

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE A.MIRA DE BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master

Filière : Génie des Procédés.

Option : Génie des Polymères.

Thème

Recyclage Thermomécanique de Déchets Plastiques à Base de Copolymères
d'Acrylonitrile-Butadiène-Styrène (ABS), Utilisés dans l'Electronique.

Soutenu le 12/10/2021, devant un jury composé de :

Dr ZAIDI Lynda

Dr ZEMBOUAI Idris

Dr DEHOUCHE Nadjat

Pr KACI Mustapha

Présidente

Examineur

Encadrante

Co-encadrant

Réalisé par :

SLIMANI Zineb

BRAHMI Hassina

Promotion 2021

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Laboratoire des Matériaux Polymères Avancés (LMPA) sous la direction du professeur KACI Mustapha.

Nous tenons d'abord à exprimer notre profonde gratitude à nos encadrants le Pr KACI Mustapha et le Dr DEHOUCHE Nadjat, pour nous avoir confié ce travail et pour leurs conseils et leur encadrement si enrichissants.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury pour nous faire l'honneur d'examiner notre travail.

Nous remercions aussi tous les membres du laboratoire LMPA pour leur aide et encouragements .

Nous remercions également les membres du laboratoire LMO pour nous avoir laissé utiliser leur matériel.

Nous remercions bien évidemment nos familles, amis et nos collègues de promotion pour leur soutiens et encouragement.

Liste des abréviations

ABS : Acrylonitrile-Butadiène-Styrène.

ADEME : Agence de la Transition Ecologique.

CFC : Chlorofluocarbure.

DEEE : Déchets Electriques et Electroniques.

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés.

DRX : Diffraction du Rayon X.

IRTF : Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier.

HIPS : Polystyrène Choc.

IF : Indice de Fluidité.

MEB : Microscope Electronique à Balayage.

MET : Microscope Electronique à Transmission.

MFI : Indice de Fluidité.

PA : Polyamide.

PB : Polybutadiène.

PC : Polycarbonate.

PE : Polyéthylène.

PET : Polyéthylène Téréphtalate.

PP : Polypropylène.

PPO : Poly Oxyde de Phénylène.

PS : Polystyrène.

PU : Polyuréthane.

PVC : Polychlorure de Vinyle.

T_g : Température de Transition Vitreuse.

T_f : Température de Fusion.

SAN : Styrène Acrylonitrile.

SBS : Styrène-Butadiène-Styrène .

χ_c : Taux de Cristallinité

Liste des tableaux

Tableau I.1. : Monomères styrène et acrylonitrile, copolymère Styrène Acrylonitrile (SAN) et polybutadiène.....	7
Tableau II.1. : Propriétés physiques de l'ABS vierge.....	16
Tableau II.2. : Codes des différentes formulations.....	19
Tableau II.3. : Caractéristiques de la mini extrudeuse DSM Xplore.....	20
Tableau II.4. : Caractéristiques de l'acétone utilisé.....	21
Tableau III.1. : Masses et volume mesurés.....	25
Tableau III.2. : Formules de calcul de la masse volumique du DEEE avec les résultats du calcul.....	25
Tableau III.3. : Les groupements fonctionnels de l'ABS avec leurs longueurs d'ondes respectives.....	27
Tableau III.4. : Taux de cristallinité en fonction de nombre de cycles d'extrusion.....	31
Tableau III.5. : Résultats de test rhéologique (IF) en fonction de nombre de cycles d'extrusion subit pour l'ABS vierge et le DEEE.....	33

Liste des figures

Figure I.1. : Types de déchets.....	3
Figure I.2. : Répartition des DEEE par type de polymères	5
Figure I.3. : Morphologie d'un ABS observé par MET.....	6
Figure I.4. : Formule chimique de l'ABS.....	7
Figure I.5. : Produits électroniques.....	8
Figure I.6. : Interieur des portières de voitures à base d'ABS.....	9
Figure I.7. : Casque de moto à base d'ABS.....	9
Figure I.8. : Méthodes de recyclage.....	10
Figure I.9. : Gestion et recyclage des déchets.....	12
Figure II.1. : ABS vierge.....	16
Figure II.2. : Déchets des Equipements Electriques et Electroniques hors d'usage (DEEE).....	17
Figure II.3. : Marquage de l'ABS.....	17
Figure II.4. : DEEE découpés en petits morceaux avant broyage.....	18
Figure II.5. : Broyeur de type Polylab Brabender.....	18
Figure II.6. : DEEE à l'état granulaire après broyage.....	18
Figure II.7. : Mini extrudeuse bi-vis de type DSM Xplore.....	20
Figure II.8. : Extrudats.....	20
Figure II.9. : Cycles d'ABS vierge.....	21
Figure II.10. : Cycles de DEEE.....	21
Figure II.11. : Préparation des solutions (ABS- acétone).....	21
Figure II.12. : Spectromètre IRTF de type IRAffinity-1	22

Figure II.13. : Diffractomètre de type Rigaku MiniFlex	23
Figure II.14. : Fluidimètre de type SRZ-400E Type Color LCD Melt flow Rate Determine Instrument.....	23
Figure II.15. : Mesure de la masse volumique.....	24
Figure III.1. : Spectre IRTF de l'ABS vierge.....	26
Figure III.2. : Spectre IRTF du RR0.....	26
Figure III.3. : Spectre IRTF du RV0.....	27
Figure III.4. : Spectre IRTF du DEEE.....	28
Figure III.5. : Spectre IRTF de l'ABS vierge.....	28
Figure III.6. : Diagramme DRX du DEEE après des cycles d'extrusion répétés.....	30
Figure III.7. : Diagramme DRX de l'ABS vierge après des cycles d'extrusion répétés.....	30
Figure III.8. : Difference de couleur apres des cycle d'extrusion du RR à gauche et du RV à droite.....	32
Figure III.9. : Variation de l'IF pour l'ABS vierge en fonction du nombre de cycles d'extrusion.....	33
Figure III.10. : Variation l'IF pour le DEEE en fonction du nombre de cycles d'extrusion.....	33

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Etude bibliographique.	
I.1. Définition du terme « Déchet ».....	3
I.2. Sources des déchets plastiques.....	3
I.3. Types de déchets.....	3
I.3.1. Déchets d'équipements électriques et électronique (DEEE)	4
I.3.1.1. Catégories des DEEE.....	4
I.3.1.2. Pourquoi gérer les DEEE ?.....	5
I.3.1.3. Répartition des DEEE par type de polymères.....	5
I.4. Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS).....	5
I.4.1. Identification du matériau.....	5
I.4.2. Structure des ABS.....	6
I.4.3. Synthèse de l'ABS.....	6
I.4. 4. Propriétés de l'ABS.....	7
I.4.4.1. Propriétés thermiques.....	7
I.4. 4.2. Propriétés mécaniques.....	8
I.4. 4.3. Propriétés électriques.....	8
I.4. 4.4. Propriétés chimiques.....	8
I.4.5. Mises en œuvre de l'ABS.....	8
I.4.6. Avantages et inconvénients de l'ABS.....	8
I.4.7. Applications.....	9

I.5. Recyclage des matières plastiques.....	6
I.5.1. Définition du recyclage.....	10
I.5.2. Type et méthodes de recyclage.	10
I.5.2.1. Recyclage thermomécanique	11
I.5.3. Avantages et inconvénients du recyclage.....	12
I.6. Rappels bibliographiques.....	13

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales.

