



RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTÉ DU GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

Mémoire de fin d'études

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADÉMIQUE
SPÉCIALITÉ : GÉNIE MÉCANIQUE
OPTION : COMPORTEMENT ET MISE EN FORME DES MATÉRIAUX

THÈME

*Valorisation Par Recyclage de Déchets
Polymériques issus Des Equipements
Electriques et Electroniques*

Présenté et Soutenu Publiquement le 10 Juillet 2016

PROPOSE PAR
M^r MOHELLEBI Mouloud

PRÉSENTÉ PAR
M^r MOHAMMEDI Aissa

Promotion 2016

REMERCIEMENTS

*Je Remercie en Premier lieu le Bon Dieu de
M'avoir donné le courage d'aller au bout de
Mon Objectif.*

*Je Remercie Monsieur MOHELLEBI Mouloud,
d'avoir accepté de diriger mon
Travail, Par son soutien et ses conseils
Pertinents qui m'ont Permis de travailler
tranquillement.*

*Je Remercie Madame MOHELLEBI Pour ses
encouragements et le bon suivi.*

*Je Remercie les Membres du jury qui me font
L'honneur d'examiner notre travail.*

*Je Remercie les Membres des laboratoires de
L' Université, SISCOPLAST de Draa el Mezan
Et E.I d'Azazga, Pour leur aide Précieuse.*

*Je Remercie Mes camarades de Promotion
Pour leur Soutien*

SOMMAIRE

Présentation de l'entreprise de SISCOPLAST de DRAA –EL- MIZAN.....	1
Gamme de Produits Fabriqués	1
Introduction Générale.....	2

CHAPITRE I : Généralités sur les Polymères

I.1 : Les Matières Plastiques	4
I.1-1 Importance des matières plastiques.....	4
I.1-2 Caractéristiques des plastiques	4
I.1-3 Généralités sur les polymères	4
I.1-4 Type des polymères.....	5
I.1-4-1 Les thermoplastiques	5
I.1-4-1-1 Thermoplastiques techniques : Acrylonitrile Butadiène Styène.....	6
I.1-4-2 Les thermodurcissables	6
I.1-4-3 Les élastomères	7
I.1-5 Polymères homogènes et hétérogènes	7
I.1-5-1 Polymères homogènes.....	7
I.1-5-2 Polymères hétérogènes.....	7
I.1-6 L'Acrylonitrile Butadiène Styène (ABS)	8
I.1-6-1 Introduction.....	8
I.1-6-2 Identification du matériau	9
I.1-6-2-1 Le styrène/acrylonitrile (SAN)	9
I.1-6-3 Structure des ABS.....	10
I.1-6-4 Applications.....	11
I.2 : Mélange de Polymères	12
I.2.1. Introduction	12
I.2.2. Mélange de polymères	12

I.2.3. Mélange miscible	12
I.2.4. mélange non miscible.....	13
I.2.5. Mélange compatible	14
I.2.6. Compatibilisation.....	14
I.2.6.1. Compatibilisation des mélanges hétérogènes	14
I.2.6.2. objectif de la compatibilisation.....	15
I.2.6.3. Méthode de Compatibilisation.....	15
I.2.6.3.1. compatibilisation réactive in-situ	15
I.2.6.3.2. utilisation d'un copolymère préformé	17
I.2.6.4. Illustration de l'effet d'une compatibilisation	20
I.2.6.4.1. diminution de la tension inter faciale.....	20
I.2.6.4.2. stabilisation de la morphologie et diminution de la taille de la phase dispersée	21
I.2.6.5. Comparaison des deux méthodes de compatibilisation.....	21
I.3 : Additifs ajoutés aux polymères	23
I.3.1 Charges	23
I.3.2 Plastifiants	23
I.3.3 Stabilisants	24
I.3.4 Colorants	24
I.3.5 Ignifugeants	24
CONCLUSION.....	25
I.4 : Recyclage De Polymères	26
I.4.1. Introduction	26
I.4.2 Sources des déchets plastiques	26
I.4.3 Différentes méthodes de valorisation des déchets de matières plastiques :.....	26
I.4.3.1 Valorisation énergétique	26

I.4.3.2 Recyclage chimique	27
I.4.3.3 Recyclage mécanique.....	27
I.4.3.4 Recyclage sous forme de mélanges de déchets de polymères	29
I.4.4 Définition DEEE.....	30
I.4.5 Les catégories des DEEE	31
I.4.6 Pourquoi gérer les DEEE.....	31
I.4.7 Répartition des DEEE par type de polymères.....	32
I.4.8 Le recyclage des polymères des DEEE	32
CONCLUSION.....	33

CHAPITRE II : Matériels et Dispositifs Expérimentaux

II .1 Outils de Caractérisation	35
II.1.1 Microscopie à balayage électronique	35
II .1.1.1 Principe.....	35
II.2.2 Essai de Traction	36
II.2.2.1 Introduction.....	36
II 2.2.2 Principe de l'essai	36
II .2.3 Machine de Traction	36
II 2.4 Mesure de la Résistance à l'impact.....	38
II 2.4.1 Principe.....	38
II 2.5 Micro Dureté	39
II 2.4.1 Le Microduromètre	39
II 2.4.2 Conditions Expérimentales des Essais de Dureté	40
II 2.4.3 Principe.....	41
Conclusion	41

CHAPITRE III : Protocole Expérimental

III.1. Introduction	42
III.2. Présentation des différents composants des mélanges élaborés	42
III.2.1 Acrylonitrile Butadiène Styène Vierge (ABS)	42
III.2.2 Polystyrène Choc « HIPS » Recycle	42
III.2.3 Huiles usages	43
III 2.4 Acrylonitrile Butadiène Styène « ABS » Recycles	43
III.2.5 DEEE étudiées au cours de ce travail	44
III.3. Procédé de recyclage réalisé dans le cadre de notre étude	44
III 3.1 Décontamination des équipements	44
III 3.2 Lavage et nettoyages	44
III 3.3 Broyages des déchets	45
III 3.4 Réalisation des mélanges	46
III 3.5 L'étape d'extrusion	48
III 3.6 Injection des éprouvettes.....	52
III 3.6.1 Paramètres d'injection.....	54
Conclusion.....	55

CHAPITRE IV : Résultats et Interprétations

Introduction :	57
IV.1.Caractérisation Mécanique	57
IV.1.1 Mélanges (DEEE/ABS) :	57
IV.1.1.1 Courbes Contrainte-Déformation	57
IV.1.1.2 Variations du module d'élasticité des différents mélanges	64
IV.1.1.3. Variations de l'allongement à la rupture des différents mélanges	65
IV.1.1.4. Variations de la contrainte au seuil d'écoulement	65

IV.1.1.5 Résilience	66
IV.1.1.6. Microdureté Knoop	67
IV.1.2. Mélanges (DEEE/ABS) et [(DEEE/ABS) +Huile usagée]	67
IV.1.2.1 Courbes contraintes-Déformations et Morphologie	68
IV.1.2.2 Résilience	71
IV.2. Caractérisation Morphologique.....	73
Conclusion	77
Conclusion Générale	78

Présentation de l'Entreprise SISCOPLAST

De Draa El Mizan

1. Présentation :

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

L'entreprise Siscoplast (Société d'Injection Plastique et de fabrication des Articles Scolaires) de Draa EL Mizan a été créée en 1981 et est gérée par un conseil de direction. C'est une société par action. La superficie de cette entreprise s'étend sur 30 000 m². Elle a réussi à occuper une place prépondérante dans le marché locale de l'industrie de la plasturgie malgré le marché concurrentiel ouvert contre d'autres produits importés et locaux. Ses produits multiples ont été, au fil des années et grâce à l'apport considérable des compétences composées de techniciens, d'ingénieurs et de cadres dirigeants formés dans les différents instituts et universités algériennes, améliorés. Et gagnent la satisfaction du client. L'entreprise Siscoplast est certifiée ISO 9001 version 2008 depuis l'année passée. Cette norme intègre la politique de gestion de la qualité et a pour objectifs principaux de répondre aux exigences du client et apporter des améliorations sur tous les plans de la gestion de l'entreprise.

2. Gamme de produits fabriqués

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

- **Le secteur d'injection** : Actuellement ce secteur fabrique, bouchon moubyd en polypropylène(PP), les fusettes en polyéthylène haute densité injection et bouchon Naftal en PP.
- **Le secteur d'extrusion** : Par ce procédé l'entreprise fabrique principalement, les tubes en PEHD pour AEP, tubes en PEBD pour l'irrigation et des gaines électriques.
- **Le secteur de souples** : ce dernier secteur fabrique, protèges cahiers en PVC et pochettes vignettes en PVC.

Introduction

La prise en compte des conséquences des activités humaines sur l'environnement est devenue un des critères d'évaluation des processus de décision gouvernementaux comme de ceux des donneurs d'ordre du monde industriel... Face à l'urgence de la situation, les initiatives des gouvernements et de la société civile se multiplient pour tenter d'apporter des réponses aux différentes problématiques environnementales. Parmi ces problématiques, la gestion des produits en fin de vie et qui a fait l'objet de nombreuses réglementations dans le but de diminuer la quantité de déchets non traités mais surtout de déployer des solutions de recyclage pour ces produits.

Récupérer des déchets polymériques et les mélanger avec un polymère bon marché peut constituer une alternative non négligeable pour produire de la matière première et préserver l'environnement. Les déchets polymériques générés par les équipements électrique et électronique prend de plus en plus d'ampleur dans notre environnement qui est non sans conséquences sur la faune et la flore ainsi que sur la santé publique. L'un des enjeux majeur d'actualité par rapport justement à l'environnement est la récupération et le recyclage de ces déchets afin de les réintroduire à nouveau dans le cycle de production de matière première et contribuer ainsi à réduire notablement la consommation des énergies fossiles non renouvelables et polluantes.

Cette étude portera sur le traitement de déchets polymériques issus de la réforme des équipements électriques et électronique. Le mélange avec un ABS permet de les réintroduire dans le cycle de la production de matières premières par recyclage. Pour mener à bien ce travail nous l'avons structuré de la manière suivante.

Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur les polymères pour donner une idée générale sur les matériaux qui feront l'objet de cette étude. Le second chapitre abordera le matériel et les dispositifs expérimentaux utilisés pour la réalisation des mélanges et leur caractérisation. Le chapitre trois portera sur le protocole expérimental et le chapitre quatre sera consacré aux résultats obtenus après caractérisation et à leur interprétations puis on termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR

LES POLYMÈRES

I.1 : Les Matières Plastiques

I.1-1 Importance des matières plastiques

Dans le passé, des matériaux de base durable, comme la pierre, le bronze et le fer, ont déterminé la culture humaine mais également des matières plus éphémères telles que le bois, le cuir, le lin ou la laine, ont joué un rôle important dans notre société. Pour répondre à la demande croissante de certains de ces matériaux et améliorer par la même occasion leurs précieuses propriétés, la science et l'industrie ont développé de nouveaux produits dont les matières plastiques qui présentent de nombreuses propriétés uniques, parfois inégalables.

Elles sont légères mais robustes, ne rouillent pas, se brisent moins vite que d'autres matériaux et n'ont pas besoin d'être peintes. Elles sont résistantes aux intempéries et faciles à travailler, peuvent prendre n'importe quelle forme, faite sur mesure, et assurent une bonne isolation.

L'industrie de la construction et de l'automobile, l'industrie alimentaire et le monde médical sont parmi les plus grands consommateurs de ces nouveaux matériaux. Les matières plastiques ont remplacé avantageusement quantité de 'produits naturels' dans diverses applications, ce qui représente souvent un avantage pour l'environnement. [1]

I.1-2 Caractéristiques des plastiques

Le "plastique" est un terme générique qui désigne une famille de matières fabriquées à partir du pétrole ou de gaz naturel. Le pétrole est raffiné et distillé. La fraction d'essence légère ou "naphta" est isolée puis "craquée" (distillée) à la vapeur, ce qui permet d'obtenir des molécules chimiques de base, " les monomères", qui sont constitués principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Les molécules sont assemblées entre elles sous formes de chaînes, linéaires ou en réseau, qu'on appelle **les polymères**. D'autres éléments interviennent dans la composition des polymères pour donner des caractéristiques spécifiques au produit, tels que : Oxygène, chlore, Azote, etc. [2]

Pour comprendre la nature des plastiques, il est nécessaire d'examiner les substances qui en constituent la base, c'est-à-dire, les polymères.

I.1-3 Généralités sur les polymères

Les polymères sont des matériaux à molécules géantes résultant de l'assemblage de molécules élémentaires appelées monomères. Les chaînes obtenues par la répétition de ces monomères vont avoir des tailles et des masses molaires très importantes, typiquement supérieures à 10000 g.mol⁻¹, masse à partir de laquelle les polymères vont donner un matériau au sens mécanique du terme. Les polymères sont dans l'ensemble peu denses, compte tenu de leur

origine organique et, par la suite, de la présence d'éléments constitutifs légers (Carbone, Oxygène, Hydrogène, Azote). La liaison covalente des carbones est à la base de la notion de polymère. Il s'agit d'une liaison forte d'environ 100 à 450 kJ/mol (438 kJ/mol pour la liaison carbone-carbone). Par conséquent, les polymères possèdent une élasticité élevée dans le sens de la chaîne macromoléculaire. Les polymères diffèrent des simples macromolécules parce qu'ils résultent de l'enchaînement aléatoire de monomères alors que les macromolécules (ADN, protéines) sont issues d'une succession codifiée d'éléments précis. [3]

Parmi les matières plastiques, on distingue les homopolymères, répétition d'une unique structure moléculaire, et les copolymères, succession de plusieurs structures différentes.

Les homopolymères désignent donc des polymères fabriqués à partir d'un seul type de monomère, comme par exemple le polyéthylène PE et polystyrène PS. Dès qu'au moins deux types de monomère participent à la formation des macromolécules, on parlera de copolymères. C'est le cas du styrène-butadiène. La variété des copolymères est très importante. Ces matériaux possèdent des propriétés physico-chimiques et mécaniques intermédiaires avec celles obtenues sur les homopolymères correspondants.

I.1-4 Types des polymères

On peut classer les polymères en trois types, en fonction de leur réaction à la chaleur :

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

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux thermoplastiques et, plus exactement, aux thermoplastiques techniques dont l'Acrylonitrile Butadiène Styrène, ABS, qui fait objet de cette étude.

I.1-4-1 Les thermoplastiques

A température ambiante, ces matériaux sont solides. Leurs particularités structurales sont une taille des molécules limitée et une structure linéaire ou ramifiée. C'est ce qui leur confère de très bonnes propriétés mécaniques comme la ductilité. Sous l'effet de la chaleur, ils deviennent souples jusqu'à fondre: L'énergie thermique est suffisante pour vaincre les liaisons intermoléculaires et les molécules peuvent glisser les unes sur les autres. En revanche, l'avantage est qu'à l'état fondu on peut les mouler dans la forme que l'on veut. C'est un procédé industriel employé pour fabriquer des objets à l'unité, en discontinu, et on peut les déformer car ils sont façonnables sous l'effet de la chaleur, gardant cette forme en

refroidissant. Ce phénomène réversible permet le recyclage : Les objets sont broyés et fondus pour élaborer d'autres. Les techniques employées dans leur mise en forme sont pour l'essentiel le coulage, l'injection et l'extrusion. Parmi les principaux thermoplastiques, on cite le polyéthylène PE, le polypropylène PP, le polystyrène PS, le polychlorure de vinyle PVC, les polyamides PA, etc. [3]

I.1-4-1-1 Thermoplastiques techniques : Acrylonitrile Butadiène Styène(ABS)

Daly fût le premier à déposer un brevet sur les **ABS** en 1948. Ce dernier a pour formule chimique : $(C_8H_8)_x (C_4H_6)_y (C_3H_3N)_z$, c'est un thermoplastique employé par l'industrie pour des produits rigides et moulés. Il est opaque du fait de sa structure à deux phases styréniques. En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration, l'ABS est beaucoup utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs comme l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique, le jouet, ...

Il a une bonne résistance aux chocs et détient une bonne rigidité, ce qui explique sa large utilisation dans le domaine des transports, automobiles, sport et loisir, comme on l'a vu précédemment.

Donc, pour résumer ses propriétés exceptionnelles :

- Bon compromis choc/rigidité.
- Légèreté.
- Bonne stabilité dimensionnelle.
- Facilité d'usinage.
- Excellent isolant électrique.
- Facilité de soudage ou de collage.
- Se prête bien à la décoration. [3]

I.1-4-2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus, une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout

glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables représentent 20%, pourcentage volumique, de matières plastiques. [4]

Ce sont des matériaux amorphes et infusibles, il ne peut y avoir aucun déplacement des chaînes les unes par rapport aux autres. Lorsque la température augmente, le matériau ne devient pas visqueux, mais conserve sa rigidité jusqu'au moment où il se dégrade. Enfin, on appelle ces plastiques thermodurcissables car, en général, une élévation de température favorise la réaction de polymérisation et le degré de réticulation, donc la rigidité. [3]

I.1-4-3 Les élastomères

Les élastomères sont des matériaux aux propriétés bien particulières. Ce sont des polymères de haute masse moléculaire et à chaînes linéaires. Le déplacement de leurs chaînes, les unes par rapport aux autres, n'étant limité que par une légère réticulation due aux enchevêtrements, on peut obtenir de grandes déformations élastiques totalement réversibles.

Lorsque la contrainte est nulle, ces matériaux sont amorphes. Leurs chaînes tendent toutefois à s'aligner au cours de la déformation, il se produit une augmentation de la rigidité, ou durcissement structural. Pour obtenir un tel comportement, il faut utiliser ces matériaux à une température supérieure à leur température de transition vitreuse.

Exemples : Caoutchouc naturel, polybutadiène, polyisoprène. [3]

I.1-5 Polymères Homogènes et Hétérogènes

I.1-5-1 Polymères Homogènes

Les matériaux polymères sont définis comme homogènes lorsque leurs propriétés sont macroscopiquement identiques en tout point, c'est-à-dire qu'aucune différence de propriétés, même due aux différents types de macromolécules constitutives, n'est macroscopiquement détectée. Ceci ne signifie pas que le matériau se trouve dans un seul état physique (vitreux, caoutchoutique ou fondu).

Les macromolécules d'un thermoplastique peuvent être simultanément dans un état solide, sous forme de cristallites, et un état caoutchoutique ou vitreux, en tant que zones Amorphes désordonnées entre les cristallites. On parle dans ce cas d'un matériau polymère homogène biphasique. [3]

I.1-5-2 Polymères Hétérogènes

Les matériaux polymères hétérogènes sont constitués au minimum de deux composés organiques de nature chimique différente, dont l'un au moins est un matériau polymère qui

assure la cohésion du système. Les différents constituants sont liés entre eux, soit chimiquement, soit physiquement.

Les propriétés des matériaux polymères hétérogènes sont déterminées à partir de celles de leurs constituants. Les mélanges de polymères représentent le groupe le plus important des matériaux polymères hétérogènes et donnent naissance à des matériaux polymères à plusieurs composants, dont les propriétés peuvent être macroscopiquement différenciées.

Lorsque deux polymères différents sont mélangés, les propriétés du produit résultant ne sont pas identiques à celle des matières de départ et peuvent être, soit intermédiaires (interpolation linéaire, lois des mélanges), soit réduites (altération) ou encore améliorées par rapport aux propriétés de chacun des polymères d'origine.

Approximativement, 10 % des thermoplastiques et 75 % des élastomères sont utilisés sous forme de mélanges. Initialement, les mélanges de polymères étaient principalement destinés à améliorer la ténacité et la processabilité des matériaux. D'autres améliorations sont toutefois possibles, à savoir l'augmentation de la température de déformation à chaud, de la résistance à la fissuration sous contrainte, de l'aptitude à l'induction et à la galvanisation, mais aussi une amélioration du comportement au feu. Les mélanges de polymères les plus importants sont, du point de vue application, ceux préparés par modification d'un polymère à base de styrène par une phase élastomère (caoutchouc). [3]

I.1-6 Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS)

I.1-6-1 Introduction

Pour être en mesure de répondre à la demande croissante de ces matériaux plastiques, tout en continuant à améliorer leurs précieuses propriétés, la science et l'industrie ont développé une série de nouveaux polymères qui sont les copolymères.

La combinaison de deux ou plusieurs polymères de natures chimiques et de propriétés physiques différentes, permet d'avoir dans certains cas des matériaux d'intérêt pratique avec des performances supérieures aux produits de départ. Cette technique a été employée durant les dernières décennies pour améliorer les propriétés physiques comme la résistance aux chocs, la flexibilité et la stabilité thermique.

Il existe aussi un gros marché des copolymères de l'acrylonitrile comme le styrène/acrylonitrile (SAN), et l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), qui sont utilisés comme thermoplastiques. Ce marché du terpolymère d'acrylonitrile, de butadiène et de styrène (ABS) enregistre actuellement une forte croissance de la demande notamment en

raison de la multiplication de ses applications dans des secteurs tels que l'automobile, l'électronique, le jouet ...

I.1-6-2 Identification du matériau

Chimiquement, ce thermoplastique de la famille des matières plastiques est donc appelé "terpolymère", dans la mesure où il est la combinaison de trois différents monomères pour former un seul matériau qui puise dans les propriétés des trois. L'ABS possède une remarquable résistance aux chocs et à haute résistance mécanique. En outre, l'ABS a une bonne stabilité dimensionnelle et des propriétés d'isolation électrique.

L'ABS, constitue une famille de copolymères à usage technique du fait de ses propriétés physiques et chimiques élevées : rigidité, résistance à de nombreux agents chimiques, très utilisé dans les véhicules qui nécessitent un faible poids et une résistance élevée aux chocs.

D'abord on parle du styrène/acrylonitrile (SAN) puis d'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), du fait que l'ABS est fabriqué à partir de branches de SAN greffée sur la chaîne principale du Polybutadiène.

