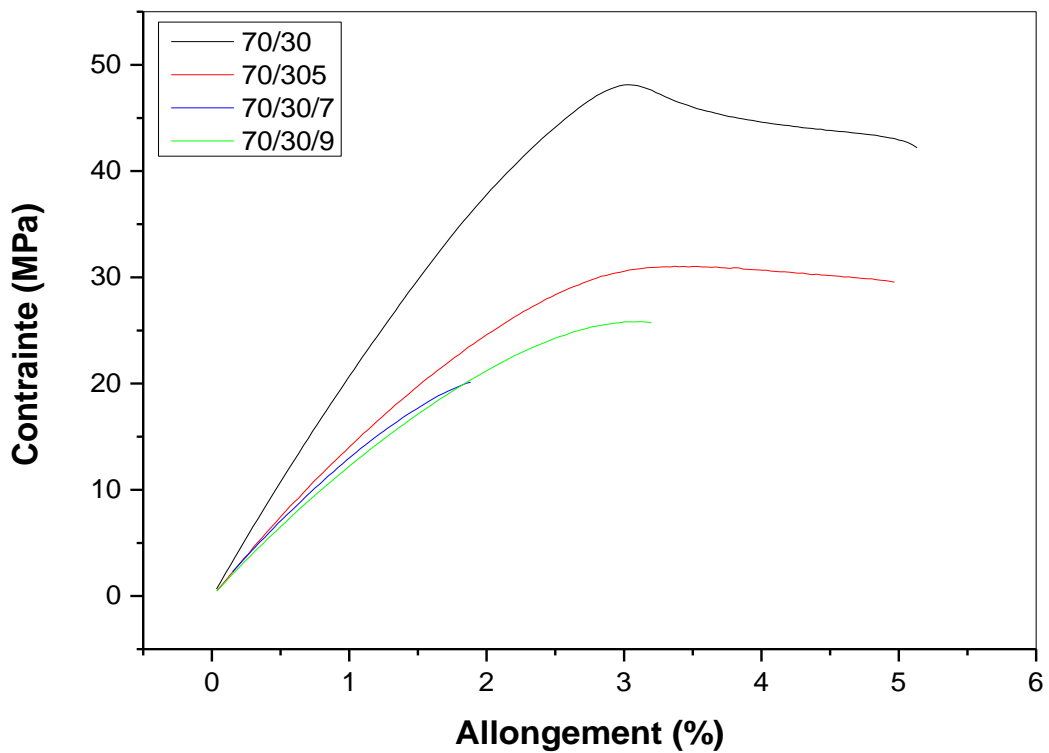


Figure IV.3 : Courbe contrainte-déformation Du mélanges ABS/PEHD (70/30) sans et avec 5, 7 et 9 % de SEBS-g-MAH

Les figures IV.4, 5 et 6 montrent les variations moyennes des propriétés en traction (contrainte à la rupture, allongement à la rupture et module d'élasticité) tirées à partir des courbes contrainte-déformation.

La figure IV.4 montre la variation de la contrainte à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) en fonction de la concentration du compatibilisant SEBS-g-MAH. On remarque que l'addition du compatibilisant entraîne la diminution de la contrainte à la rupture, avec l'augmentation de la teneur en SEBS-g-MAH.