II.1. Matériaux utilisés.....	16
II.1.1. DEEE et ABS	16
II.2. Mode opératoire.....	17
II.2.1. Décontamination des déchets.....	17
II.2.2. Lavage et nettoyage.....	18
II.2.3. Broyage des déchets.....	18
II.3. Mise en œuvre de l'ABS.....	19
II.4. Préparation des films par solvatation.....	21
II.5. Techniques de caractérisation.....	22
II.5.1. Spectroscopie infra-rouge (IR).....	22
II.5.2. Diffraction des Rayons X (DRX).....	22
II.5.3. Indice de fluidité (IF).....	23
II.5.4. Identification du DEEE par calcul de la masse volumique.....	24

Chapitre III : Résultats et discussion.

III.1. Caractérisation de l'ABS vierge et recyclé.....	25
III.1.1. Identification du DEEE par calcul de la masse volumique.....	25
III.1.2. Analyse de la structure chimique par spectroscopie IRTF.....	26
III.1.3. Evolution de la structure cristalline par DRX.....	29
III.1.4. Teste de couleur.....	31
III.1.5. Mesure de l'Indice de Fluidité.....	32
Conclusion	35
Références bibliographiques	

Introduction

L'utilisation des plastiques a augmenté de façon spectaculaire depuis les années 1950, notamment dans le secteur de l'électronique, où le développement de nouveaux produits s'est accéléré et où l'on assiste à une demande accrue d'ordinateurs et de téléphones portables qui suit l'évolution de la technologie [1].

Pour être en mesure de répondre à la demande croissante des matériaux plastiques, tout en continuant à améliorer leurs propriétés fonctionnelles, la science et l'industrie ont développé une série de nouveaux matériaux qui sont des 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 par rapport aux polymères seuls. 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 [2].

Parmi ces copolymères, on trouve l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) qui a connu un développement industriel important, en raison de l'ensemble de ces propriétés (résistance au choc, rigidité, tenue à la chaleur...).

Les déchets polymériques générés par les équipements électriques et électroniques (DEEE) hors d'usage prend de plus en plus d'ampleur dans notre environnement avec des conséquences sur la faune et la flore ainsi que sur la santé publique. L'un des enjeux majeur d'actualité concernant l'environnement est la récupération et le recyclage de ces déchets afin de les réintroduire à nouveau dans le cycle de production de matériaux et contribuer ainsi à réduire considérablement la consommation des énergies fossiles non renouvelables et polluantes [3].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution d'un ABS issus de déchets d'équipement électrique et électronique soumis à des cycles répétés d'extrusion, tout en le comparant à un échantillon de référence (ABS vierge).

Le mémoire s'organise sous forme de 03 chapitres :

- **Le chapitre I**, comporte une étude bibliographique dans laquelle seront données des notions sur les déchets puis le copolymère d'ABS sera présenté et enfin les notions de recyclage seront également abordées.
- **Le chapitre II**, regroupe l'ensemble des matériaux utilisés, le protocole expérimental ainsi qu'une présentation de différentes méthodes de caractérisation.
- **Le chapitre III**, présente les résultats obtenus avec discussion.

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Définition du terme « Déchet ».

La définition d'un déchet est un objet qui n'a pas ou plus d'utilité et dont le propriétaire veut se débarrasser. Selon la loi cadre du 15 juillet 1975 (France) : « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon » [4].

Les déchets plastiques sont une variété de matière synthétique usagée dont on se débarrasse.

I.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. Ils sont généralement directement recyclés par le producteur.
- Les déchets de post-consommation. Ils sont 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 [5].

I.3. Types de déchets en général.

On distingue plusieurs types de déchets qui sont résumés dans la **figure I-1** :

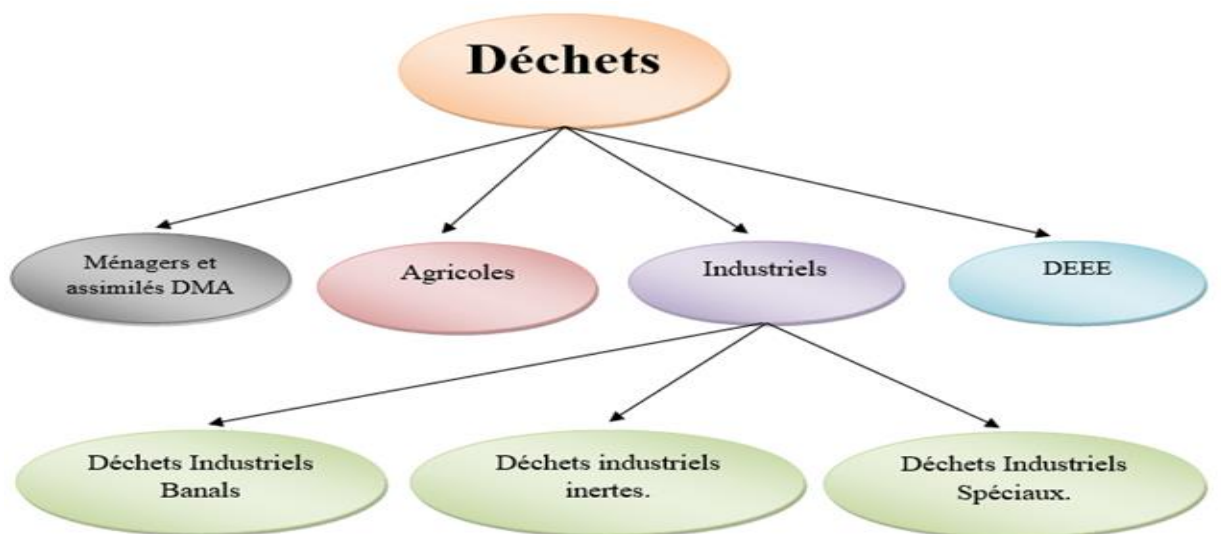


Figure I.1. : Types de déchets [6].