I.1-6-2-1 Le styrène/acrylonitrile (SAN)

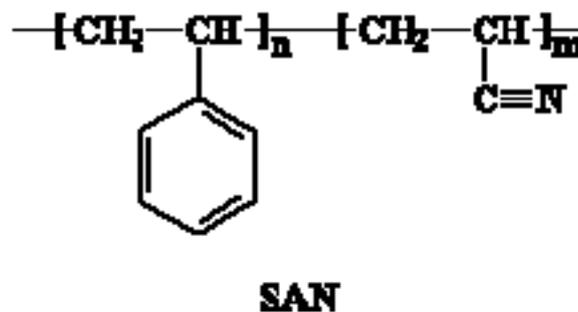


Figure I.1-2 : Structure styrène/acrylonitrile (SAN).

Le SAN est un copolymère statistique du styrène et de l'acrylonitrile. Mais l'ABS est plus compliqué. Il est fabriqué par polymérisation du styrène et de l'acrylonitrile en présence du polybutadiène. Le polybutadiène a des doubles liaisons carbone-carbone, qui peuvent polymériser aussi. Donc on termine avec une chaîne de polybutadiène avec des chaînes de SAN greffées dessus, comme vous pouvez le voir sur la figure I.1-4.

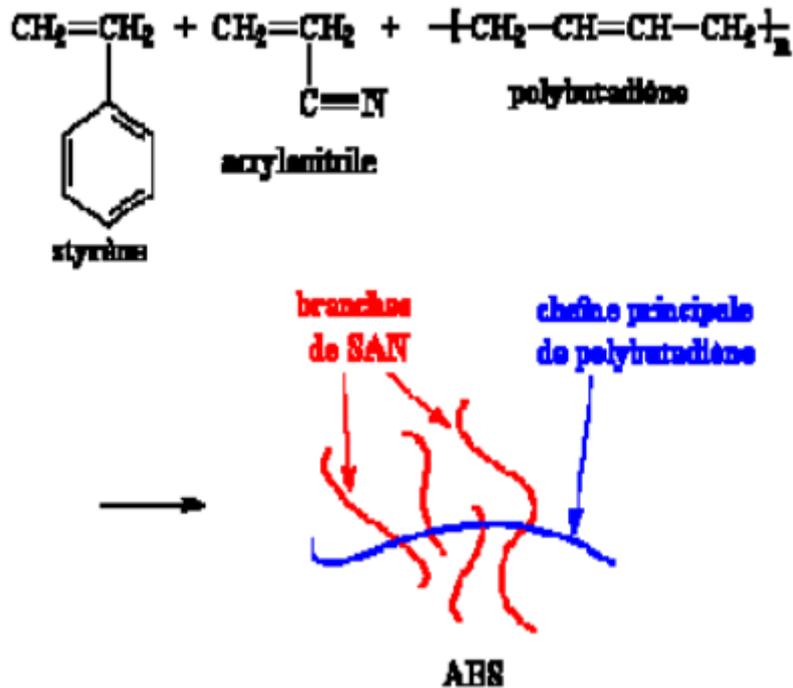


Figure I.1-3 : Structure d'acrylonitrile/butadiène/ styrène (ABS).

I.1-6-3 Structure des ABS

Les ABS sont des polymères amorphes bi phasiques, constitués d'une phase continue ou matrice (copolymère de styrène/acrylonitrile ou SAN) et d'une phase discontinue (nodules de polybutadiène greffés de copolymères de styrène/acrylonitrile). Les greffons assurent la compatibilité matrice-nodule et confèrent de bonnes propriétés mécaniques au polymère final. La taille de ces occlusions de caoutchouc est comprise entre 0,1 et 1 μm , voire au-delà, suivant la qualité de l'aspect de surface et la résistance au choc requises (figure I.1-5).

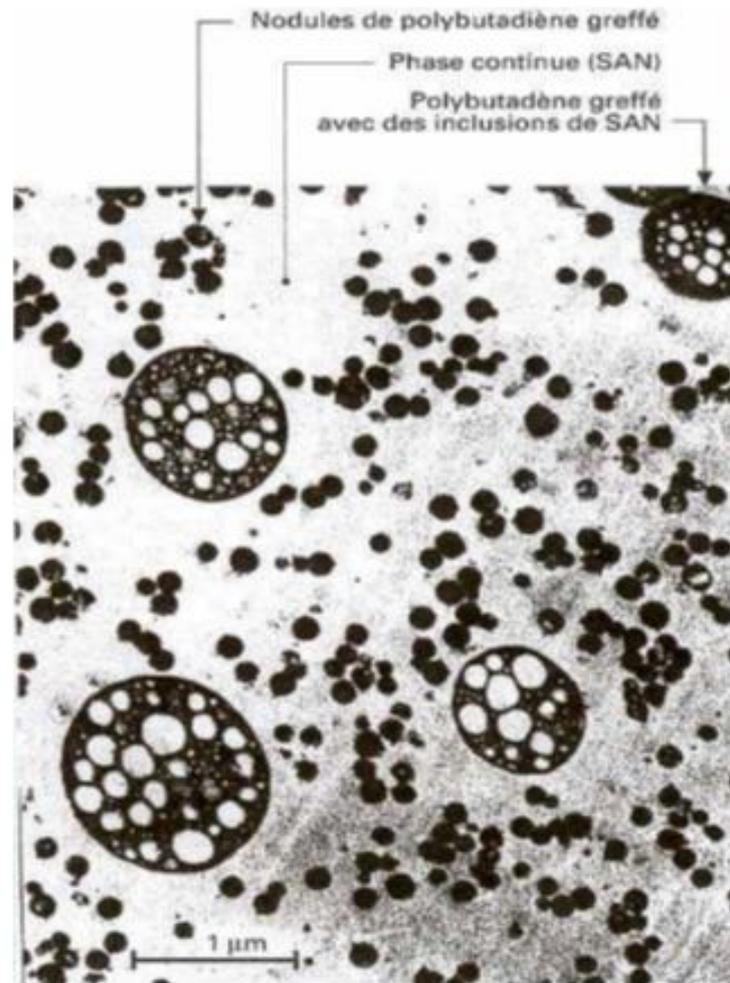


Figure I.1-4 : Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission. [3]

Cette structure biphasique confère au matériau une très bonne tenue au choc car les nodules initient alors de multiples micro craquelures, ce qui consomme de l'énergie, de plus la propagation d'éventuelles fissures (micro craquelures devenues macro craquelures) est ralentie voir stoppée par ces mêmes nodules. [3]

I.1-6-4 Applications

Les applications des ABS sont très variées en raison de l'ensemble des propriétés de ces thermoplastiques: bonne tenue à la chaleur, résistance au choc élevée et rigidité, sa stabilité dimensionnelle et son aptitude à la décoration. C'est surtout le matériau privilégié pour le prototypage rapide, les appareils électroménagers, la téléphonie, le matériel informatique, le jouet, les carters d'aspirateurs. Dans ce cas il s'agit le plus souvent de pièces moulées.

I.2 : Mélanges de Polymères

I.2.1. Introduction :

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. Une autre justification réside dans la nécessité de plus en plus pressante de recycler les déchets industriels et ménagers, recyclage qui est d'autant plus délicat que les polymères sont le plus souvent triés de façon imparfaite à cause de contraintes économiques. En effet, plus la matière triée sera pure, plus la quantité récupérée sera faible. [6]

I.2.2. Mélange de polymères :

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. Il est donc essentiel de cerner le phénomène démixtion.

D'un point de vue fondamental, les théories les plus établies concernent les mélanges composés de deux polymères.

I.2.3 Mélange miscible:

Mélange de polymère 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. Les constituants des Mélanges peuvent être des polymères homologues, généralement avec des distributions en masse molaires étroites, ou bien de nature différente (exemple : polyphénylène éther/ polystyrène PPE/PS).

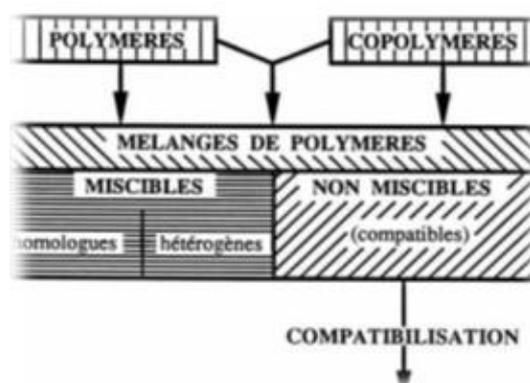


Figure I.2.1 : Interdépendance dans la nomenclature des mélanges de polymères. [5]

I.2.4. mélange non miscible:

Mélange mécanique de deux polymères non miscibles, dont les propriétés dépendent de la technique et des paramètres de transformation. Le contrôle de la morphologie est alors délicat et conditionne les propriétés.

On cite à titre d'exemple :

- Polyéthylène téréphtalate/alcool polyvinylique PET/PVA

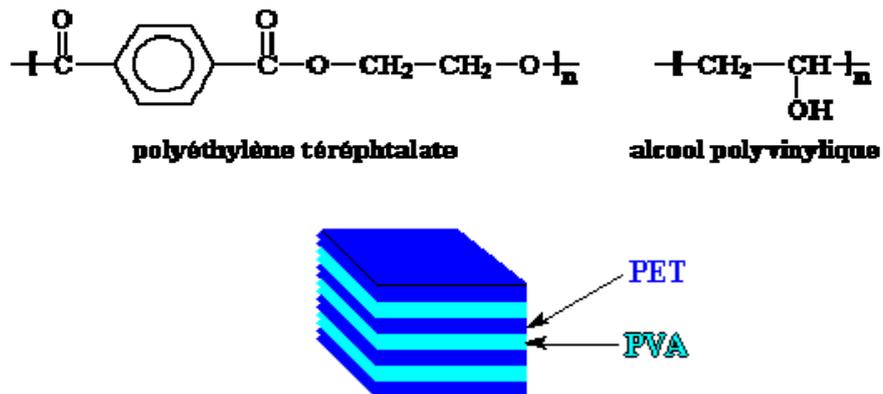


Figure I.2.2 : Exemple de mélange non miscible sous forme de couches lamellaires.

- Polystyrène/polybutadiène PS/PB

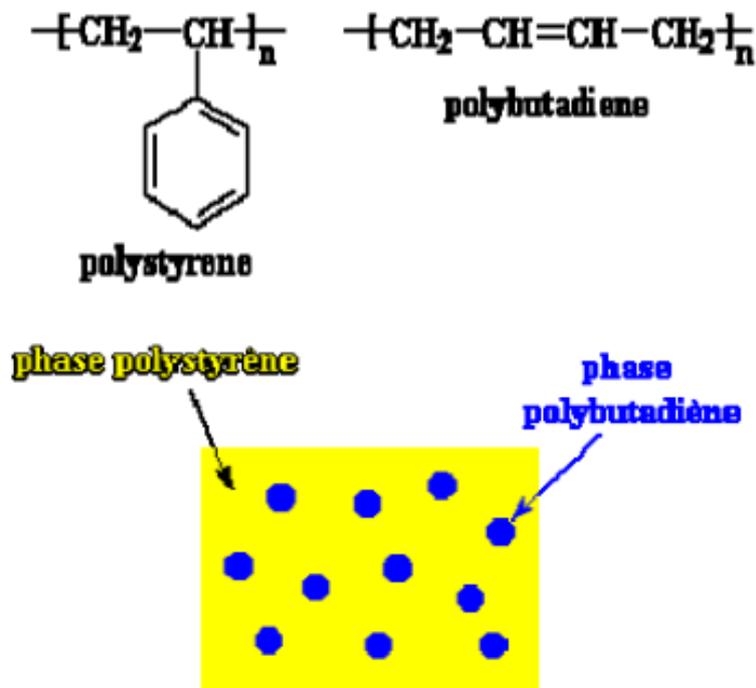


Figure I.2.3 : Morphologie de polystyrène choc. [7]

I.2.5. Mélanges compatibles :

Terme essentiellement utilitaire, qualifiant des alliages intéressants économiquement, homogène à l'œil nu, avec amélioration sensible d'une propriété physique. Il s'agit d'un mélange non miscible avec modification des propriétés inter faciales ou / et de la morphologie.

I.2.6. Compatibilisation:

Procédé physique ou chimique, modifiant les propriétés interfaciales des mélanges de polymères non miscibles, qui permet d'obtenir une bonne stabilité des phases en présence (éviter la séparation des constituants du mélange). Cette modification conduit aux 'alliages'.

I.2.6.1. Compatibilisation des mélanges hétérogènes :

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 multiphasée. Ces mélanges sont généralement incompatibles, du fait de l'absence d'interactions favorables entre les chaînes de polymères.

Des recherches ont été menées dans le domaine de la Compatibilisation des mélanges de composés macromoléculaires non miscibles.

La Compatibilisation est une notion vague désignant globalement toute action sur un mélange visant à améliorer des propriétés de celui-ci. Comme elle a effet critique sur les propriétés du mélange, l'objectif principal est le contrôle de la morphologie (distribution de tailles de phase, nature et composition des phases, adhésion inter faciale).

L'importance des interfaces dans un système polymère multiphasé est bien admise. Les interactions physiques ou chimiques, aux limites des phases, sont connues pour contrôler l'ensemble des performances des mélanges de polymères non miscibles.

D'interactions fortes aux interfaces résulte une bonne adhésion (transfert de contrainte) entre phases. Il est bien connu que l'adhésion inter faciale contrôle les propriétés mécaniques, telles que la résistance au choc et à la rupture.

Les méthodes d'amélioration de l'adhésion entre phases, impliquent l'ajout d'un tiers corps qui assure le contrôle et la stabilisation de la morphologie par réaction ou cointeraction entre des sites sur chacune des phases en présence. Ce produit à différente appellation : agent de couplage, promoteur d'adhésion, agent compatibilisant ou agent inter facial. Dans tous les cas, cet agent induit une diminution de la tension inter faciale. [5]

Il convient néanmoins de noter que les problèmes de compatibilisation sont complexes. En effet, de nombreux paramètres vont jouer sur la compatibilité des mélanges : masse molaires et nature chimique des polymères et du compatibilisant... aussi, les conclusions tirées dans les articles ne concernent souvent que le système étudié.

I.2.6.2. Objectif de la compatibilisation :

Par la compatibilisation d'un mélange, les principaux effets recherchés sont :

- Diminution de la tension interfaciale pour faciliter la dispersion.
- Stabilisation de la morphologie afin d'éviter son évolution au cours des étapes de transformations et de mise en œuvre.
- Amélioration de l'adhésion interfaciale entre phase pour favoriser notamment le transfert de contrainte entre les phases et donc améliorer les propriétés mécanique. [5]

I.2.6.3. Méthode de Compatibilisation : [8]

Deux méthodes sont fréquemment utilisées pour la compatibilisation des mélanges de polymères non miscibles. Ces deux méthodes sont, d'une part l'ajout d'un copolymère préformé, de nature et de structure adaptées, susceptible d'interagir avec chacune des phases en présence et d'autre part, la formation in-situ d'un copolymère par réaction chimique à l'interface entre les phases au cours de la préparation du mélange. Dans ce dernier cas, la réactivité du copolymère devra être suffisante pour permettre une réaction rapide à l'interface.

I.2.6.3.1. Compatibilisation réactive in-situ:

a) Principe :

La compatibilisation réactive consiste à générer in situ copolymère bloc ou greffé par réaction chimique de composés fonctionnalisés à l'interface entre les phases. Les effets sur la tension interfaciale et la taille de la phase dispersée sont identiques à ceux observés en compatibilisation non réactive.

L'amélioration de la compatibilité dans ces mélanges est alors attribuée aux effets émulsifiants associés aux chaînes de nature mixte formées et présentes aux interfaces lors du mélangeage à l'état fondu. [9]

b) Architecture des compatibilisants formés :

Il est possible de former des compatibilisants d'architecture très variée. La structure du copolymère compatibilisant qui se forme dépend du type de réaction mis en jeu et de la position des fonctions réactives sur les macromolécules impliquées dans la compatibilisation.

Les principales réactions utilisées pour la compatibilisation réactive des mélanges de polymères sont présentées sur la (Figure. I.2.4). Les caractéristiques principales des ces réactions sont :

- Groupements fonctionnels impliqués hautement réactifs et stables dans les conditions de mise en œuvre.
- Réaction rapide (c'est-à-dire des temps de réaction de l'ordre du temps séjour DTS), faiblement exothermique, irréversible et sans réactions secondaires mal contrôlées.

Le rôle de procédé dans la compatibilisation réactive in situ des mélanges de polymères non miscibles est de tout premier ordre. Généralement, les mélanges sont préparés en extrudeuse bi vis co-rotative. Les facteurs importants de la mise en œuvre sont la distribution des temps de séjour, le positionnement des puits d'injection des composants du mélange et des réactifs éventuels, ainsi que la zone de dégazage et l'efficacité de cette étape.

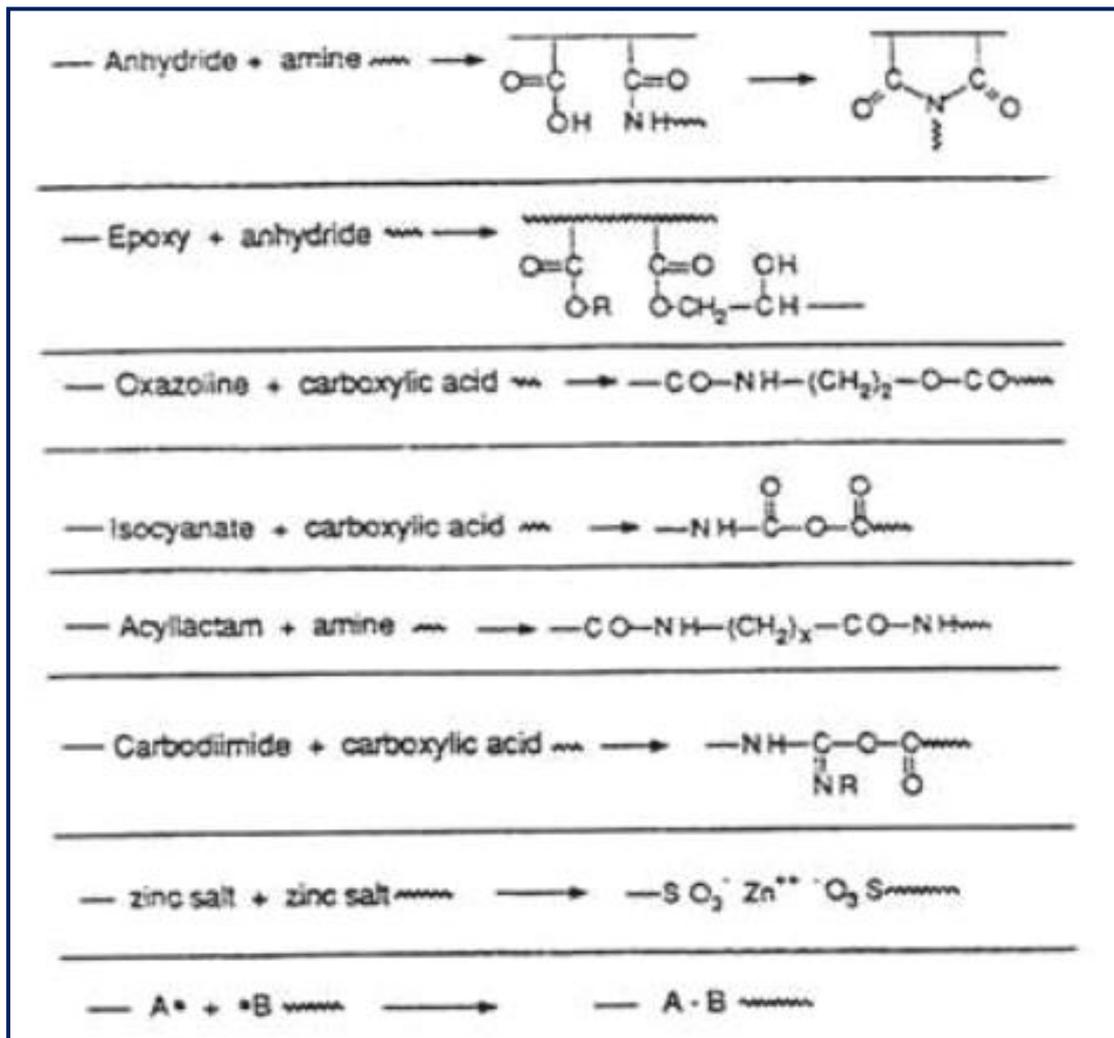


Figure I.2.4 : Exemple de réactions chimiques classiquement utilisées pour la compatibilisation in situ des mélanges de polymères non miscibles [9]

I.2.6.3.2. Utilisation d'un copolymère préformé :

a) Principe :

Cette voie de compatibilisation est similaire à l'utilisation des surfactants traditionnels pour la préparation et la stabilisation des émulsions liquide/liquide (Figure. I.2.5). Pour jouer son rôle, le copolymère doit venir se positionner à l'interface entre les deux phases afin d'interagir avec les constituants du mélange. Dans cette voie de compatibilisation, un phénomène important vient intervenir : celui de diffusion de ce polymère à l'interface qui est moins aisée et requiert plus de temps que pour une interface liquide/liquide (mobilité dans le fondu plus réduite).

Le choix du copolymère comme compatibilisant est basé sur la miscibilité de ses segments, avec ou moins un des composants du mélange. Les copolymères sont considérés comme agents interfaciaux vrais, puisqu'ils tendent à se concentrer et à agir à l'interface comme émulsifiants.

La nature chimique, l'architecture et la composition du copolymère ont une grande influence sur son efficacité.

b) Influence de la nature du copolymère :

Pour les mélanges à compatibiliser, le choix du compatibilisant est basé sur la miscibilité des séquences de ce dernier avec les composants du mélange. De même, la faible masse molaire des chaînes de cet agent compatibilisant va faciliter leur diffusion dans le milieu fondu (viscosité élevée) et va privilégier leur accessibilité et leur concentration dans les zones d'interaction, c'est à dire l'interface entre les deux phases du mélange.

La solubilité des séquences du compatibilisant dans les homopolymères, est un facteur clef. Elle contrôle la morphologie du mélange, sa stabilité ainsi que l'adhésion à l'interface.

Par ailleurs, on peut facilement imaginer que, selon que le copolymère est dibloc, tribloc, greffé, séquencé, linéaire ou branché, en étoile, etc., son organisation à l'interface, donc son efficacité est différente (Figure I.2.5).