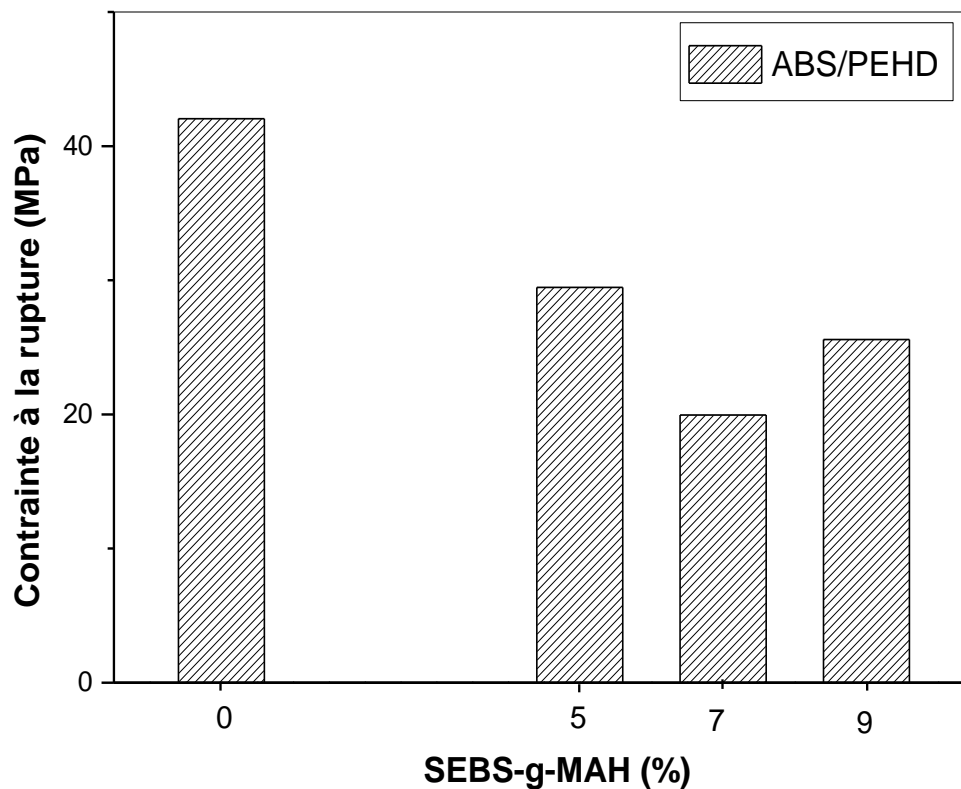


Figure IV.4 : Variation de la contrainte à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) avec du taux d'SEBS-g-MAH

La figure IV.5 montre la variation de l'allongement à la rupture du mélanges ABS/PEHD (70/30) en fonction de la teneur en SEBS-g-MAH, d'après la figure on remarque une augmentation de l'allongement à 5 % en SEBS-g-MAH suivie d'une chute à 7 %.

La diminution de l'allongement à la rupture avec l'augmentation du taux du compatibilisant peut être expliquée par une séparation de phase et un affaiblissement de l'adhésion interfacial.

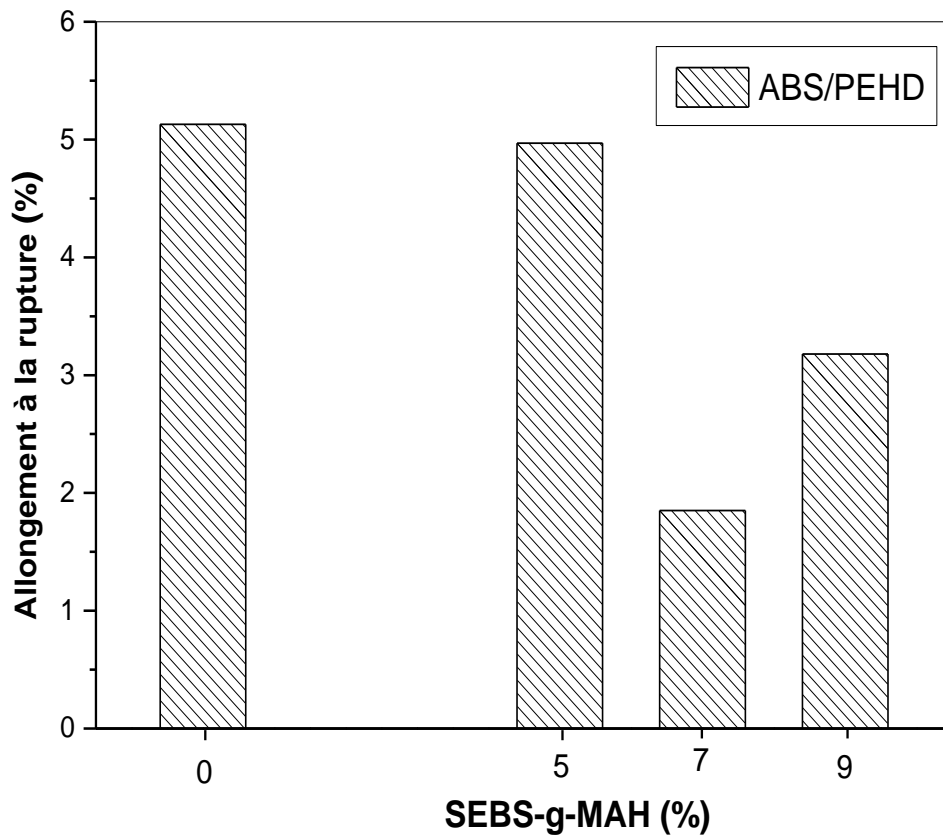


Figure IV.5 : Variation de l'allongement à la rupture du mélange ABS/PEHD (70/30) en fonction du taux d'SEBS-g-MAH

La figure IV.6 représente la variation du module d'élasticité en fonction du taux d'SEBS-g-MAH. On remarque que l'addition de l'agent compatibilisant, entraîne une diminution des valeurs du module, les mélanges deviennent un peu mous et flexibles en raison du caractère caoutchoutique du compatibilisant.