Dans notre étude , on s'intéresse aux déchets plastiques qui proviennent des équipements électriques et électroniques

I.3.1. Déchets d'équipements électriques et électronique (DEEE).

Les DEEE définis par l'ADEME (Agence de la Transition Ecologique), comprennent des produits blancs (électroménagers), des produits bruns (télévisions, transistors) et des produits gris (bureautique, informatique). Ces équipements, lorsqu'ils sont hors service, constituent un gisement important de déchets. Ils contiennent principalement :

- Des métaux ferreux et non ferreux ;
- Des matériaux inertes : verre, bois,... ;
- Des matières plastiques contenant ou non des retardateurs de flamme.

La production d'équipements électriques et électroniques connaît une croissance importante, entraînant une augmentation de déchets (DEEE) [7].

En 2013, cette fraction représente environ 5 % de tous les déchets solides municipaux. Quelque 20 à 50 millions de tonnes de ces déchets sont générés chaque année dans le monde, mais seuls 10 % sont traités correctement dans les installations de recyclage. Une grande partie d'entre eux finissent dans le flux des déchets solides municipaux ou sont exportés en Chine ou en Afrique pour être démantelés manuellement afin de récupérer les métaux précieux [1].

I.3.1.1. 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 ;
- **Catégorie 7** : Jouets, équipements de loisir et de sport ;
- **Catégorie 8** : Dispositifs médicaux;
- **Catégorie 9** : Instruments de surveillance et de contrôle ;
- **Catégorie 10** : Distributeurs automatiques [2].

I.3.1.2. Pourquoi gérer les DEEE ?

La gestion des DEEE est une obligation réglementaire qui permet de réduire son empreinte environnementale, car ils contiennent des matériaux polluants et des matériaux valorisables. Leur collecte et leur traitement en filière REP permet d'une part de limiter le gaspillage des ressources naturelles (Les métaux ferreux et non-ferreux, les plastiques, le verre...) nécessaires à leur conception et d'autre part, d'éviter la dissémination de certains polluants (gaz CFC, le plomb, le mercure...) [8].

I.3.1.3. Répartition des DEEE par type de polymères.

Les types de polymères issus des DEEE sont représentés dans la **figure I.2.**

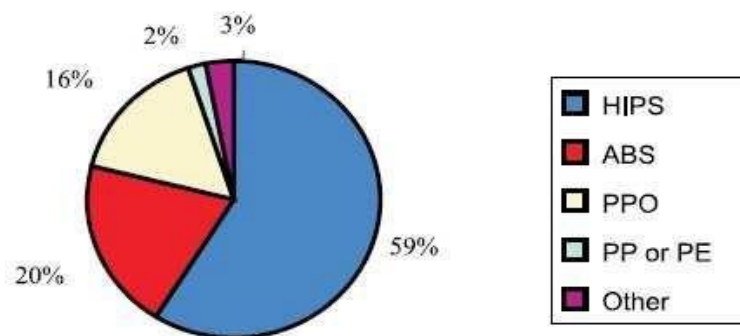


Figure I.2. : Répartition des DEEE par type de polymères [9].

Les polymères et mélanges de polymères qui composent ces DEEE, sont le HIPS, l'ABS, le PP, le PS, le SAN, le PU, le PA, et certains mélanges dont le PC/ABS et le HIPS/PPO [9].

L'Acrylonitrile butadiène styrène (ABS) est Le polymère étudié dans notre travail en raison de sa forte proportion dans les décharges et de ses propriétés physico-chimique élevées.

I.4. Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS).

I.4.1. Identification du matériau.

L'ABS est un thermoplastique amorphe disponible depuis 1950, c'est un copolymère largement utilisé à cause de ses grades divers et sa facilité de transformation [10].

Chimiquement, ce thermoplastique est appelé "Ter-polymère", dans la mesure où il est combiné par trois différents polymères formant un seul copolymère: l'acrylonitrile qui fait en sorte que le matériau soit stable thermiquement et résistant au choc ; le butadiène qui apporte la souplesse ; le styrène qui lui confère une certaine rigidité et brillance, cela permet de réunir

les propriétés des trois polymères. L'ABS possède une haute résistance mécanique. En outre, il a des propriétés d'isolation électrique et une bonne stabilité dimensionnelle.

C'est un copolymère à usage technique du fait de ses propriétés physiques et chimiques élevées tels que la résistance au choc, la rigidité et la tenue à la chaleur [11].

I.4.2. Structure du copolymère ABS.

L'ABS est un copolymère amorphe bi-phasique, constitué d'une phase continue ou matrice (copolymère SAN) et d'une phase discontinue (nodules de PB greffés de copolymères de SAN). Cette structure bi-phasique confère au matériau une très bonne tenue au choc [11].

Cette morphologie complexe de l'ABS dépend des pourcentages en acrylonitrile, en butadiène et en styrène ainsi que des méthodes de synthèse. Les proportions peuvent varier de 15 à 35% d'acrylonitrile, de 5% à 30% de butadiène et de 40% à 60% de styrène [7].

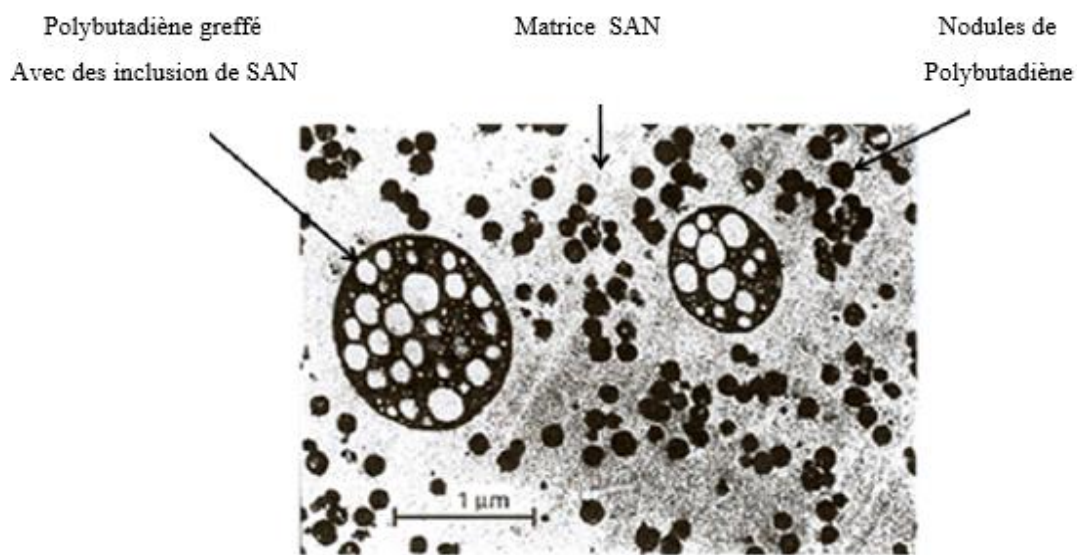


Figure I.3. : Morphologie d'un ABS observé par MET [11].