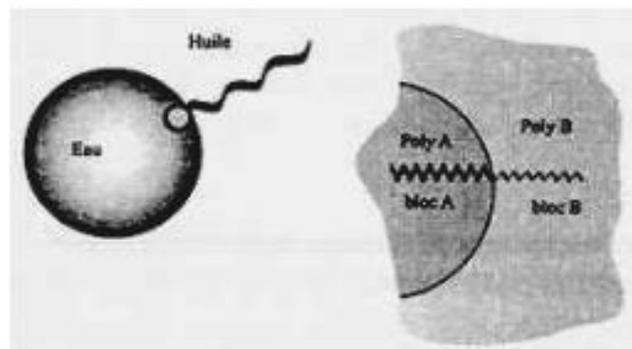


Figure I.2.5 : Analogie entre émulsifiant traditionnel et copolymère à bloc, en tant qu'espèces actives à l'interface entre deux composants d'un mélange.

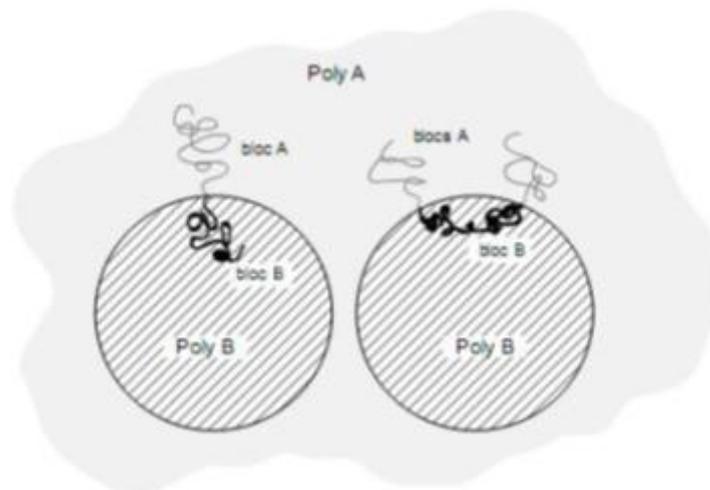


Figure I.2.6 : Positionnement d'un copolymère di-bloc ou tri-bloc à l'interface. [9]

Expérimentalement, de nombreux auteurs ont cherché à comparer l'effet compatibilisant des différentes architectures de copolymères. Par exemple, il a peut être montré que l'efficacité des polymères di-blocs et statistiques était identique vis-à-vis des propriétés mécanique. En revanche, leur effet sur la morphologie est différent.

Un copolymère di-bloc stabilise mieux la morphologie qu'un copolymère statistique.

La dispersion également meilleure, surtout aux forts taux de compatibilisant. Les effets observés sur la morphologie sont liés à des organisations très différentes à l'interface (Figure I.2.6). Le copolymère à bloc s'organise en monocouche autour des particules, alors que les macromolécules de copolymère statistique se positionnent de façon désordonnée. De fait, de fait la couche de copolymère à l'interface a tendance à s'épaissir quand le taux de polymère statistique dans le mélange augmente.

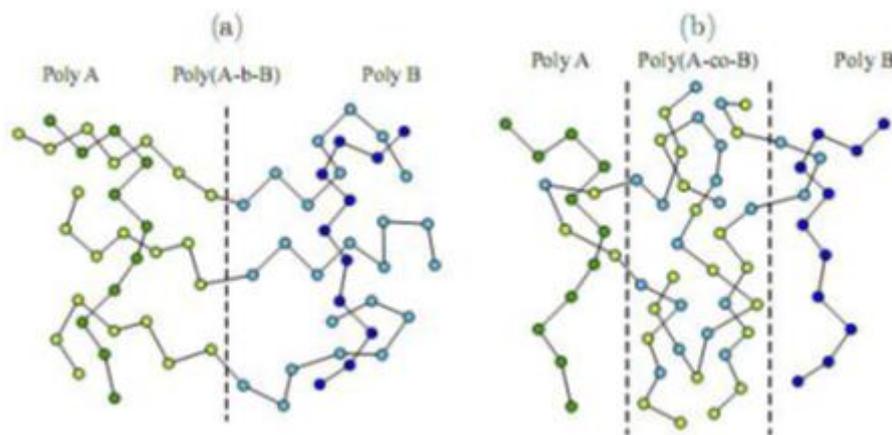


Figure I.2.7 : Positionnement d'un copolymère compatibilisant à l'interface en fonction de sa microstructure : (a) copolymère à bloc et (b) copolymère statistique. [8]

c) Effet du taux de copolymère compatibilisant :

Pour le système PS/EPR 80/20 compatibilisé par des polymères du type poly (styrène butadiène), la taille des particules de phase dispersée a tendance à diminuer quand le taux de copolymère ajouté dans le milieu augmente, puis se stabilise ou augmente en fonction de la nature du copolymère. Théoriquement, quelques pourcents de copolymère suffisent pour compatibiliser un mélange de polymère non miscible et diminuer fortement la taille moyenne des domaines de phase dispersée.

Cependant, cette quantité n'est pas forcément suffisante pour stabiliser le mélange et éviter la coalescence.

Parfois, un excès dans le taux de copolymère est nécessaire puisque les écarts observés entre théorie et expérience résultent du phénomène de diffusion du copolymère à l'interface. La cinétique de diffusion dépend de la viscosité du milieu mais aussi de la longueur des chaînes

de copolymère et du coefficient d'étalement à l'interface (lié aux tensions superficielles des composants du mélange).

Dans le cas contraire, il est possible que des micelles de copolymère se forment dans l'une ou l'autre des phases.

d) Influence de la masse molaire du copolymère :

La concentration de copolymère nécessaire pour atteindre la taille minimale de phase dispersée (morphologie la plus fine) diminue lorsque la masse molaire globale du copolymère augmente. Par contre, cette taille minimale semble indépendante de la longueur du copolymère. La morphologie du mélange est d'autant plus stable que la masse molaire du copolymère est élevée, à taux de compatibilisant dans le milieu égal. Ces constatations peuvent s'expliquer par la meilleure interdiffusion des longs segments dans chacune des phases formant ainsi des enchevêtrements. Les blocs doivent donc être d'une masse molaire supérieure ou égale à la masse molaire critique entre enchevêtrement, pour que le copolymère soit efficace pour la compatibilisation.

En revanche, plus la masse molaire du copolymère est élevée, plus la concentration à partir de laquelle des micelles peuvent se former diminue. De plus, les copolymères de masses molaires élevées, plus leur cinétique de diffusion vers l'interface est lente.

Il faut donc choisir le copolymère, en prenant en compte sa microstructure (architecture, composition) et sa masse molaire ainsi que des caractéristiques intrinsèques des polymères en mélange.

I.2.6.4. Illustration de l'effet d'une compatibilisation :

I.2.6.4.1. Diminution de la tension interfaciale :

En se positionnant à l'interface, le copolymère compatibilisant joue le rôle de surfactant et de ce fait provoque une diminution de la tension interfaciale. Ceci a été vérifié expérimentalement par des mesures de tension interfaciale entre le polymère constituant la phase dispersée et la phase constituée par un mélange matrice/compatibilisant dans le cas d'un système polypropylène PP/polyéthylène téréphtalate PET. La diminution de la tension mesurée dépend de la nature et de la structure du copolymère compatibilisant.

I.2.6.4.2. Stabilisation de la morphologie et diminution de la taille de la phase dispersée :

La morphologie des mélanges compatibilisés est alors stabilisée par la suppression de la possibilité de coalescence des particules de la phase dispersée. Ceci s'explique par la diminution de mobilité inter faciale ainsi que la gêne stérique provoquée par la présence des chaînes de copolymère compatibilisant à l'interface (Figure I.2.8).

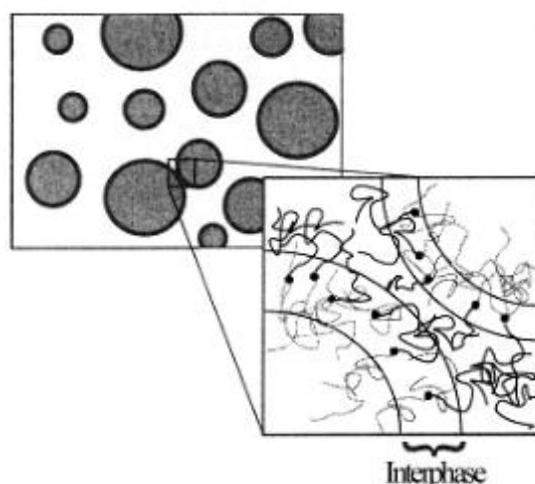


Figure I.2.8 : Illustration du rôle de la présence du compatibilisant à l'inter face Par suppression du phénomène de coalescence. [5]

I.2.6.5. Comparaison des deux méthodes de compatibilisation :

A titre de résumé, les avantages et inconvénients des deux méthodes de compatibilisation les plus rencontrées sont mis en parallèle dans le tableau. I.2.1.

	Ajout d'un copolymère préformé	Compatibilisation réactive
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> *Contrôle du taux ajouté dans le milieu *Maîtrise de la structure du copolymère 	<ul style="list-style-type: none"> *Formation du copolymère à l'interface *Nombreuses structure possible Une seule étape de mise en œuvre
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> *Diffusion du copolymère vers l'interface *Formation de micelles de copolymère *Préparation du copolymère 	<ul style="list-style-type: none"> *Diffusion des espèces réactives vers l'interface *Taux de réaction faible *Présence d'un excès de réactifs

Tableau I.2.1 : Comparaison de la compatibilisation par ajout et formation in situ du Copolymère compatibilisant

Différentes constatations ont pu être faites dans les études comparant ces deux méthodes.

- Le taux de copolymère nécessaire pour atteindre la même taille moyenne de phase dispersée est plus important dans le cas de l'ajout d'un polymère préformé.
- La distribution des tailles de domaines de phases dispersée est plus large dans les mélanges compatibilisés par un copolymère préformé, peut-être du fait de l'existence de micelles.
- Le temps nécessaire à l'établissement d'une morphologie à l'équilibre, dans les mêmes conditions de mélange, est plus court dans le cas de la compatibilisation réactive.

Pour ces deux méthodes de compatibilisation, l'aspect de mise en œuvre du mélange est important. Pour obtenir une bonne dispersion et une compatibilisation efficace, il faut un bon mélange pendant la préparation du matériau.

Parallèlement aux avantages et inconvénients listés précédemment, l'un des paramètres important pour l'utilisation industrielle d'un mélange est son coût de préparation. A ce titre, la méthode réactive in situ semble être la moins coûteuse. Tous les copolymères ne sont pas disponibles. Pour synthétiser le compatibilisant « idéal », il est souvent nécessaire de mettre en œuvre une chimie délicate. La voie de compatibilisation réactive in situ n'utilise que des chaînes fonctionnelles ou fonctionnalisées spécialement pour la compatibilisation du mélange. La préparation des chaînes réactives peut également se faire pendant la phase de préparation du mélange. De fait, les mélanges hétérogènes commerciaux sont principalement des mélanges compatibilisés par formation in situ du copolymère émulsifiant.

I.3. Additifs ajoutés aux polymères

La plupart des propriétés des polymères décrites dans ce chapitre ont un caractère intrinsèque, c'est-à-dire qu'elles sont propres à un polymère donné ou ont une importance qui lui est fondamentale.

Certaines de ces propriétés sont déterminées par la structure moléculaire. Or, il est souvent nécessaire d'obtenir une modification des propriétés mécaniques, chimiques et physiques des polymères supérieure à celle que permet une simple réorganisation de leur structure moléculaire fondamentale. Des substances étrangères appelées *additifs* sont alors ajoutées au polymère pour modifier ou améliorer bon nombre de ses propriétés et ainsi en accroître les possibilités d'utilisation. Les additifs les plus courants sont les charges, les plastifiants, les stabilisants, les colorants et les ignifugeants.

I.3.1 Charges

L'ajout de **charges** à un polymère vise le plus souvent à en améliorer la résistance à la traction, à la compression et à l'abrasion, la ténacité, ainsi que certaines autres propriétés.

Parmi les principales charges utilisées figurent la farine de bois (sciure de bois finement moulue), la farine et le sable de silice, le verre, l'argile, le talc, le calcaire et même des polymères synthétiques. La taille des particules de charge ne dépasse parfois pas 10 nm mais elle peut aussi prendre des proportions macroscopiques. L'ajout de ces matériaux bon marché à des polymères plus onéreux abaisse les coûts de production du produit fini.

I.3.2 Plastifiants

La flexibilité, la ductilité et la ténacité des polymères peuvent être accrues par l'ajout de **plastifiants**, dont la présence entraîne également un amoindrissement de la dureté et de la rigidité. Les plastifiants sont généralement des liquides à faible masse molaire. Étant donné que leurs petites molécules s'insèrent entre les grandes chaînes des polymères, ils ont pour effet d'accroître la distance entre ces dernières et d'affaiblir du même coup les liaisons intermoléculaires de Van der Waals. On ajoute fréquemment des plastifiants aux polymères intrinsèquement fragiles à la température ambiante, tels que le polychlorure de vinyle et certains copolymères d'acétate, car ils abaissent la température de transition vitreuse de ces

polymères. On peut ainsi les utiliser pour fabriquer des pellicules ou des couches minces, des tubes, des imperméables et des rideaux, car on obtient un degré de malléabilité et de ductilité en milieu ambiant suffisant.

I.3.3 Stabilisants

Certains polymères sont sujets à une détérioration rapide de leur intégrité mécanique dans un Environnement normal. Cette détérioration résulte le plus souvent d'une exposition à la lumière, notamment au rayonnement ultraviolet, ou d'une oxydation. Le rayonnement ultraviolet altère et brise des liaisons covalentes le long de la chaîne moléculaire et engendre parfois une certaine réticulation moléculaire. Pour sa part, la détérioration par oxydation fait suite à une interaction chimique entre des atomes d'oxygène et les molécules du polymère. Les additifs employés pour contrer les processus de détérioration portent ainsi le nom de stabilisants.

I.3.4 Colorants

Les **colorants**, sous forme de teintures ou de pigments, confèrent une couleur particulière à un Polymère. En fait, les molécules d'une teinture se dissolvent et s'intègrent à la structure moléculaire du polymère. Les pigments, au contraire, sont des charges qui ne se dissolvent pas et qui demeurent en phase distincte. En général, ils sont constitués de petites particules, sont transparents et présentent un indice de réfraction voisin de celui du polymère. Par ailleurs, certains pigments rendent le polymère opaque en le colorant.

I.3.5 Ignifugeants

L'inflammabilité des polymères constitue une préoccupation importante, notamment en ce qui concerne la fabrication de textiles et de jouets. La plupart des polymères sont inflammables à l'état pur, à l'exception de ceux à forte teneur en chlore ou en fluor tels que le polychlorure de vinyle et le polytétrafluoroéthylène. Il est possible d'augmenter la résistance à l'inflammabilité des polymères en y ajoutant des **ignifugeants**, dont l'action consiste à entraver le processus de combustion en phase gazeuse ou à déclencher une réaction chimique provoquant un refroidissement de la région ignée et un arrêt de la combustion. [10]

CONCLUSION

Il est difficile de classer les polymères selon leur état, amorphe, élastomère, semi cristallin, car les propriétés des polymères dépendent du temps et de la température. Par exemple, un élastomère à température ambiante peut devenir un amorphe ou un semi cristallin à basse température, un semi-cristallin de faible cristallinité peut avoir des propriétés d'élastomère, un amorphe soumis à une contrainte pendant un très long temps peut se déformer comme un élastomère. Un élastomère aura des propriétés de verre aux fréquences élevées (temps court). Finalement un semi-cristallin peut contenir de la phase amorphe soit solide (verre) soit liquide (caoutchoutique) et comme précédemment les propriétés de cette phase dépendront des paramètres temps et température.

I.4 : Recyclage de polymères

I.4.1 introduction :

Bien entendu, l'intérêt porté à la valorisation des matières plastiques peut être lié à la diminution des ressources mondiales en matières premières et à la législation concernant la protection de la nature et la préservation de la qualité de l'environnement.

Certaines mesures réglementaires sont actuellement prises pour encourager le recyclage en vue de conserver les ressources naturelles pour les générations futures dans des perspectives de développement durable. D'où la nécessité de trouver des techniques non polluantes de recyclage de ces matériaux polymères. Dans cette partie, on se propose de faire un résumé des enjeux concernant la valorisation des déchets de ce type, ainsi que les solutions rapportées pour sa réalisation pratique.

I.4.2 Sources des déchets plastiques :

Il existe deux principales sources de déchets plastiques :

Les déchets issus des sous produits industriels, faciles à collecter car les stocks sont homogènes, non pollués et facilement identifiables. Ces déchets sont généralement directement recyclés par le producteur. Les déchets de post-consommation. Ils sont principalement collectés dans les ordures ménagères. Ces matériaux sont généralement pollués, mélangés et incompatibles entre eux, ce qui rend difficile leur simple mélange ou compactage pour en faire de nouveaux produits. [13]

I.4.3 Différentes méthodes de valorisation des déchets de matières plastiques :

En dehors de la mise en décharge, polluante et de plus en plus réglementée, trois voies principales de valorisation des déchets plastiques sont possibles :

I.4.3.1 Valorisation énergétique :

Il s'agit du traitement des déchets plastiques par incinération (combustion totale), avec ou sans récupération d'énergie. Les déchets plastiques constituent un apport calorifique non négligeable qui peut être valorisé par récupération de la chaleur produite utilisable directement pour le chauffage ou sous forme d'énergie électrique.

Pratiquement tous les plastiques peuvent être incinérés. Cependant, la dégradation de certains matériaux peut dégager des composés toxiques (acide chlorhydrique dans le cas du polychlorure de vinyle, acide nitrique pour le polyamide, acide sulfurique pour certains caoutchoucs...).

1.4.3.2 Recyclage chimique :

Cette valorisation vise à décomposer les molécules constituant des déchets plastiques en matières premières (monomères, oligomères ou combustibles) réutilisables dans les raffineries, la pétrochimie et la chimie. On distingue :

- ✚ **La pyrolyse :** c'est la décomposition des molécules par chauffage sous vide. Ce procédé conduit à des hydrocarbures liquides ou gazeux utilisables ultérieurement dans les raffineries.
- ✚ **L'hydrogénation :** C'est le traitement par l'hydrogène et la chaleur des macromolécules qui sont craquées en huiles hydrocarbonées utilisables dans les raffineries et les usines de produits chimiques.
- ✚ **La gazéification :** les plastiques sont chauffés en présence d'air ou d'oxygène. Le gaz de synthèse résultant est constitué de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui peut être utilisé dans la production de méthanol, d'ammoniac ou comme agent réducteur dans la production d'acier.
- ✚ **La décomposition chimique proprement dite :** On applique des procédés tels que l'hydrolyse, l'alcoololyse, etc. Les applications de cette voie de recyclage, attrayante dans son principe, sont jusqu'à présent limitées, à des polymères comme le polyamide (PA), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le et le poly méthacrylate de méthyle (PMMA), du fait de problèmes pratiques et de rentabilité. Ce principe de recyclage n'en est encore qu'à un stade pilote.

1.4.3.3 Recyclage mécanique :

Le principe de ce type de valorisation des déchets est plus ou moins complexe et est envisagé depuis de nombreuses années. Il regroupe l'ensemble des méthodes de valorisation des déchets plastiques dans lesquelles les matériaux sont réutilisés tels quels ou après modification chimique. Il apparaît de loin comme la meilleure solution pour le traitement des déchets solides puisque toutes les méthodes citées auparavant sont de nature destructive.

Un certain nombre d'opérations doit être prévu avant le recyclage mécanique : il s'agit de la collecte, du tri, de la ségrégation des plastiques, du déchiquetage, du lavage, du séchage et de la granulation.

✚ **La collecte :**

La collecte constitue une contrainte majeure, ce qui impose une organisation efficace afin de diminuer le coût de transport, qui une fois maîtrisé réduira considérablement le problème de la

récupération. Les déchets en phase post-consommation sont généralement mélangés et pollués lorsqu'on les récupère dans le flux des déchets municipaux. C'est pour cette raison que des efforts ont été faits pour encourager les consommateurs à séparer les types de déchets en matières plastiques, au moins ceux qui sont faciles à identifier. Il peut s'agir par exemple de bouteilles ou de sacs de supermarché.

Il existe plusieurs types de collecte :

- ◆ La collecte globale : c'est une collecte multi matériaux où la phase organique des ordures ménagères est mélangée avec l'ensemble des autres déchets.
- ◆ La collecte sélective : elle a pour objectif de sélectionner, au départ des ménages, un ou plusieurs types de matériaux afin de faciliter leur valorisation ou leur élimination ultérieure.
- ◆ La collecte spécifique : exemple : bouteilles PET transparentes.

Le tri :

La récupération des matières plastiques dans les déchets municipaux mélangés, demande actuellement beaucoup de main-d'œuvre et il faudra se concentrer sur la mise au point de systèmes automatisés économiques. La capacité à séparer les matières plastiques pour un coût raisonnable est un facteur clef dans le développement éventuel d'une technologie de recyclage.

Il s'agit de séparer la fraction plastique des autres fractions à savoir : les papiers, les textiles, les métaux et les verres et de séparer ensuite les différents types de matières plastiques.

Il s'effectue généralement en plusieurs étapes :

- Le tri généralement manuel sur un tapis convoyeur;
- Le broyage grossier d'abord, puis fin des matières plastiques;
- Le lavage ;
- Le tri automatique des constituants qui met à profit les différences de propriétés physiques caractérisant les composants des déchets : la taille, la densité, la susceptibilité magnétique, la conductivité électrique, la couleur, etc.
- La séparation par voie chimique peut également parfois permettre d'extraire préférentiellement un polymère du mélange de déchets par dissolution et précipitation différentielle.