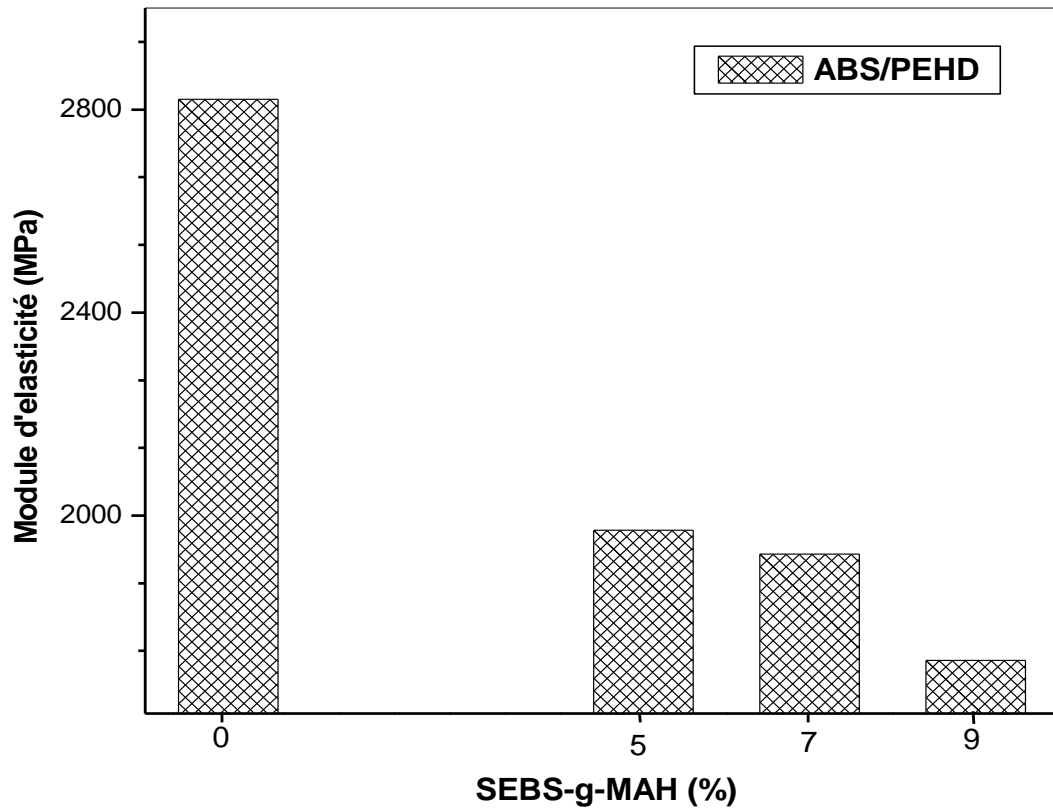


Figure IV.6: Variation du module d'élasticité du mélange ABS/PEHD (70/30) en fonction du taux d'SEBS-g-MAH

La figure IV.7 représente la variation de la résilience en fonction de la concentration du compatibilisant, la première observation est que lors, de l'essai tous les échantillons ont un mode de rupture fragile sans aucune déformation plastique avants rupture. La figure montre que la résistance au choc diminue avec l'augmentation du taux d'SEBS-g-MAH