I.4.3. Synthèse de l'ABS.

Il est synthétisé par polymérisation du styrène et de l'acrylonitrile formant la matrice SAN (styrène-acrylonitrile), en présence du polybutadiène.

Tableau I.1. : Monomères styrène et acrylonitrile, copolymère SAN et polybutadiène [7].

Styrène	Acrylonitrile	SAN	Polybutadiène(PB)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$	$\text{---} \left[\text{CH}_2-\text{CH} \right]_n \text{---} \left[\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\text{CH}} \right]_m \text{---}$	$\text{---} \left[\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n \text{---}$

Le SAN est un copolymère statistique du styrène et de l'acrylonitrile [7].

Les particules élastomères du polybutadiène sont synthétisées par polymérisation en émulsion, ou en suspension. Durant ce procédé, le PB est réticulé à un taux défini et greffé au copolymère SAN. Le système de greffage est le même dans tous les procédés de polymérisation de l'ABS.

La dernière étape consiste au mélangeage du copolymère SAN, du polybutadiène greffé au SAN et divers additifs (charges, colorants, agents anti UV, ignifugeants, etc.) à l'état fondu. Cependant, la présence de doubles liaisons C=C rend ce matériau sensible à l'oxydation [7].

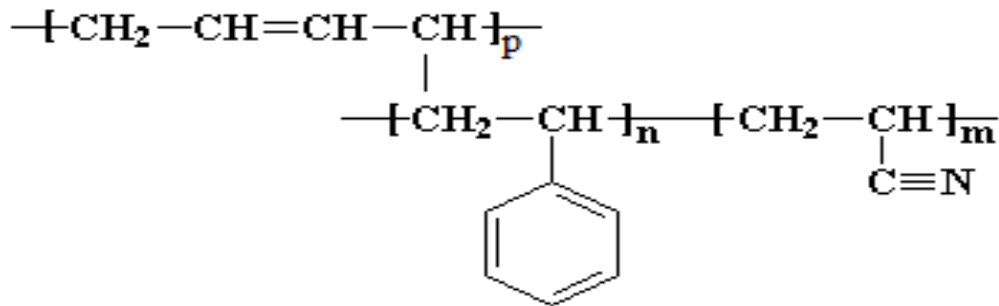


Figure I.4. : Formule chimique de l'ABS [7].

I.4. 4. Propriétés de l'ABS.

I.4.4.1. Propriétés thermiques.

- Température de transition vitreuse $T_g = 105$ à 115 °C.
- Température de fusion $T_f = 180$ à 200 °C [12].

Un autre monomère peut être ajouté à l'ABS pour augmenter sa tenue à la chaleur : le méthylstyrène [7].

I.4. 4.2. Propriétés mécaniques.

Ce copolymère possède :

- Une résistance au choc qui dépend fortement de la composition en butadiène, de la masse moléculaire, de l'adhésion élastomère-matrice ainsi que de la température d'essai.
- Les propriétés mécaniques en traction dépendent de la composition du matériau et de la température d'essai, quand le pourcentage du SAN est plus important que celui de l'AN la limite élastique, le module d'Young et l'allongement à la rupture augmentent et quand le taux du polybutadiène croît la limite élastique, le module d'Young diminuent [7].

I.4. 4.3. Propriétés électriques.

L'ABS est un bon isolant. Ses propriétés électriques sont constantes sur un large domaine de fréquences et ne sont pas affectées par la température et l'humidité [7].

I.4. 4.4. Propriétés chimiques.

- Le copolymère ABS est résistant aux huiles, aux alcools, aux hydrocarbures aliphatiques, aux acides chlorhydriques et phosphoriques, et aux bases.
- Il se dissout dans des solvants comme l'acide acétique, et les hydrocarbures chlorés et aromatiques ; ils sont attaqués par les acides sulfuriques et nitriques et sont solubles dans les esters et les cétones [7].

I.4.5. Mise en œuvre de l'ABS.

L'ABS peut se mettre en forme par extrusion, injection, thermoformage et par soufflage. En injection-moulage, les températures sont comprises entre 200°C et 300°C en fonction du grade de l'ABS. La température du moule doit être comprise entre 40°C et 70°C. En extrusion, la température de travail se situe entre 210°C et 250°C en sortie de filière [7].

I.4.6. Avantages et inconvénients de l'ABS.

- **Avantages.**

- Facile à usiner.
- Facile à colorer par pigmentation dans la masse.
- Légèreté ($d=1.04$).
- Bonne résistance aux agressions chimiques.
- Excellentes propriétés d'isolation [15].

- **Inconvénients.**

- Utilisation à l'extérieur non recommandée.
- Il n'existe pas en version transparente [15].

I.4.7. Applications.

Voici quelques exemples d'application :

- ♦ **Grand public** : carcasses d'ordinateurs, imprimantes, téléphones, jouets, biens de consommation, casques de sécurité.
- ♦ **Automobiles** : panneaux, intérieurs de portière, garnitures de sièges, tableaux de bord, boîtiers de rétroviseur.
- ♦ **Electroménager** : habillage d'appareils de cuisine, boîtiers d'aspirateurs, panneaux de commande de produits blancs.
- ♦ **Extrusion** : feuilles, toits de tracteurs, chants de meubles [13].



Figure I.5. : Produits électroniques.



Figure I.6. : Intérieur des portières de voitures à base d'ABS.



Figure I.7. : Casque de moto à base d'ABS [14].

I.5. Recyclage des matières plastiques.

Les matières plastiques ont un effet sur l'environnement durant toutes les étapes de leurs vies, comme matière première de mise en œuvre, comme produit manufacturé, comme produit recyclé et majoritairement comme déchets [16].

Des mesures réglementaires sont prises pour encourager et imposer le recyclage en vue de conserver les ressources naturelles dans des perspectives de développement durable. D'où la nécessité de trouver des techniques non polluantes de recyclage de ces matériaux polymères [17].

I.5.1. Définition du recyclage.

Le recyclage d'un déchet consiste à réintroduire l'un des matériaux le constituant dans le cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge [7].