Cette technique de recyclage semble aisée, mais elle se heurte à de nombreux problèmes. En effet, les méthodes de séparation et de tri des matières plastiques sont onéreuses et ne se justifient que pour des produits d'un coût élevé. D'autre part, les déchets en phase post-consommation sont généralement pollués lorsqu'on les récupère dans le flux des déchets

municipaux. La pollution par les contenus (huile, graisse, produits chimiques...), les étiquettes, les bouchons, les charges, les inserts et les stabilisants qui sont entrés en contact avec le polymère lors de son utilisation peut entraîner une forte modification des propriétés du matériau après une seconde mise en œuvre (plastification, Dégradation accélérée) et même un faible taux de polluants peut modifier de façon importante les propriétés. Ces polluants peuvent donc constituer des obstacles sérieux au recyclage parce qu'ils sont difficiles et coûteux à éliminer. Enfin, les propriétés mécaniques des produits recyclés sont généralement différentes de celles des polymères purs de départ, dans le sens où ils peuvent contenir des additifs et subir une dégradation de leurs propriétés du fait du vieillissement subi lors de la transformation, de la phase d'utilisation et du processus de recyclage. Il est donc difficile de réutiliser les polymères pour les mêmes applications que les matériaux initiaux. Pour pallier aux problèmes de dégradation, le « remède » est généralement la dilution dans de la matière vierge et, dans le contexte industriel, on ne cherche quasiment jamais à « restaurer » parfaitement la microstructure du polymère (architecture et masse molaire des chaînes macromoléculaires).

En essayant de contourner ces problèmes, certains industriels ont développé des procédés de recyclage des matières plastiques en mélanges dans la mesure où l'ensemble des fractions polymères considérées garde après mélange une bonne aptitude à la transformation selon les procédés conventionnels sans qu'il y ait une macro-séparation de phases néfaste aux propriétés. [13]

I.4.3.4 Recyclage sous forme de mélanges de déchets de polymères :

Il peut s'avérer pratiquement (séparation délicate) ou économiquement (diminution du coût de recyclage en évitant l'étape de tri) intéressant de recycler des déchets plastiques sous forme de mélanges contenant deux produits ou plus ; le problème est que les polymères impliqués sont généralement incompatibles, lorsqu'on veut faire un mélange, on essaye de disperser au mieux une phase dans l'autre. Pour cela, on est parfois amené à utiliser un composé supplémentaire qui permettra de compatibiliser le mélange en améliorant ses propriétés.

Plusieurs causes peuvent expliquer les problèmes de mise en pratique du recyclage des matières plastiques en mélanges :

- Le contrôle de la source des déchets est délicat, mais semble indispensable pour connaître la composition précise des déchets, de sorte à traiter des mélanges de composition reproductible.

- la plage de température de mise en œuvre d'un plastique est souvent limitée. Quand il s'agit de mélanges, le choix de la température de transformation est critique car elle est liée à la dégradation et au comportement à l'état fondu, un mauvais choix peut entraîner des altérations de propriétés dans le mélange final (Figure I.4.3).

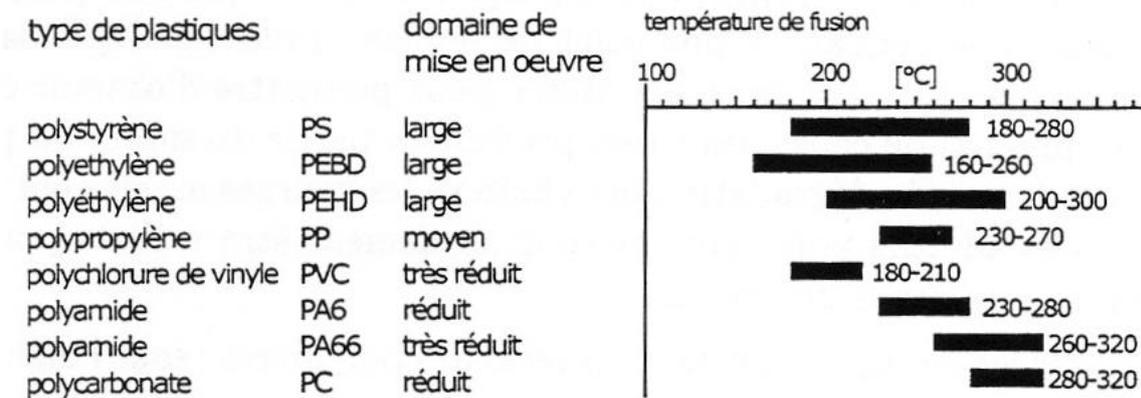


Figure 1.4.3 : Plages de températures de mise en œuvre des principaux plastiques.

Les plastiques se subdivisent en des nombreuses classes différentes aux caractéristiques souvent incompatibles.

C'est la maîtrise de la compatibilité des matières plastiques qui devrait permettre d'effectuer, durant la conception de produits (automobiles, appareils électriques, ...) des choix de matières intégrant leur 'cycle de vie' complet (particulièrement leur recyclage en fin de vie).

I.4.4 Définition DEEE (Déchet d'Équipement Électrique et Électronique) :

Un DEEE (ou D3E) est un Déchet d'Équipement Électrique et Électronique, c'est-à-dire un équipement ou une partie d'Équipement Électrique et Électronique (EEE) arrivé en fin de vie ou ayant perdu son usage initial. Les appareils fonctionnant grâce à un courant électrique ou à un champ électromagnétique, ou encore les appareils de mesure de ces courants et champs, conçus pour être utilisés à une tension de dépassant pas 1000 volts en courant alternatif et 1500 volt en courant continu.

Ces déchets issus de produit nécessaire à notre vie professionnelle ou personnelle sont en augmentation constante depuis plusieurs décennies. [12]

I.4.5 Les catégories des DEEE:

Les DEEE sont classés en 10 catégories

- **Catégorie 1** : Gros appareils ménagers ;
- **Catégorie 2** : Petits appareils ménagers ;
- **Catégorie 3** : Équipements informatiques et de télécommunications ;
- **Catégorie 4** : Matériel grand public ;
- **Catégorie 5** : Matériel d'éclairage
- **Catégorie 6** : Outils électriques et électroniques (à l'exception des gros outils industriels fixes) ;
- **Catégorie 7** : Jouets, équipements de loisir et de sport ;
- **Catégorie 8** : Dispositifs médicaux (à l'exception de tous les produits implantés ou infectés) ;
- **Catégorie 9** : Instruments de surveillance et de contrôle ;
- **Catégorie 10** : Distributeurs automatiques.

I.4.6 Pourquoi gérer les DEEE ?

Les DEEE contiennent des matériaux polluants et des matériaux valorisables. La collecte et le traitement des DEEE en filière REP permet d'une part de limiter le gaspillage des ressources naturelles nécessaires à leur conception et d'autre part, d'éviter la dissémination de certains polluants.

- Les polluants : les gaz CFC, le plomb, le mercure...
- Les matériaux valorisables : Les métaux ferreux et non-ferreux, les plastiques, le verre, les terres rares...

Se préoccuper de ses DEEE, c'est donc une obligation réglementaire qui permet de réduire sensiblement son empreinte environnementale. [12]

I.4.7 Répartition des DEEE par type de polymères

Les types de polymères issus des Déchet d' Equipement Electrique et Electronique DEEE sont représentés dans la figure I.1.5.

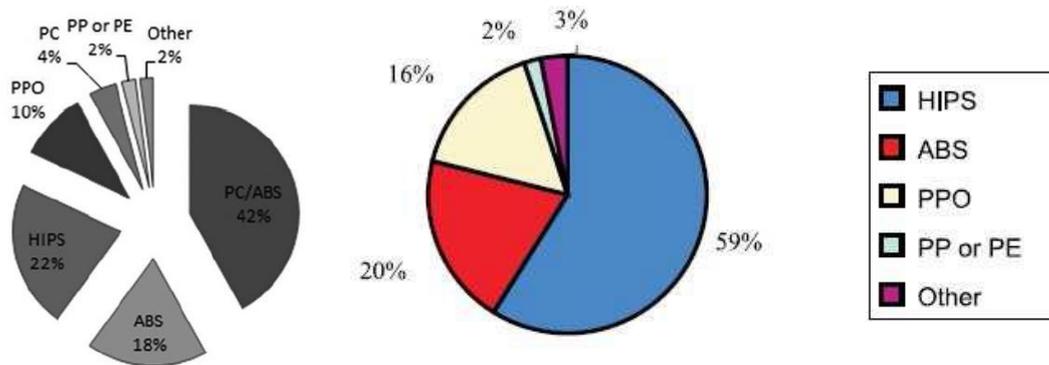


Figure I.1.5 : Répartition des DEEE par types de polymères

Les polymères ou mélanges de polymères composent ces DEEE, dont l'ABS, le HIPS, le PP, le PS, le SAN, le PU, le PA, les mélanges PC/ABS et HIPS/PPO.

Les deux polymères majoritaires sont le polystyrène choc (HIPS) et l'acrylonitrile-butadiène styrène (ABS), utilisés pour leur propriété de résistance aux chocs. [4]

I.4.8 Le recyclage des polymères des DEEE

Les méthodes de tri des matières plastiques sont bien souvent onéreuses et ne se justifient que pour des produits d'un coût élevé.

De plus, la pollution des polymères s par les contenus (huiles, graisses, produits chimiques...), les étiquettes, les bouchons, les charges, les inserts et les stabilisants qui sont entrés en contact avec eux lors de leur utilisation peut entraîner une forte modification des propriétés du matériau ; il en est de même pour une seconde mise en œuvre (plastification, dégradation accélérée). Ces polluants, même en de faibles quantités, sont des obstacles sérieux au recyclage, car ils sont très difficiles (et onéreux) à éliminer.

Enfin, le recyclage des polymères induit presque toujours une perte des propriétés mécaniques entre le polymère vierge de départ et le polymère recyclé. Cela est dû à l'ajout d'additifs aux compounds, ou bien à un vieillissement subi lors de l'utilisation, ou de la remise en œuvre pendant le processus de recyclage (réticulation de polybutadiène, par exemple).

Afin de minimiser ces problèmes et d'utiliser tout de même des matières recyclées, les industriels emploient plutôt une technique de 'dilution' de polymères recyclés dans la matière vierge. On ne cherche quasiment jamais à « restaurer » parfaitement la microstructure du polymère (architecture et masse molaire des chaînes macromoléculaires).

Certains industriels ont développé des procédés de recyclage des matières plastiques en mélange mais il faut que ce mélange de polymères recyclés garde une bonne aptitude à la transformation sans qu'il y ait une macro-séparation de phases qui serait néfaste aux propriétés. En effet, pratiquement et économiquement, il est intéressant de recycler les polymères en mélangeant deux produits ou plus, l'obstacle principal restant l'incompatibilité de la plupart des polymères entre eux.

Il faut donc essayer de disperser au mieux une phase polymère dans une autre; pour cela, certains composés sont ajoutés au mélange tels que des copolymères di- ou triblocs comme cités plus haut. [4]

Conclusion

Parmi les différentes solutions de recyclage possibles, celle qui consiste à mélanger de façon mécanique les polymères en vue d'obtenir des propriétés améliorées, semble raisonnable et prometteuse. En effet, les polymères issus des DEEE présentent des propriétés (mécaniques essentiellement) dégradées, du fait de dégradations pendant la mise en œuvre ou le cycle de vie. Il paraît indispensable, en vue d'un recyclage viable, d'arriver à « doper » (« upgrade ») leurs propriétés, en les mélangeant à d'autres polymères.

CHAPITRE II
MATÉRIELS ET
DISPOSITIFS
EXPÉRIMENTAUX

II .1 Outils de Caractérisation

Divers outils ont été utilisés dans le but de caractériser les propriétés morphologiques et mécaniques des mélanges après leur mise en œuvre.

Ces divers outils sont résumés dessous, ainsi que les paramètres d'utilisation.

II .1.1 Microscopie à balayage électronique

Les caractérisations morphologiques des différents faciès de rupture, ont été réalisées grâce au Microscope Électronique à Balayage (MEB) au niveau du laboratoire de chimie de Hasnaoua.

II .1.1.1 Principe

Le principe de fonctionnement du MEB est le suivant : un faisceau d'électrons balaie la surface de l'échantillon réfléchis (ou rétrodiffusés) sont collectés par un détecteur ; le signal ainsi obtenu est transformés en un point lumineux sur l'écran de ce tube à rayons cathodique ; la brillance de ce point dépend de l'intensité du signal détecté ,et sa position sur l'écran correspond à celle du point frappé par le faisceau d'électron : l'image résultante permet d'étudier les caractéristiques de la surface de l'échantillon et elle peut être photographiée .



Figure II.22 : Microscope électronique a Balayage

II .2.2 Essai de Traction

II .2.2.1 Introduction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques usuelles telles que le module d'élasticité, la contrainte au seuil d'écoulement, la contrainte au plateau de Plasticité, la contrainte et l'allongement à la rupture. Ainsi, dans ce qui suit nous présenterons Les résultats associés à cette technique expérimentale.

II 2.2.2 Principe de l'essai

Cet essai destructif consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction, et cela généralement jusqu'à rupture.

L'éprouvette utilisée de géométrie parfaitement définie est encastrée à ses deux extrémités dans des mors ou des mâchoires. L'un de ces mors est fixe. L'autre mors est mobile et relié à un système d'entraînement à vitesse de déplacement imposé L'éprouvette au repos présente une longueur initiale L_0 et une largeur initiale l_0 .

Lorsque les efforts sont appliqués axialement, un allongement est constaté suivant la longueur L , tandis que sa largeur l , diminue.

La contrainte nominale :

F est la force appliquée et S_0 est la section initiale de l'éprouvette :

La déformation nominale mesure l'allongement relatif,

II .2.3 Machine de Traction

Les propriétés mécaniques des différents mélanges mis en œuvre, ont été caractérisées grâce à une machine de traction du laboratoire de génie mécanique de capacité 100KN de marque IBERTEST.

Les essais ont été réalisés à température ambiante (30° C), pour une vitesse de traverse Égale à 10mm/min.

Pour chaque lot, Cinque des expériences. Ainsi grâce à ces tests, le module d'Young, la contrainte au seuil d'écoulement ainsi que l'élongation à la rupture ont été déterminés.

Les dimensions de l'éprouvette sont inscrites dans la figure

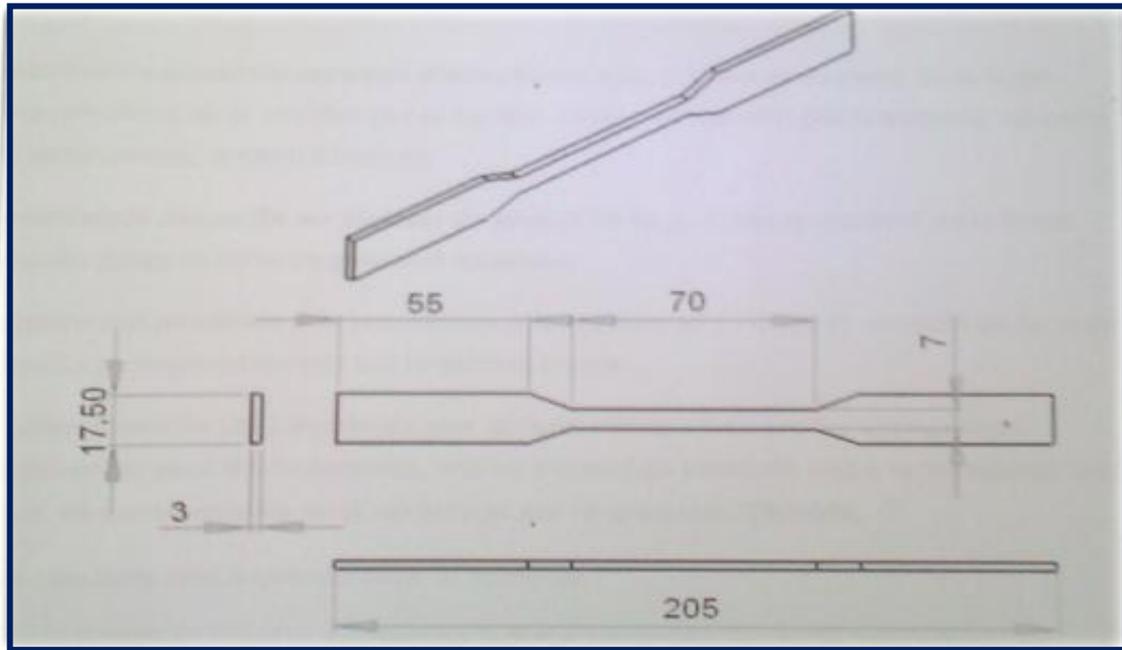


Figure II. 23 : Epreuve plate standard



Figure II.24 : Machine de traction de Marque IBERTEST au niveau du laboratoire SDM

II 2.4 Mesure de la Résistance à l'impact

Les éprouvettes injectées de type barreau ($120 \times 12.7 \times 6 \text{ mm}^3$) ont été découpées a de longueurs de 60 mm afin de les caractérisées par des tests chocs Charpy entaillés à température égale à 23°C (figure II.25).

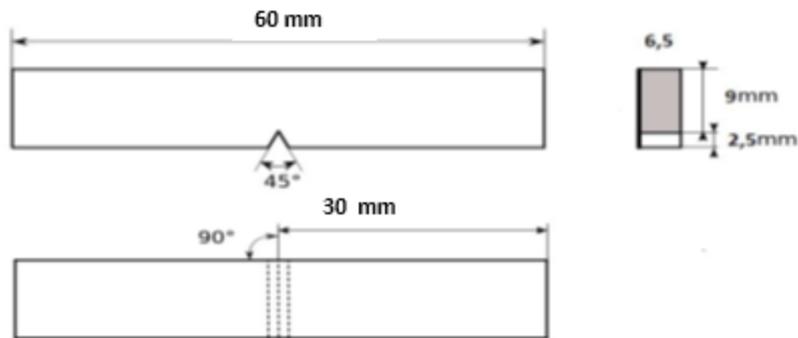


Figure II.25 : Dimensions d'éprouvettes de résilience

Les essais sont réalisés à l'entreprise Electro-industries de Fréha sur la machine ZWICK 5102 illustré à la figure II.26.



Figure II.26 : Machine charpy de marque ZWICK a Electro-industries de Fréha

Comme pour la caractérisation des propriétés mécaniques, cinq échantillons par lots ont été testés afin de vérifier la reproductibilité de l'essai et une moyenne des valeurs a été déterminée.

II 2.4.1 Principe

Le barreau carré de dimension ($60 \times 12.7 \times 6 \text{ mm}^3$) est posé horizontalement entre deux enclumes, il est frappé par un impacteur sa capacité de travail est de 1Joule ou de 2 Joules animé d'un mouvement de pendule avec une énergie connue (**Figure II.27**) La remontée de

l'impacteur Après la rupture correspond à l'énergie non utilisée dans la rupture. On en déduit l'énergie Utilisée, qui est rapportée à l'aire de la section du barreau. Le résultat s'exprime en kJ/m.

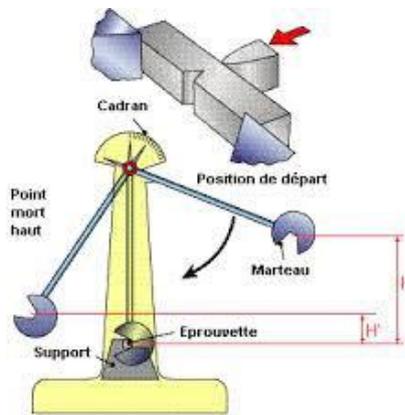


Figure II 27 : Agencement expérimental et éprouvettes Charpy

II 2.5 Micro Dureté

II 2.4.1 Le Microduromètre

Le micro duromètre utilisé est de marque ZWICK/ROELL (Figure II.28). Il a une capacité de chargement max de 1Kgf, une durée de chargement max de 60s ainsi qu'un zoom optique X100. Il est piloté par un logiciel interne qui traite et donne directement la dureté.

Il est constitué :

- D'un bâti rigide muni d'une base mobile qui permet de centrer l'éprouvette.
- D'un bâti rigide muni d'une base mobile qui permet de centrer l'éprouvette au pénétrateur qui exerce l'effort à l'aide d'un moteur électrique
- D'un écran et d'un pavé digital qui permettent d'entrer les paramètres relatifs à l'essai et de lire les résultats.



Figure II 28: Duromètre ZWICK/ROELL

II 2.4.2 Conditions Expérimentales des Essais de Dureté : Les essais de micro dureté ont été réalisés à température ambiante (298°K), sur des éprouvettes plates, avec une force de chargement constante $F=25\text{gf}$ appliquées pendant 20s.

II .2.4.3 Principe

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de compression uni axiale, à l'aide d'un pénétrateur (de forme pyramidale, pour les essais Knoop) pendant un certain temps.

L'empreinte (Figure II.29) laissée par le pénétrateur sur l'échantillon permettra de déterminer la dureté de celui-ci.

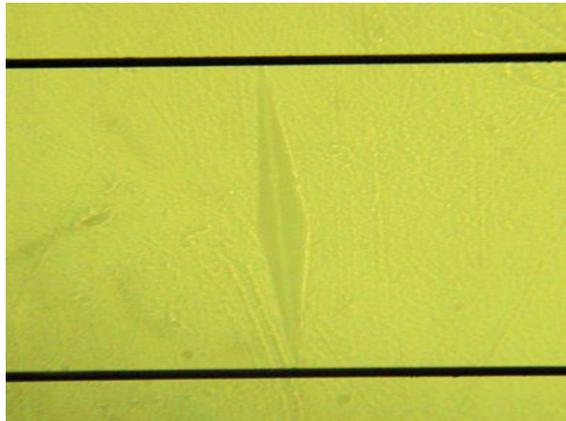


Figure II 29 : Empreinte laissée par le Pénétrateur

Conclusion

Ce chapitre est consacré à la présentation du matériel et des dispositifs expérimentaux utilisés pour l'analyse et à la caractérisation des échantillons des matériaux étudiés.

CHAPITRE III

PROTOCOLE

EXPÉRIMENTAL

III 1. Introduction :

Nous présenterons la méthode de préparation des mélanges et la réalisation des éprouvettes. Les mélanges seront constitués de déchets issus des Equipements Electriques et Electroniques réformés (DEEE) pour lesquels nous ajouterons de l'ABS vierge à différents concentrations. Nous avons aussi sélectionné dans les déchets de l'ABS et du HIPS. Nous considérerons aussi le cas où ces mélanges contiennent 5% d'huile récupérée des huiles de lubrification usagée. Ces opérations sont réalisées au niveau de l'entreprise Siscoplast de Draa-El-Mizan.