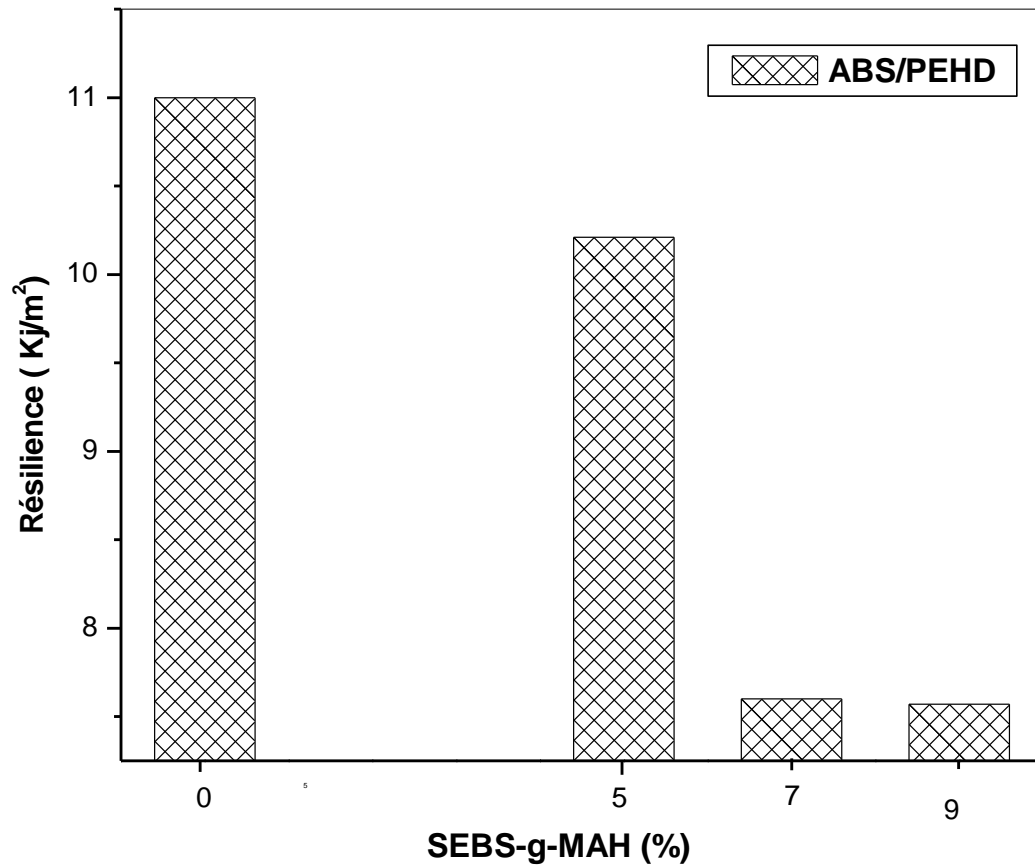


Figure IV.7: Variation de la résistance à l'impacte du mélange ABS/PEHD (70/30) avec le taux d'SEBS-g-MAH

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude des propriétés des mélanges binaires ABS/PEHD (70 / 30), nous a permis de préciser l'influence de l'agent compatibilisant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques de ce mélange. Ce couple de polymères immiscible a été compatibilisés par un copolymère tribloc type SEBS (Styrène-Ethylène/Butylène-Styrène) greffé par l'anhydride maléique, différentes techniques ont été utilisées.

A la fin de cette étude plusieurs conclusions peuvent être tirées :

- La caractérisation mécanique (traction et choc) confirme que le mélange ABS/PEHD (70/30) exhibe un comportement des mélanges immiscible.
- L'addition de l'agent compatibilisant entraîne une diminution et une détérioration des propriétés mécaniques du mélange.

Généralement, on peut dire que l'SEBS-g-MAH n'est pas un bon compatibilisant pour le mélange d'acrylonitrile butadiène styrène et polyéthylène haute densité.

PERSPECTIVES

Pour mieux enrichir ce travail, il est recommandé de:

- Utilisation d'autre compatibilisant pour le mélange d'acrylonitrile butadiène styrène et polyéthylène haute densité.
- Faire une caractérisation thermique (DSC) pour déterminer de transition vitreuse de ce mélange,

REFERENCES
BIBLIOGRAPHYQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHYQUES

- [1] Aji et Utraki, « Introduction to polymère blend, chapitre 2 », polymer blends handbook. Vol. 1, 2002, P. 12
- [2] Elbaz Mikael. Master nanotechnologie, « les nanocomposites à matrice organique ». France, 2005, P. 3
- [3] T.K. Kallel, « Étude de Mélange PE/PS Contribution au Recyclage », Thèse Doctorat, Institut national des sciences appliquées, Lyon, (2003).
- [4] Barthès, M.-L., « Régénération d'ABS et de PC Issus de DEEE sous Forme d'Alliages de Polymères Techniques ou de Nanocomposites». Bordeaux ,(2010).
- [5] Wikipédia« Acrylonitrile butadiène styrène». Disponible sur :
(En) <http://retr0bright.wikispaces.com/> [archive] (consulté le : 8/04/2018)
- [6]http://www.inrs.fr/publications/bdd/plastique/polymer.html?refINRS=PLASTIQUES_poly_mere_4 (consulté le : 17/06/2018)
- [7] «Acrylonitrile Butadiène Styrène » disponible sur :
http://www.inrs.fr/publications/bdd/plastiques/polymere.html?refINRS=PLASTIQUES_poly_mere_4§ion=caracteristiques (consulté le :19/06/2018).
- [8] «ABS/type de polymères-Resinex» disponible sur : www.resinex.fr> type-de-polymeres abs> (consulté le :11/04/2018).
- [9] « Acrylonitrile Butadiène Styrène-ABS-PHT- plastiques haute technologie » sur <http://www.pht-plastique.fr> (consulté le : 11/04/2018).
- [10] Polyéthylène (PEHD), [en ligne] : disponible sur : «<http://www.matierestechniques-plastiques.com/pehd.html> », (Consulté le 26/8/2013).
- [11] R. Dossogne, « PEHD », Vol. A 3315, Techniques de l'Ingénieur, Paris, 1995, pp. 2-10.

- [12] «Le polyéthylène», disponible sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/polyéthylène>. Consulté le 26/06/2018
- [13] R. Dossogne, « PEHD », Vol. A 3315, Techniques de l'Ingénieur, Paris, 1995, pp. 2-10.
- [14] R. K. Krishnaswamy and Q. Yang « Influence of Phase Segregation on the Mechanical Properties of Binary Blends of Polyethylenes that Differ Considerably in Molecular Weight », Polymer Journal, Vol. 48, (2007), pp 5348-5354.
- [15] Polyéthylène HDPE- PLASTIQUE/Groupe PolyAlto sur « <https://www.polyalto.com> » consulté le (17-06-2018)
- [16] E.POSTAIRE, « les matières plastiques à usage pharmaceutiques » médical internationales, Paris, (2000), pp, 145.
- [17] W. Baker and G.H. Hu, « Introduction », In: W. Baker, G.H. Hu and C. Scott, « Reactive Polymer Blending », Ed: Hanser, Munich, (2001), pp 1-11.
- [18] L. A. Utracki, « Introduction to Polymer Blends », In: « Polymer Blends Handbook », Vol. 1, Ed: Kluwer Academic, London, (2002), pp 1-96.
- [19] L. A. UTRACKI, « Melt flow of polymer blends »; Polym. Eng. and Sci., Vol. 123, N° 11, (1983), pp: 602.
- [20] M. M. Coleman, J.F.Graf, P.Painter. " Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends ". Paris: Technomic, 1991, p20-46.
- [21] L. A. Utracki, « Polymer Blends », Vol. 11, (2000), pp 1-170, In: « Report Rapra Technology », Vol. 123, Ed: Ismither Rapra, (2000).
- [22] M.FONTANILLE , y.gnanau. Structure et morphologie des polymères. Plastique. Techniques de l'ingénieur, A 3042 ,1994
- [23] N.A. WILKISON, A.J.RYAN, **Polymer Processing and Structure development**, Ed : Spring, London, 1998.
- [24] L.M. Robeso, « Polymer Blends: a Comprehensive Review », Ed: Hanser, Munich, (2007).