I.5.2. Type et méthodes de recyclage.

On distingue deux types de recyclage :

- Le recyclage en boucle : la matière provenant d'un produit est réutilisée dans la fabrication du même type de produit ;
- Le recyclage en cascade : la matière provenant d'un produit est recyclée dans la fabrication d'un produit différent [7].

Les méthodes de recyclage des matériaux polymères sont essentiellement divisées en quatre grandes catégories : la ré-extrusion (recyclage primaire), le recyclage mécanique (secondaire), le recyclage chimique (tertiaire) et l'incinération (quaternaire) [18].

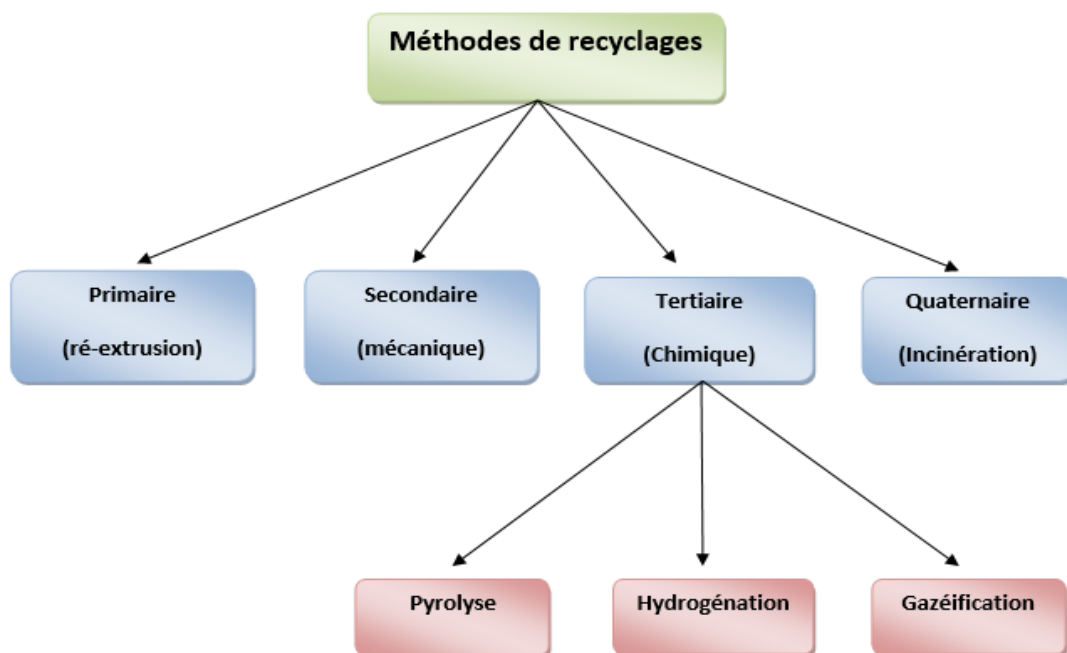


Figure I.8. : Méthodes de recyclage [18 ; 19].

Dans notre étude on s'intéresse principalement au recyclage thermomécanique (recyclage secondaire) car c'est une méthode conventionnelle.

I.5.2.1. Recyclage thermomécanique.

Cette méthode consiste à transformer les déchets par étapes. Ils sont lavés, broyés et refondus pour devenir des granulés puis des produits finis. Généralement, cette méthode ne modifie pas la structure chimique des plastiques s'il y a pas dégradation [7].

Il est de loin la meilleure solution pour le traitement des déchets solides, puisque toutes les autres méthodes sont de nature destructive [20].

Il implique une séparation puis une purification. Un certain nombre d'opérations doit être prévu: il s'agit de la collecte, du tri, de la ségrégation des plastiques, du déchetage, du lavage, du séchage et de la granulation.

♦ Collecte.

La collecte constitue une contrainte majeure, elle impose une organisation efficace afin de diminuer le coût du transport. Les déchets en phase post-consommation sont généralement mélangés et pollués lorsqu'ils sont récupérés. Des efforts ont donc été faits pour encourager les consommateurs à séparer les types de déchets plastiques, au moins ceux qui sont facilement identifiables comme les bouteilles ou les sacs de supermarché.

Il existe plusieurs types de collecte :

- La collecte globale qui est une collecte multi matériaux, où les déchets plastiques sont mélangés avec les déchets ménagers.
- La collecte sélective, qui se fait au départ des ménages en séparant les types de matériaux pour faciliter leur valorisation.
- La collecte spécifique, on ne prend qu'un seul matériau. exemple : bouteilles en PET transparentes [5].

♦ Tri.

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 ;

La séparation par voie chimique peut également parfois permettre d'extraire préférentiellement un polymère du mélange de déchets par dissolution et précipitation différentielle [5].

Un recyclât peut prendre une nouvelle forme après la fusion. Les méthodes les plus connues de ce type de traitement des recyclas sont le moulage par injection, l'extrusion, le rotomoulage et le pressage à chaud.

Par conséquent, seuls les polymères thermoplastiques, tels que le PP, le PE, le PET, le PVC..., peuvent normalement être recyclés mécaniquement [21].