III 2. Présentation des différents composants des mélanges élaborés

III 2.1 Acrylonitrile Butadiène Styrène Vierge (ABS)

L'ABS fourni par ENIEM (Enterprise Nationale des Industries Electro-Ménagers Tizi-Ouzou) qui est un ter polymère (figure III 1) et ayant les Propriétés présentées sur le tableau.



Figure III 1: ABS Vierge

Tableau III 1: Propriétés mécanique d'ABS

Propriétés Mécaniques	
Densité	1.04 g/cm ³
Module d'élasticité en traction	1650 N/mm ²

II 2.2 Polystyrène Choc « HIPS » Recycle :

La récolte de polystyrène choc est identifiée grâce à lors marquage (voir la figure III 2). et une opération Décontamination, de nettoyage, de séchage et de broyage est nécessaire pour pouvoir les recycles.



Figure III 2 : HIPS Recycle

III. 2.3 Huiles usages :

Les huiles usées utilisé provenant des moteurs et des presses d'injection au niveau de SISCO PLAST (figure III 3).



Figure III 3 : Huile usagée

III 2.4 Acrylonitrile Butadiène Styrène « ABS » Recycles :

L'ABS provient déchets issus des Equipements Electriques et Electroniques réformés (DEEE) hors d'usage de la faculté du Génie de la Construction de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. L'ABS est identifié grâce à leur marquage (voir la figure III 4).

Une étape de lavage et séchage est effectuée avant le broyage de ces déchets.



Figure III 4 : Marquage d'ABS

III 2.5 DEEE étudiées au cours de ce travail :

Les matières plastiques étudiées issus des équipements électronique et informatique hors usage telle que (carcasse d'imprimante et ordinateur, souris, clavier,)



Figure III 5 : Collecte des déchets des Equipements Electriques et Electroniques hors usage

III 3. Procédé de recyclage réalisé dans le cadre de notre étude

III 3.1. Décontamination des déchets :

« Décontamines », c'est-à-dire que les étiquettes, mousses, tampons en Caoutchouc, vis, les colles... sont systématiquement enlevés.

III 3.2 Lavage et nettoyages :

Les DEEE sont nettoyés et lavés à l'eau savonneuse pour éviter la présence des impuretés de poussière et de graisses.



Figure III 6 : Déchets découpés à la cisaille en petits morceaux avant broyage.

III 3.3 Broyages des déchets :

Le broyage pour obtenir des granulés réintégrant dans les cycles d'extrusion et injection comme Il indique sur la figure III7.



Figure III 7: Broyages des DEEE au niveau de SICOPLAST Draa-El-Mizan

Pour éviter la présence des particules métallique dans les déchets, on a utilisé un Aimant pour précaution et assurer que le mélange ne contienne pas de métal.



Figure III 8 : vérification la présence des particules métallique dans les déchets



Figure III 9: les DEEE a l'état granulaire après le broyage

III 3.4 Réalisation des mélanges :

Les mélanges ABS vierge+ DEEE aux différents concentrations sont réalisés par pesée à l'aide d'une balance au niveau de laboratoire SDM comme indiqué sur la (figure III 10).



Figure III 10 : L'opération de pesée des mélanges ABS et déchets DEEE

Mélanges	DEEE (%)	ABS (%)
A	100	0
B	80	20
C	60	40
D	50	50
E	40	60
F	20	80
G	0	100

Nous avons aussi considéré volontairement le cas où ces déchets contiennent 5% d'huile de lubrification usagée.



Figure III 11: Ajout 5% en poids d'huile de lubrification usagée pour chaque mélange

Mélanges	DEEE (%)	ABS (%)	HUILE (%)
A1	100	0	5
B1	80	20	5
C1	60	40	5
D1	50	50	5
E1	40	60	5
F1	20	80	5
G1	0	100	5

III 3.5 L'étape d'extrusion :

Après l'opération de broyage et préparations des mélanges, une étape d'extrusion est nécessaire afin d'avoir une bonne dispersion des polymères en mélanges.

L'extrusion des mélanges s'effectue au niveau de SISCOPLAST avec une extrudeuse mono vis de Marque NEBEL NEGRI-LUINO (figure III 12).



Figure III 12 : Extrudeuse mono vis *Marque NEBEL NEGRI-LUINO*

L'extrudeuse possède trois zones différentes correspondant à trois zones de fonctionnement (figure II.13).

- **La zone de convoyage ou d'alimentation** : destinée à transporter et à compacter le polymère initialement sous forme de granulés vers les autres zones.
- **La zone de plastification** : dans laquelle le polymère se trouve à la fois sous forme solide et sous forme fluidifiée permet de transformer la matière solide en « fluide ». Le polymère, en contact avec le fourreau, est « fondu » par conduction.

Lorsque la quantité de matière plastifiée et la pression sont suffisamment importantes ce polymère déjà « fondu » va venir déformer le polymère solide compacté dans le chenal de la vis, ce qui, par conduction et dissipation d'énergie du cisaillement, va enrichir la zone de polymère « liquide ».

- **La zone de pompage** dans laquelle la pression du polymère « fondu » est progressivement élevée jusqu'à la pression nécessaire à l'extrusion. Cette élévation progressive de la pression est due à une augmentation du diamètre interne de la vis entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse.

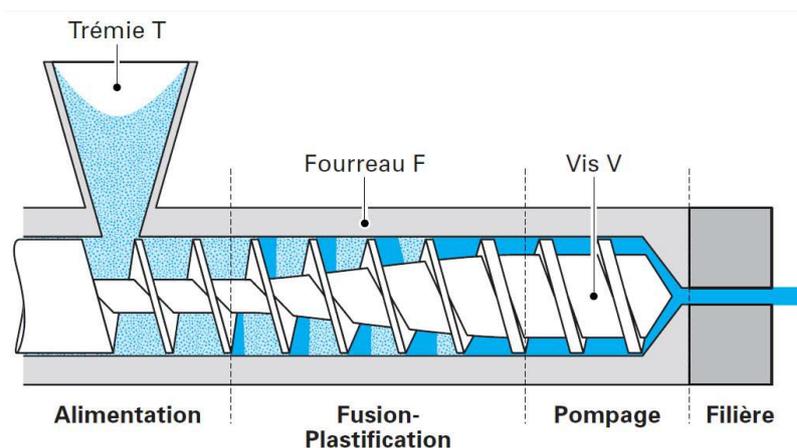


Figure III 13 : Zones d'une extrudeuse Monovis

- *Paramètres d'extrusion :*



Figure III 14 : tableau des paramètres d'extrusion

<i>Température des Zones</i>			
<i>Alimentation</i>	<i>Plastification</i>	<i>pompage</i>	<i>Filière</i>
180	200	220	250

- *Les caractéristiques de la vis sont :*

- *La vis d'extrudeuse est du type sans fin*
- *Diamètre $D=25\text{mm}$*
- *Longueur $L=28D$*
- *Vitesse de rotation $V= 60\text{tr/min}$*

Les mélanges sous forme de joncs obtenus après extrusion et destinés au broyage pour être enfin injecté pour la réalisation des éprouvettes sont représentés sur la (figure III.15).



Figure III 15 : les mélanges après extrusion

Après l'opération d'extrusion on a broyée les mélanges une autre fois et faire séchage les matières comme indique dans la (figure III 16) pour les préparés a l'opération d'injection.



Figure III 16 : l'opération de séchage des matières broyées

III 3.6 Injection des éprouvettes:

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

L'injection d'éprouvettes s'effectue sur une machine à injection ARBURG (305-210-700) qui illustrée sur la figure III 17.



Figure III 17 : Presse d'injection Marque ARBURG 305-210-700

Le gradient de température est croissant de l'alimentation à la buse d'injection, et la pression est adaptée afin d'assurer le meilleur remplissage possible du moule. Ce dernier permet de mouler une éprouvette de type barreau de dimensions 120 x 12 x 6 mm³, une éprouvette de type haltère, et un disque d'épaisseur 3mm et de diamètre égal à 50mm (figure III 18).



Figure III 18 : Eprouvettes obtenues après injection

Les différentes phases du cycle d'injection, décrites à la Figure. III 19, se déroulent de la manière suivante :

- Le polymère est fondu dans un dispositif vis four.
- Dans un premier temps, la buse à l'extrémité du fourreau étant obturée, la vis tourne en reculant et le polymère fondu s'accumule en tête de vis.
- Une fois que la quantité de polymère nécessaire à la fabrication de la pièce a été fondue, la buse s'ouvre et la vis se transforme en piston qui injecte à grande vitesse le polymère chaud dans un moule fermé et froid: c'est la phase de **remplissage** durant laquelle les pressions engendrées sont considérables du fait de la forte viscosité du polymère mais également des grandes vitesses d'injection.
- Le refroidissement du polymère est lent du fait de sa faible conductivité thermique. . Il est donc possible de compenser en partie la variation de volume

Spécifique du polymère en continuant à injecter du polymère liquide sous forte pression : c'est la phase de **compactage**.

- Une fois que le canal reliant la buse de la presse à injecter au moule est solidifié, il n'y a plus de compactage possible. La pièce continue à se refroidir dans le moule puis, après éjection, à l'extérieur du moule.

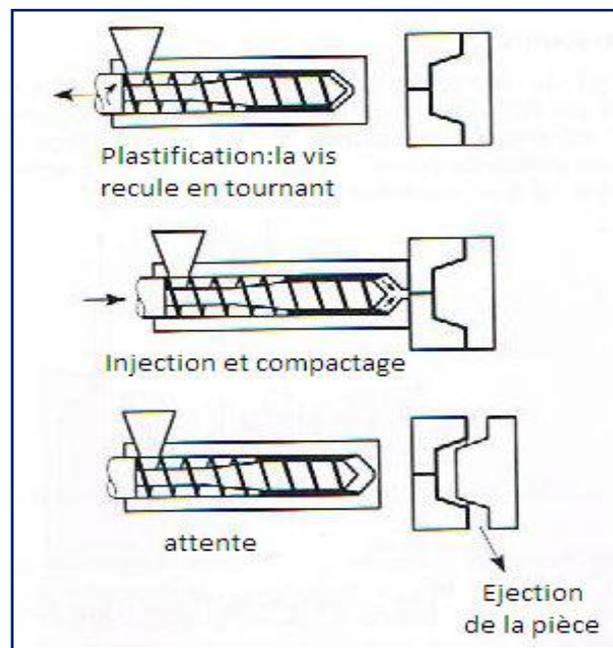


Figure III 19 : Les différentes phases du cycle d'injection

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

III 3.6.1 Paramètres d'injection:



Figure III 20 : Tableau des paramètres d'injection

Tous les mélange ont été injectés avec une température de buse 260 c, et une vitesse d'injection de 76 mm/s (figure III 20).

Les paramètres d'injection standard sont récapitulés dans le tableau suivant :

Températures				
T buse	T1	T2	T3	
260 C°	200 C°	220 C°	240 C°	
Pressions				
P injection	P maintien		P Contre pression	
100 Bar	80 Bar		16 Bar	
Dosage				
76 mm				
Temps				
t 1 injection	t 2 maintiens	t 3 Refroidissements	t 4 ouvertures moule	t 5 fermetures
1,5 s	2,8 s	16 s	1,0 s	0,3 s

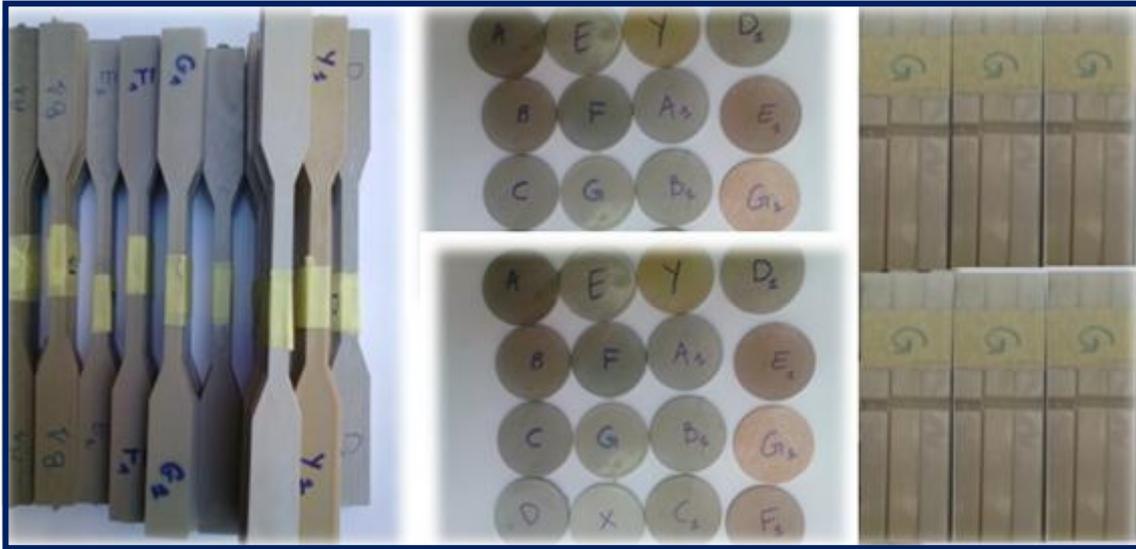


Figure III 21 : Préparation des Eprouvettes pour les différents essais

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le protocole expérimental de la collecte des déchets à l'élaboration des éprouvettes. Nous avons montré la constitution des déchets, l'élaboration des mélanges, les paramètres des machines d'extrusion et d'injection et la géométrie des éprouvettes.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

ET

INTERPRÉTATIONS

Introduction :

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

- Essais de Traction
- Essai de Résistance aux Chocs
- Essai de Microdureté Knoop
- Une Caractérisation Morphologique au MEB

Une interprétation et discussion suivra chaque résultat.

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

IV.1.Caractérisation Mécanique

IV.1.1Mélanges (DEEE/ABS):

IV.1.1.1 Courbes Contrainte-Déformation

➤ Mélange 100%DEEE

La courbe de traction du mélange 100%DEEE présente une rupture fragile avec une déformation qui ne dépasse pas 4,5%. Elle montre aussi une contrainte maximale de l'ordre de 27 MPa.

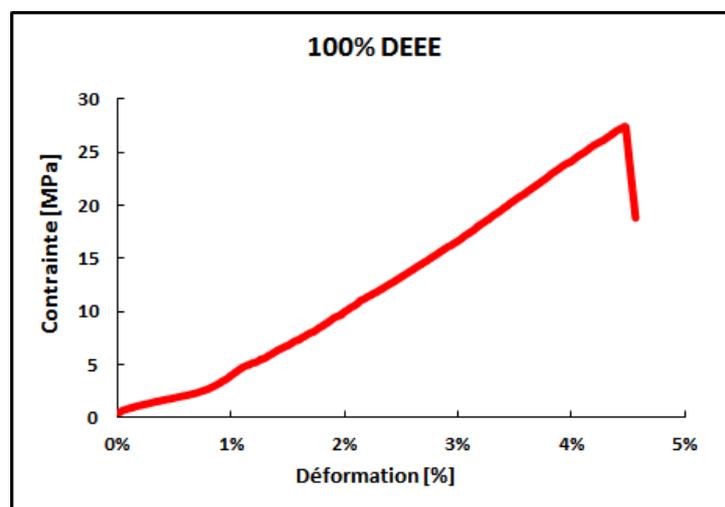


Figure. IV.1 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% DEEE

➤ **Mélange 100%ABS**

La courbe de traction du polymère 100%ABS donnée par la figure IV.2 montre que l'ABS présente une contrainte maximale de 40 MPa avec un allongement à la rupture de 14%.

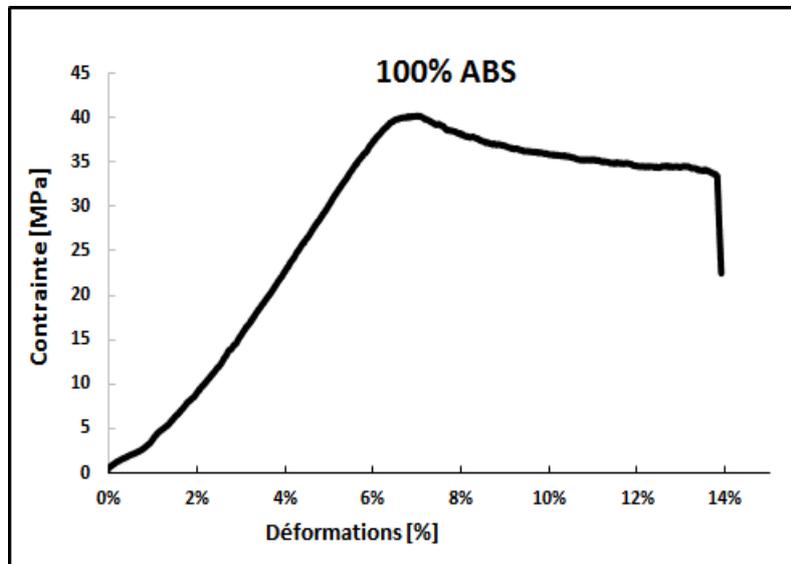


Figure. IV.2 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% ABS

La superposition des courbes de traction de l'ABS et des DEEE (Figure. IV 3) montre que les déchets recyclés ont des propriétés mécaniques de résistance et de ductilité faibles par rapport à l'ABS vierge. On constate aussi une faible variation de la rigidité donnée par la tangente à la partie courbe élastique.

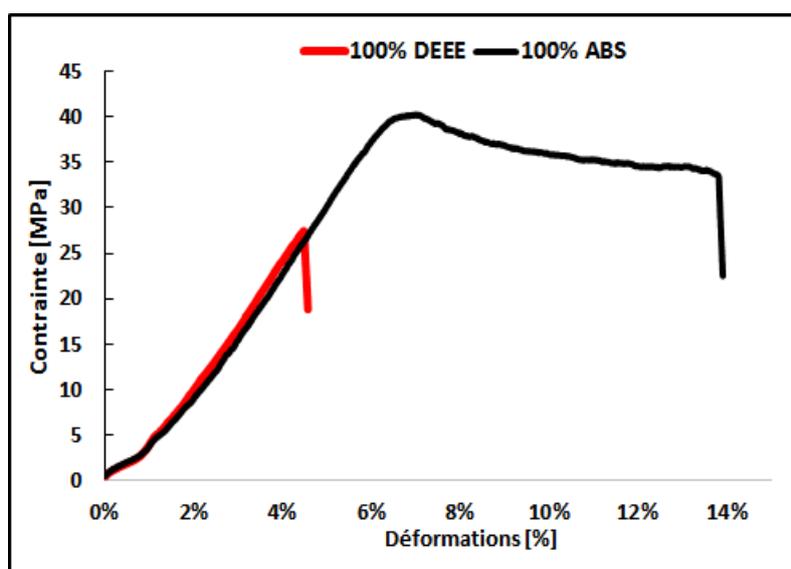


Figure. IV.3 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% ABS et 100% DEEE

➤ Mélange 80%DEEE/20%ABS

La courbe de traction du polymère 80%DEEE/20%ABS donnée par la figure IV 4 montre que Le mélange présente une contrainte maximale de 32 MPa avec un allongement à la rupture de 7%. Propriétés plus élevées que celle du DEEE.

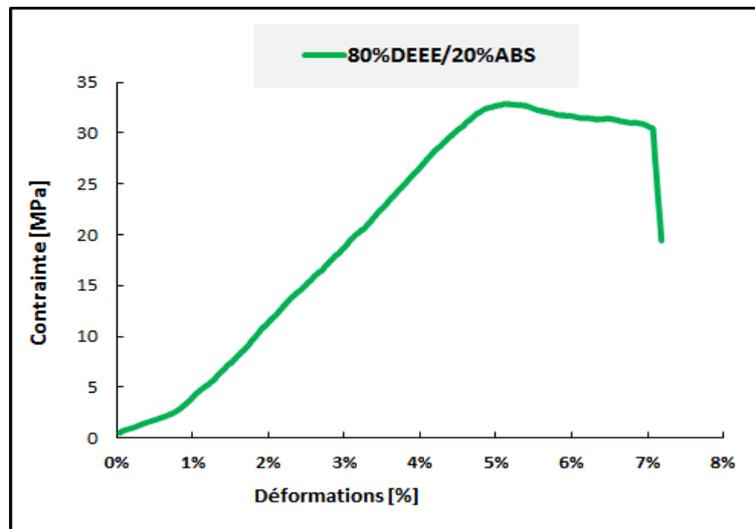


Figure. IV.4 : Courbe contrainte déformation du mélange 80%DEEE/20%ABS

Pour mieux situer les variations des propriétés mécanique du mélange 80%DEEE/20%ABS, nous superposons sa courbe de traction avec celles l'ABS et des DEEE (Figure. IV.5). Elle montre que les déchets recyclés ont des propriétés mécaniques de résistance et de ductilité faibles par rapport à l'ABS vierge.

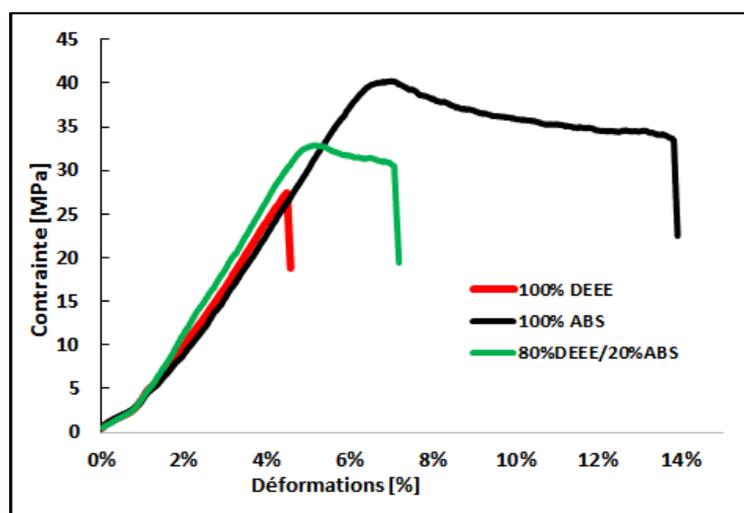


Figure. IV.5 : Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 80%DEEE/20%ABS

➤ **Mélange 60%DEEE/40%ABS**

La courbe de traction du polymère 60%DEEE/40%ABS donnée par la figure IV.6. Montre une augmentation de la contrainte maximale au seuil d'écoulement et de l'allongement à la rupture.