- [25] Z. Horák, I. Fortelný, J. Kolařík, D. Hlavatà and A. Sikora, « Polymer Blends », In: «Encyclopedia of Polymer Science and Technology», Vol. 1, Ed: John Wiley & Sons, New York, (2005), pp 1-59.
- [26] I. Debbah, « Etude de la compatibilité et des propriétés des mélanges de polyoléfines et polyéthylène téréphtalate », Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, (2010).
- [27] « rose plastique présent dans le monde entier » .consulté le 27/06/2018
- [28] B.SWOBODA. «Amélioration du comportement au feu de PET et d'alliage PET/PC recyclés. UNIVERSITE MONPELLIER II», France,2010
- [29] D.R. Paul and J.W. Barlow, «Polymer Blends: Introductory and Future Development», In: «Polymer Compatibility and Incompatibility: Principles and Practices», Ed: Taylor & Francis Group, New York, (1982), pp 1-24.
- [30] Tasmin Kossentini Kallel, « étude de mélange PE/PS contribution au recyclage ». Thèse INSA de Lyon, 2003.
- [31] J. E. MCGRATH, L. M. ROBENSON et M. MATZNER, « Recent advanced in polymer blends, block and grafts », Plenum Press, New York, (1975).
- [32] M. Xanthos, Interfacial Agents for Multiphase Polymer Systems: Recent Advances, Polymer Engineering and Science, 1988, vol. 28, no. 21, p. 1392 – 1400
- [33] L. A. Utracki, « Compatibilization of Polymer Blends », The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 80, (2002), pp 1008-1016.
- [34] B. Chen, T. Tang, S. Xu, X. Zhang and B. Hung, « Compatibilization of Polyamide-6/Syndiotactic Polystyrene Blends using Styren/Glycidyl Methacrylate Copolymers » Polymer Journal, Vol. 35, (2003), pp 141-147.
- [35] B. Chen, T. Tang, X. Li ,S. Xu, X. Zhang and B. Hung, « Morphology, Tensile Strength and Thermal Behavior of Isotactic Polypropylene/Syndiotactic Polystyrene Blends Compatibilized by SEBS Copolymers », Polymer Journal, Vol. 36, (2004), pp 284-294.
- [36] A. Aji, « Interphase and Compatibilization by Addition of a Compatibilizer », In: L. A. Utracki, « Polymer Blends Handbook », Vol. 1, Ed: Kluwer Academic, London, (2002), pp 295-336.

- [37] R. Krache, « Etude des Propriétés Thermiques, Mécaniques, Rhéologiques et Morphologiques des Mélanges de Polyoléfines/PA, avec et sans Agents Compatibilisant », Thèse Doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, (2004).
- [38] G. Groeninckx, C. Harrats and S.Thomas, « Reactive Blending with immiscible Functional Polymers: Molecular, Morphological and Interfacial Aspects », In: W. Baker, G. H. Hu et C. Scott, « Reactive Polymer Blending », Ed: Hanser, Munich, (2001), pp 44-79.
- [39] D. Wang and X. M. Xie, « Novel Strategy for Ternary Polymer Blend Compatibilization », *Polymer Journal*, Vol. 47, (2006), pp 7859-7863.
- [40] T. M. Alam, J. U. Otaigbe, D. Rhoades, G. P. Holland, B. R. Cherry and P. G. Kotula, « Nanostructured Polymer Blends: Synthesis and Structure », *Polymer Journal*, Vol. 46, (2005), pp 2468-2479.
- [41] L. A. Utracki, « Compatibilization of Polymer Blends », *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 80, (2002), pp 1008-1016.
- [42] J. Li, H. Li, C. Wuc, Y. Ke, D. Wang, Q. Li, L. Zhang and Y. Hua, « Morphologies, Crystallinity and Dynamic Mechanical Characterizations of Polypropylene/Polystyrene Blends Compatibilized with PP-g-PS Copolymer: Effect of the Side Chain Length », *European Polymer Journal*, Vol. 45, (2009), pp 2619-2628.
- [43] A. N. Wilkinson, M. L. Clemens and V. M. Harding, « The Effects of SEBS-gMaleic Anhydride Reaction on the Morphology and Properties of Polypropylene/PA6/SEBS Ternary Blends », *Polymer Journal*, Vol. 45, (2004), pp 5239–5249.
- [44] H. Cartier and G. H. Hu, « Compatibilisation of Polypropylene and Polybutylene Terephthalate Blends by Reactive Extrusion: Effects of the Molecular Structure of a Reactive Compatibiliser », *Journal of Materials Science*, Vol. 35, (2000), pp 1985-1996.
- [45] S. A. Madbouly and J. U. Otaigbe, « Broadband Dielectric Spectroscopy of Nanostructured Maleated Polypropylene/Polycarbonate Blends Prepared by In Situ Polymerization and Compatibilization », *Polymer Journal*, Vol. 48, (2007), pp 4097-4107.
- [46] K. Cho, K. H. Seo and T. O. Ahn, « Morphology and Rheological Behavior of Amorphous Polyamide/(Styrene-Acrylonitrile/Styrene Maleic Anhydride) », *Polymer Journal*, Vol. 29, (1997), pp 987-991.