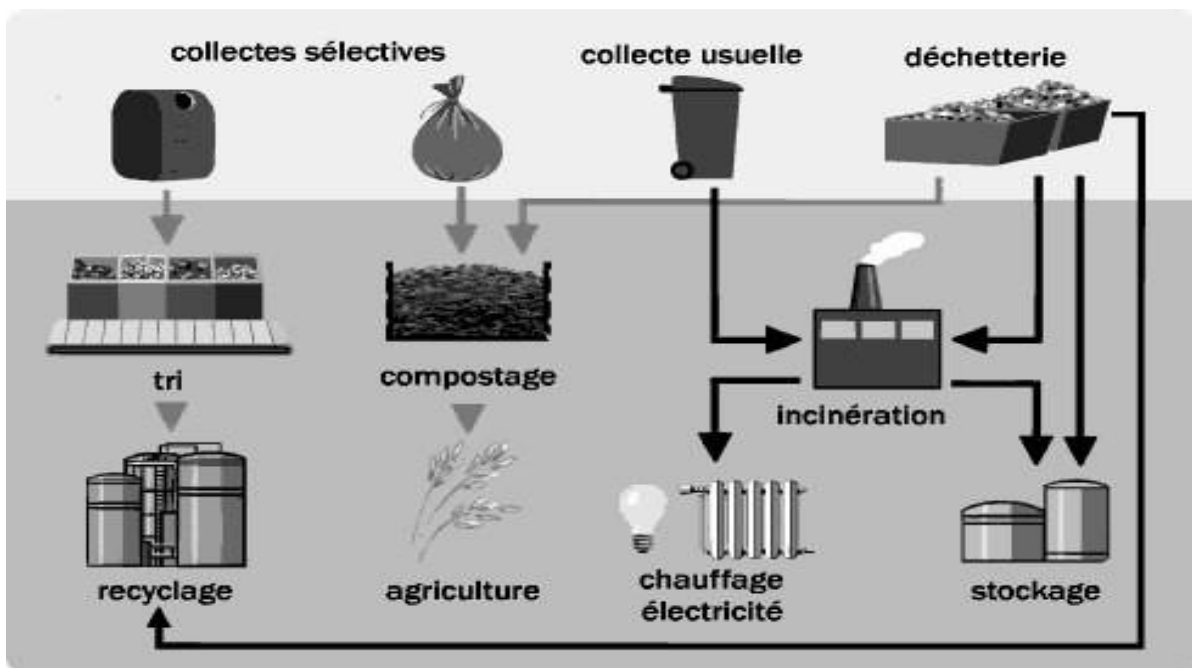


Figure I.9. : Gestion et recyclage des déchets [22].

I.5.3. Avantages et inconvénients du recyclage.

Avantages.

Parmi les avantages de recyclage des déchets, on trouve:

- La diminution de la pollution et des risques écologiques, car 1 tonne de plastique recyclé équivaut à 800 kg de pétrole brut économisé.
- La protection de l'environnement, car moins de déchets plastiques seront jetés
- La protection des espèces animales en général et des espèces aquatiques en particulier.

- La préservation des ressources naturelles, parce que moins de matières premières seront utilisées et la préservation de la couche d'ozone, car moins de matières nuisibles seront brûlées.
- Valorisation des déchets pour la production de nouveaux matériaux.
- Libérer les espaces de stockage occupés par les déchets [23].

Inconvénients.

Le recyclage présente aussi quelques inconvénients :

- Le tri sélectif est indispensable au recyclage.
- Le recyclage présente un coût supplémentaire pour l'entreprise. C'est plus onéreux que les autres modes de traitement des déchets.
- Le recyclage diminue la qualité des propriétés de la matière non recyclée comme les propriétés mécaniques.
- Les entreprises qui se sont investies dans le recyclage, sont encore peu nombreuses et mal réparties. La collecte et le transport des déchets pourraient alors induire à plus de pollution [24].

I.6. Rappels bibliographiques.

Nous vous proposons dans cette section un aperçu des articles ayant étudié le recyclage des DEEE, en particulier l'ABS, et les conséquences de celui-ci sur ses propriétés mécanique.

E.-K. Karahaliou et al [25]. ont étudié les conséquences, les propriétés structurelles et la performance de l'ABS soumis à cinq cycles d'extrusion et à l'exposition prolongée à la chaleur et aux contraintes de cisaillement.

Les auteurs ont conclu que le recyclage mécanique de l'ABS avec une extrudeuse à double vis, est une méthode qui n'affecte pas les propriétés mécaniques du matériau jusqu'à cinq cycles d'extrusion répétés. L'analyse spectroscopique a montré une augmentation progressive d'une oxydation entre les cycles répétés comme cela a été enregistré avec l'analyse ATR-FTIR et la couleur des échantillons devient plus foncée de cycle en cycle.

M. De Gracia et al [26]. ont procédé à une simulation d'un processus de recyclage de l'ABS pur avec une machine de moulage par injection pour créer des spécimens. La structure et les propriétés mécaniques du matériau ABS ont été caractérisées par MEB et des tests de

traction. Il s'est avéré que l'effet du recyclage sur l'ABS est significatif, qui se traduit par une réduction de la résistance à la traction et la contrainte à la rupture.

M. Mohellebi et al [3]. se sont basés sur l'ajout de DEEE a différents pourcentages à une matrice d'ABS vierge pour les réintroduire dans le cycle de la production de matières premières par recyclage. Cela c'est fait dans le but de récupérer et de recycler les déchets polymériques générés par les équipements électriques et électroniques hors d'usage et entreposés à ciel ouvert dans l'environnement.

La caractérisation mécanique des échantillons a montré que l'introduction des DEEE dans la matrice ABS engendre de faibles variations du module d'élasticité. La contrainte maximale enregistre une diminution qui ne dépasse pas 15% pour une concentration de 50% de DEEE. Les faciès de rupture relevés par MEB montrent l'existence de pores qui sont probablement dus à un mauvais dégazage ce qui a affecté la résilience et la ductilité.

P.A. Tarantili et al [27]. ont étudié les caractéristiques des plastiques techniques utilisés dans la préparation des équipements électriques et électroniques. Plus spécialement, l'enregistrement de leur réponse thermique par DSC, l'étude des propriétés rhéologiques via des tests MFI et l'évaluation des propriétés mécaniques avec des tests de traction. L'objectif étant d'établir une procédure de recyclage des mêmes plastiques techniques dérivant des DEEE.

Les mélanges de plastiques techniques étudiés présentent des propriétés intéressantes notamment: Le mélange PC/ABS qui présente une miscibilité partielle. L'ABS semble agir comme plastifiant lorsqu'il est incorporé au PC à des concentrations d'environ 20 %. Cet effet est également apparu lors de la détermination des caractéristiques rhéologiques du mélange PC/ABS par MFI. D'autre part, les mélanges de HIPS et d'ABS semblent consister en des mélanges totalement miscibles.

V. Y. Vazquez et al [28]. ont travaillé sur le développement des stratégies de recyclage pour l'ABS provenant du flux de DEEE, en évitant le tri par type et sur l'auto-compatibilisation des mélanges ABS/HIPS et l'ajout de SBS comme compatibilisant à ces mélanges afin d'améliorer leur propriétés mécaniques. Les résultats obtenus indiquent que l'ABS peut tolérer jusqu'à 50 % en poids de HIPS en conservant ses propriétés. Les mêmes proportions de mélanges avec l'ajout de 2 % en poids de SBS ont été comparées avec leurs mélanges physiques et l'ABS simple. Les propriétés mécaniques des mélanges SBS-compatibilisés ont été

considérablement améliorées par rapport aux mélanges physiques et par conséquent par rapport à l'ABS.

B. E. Tiganisa et al [29]. ont étudié la dégradation thermique accélérée de l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) à des températures élevées ($> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Il est démontré que la résistance à l'impact diminue lorsqu'on atteint un vieillissement critique à $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ et que cette réduction dépend des modifications des propriétés de surface pendant le vieillissement. L'examen visuel des sections transversales des spécimens après le vieillissement, montre que la coloration est limitée à la surface. La chimiluminescence montre un appauvrissement rapide du stabilisant résiduel dans cette couche par rapport au polymère en vrac. La dégradation provoque une augmentation du module d'Young à la surface de l'échantillon, ce qui favorise la rupture.