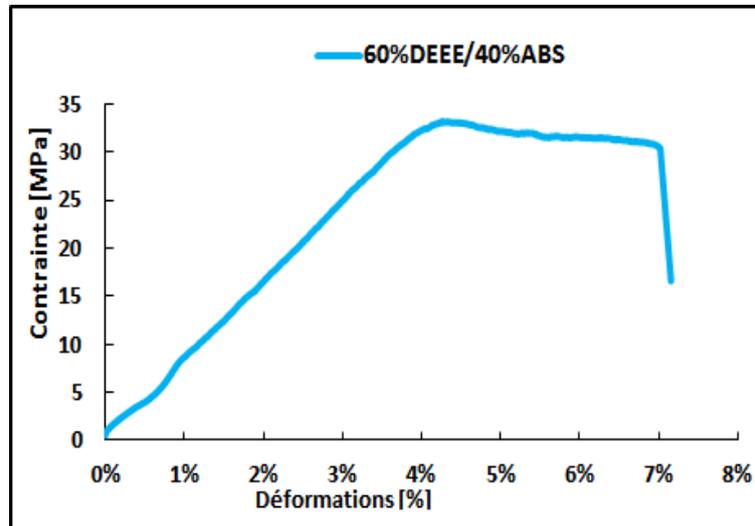


Figure. IV.6 : Courbe contrainte déformation du mélange 60%DEEE/40%ABS

La superposition de la courbe de traction du mélange (60%DEEE/40%ABS) avec celles l'ABS et celle des DEEE (Figure. IV.7) montre une augmentation de la rigidité du mélange (60%DEEE/40%ABS) par rapport au DEEE et à l'ABS.

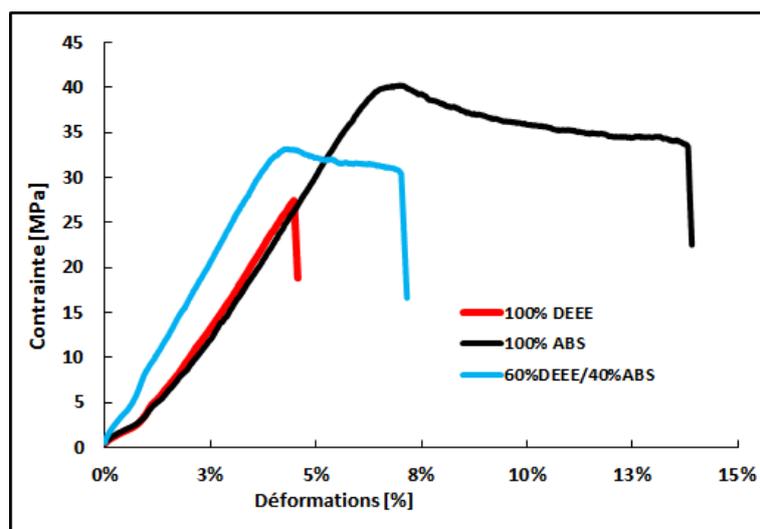


Figure. IV.7 : Superposition des courbes de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 60%DEEE/40%ABS

➤ Mélange 50%DEEE/50%ABS

La courbe de traction du mélange 50%DEEE/50%ABS donnée par la figure IV.8. Montre une augmentation de la contrainte maximale au seuil d'écoulement et de l'allongement à la rupture par rapport au mélange 50%DEEE/50%ABS.

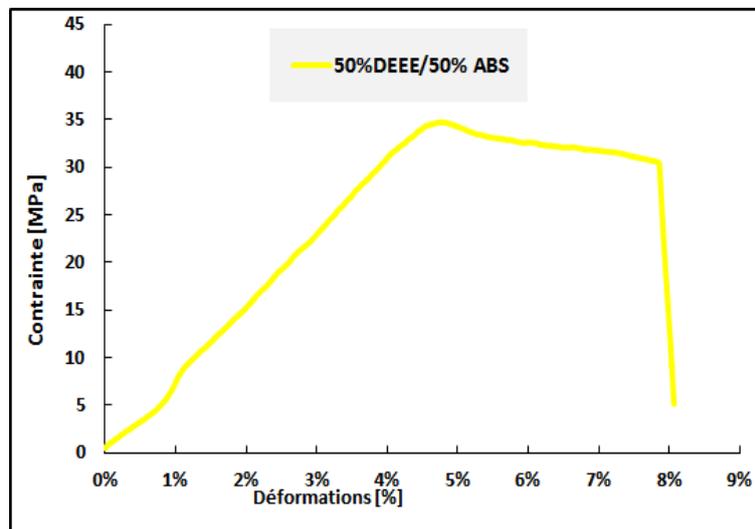


Figure. IV.8 : Courbe contrainte déformation du mélange 50%DEEE/50%ABS

La superposition de la courbe de traction du mélange (50%DEEE/50%ABS) avec celles l'ABS et des DEEE (Figure. IV.9) une augmentation de la rigidité du mélange (50%DEEE/50%ABS) par rapport au DEEE et à l'ABS.

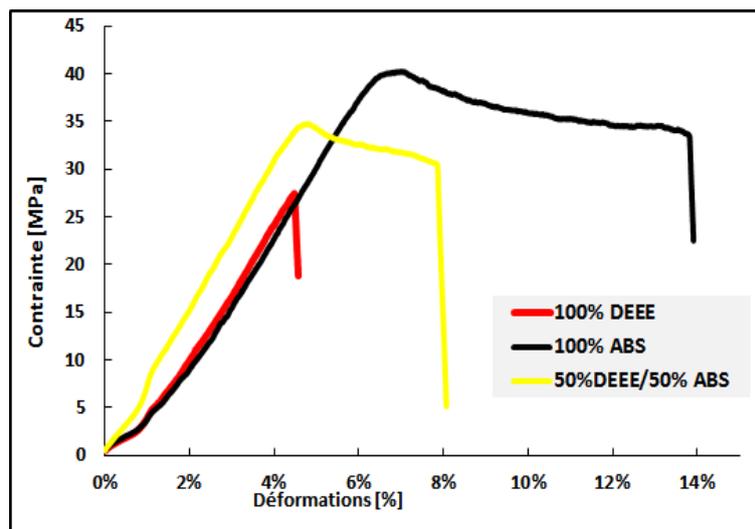


Figure. IV.9 : Superposition des courbes de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 50%DEEE/50%ABS

➤ **Mélange 40%DEEE/60%ABS**

La courbe de traction du mélange 40%DEEE/60%ABS donnée par la figure IV.10 montre la même tendance de variation que précédemment.

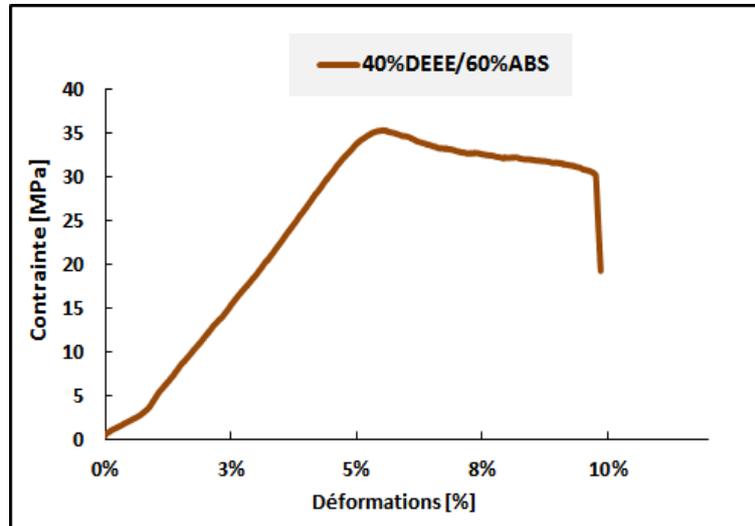


Figure. IV.10 : Courbe contrainte déformation du mélange 40%DEEE/60%ABS

La superposition de la courbe de traction du mélange (40%DEEE/60%ABS) avec celles l'ABS et des DEEE (Figure. IV.11) montre une faible augmentation de la rigidité du mélange (50%DEEE/50%ABS) par rapport au DEEE et à l'ABS.

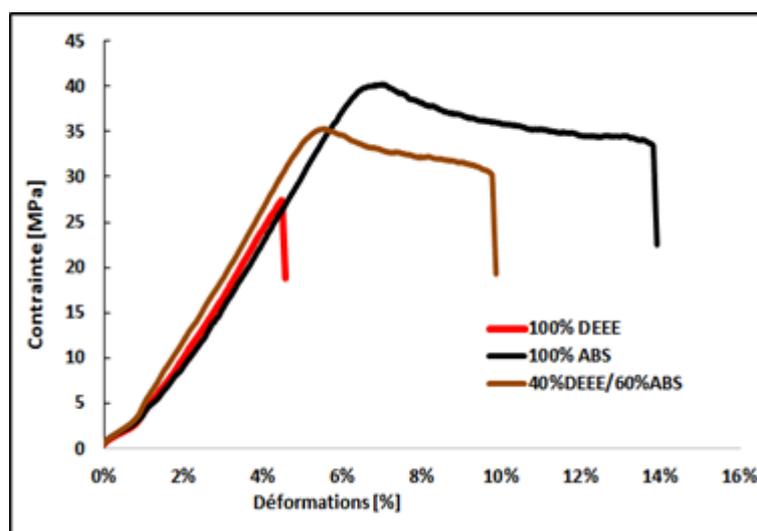


Figure. IV.11 : Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 40%DEEE/60%ABS

➤ **Mélange 20%DEEE/80%ABS**

La courbe de traction du polymère 20% DEEE/80%ABS donnée par la figure IV.12, montre que sa contrainte au seuil d'écoulement augmente pour atteindre 37 MPa. On remarque aussi l'augmentation de l'allongement à la rupture qui atteint 11,4%

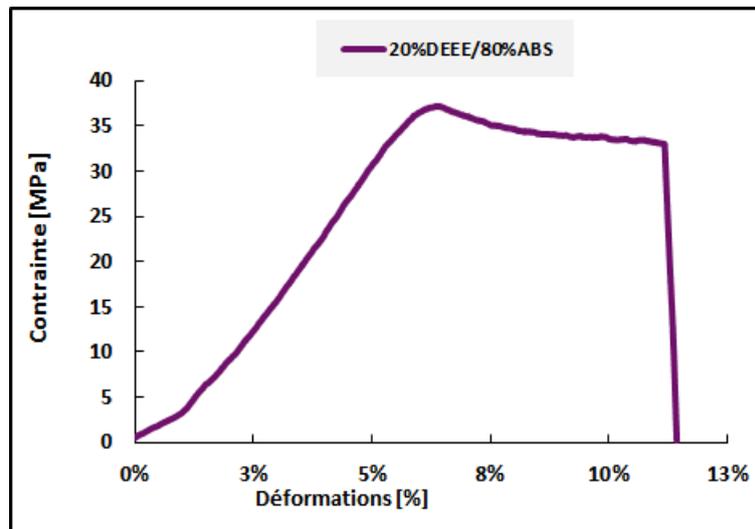


Figure. IV.12 : Courbe contrainte déformation du mélange 20%DEEE/80% ABS

La courbe de traction (figure IV.13) montre que les propriétés mécaniques de résistance et de ductilité sont beaucoup plus proches de celle de l'ABS vierge que de celle des déchets (DEEE).

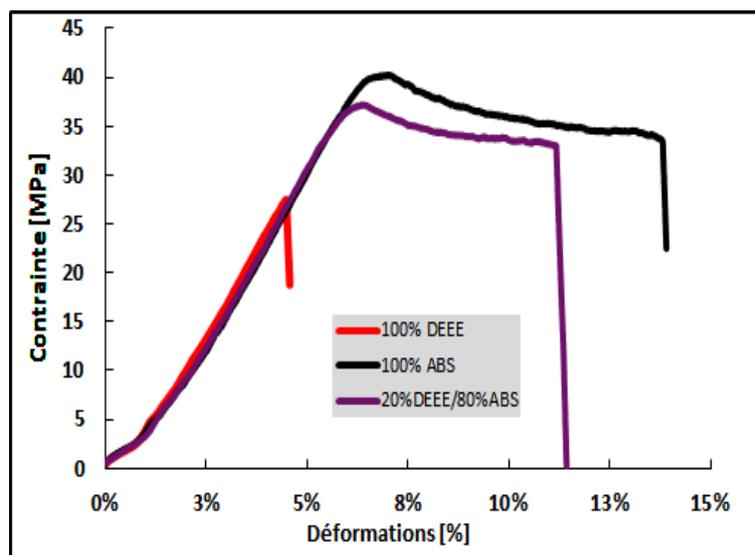


Figure. IV.13 : Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 20%DEEE/80%ABS

La figure IV.14 présente la superposition des courbes de traction de tous les mélanges, de l'ABS et des déchets. Pour plus de précision sur la variation des propriétés mécaniques des mélanges, nous exploiterons ces courbes pour déterminer la variation des modules d'élasticité, des contraintes au seuil d'écoulement et des allongements à la rupture en fonction de la concentration en ABS dans les mélanges (DEEE/ABS).

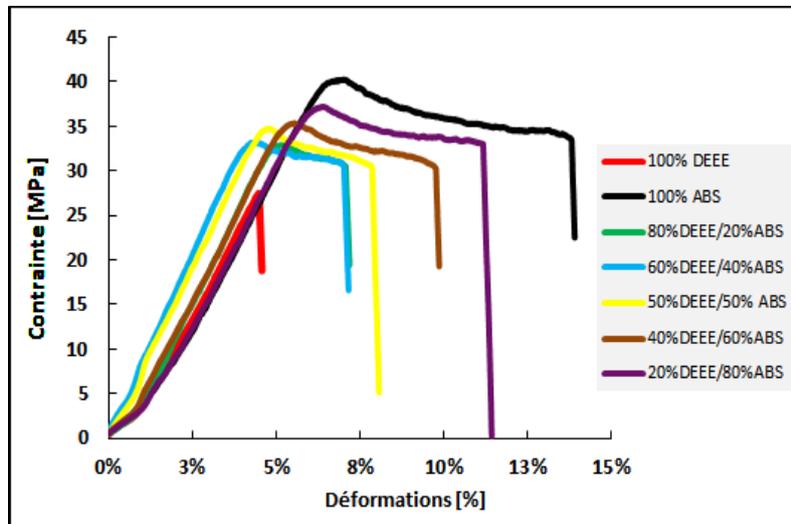


Figure. IV.14 : Superposition des courbes de traction des mélanges élaborés

IV.1.1.2 Variations du module d'élasticité des différents mélanges

A partir de la figure IV.14, nous déterminons la variation du module d'élasticité des mélanges en fonction de la concentration d'ABS dans les mélanges [DEEE/ABS] que nous reportons sur la figure IV.15. Elle montre que le module d'élasticité subit de faibles variations en fonction de la concentration d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS).

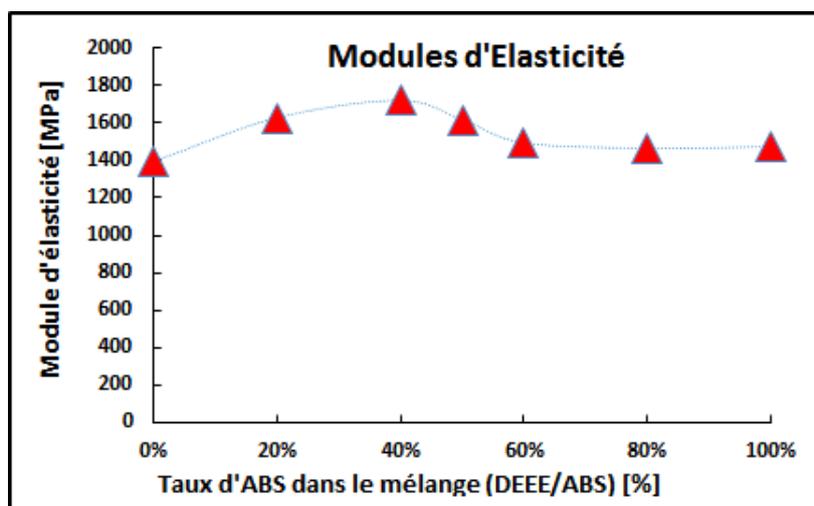


Figure. IV.15 : Variation du module d'élasticité en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)

IV.1.1.3. Variations de l'allongement à la rupture des différents mélanges

Comme pour le module d'élasticité, des courbes de la figure IV.14, on détermine l'allongement à la rupture pour chaque mélange et qu'on représente sur la Figure IV.17.

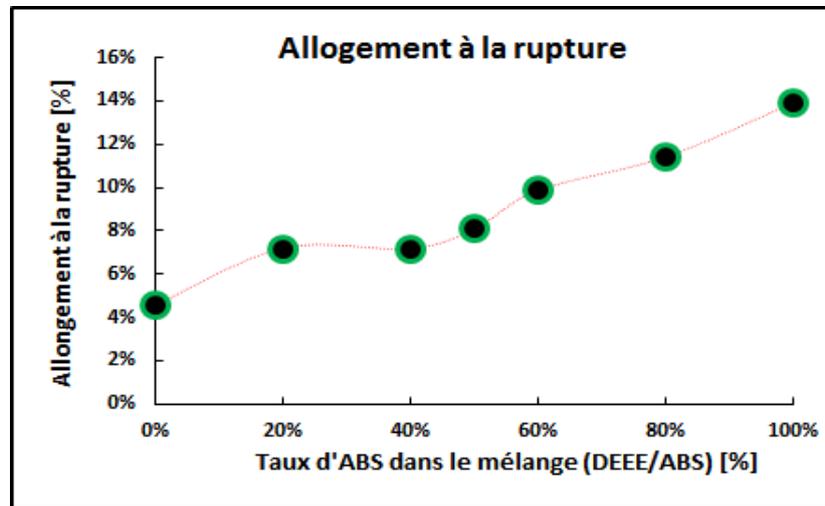


Figure. IV.17 : Variation de l'allongement à la rupture du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)

Nous constatons sur le graphe que l'allongement à la rupture augmente avec la concentration d'ABS dans le mélange.

IV.1.1.4. Variations de la contrainte au seuil d'écoulement

Comme pour le module d'élasticité, des courbes de la figure IV.14 on détermine la contrainte au seuil d'écoulement pour chaque mélange et qu'on représente sur la figure IV.18. Nous constatons sur le graphe que la contrainte au seuil d'écoulement augmente avec le taux d'ABS dans le mélange DEEE/ABS.

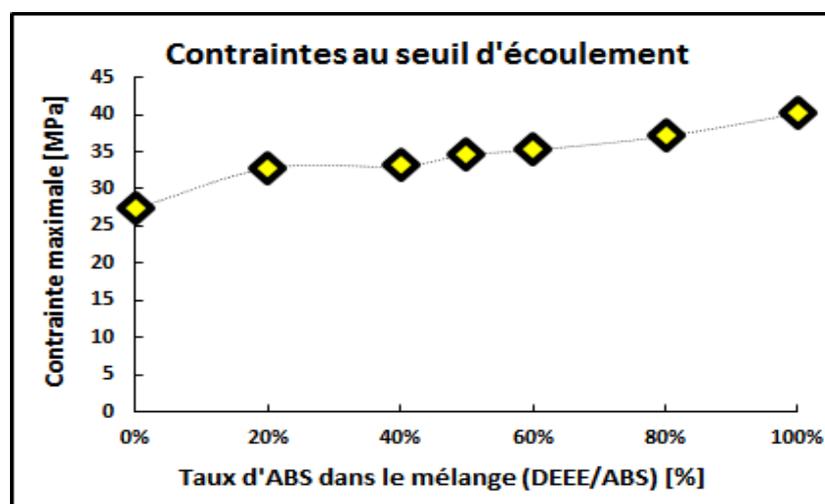


Figure. IV.18 : Variation de la contrainte au seuil d'écoulement en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)

IV.1.1.5 Résilience :

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

Tableau : Valeurs de la résilience en fonction de la concentration D'ABS dans le mélange DEEE/ABS.

Mélange	Résilience [kJ/m ²]
Taux d'ABS	
0%	0,1485
20%	0,2075
40%	0,24
50%	0,266
60%	0,251
80%	0,366
100%	1,17

D'après le tableau ci-dessus nous traçons la courbe de variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans la matrice DEEE/ABS et présentée par la (figure IV.19).

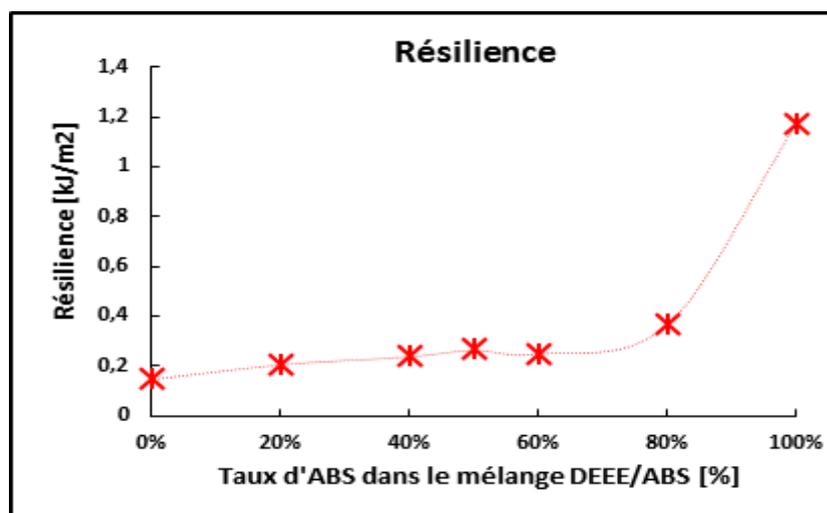


Figure IV.19 : Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)

Le graphe ci-dessus montre que la résilience augmente avec la concentration d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS).

IV.1.1.6. Microdureté Knoop

Nous avons aussi procédé à la mesure des micro-duretés Knoop pour tous les mélanges.