Chapitre II : Matériaux et techniques expérimentales

Ce chapitre porte sur la présentation des matériaux, le protocole expérimental et les techniques de caractérisation utilisés.

Une description des matériaux et des différentes techniques d'analyse utilisées pour les évaluer après les cycles d'extrusion répétés, est donnée.

II.1. Matériaux utilisés.

II.1.1. ABS vierge et ABS provenant des DEEE.

L'ABS vierge utilisé au cours de notre étude est fourni par SABIC (Saudi Basic Industries Corporation), livré sous forme de granulés de couleur blanche accompagné par sa fiche technique.



Figure II.1. : ABS vierge.

Les propriétés physiques de ce polymère sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1. : Propriétés physiques de l'ABS vierge.

Propriété	Valeur
Température de fusion	T _f = 205 à 245°C
Température de séchage	T _{séchage} = 80 à 90 °C
Densité	d= 1,04
Module de traction, 5 mm/min	2480 MPa

L'ABS recyclé est issu de déchets des équipements électroniques et informatiques hors usage (carcasses d'ordinateurs), collectés dans des zones de décharge à Bejaia.



Figure II.2. : Déchets des Equipements Electriques et Electroniques hors d'usage (DEEE).

Nous identifions l'ABS des autres matières plastiques par marquage.



Figure II.3. : Marquage de l'ABS.

II.2. Mode opératoire.

II.2.1. Décontamination des déchets.

La décontamination, à savoir : étiquettes, mousses, tampons en caoutchouc, vis, adhésif... etc est systématiquement retiré.

II.2.2. Lavage et nettoyage.

Les DEEE sont nettoyés et lavés à l'eau chaude (60°C) pour enlever les impuretés (poussières et graisses). Puis ils sont séchés à l'air libre, et découpés en petits morceaux avant de passer au broyage.

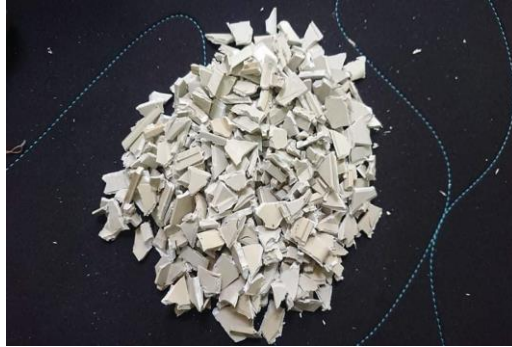


Figure II.4. : DEEE découpés en petits morceaux avant broyage.

II.2.3. Broyage des déchets.

Le broyage des DEEE a été effectué au niveau de l'Université de Sétif (FERHAT ABBAS) avec un broyeur de type Polylab Brabender a fin d'obtenir des granulés à réutiliser dans le cycle d'extrusion, comme le montre les figures suivante :



Figure II.5. : Broyeur de type Polylab Brabender.



Figure II.6. : DEEE à l'état granulaire après broyage.

II.3. Mise en œuvre de l'ABS.

La mise en œuvre de l'ABS a été réalisée par voie fondue. Le polymère a été préalablement séché à l'étuve à 80°C pendant 12h.

Le **tableau II.2.** résume les codes attribués aux différentes formulations.

Tableau II.2. : Codes des différentes formulations.

Polymères	Nombre de cycles d'extrusion	Code
ABS vierge	0	RV0
	1	RV1
	2	RV2
	3	RV3
	5	RV5
ABS recyclé	0	RR0
	1	RR1
	2	RR2
	3	RR3
	5	RR5

Ceci est fait au moyen d'une mini extrudeuse bi-vis de type Micro Compounder DSM Xplore (version 1.0 modèle 2005) illustrée par la **figure II-11**. L'équipement se compose d'une trémie pour l'introduction des granulés et de deux vis Co-rotatives à noyau conique. La vitesse de rotation des vis a été fixée à 50 tours/min, et la température à 260°C avec un temps de séjour de 2min.



Figure II.7. : Mini extrudeuse bi-vis de type DSM Xplore.

Tableau II.3. : Caractéristiques de la mini extrudeuse DSM Xplore.

Caractéristiques	Valeurs
Volume (ml)	15
Longueur de la vis (mm)	135
Température maximale (°C)	450
Vitesse de rotation de la vis (tours/min)	5 à 250



Figure II.8. : Extrudats.



Figure II.9. : Cycles d'ABS vierge.



Figure II.10. : Cycles de DEEE.

II.4. Préparation des films par solvataion.

Les extrudats préalablement broyés et étuvés sont utilisés pour préparer des films à analyser en IRTF, ceci à été fait par dissolution de 1g d'ABS dans 10ml d'acétone pendant 15 à 20minutes à la température ambiante sous agitation.



Figure II.11. : Préparation des solutions (ABS- acétone).

La solution obtenue est versée dans des boites à pétrie, séchée. Les films d'une épaisseur de 30µm ont été récupérés.

Tableau II.4. : Caractéristiques de l'acétone utilisé.

Formule chimique	Masse molaire (g/mol)	Densité (g/cm³) à 20°C	Température d'ébullition (°C)
C ₃ H ₆ O	58,08	0,788	56,29

II.5. Techniques de caractérisation.

II.5.1. Spectroscopie infra-rouge (IRTF).

La spectroscopie infrarouge est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau à analyser, elle est utilisée pour l'analyse, l'identification et la caractérisation des groupements fonctionnels présents dans une molécule.

L'analyse s'effectue à l'aide d'un spectromètre infrarouge qui envoie un rayonnement infrarouge sur l'échantillon et mesure leurs longueurs d'ondes.

L'appareil utilisé est de la marque IRAffinity-1 (**Figure II.14.**) couplé à un microordinateur, utilisant un logiciel pour l'exploitation des résultats. Les spectres ont été enregistrés en mode absorbance dans le domaine $[4000 \text{ à } 400 \text{ cm}^{-1}]$.



Figure II.12. : Spectromètre IRTF de type IRAffinity-1.

II.5.2. Diffraction des Rayons X (DRX).

La diffraction des rayons X permet de caractériser la structure cristalline d'un matériau. C'est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X sur la matière.

Le principe consiste à envoyer un faisceau de rayon X monochromatique sur la surface plane de l'échantillon à analyser.