Sur chaque échantillon, nous avons relevé les valeurs de cinq points d'indentation. Et que nous avons reporté sur le tableau suivant :

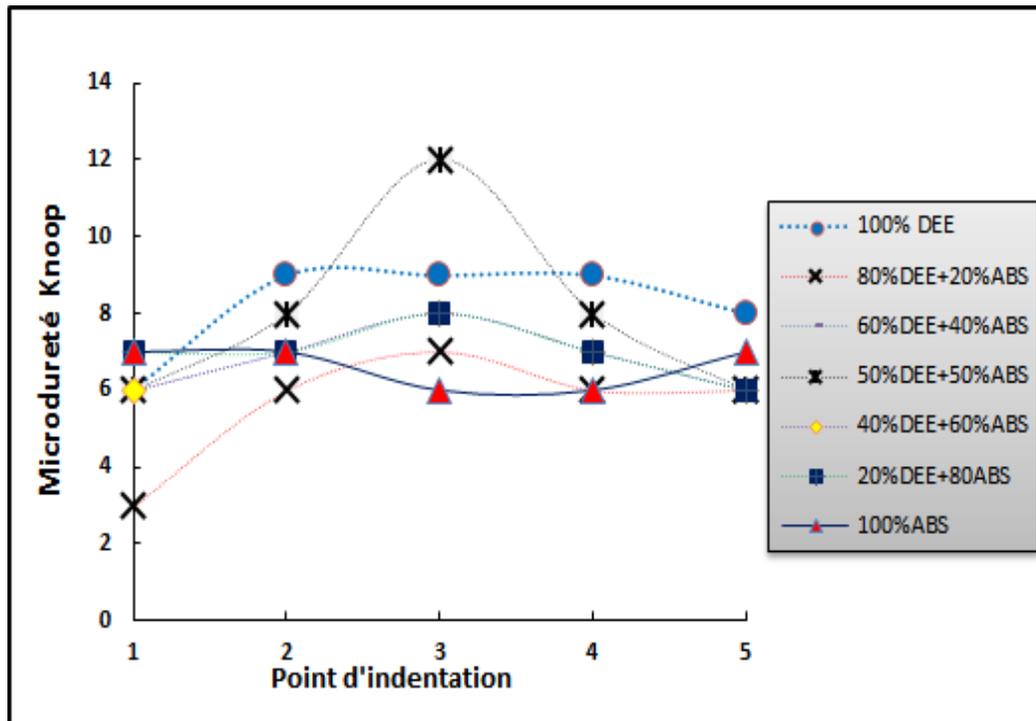


Figure IV.20 : Variation des duretés Knoop pour les mélanges (DEEE/ABS)

La seule information qu'on peut avoir d'après les valeurs des Microduretés pour chaque mélange, c'est l'existence de plus d'une phase dans les mélanges.

VI.1.2. Mélanges (DEEE/ABS) et [(DEEE/ABS) +Huile usagée]

Le second objectif de ce travail est de considérer la présence d'huile de lubrification usagée récupérée de la vidange des huiles de lubrification des machines à injection au niveau de l'entreprise. Ainsi nous avons rajouté 5% en poids d'huile pour chaque mélange. La même procédure expérimentale leur est appliquée pour la réalisation des éprouvettes pour la caractérisation.

L'essai de traction nous permet d'avoir les courbes de la relation contrainte-déformation.

VI.1.2.1 Courbes contraintes-déformations et Morphologie

➤ 100% DEEE et (100%DEEE+huile)

La figure IV.21 présente la courbe de traction des mélanges 100% DEEE et (100%DEEE+huile) usagée. On constate que l'huile engendre une amélioration de la ductilité.

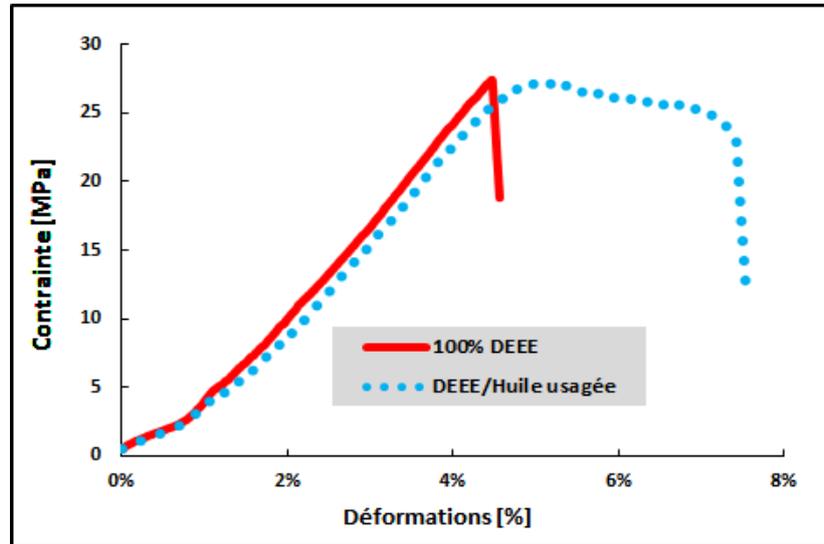


Figure. IV.21. Courbes de traction du mélange 100%DEEE et [100% DEEE+Huile usagée]

➤ 100% ABS et (100%ABS+huile)

La figure IV.22 présente la courbe de traction des mélanges 100% ABS et (100%ABS+huile usagée). On constate que l'huile engendre la diminution de la ductilité.

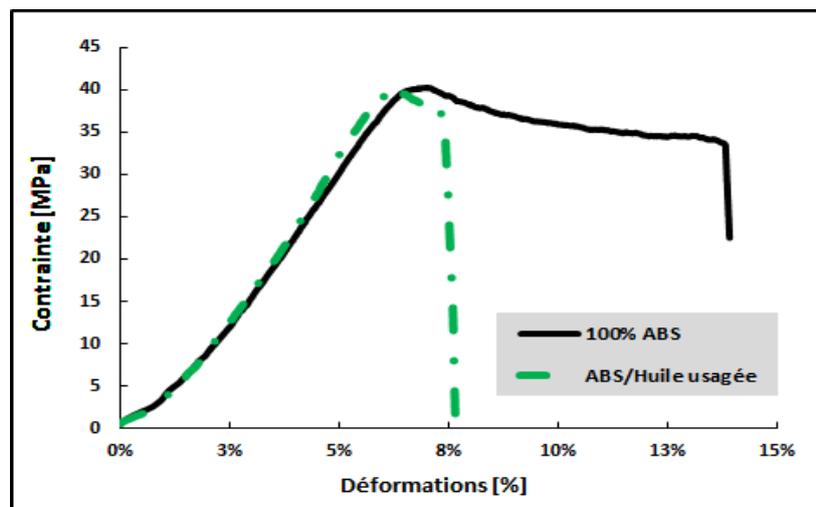


Figure. IV.22 : Courbes de traction des mélange 100%ABS et (100%ABS+Huile usagée)

➤ **(80%DREE/20%ABS) et [(80%DREE/20%ABS) +huile usagée]**

La figure IV.23 présente la courbe de traction des mélanges (80%DREE/20%ABS) et [(80%DREE/20%ABS) +huile usagée]. On constate que l'huile engendre la diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de la ductilité.

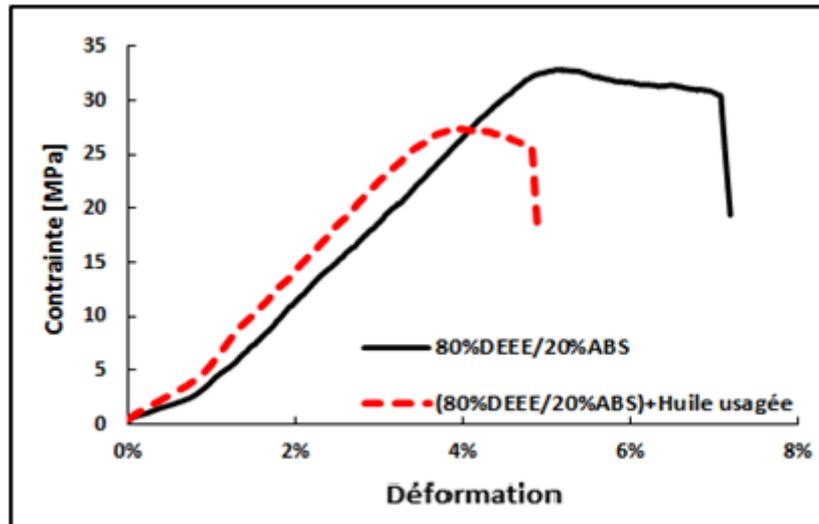


Figure. IV.23 : Courbes de traction des mélange (80%DREE/20%ABS) et [(80%DREE/20%ABS) +huile usagée]

➤ **(60%DREE/40%ABS) et [(60%DREE/40%ABS) +huile usagée]**

La figure IV.24 présente la courbe de traction des mélanges (60%DREE/40%ABS) et [(60%DREE/40%ABS)+huile usagée]. On constate que l'huile engendre la diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de la ductilité.

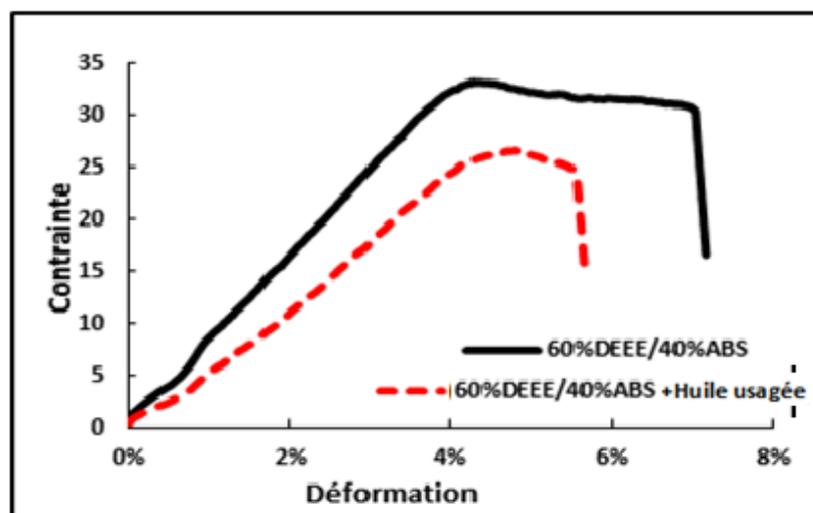


Figure. IV.24 : Courbes de traction des mélanges (60%DREE/40%ABS) et [(60%DREE/40%ABS) +huile usagée]

➤ **(50%DEEE/50%ABS) et [(50%DEEE/50%ABS) +huile usagée]**

La figure IV.25 présente la courbe de traction des mélanges (50%DEEE/50%ABS) et [(50%DEEE/50%ABS) +huile usagée]. On constate toujours que l'huile engendre la diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de la ductilité.

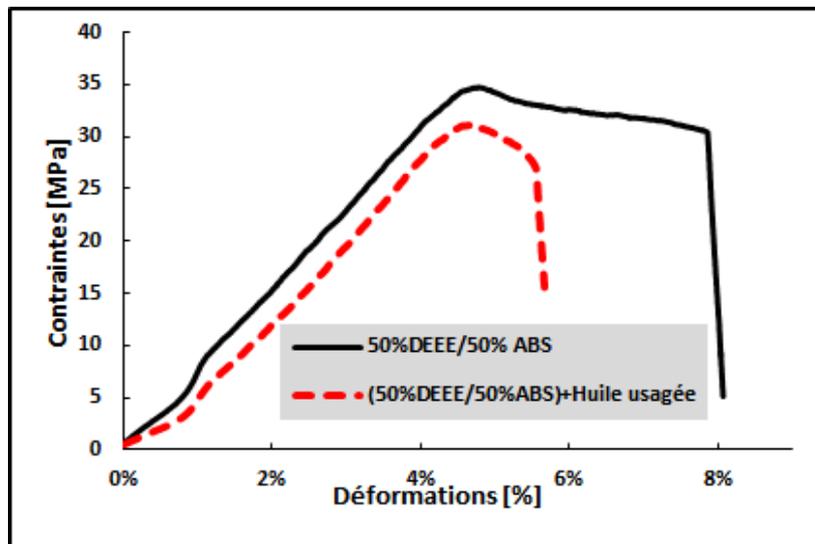


Figure. IV.25 : Courbes de traction des mélanges (50%DEEE/50%ABS) et [(50%DEEE/50%ABS) +huile usagée]

➤ **(40%DEEE/60%ABS) et [(40%DEEE/60%ABS) +huile usagée]**

La figure IV.26 présente la courbe de traction des mélanges (40%DEEE/60%ABS) et [(40%DEEE/60%ABS) +huile usagée]. On constate toujours que l'huile engendre la diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de la ductilité.

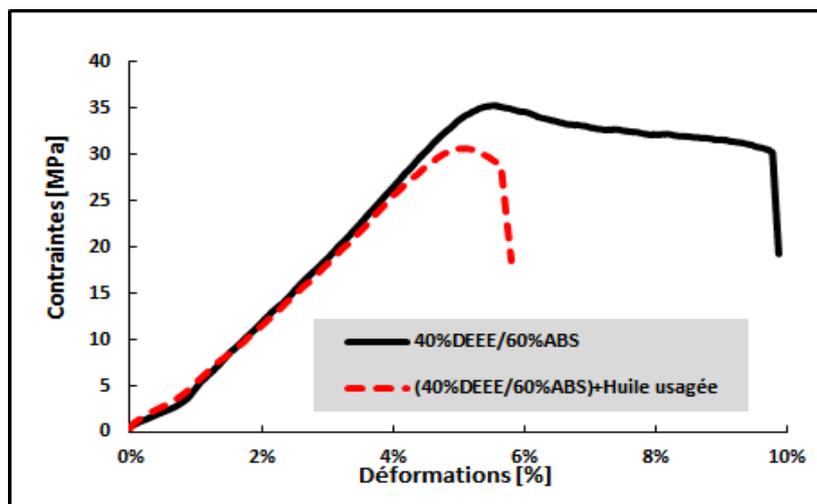


Figure. IV.26 : Courbes de traction des mélanges (40%DEEE/60%ABS) et [(40%DEEE/60%ABS) +huile usagée]

➤ **(20%DDEE/80%ABS) et [(20%DDEE/80%ABS) +huile usagée]**

La figure IV.27 présente la courbe de traction des mélanges (20%DDEE/80%ABS) et [(20%DDEE/80%ABS) +huile usagée]. On constate toujours que l'huile engendre la diminution de la contrainte au seuil d'écoulement et de la ductilité.

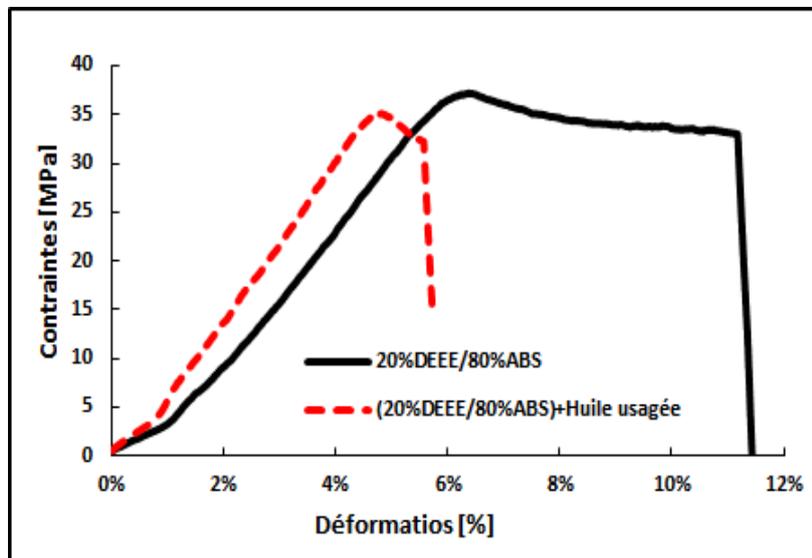


Figure. IV.27 : Courbes de traction des mélanges (20%DDEE/80%ABS) et [(20%DDEE/80%ABS) +huile usagée]

IV.1.2.2 Résilience

Pour la caractérisation concernant la résistance aux chocs, nous avons effectué des essais de résilience sur 5 éprouvettes pour chaque échantillon et nous retenons la valeur moyenne et qu'on donne dans le tableau suivant :

Tableau : Valeurs de la résilience en fonction de la concentration D'ABS dans le mélange (DDEE/ABS) +huile usagée.

Mélange	Résilience [kJ/m ²]
Taux d'ABS	
0%	0,175
20%	0,172
40%	0,247
50%	0,306
60%	0,311
80%	0,663
100%	1,362

D'après le tableau ci-dessus nous traçons la courbe de variation de la résilience en fonction du taux de d'ABS dans les mélanges [(DEEE/ABS) +Huile] usagée et représentée par la figure IV.34.

Le graphe figure IV.28 montre que la résilience augmente avec la concentration d'ABS dans le mélange [(DEEE/ABS) +Huile].

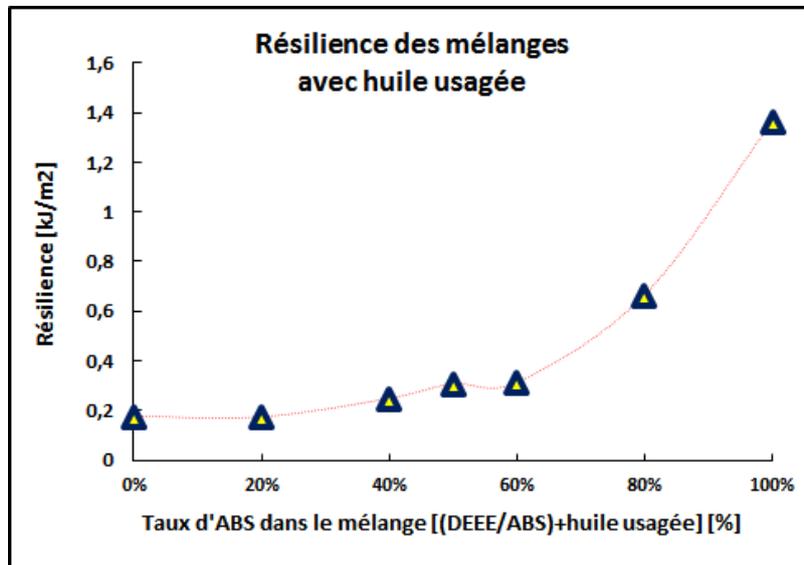


Figure IV.28 : Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange [(DEEE/ABS) +Huile]

Pour montrer l'effet de la présence de l'huile usagée sur la résilience des mélanges (DEEE/ABS) nous avons tracé l'histogramme de la résilience des mélanges avec et sans huile usagée et qu'on retrouve sur la figure IV.29.

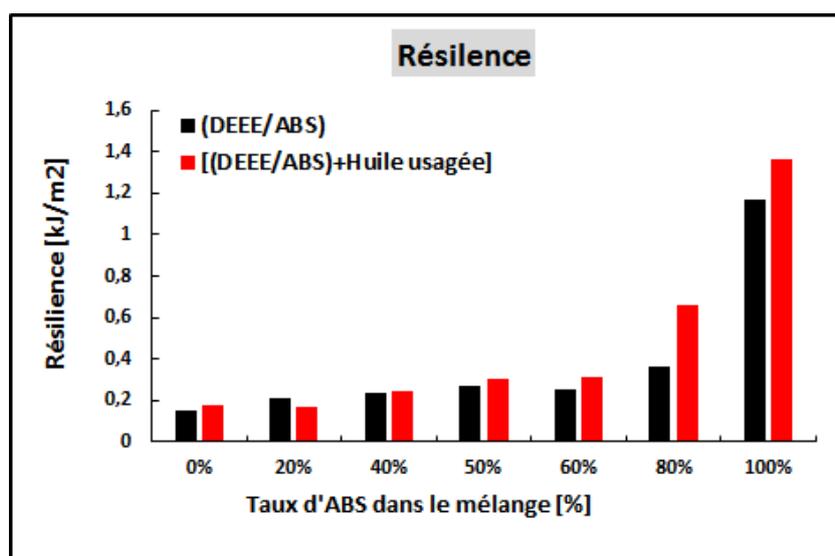


Figure IV.29 : Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS) et [(DEEE/ABS)+Huile]

On constate que la présence de l'huile usagée dans le mélange apporte une amélioration de la résilience à partir de 50% de concentration en ABS dans le mélange DEEE/ABS.

IV.2. Caractérisation Morphologique

La figure IV.30 représente le faciès de rupture par traction, observée au MEB (Microscope Electronique à Balayage), du polymère 100% ABS. Nous constatons la présence d'une phase continue ou matrice (copolymère de styrène/acrylonitrile ou SAN) et d'une phase discontinue (nodules de polybutadiène greffés de copolymères de styrène/acrylonitrile).

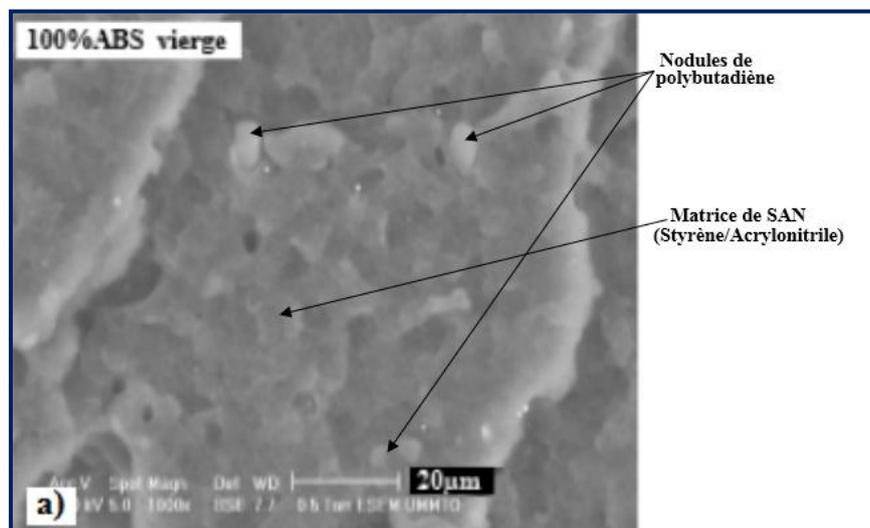


Figure. IV.30: Morphologies du faciès de rupture du mélange 100% ABS

La figure IV.31, représente le faciès de rupture du mélange (20% DEEE/80% ABS). Comme pour l'ABS, nous constatons la présence d'une phase continue (SAN) et d'une phase discontinue (nodules de polybutadiène greffés de copolymères de styrène/acrylonitrile). Nous constatons aussi la présence de particules de HIPS ancrées dans la matrice SAN.

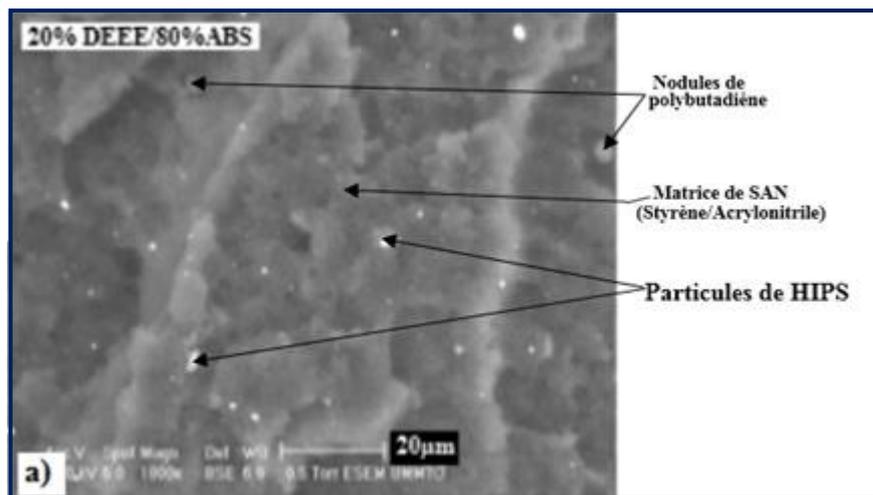


Figure. IV.31 : Morphologies du faciès de rupture Du mélange (20% DEEE/80% ABS)

La figure IV.32, représente le faciès de rupture du mélange (40% DEEE/60% ABS). Des pores sont très visibles et qui sont dus à l'arrachement de nodules d'ABS et aussi à un mauvais dégazage.

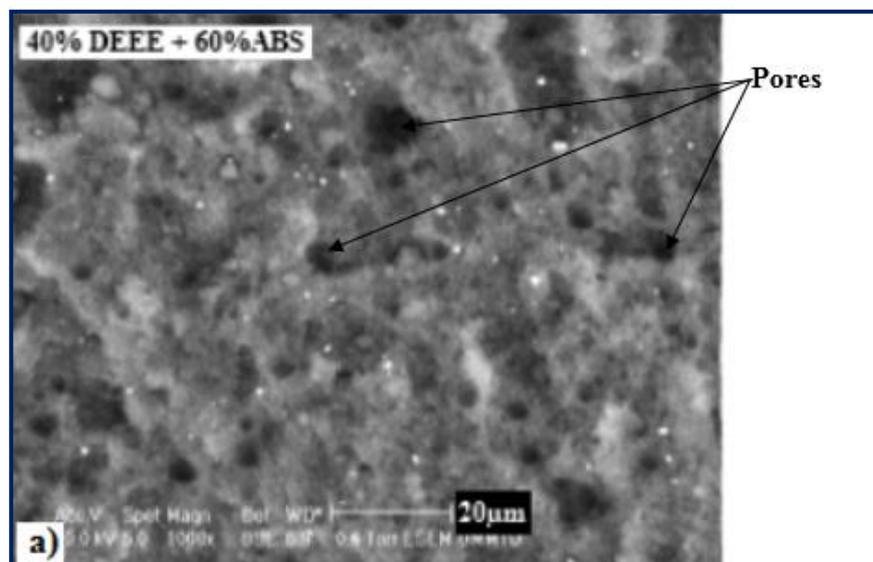


Figure. IV.32 : Morphologies du faciès de rupture du Mélange (40% DEEE/60% ABS)

La figure IV.33, représente le faciès de rupture du mélange (50% DEEE/50% ABS). On observe la même morphologie que pour le mélange (40% DEEE/60% ABS).

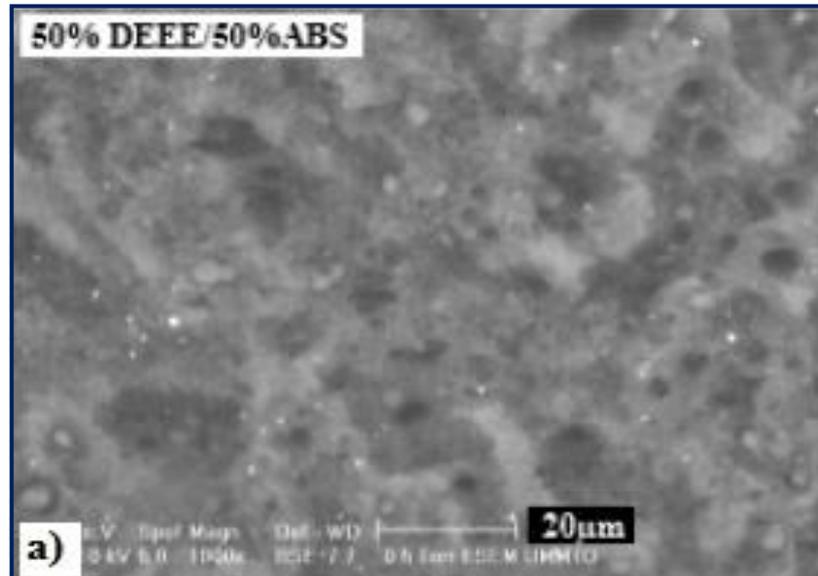


Figure. IV.33: Morphologies du faciès de rupture du mélange (50% DEEE/50% ABS)

Concernant la morphologie du mélange (50% DEEE/50% ABS) représentée par la figure IV.33, nous constatons une plus grande densité en particules de HIPS et de porosités.

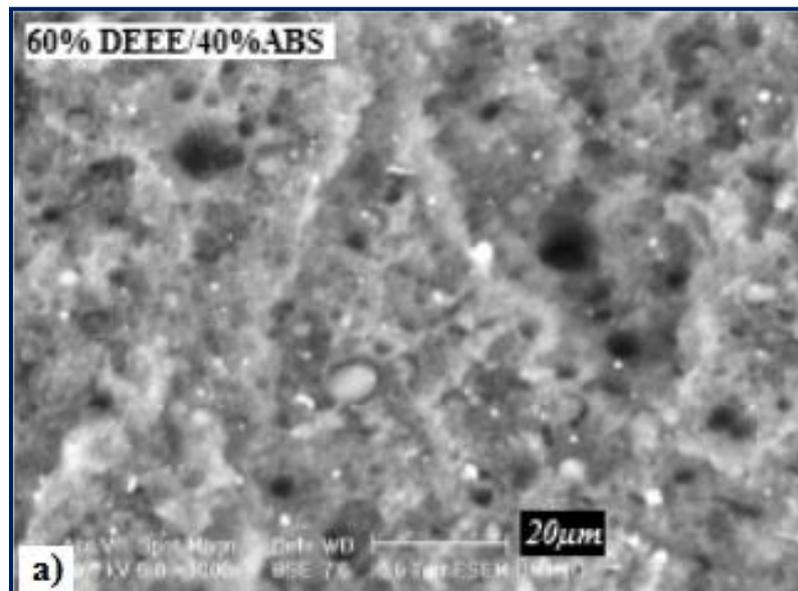


Figure. IV. 34: Morphologies de faciès de rupture du mélange (60% DEEE/40% ABS)

Pour le mélange (80% DEEE/20%ABS) représentée par la figure IV.35, nous remarquons un faciès caractéristiques de ruptures fragiles.

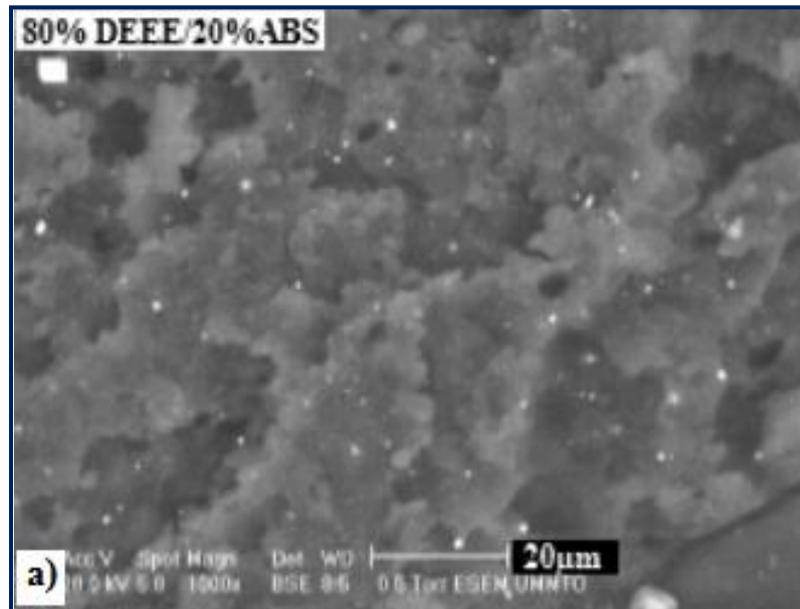


Figure. IV.35: Morphologies du faciès de rupture du mélange (80% DEEE/20% ABS)

Le faciès de rupture du mélange 100%DEEE présente une plus grande dispersion de particules de HIPS et une rupture fragile perpendiculaire à l'écoulement

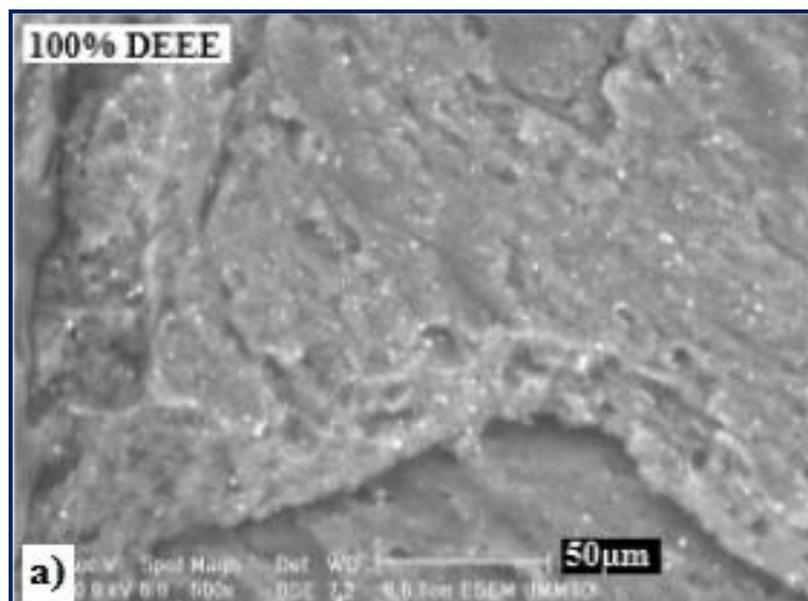


Figure. IV.36 : Morphologie des faciès de rupture des mélanges 100% DEEE

Conclusion

Après élaboration des éprouvettes nous avons procédé à la caractérisation mécanique et morphologique des mélanges. Nous avons montré que les caractéristiques mécaniques de résistance augmentent avec le taux d'ABS dans les mélanges. Nous avons aussi montré que l'ajout d'une huile de lubrification usagée aux mélanges engendre une diminution de la ductilité et de la contrainte l'écoulement. Elle engendre aussi une amélioration significative de la résilience pour les mélanges à partir de 50% de concentration en ABS. Les faciès de rupture obtenus par microscopie à balayage ont montré le caractère fragile de la rupture

Conclusion Générale

Dans ce travail nous avons procédé à la récupération de déchets polymériques issus des équipements électrique et électroniques hors d'usage. Sachant que l'un des composants de ces équipements est de l'ABS, nous avons choisi de le rajouter pour ces DEEE à l'état vierge aux concentrations de 20, 40, 50, 60 et 80%. Pour la réalisation des mélanges, nous avons considéré ces DEEE en vrac que nous avons broyé. Les éprouvettes d'essais sont élaborés par procédé d'injection sans additifs ni compatibilisants après mélangeage à froid dans un mélangeur électrique et à chaud par extrusion.

Après élaboration des éprouvettes nous avons procédé à la caractérisation mécanique et morphologique des mélanges. Nous avons montré que les caractéristiques mécaniques de résistance augmentent avec le taux d'ABS dans les mélanges. Nous avons aussi montré que l'ajout d'une huile de lubrification usagée aux mélanges engendre une diminution de la ductilité et de la contrainte l'écoulement. Elle engendre aussi une amélioration significative de la résilience pour les mélanges à partir de 50% de concentration en ABS. Les faciès de rupture obtenus par microscopie à balayage ont montré les différentes phases présentes dans les mélanges et le caractère fragile de la rupture.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: Généralités sur les Polymères

Figure I.1-2 : Structure styrène/acrylonitrile (SAN).....	9
Figure I.1-3 : Structure d'acrylonitrile/butadiène/ styrène (ABS)	10
Figure I.1-4 : Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission.....	11
Figure I.2.1 : Interdépendance dans la nomenclature des mélanges de polymères	12
Figure I.2.2 : Exemple de mélange non miscible sous forme de couches lamellaires	13
Figure I.2.3 : Morphologie de polystyrène choc	13
Figure I.2.4 : Exemple de réactions chimique classiquement utilisées pour la compatibilisation in situ des mélanges de polymères non miscibles.....	17
Figure I.2.5 : Analogie entre émulsifiant traditionnel et copolymère à bloc, en tant qu'espèces actives à l'interface entre deux composants d'un mélange.....	18
Figure I.2.6 : Positionnement d'un copolymère di-bloc ou tri-bloc à l'interface	18
Figure I.2.7 : Positionnement d'un copolymère compatibilisant à l'interface en fonction de sa microstructure : (a) copolymère à bloc et (b) copolymère statistique	19
Figure I.2.8 : Illustration du rôle de la présence du compatibilisant à l'inter face Par suppression du phénomène de coalescence	21
Figure 1.4.3 : Plages de températures de mise en œuvre des principaux plastiques	30
Figure I.1.5 : Répartition des DEEE par types de polymères	32

CHAPITRE II : Matériels et Dispositifs Expérimentaux

Figure II.22 : Microscope électronique a Balayage	35
Figure II. 23 : Eprouvette plate standard	37
Figure II.24 : Machine de traction de Marque IBERTEST au niveau du laboratoire SDM	37
Figure II.25 : Dimensions d'éprouvettes de résilience	38
Figure II.26 : Machine charpy de marque ZWICK a Electro-industries de.....	38
Figure II 27 : Agencement expérimental et éprouvettes Charpy	39
Figure II 28 : Duromètre ZWICK/ROELL	40
Figure II 29 : Empreinte laissée par le pénétrateur	41

CHAPITRE III : Protocole Expérimental

Figure III 1 : ABS Vierge	42
Figure III 2 : HIPS Recycle	43
Figure III 3 : Huile usagée	43
Figure III 4 : Marquage d'ABS	43
Figure III 5 : Collecte des déchets des Equipements Electriques et Electroniques hors d'usage .	44
Figure III 6 : Déchets découpés à la cisaille en petits morceaux avant broyage	44
Figure III 7 : Broyages des DEEE au niveau de SICOPLAST Draa-El-Mizan	45
Figure III 8 : vérification présence des particules métallique dans les déchets	45
Figure III 9 : les DEEE a l'état granulaire âpre le broyage	47
Figure III 10 : L'opération de pesée des mélanges ABS et déchets DEEE	47
Figure III 11 : Ajout 5% en poids d'huile de lubrification usagée pour chaque mélange ..	48
Figure III 12 : extrudeuse mono vis <i>Marque NEBEL NEGRI-LUINO</i>	49
Figure III 13 : Zones d'une extrudeuse Monovis	50
Figure III 14 : <i>tableau des paramètres d'extrusion</i>	51
Figure III 15 : les mélanges après extrusion	52
Figure III 16 : l'opération de séchage des matières broyée	52
Figure III 17 : Presse d'injection Marque ARBURG 305-210-700.....	53
Figure III 18 : Eprouvettes obtenues après injection	53
Figure III 19 : Les différentes phases du cycle d'injection	54
Figure III 20 : Tableau des paramètres d'injection	54
Figure III 21 : Préparation des Eprouvettes pour les différents essais	55

CHAPITRE IV : Résultats et Interprétations

Figure IV.1 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% DEEE	57
Figure IV.2 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% ABS	58
Figure IV.3 : Courbe contrainte déformation du mélange 100% ABS	58
Figure IV.4 : Courbe contrainte déformation du mélange 80%DEEE/20%ABS	59

Figure IV.5 : Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 80%DEEE/20%ABS	59
Figure IV.6 : Courbe contrainte déformation du mélange 60%DEEE/40%ABS	60
Figure IV.7 : Superposition des courbes de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 60%DEEE/40%ABS	60
Figure IV.8 : Courbe contrainte déformation du mélange 50%DEEE/50%ABS	61
Figure IV.9 : Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 50%DEEE/50%ABS	61
Figure IV.10: Courbe contrainte déformation du mélange 40%DEEE/60%ABS	62
Figure IV.11: Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 40%DEEE/60%ABS	62
Figure IV.12: Courbe contrainte déformation du mélange 20%DEEE/80%ABS	63
Figure IV.13: Superposition des courbe de traction de l'ABS des DEEE et du mélange 20%DEEE/80%ABS	63
Figure IV.14: Superposition des courbes de traction des mélanges élaborés	64
Figure IV.15: Variation du module d'élasticité en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)	64
Figure IV.17: Variation de l'allongement à la rupture du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)	65
Figure IV.18: Variation de la contrainte au seuil d'écoulement en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)	66
Figure IV.19: Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS)	67
Figure IV.20: Variation des duretés Knoop pour les mélanges (DEEE/ABS)	68
Figure IV.21: Courbes de traction du mélange 100%DEEE et [100% DEEE+Huile usagée]	68
Figure IV.22: Courbes de traction des mélange 100%ABS et (100%ABS+Huile usagée)	69
Figure IV.23 : Courbes de traction des mélange (80%DEEE/20%ABS) et [(80%DEEE/20%ABS) +huile usagée]	70
Figure IV.24 : Courbes de traction des mélanges (60%DEEE/40%ABS) et [(60%DEEE/40%ABS)+huile usagée]	70

Figure IV.25 : Courbes de traction des mélanges (50%DEEE/50%ABS) et [(50%DEEE/50%ABS)+huile usagée]	71
Figure IV.26 : Courbes de traction des mélanges (40%DEEE/60%ABS) et [(40%DEEE/60%ABS)+huile usagée]	71
Figure IV.27 : Courbes de traction des mélanges (20%DEEE/80%ABS) et [(20%DEEE/80%ABS)+huile usagée]	72
Figure IV.28 : Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange [(DEEE/ABS)+Huile]	72
Figure IV.29 : Variation de la résilience en fonction du taux d'ABS dans le mélange (DEEE/ABS) et [(DEEE/ABS) +Huile]	73
Figure IV.30 : Morphologies du faciès de rupture du mélange 100% ABS	73
Figure IV.31 : Morphologies du faciès de rupture du mélange (20% DEEE/80% ABS) ...	74
Figure IV.32 : Morphologies du faciès de rupture du mélange (40% DEEE/60% ABS).....	74
Figure IV.33 : Morphologies du faciès de rupture du mélange (50% DEEE/50% ABS) ...	75
Figure IV.34 : Morphologies de faciès de rupture du mélange (60% DEEE/40% ABS) ...	75
Figure IV.35 : Morphologies du faciès de rupture du mélange (80% DEEE/20% ABS) ..	76
Figure IV.21 : Morphologie des faciès de rupture des mélanges 100% DEEE et	76

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

PE : Polyéthylène

PS : Polystyrène

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PA: Polyamide

PB: Polybutadiène

SAN :Styrene Acrylonitrile

DEEE : Déchet d'Équipement Électrique et Électronique

HIPS : Polystyrène Choc

PET : Polyéthylène Téréphtalate

PB : Polybutadiène

Bibliographie

- [1] Livre Blanc du chlore – Matières Plastiques Novembre 2006 P3.6-1.
- [2] IPEC et RECYC-QUEBEC .Comprendre les facteurs clés de la Valorisation des Matières Plastiques Résiduelles .Septembre 2001.
- [3] Thèse de Magister étude expérimentale du comportement Mécanique des Polymères ‘Houria LADJABI’.
- [4] Thèses Structuration des Mélanges ABS/PC en vue du Recyclage des DEEE. Par ABOUBAKER ALKHUDER.
- [5] Thèse de doctorat Elaboration et caractérisation de Mélanges Complexes à base de Polypropylène en vue de son éco-conception et de son Recyclage dans les véhicules hors d’usage « NIZAR MINF » décembre 2008
- [6] Thèse doctorat de l’Université Paris. Structuration et Renforcement du Polymère par des copolymères styrène/butadiène à gradient de composition. Par « STEPHANE JOUENNE »
- [7] Microsoft Encarta Français 2009
- [8] Thèse : Etude bibliographique sur les phénomènes de séparation des phases et Les Morphologies générées lors des mélanges de Polymères Par « MEYNIÉ LAURE »
- [9] Thèse doctorat Compatibilisation de Mélanges de polypropylène/polyéthylène par extrusion réactive. Par « AIMELINE COLBEAUX »
- [10] William D .Callister, Jr. **science et génie des matériaux**, John Wiley et Sons, Inc[2007]
- [11] Michel Dupeux : **Aide-Mémoire Science des Matériaux**.
- [12] <http://www.e-dechet.com/deee/qu-est-ce-qu-un-dechets-d-equipements-electriques-et-electroniques-deee-ou-d3e.htm>.
- [13] THESE De doctorat Etude de Mélanges PE/PS Contribution au Recyclage Par Tasnim KOSENTINI KALLEL.
- [14] N, Billon : **Matériaux Pour l’ingénieur**, chapitre 17, Comportement de Polymères