L'enregistrement des données permet d'obtenir un diffractogramme caractéristique de la structure cristalline analysée, qui donne l'intensité du faisceau diffracté en fonction de l'angle du détecteur.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un appareil de type Rigaku MiniFlex, et le balayage est effectué avec un pas de $0.35 \text{ degré/minute}$.



Figure II.13. : Diffractomètre de type Rigaku MiniFlex.

II.5.3. Indice de fluidité (IF).

L'indice de fluidité est un test utilisé dans l'industrie des plastiques pour la caractérisation des matériaux thermoplastiques, il mesure l'écoulement d'une résine à travers une filière. C'est le taux de matière fondue coulant dans des conditions spécifiques pour chaque polymère. Il est exprimé en gramme par minute (g/10min).

La matière granulée est extrudée à travers une filière de diamètre 2.09 mm et de longueur de 8 mm à la température de 230°C avec une charge de 2.16 Kg. Cet essai été réalisé à l'aide d'un fluidimètre de model SRZ-400E Type Color LCD Melt flow Rate Determine Instrument.

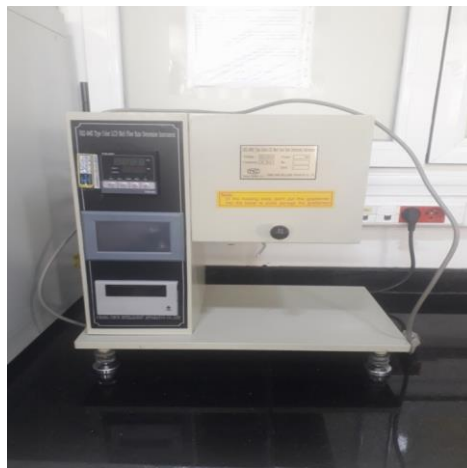


Figure II.14. : Fluidimètre de type SRZ-400E Type Color LCD Melt flow Rate Determine Instrument.

Pour le calcul nous avons utilisé la relation suivante :

$$\mathbf{IF= 600.M/t (g /10min)}$$

Où : **IF**: Indice de fluidité (g /10min).

M: Masse de l'extrudât en gramme.

T: Intervalle de temps entre deux coupes d'un extrudât en secondes.

II.5.4. Identification du DEEE par calcul de la masse volumique.



Figure II.15. : Mesure de la masse volumique.

Pour savoir si notre DEEE est bien de l'ABS nous avons procédé à la mesure de sa masse volumique en utilisant de l'Acétate de méthylène en suivant ces étapes

- Pesé de l'échantillon de DEEE ($m_{\text{DEEE}}=5.34\text{g}$).
- Pesé de la fiole vide (m_{sec}).
- Pesé de la fiole après remplissage avec l'acétate de méthylène ($m_{\text{sec}+L}$).
- Pesé de la fiole après remplissage avec l'acétate de méthylène et le DEEE ($m_{\text{sec}+L+\text{DEEE}}$).
- Calcul de la masse volumique.

Chapitre III : Résultats et discussion.

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus lors de notre travail sur le recyclage de l'ABS vierge et recyclé.

III.1. Caractérisation de l'ABS vierge et recyclé.

III.1.1. Identification du DEEE par calcul de la masse volumique.

Tableau III.1. : Masses et volume mesurés.

m_{DEEE}	5,34 g
m_{sec}	31,49 g
$m_{\text{sec+L}}$	77,65 g
$m_{\text{sec+L+DEEE}}$	78,80 g
V_t	50 cm ³

Tableau III.2. : Formules de calcul de la masse volumique du DEEE avec les résultats du calcul.

Formules mathématiques	Résultats
$m_{L1} = m_{\text{sec+L}} - m_{\text{sec}}$	46,16 g
$\rho_L = m_{L1} / V_t$	0,92 g/cm ³
$m_{L+DEEE} = m_{\text{sec+L+DEEE}} - m_{\text{sec}}$	47,36 g
$m_L = m_{L+DEEE} - m_{\text{DEEE}}$	42,02 g
$V_L = m_L / \rho_L$	45,53 g
$V_{\text{DEEE}} = V_t - V_L$	4,47 cm ³
$\rho_{\text{DEEE}} = m_{\text{DEEE}} / V_{\text{DEEE}}$	1,19 g/cm ³

V : Volume.

ρ : Masse volumique.

En comparant la valeur de la masse volumique du DEEE (1.19 g/cm^3) avec la valeur théorique de l'ABS vierge (1.14 g/cm^3), on déduit que l'échantillon récupéré en décharge contient majoritairement de l'ABS.

III.1.2. Analyse de la structure chimique par spectroscopie IRTF.

La **figure III.1.** présente le spectre IRTF de l'ABS vierge tiré de la littérature et les **figure III.2.** et **figure III.3.** présentent les spectres IRTF des cycles de recyclage de l'ABS vierge et du DEEE. Le **tableau III.3.** comporte les groupements fonctionnels de ces ABS avec leurs longueurs d'ondes respectives.

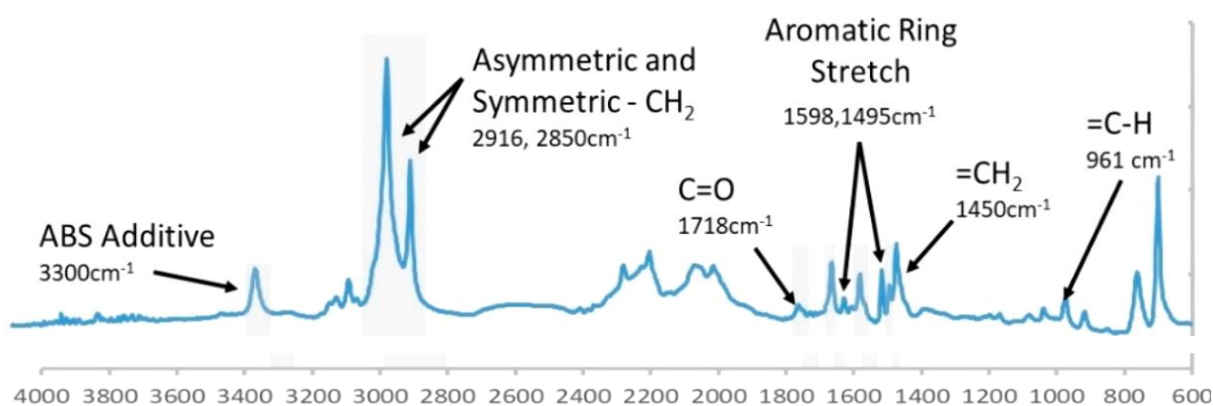


Figure III.1. : Spectre IRTF de l'ABS vierge [30].

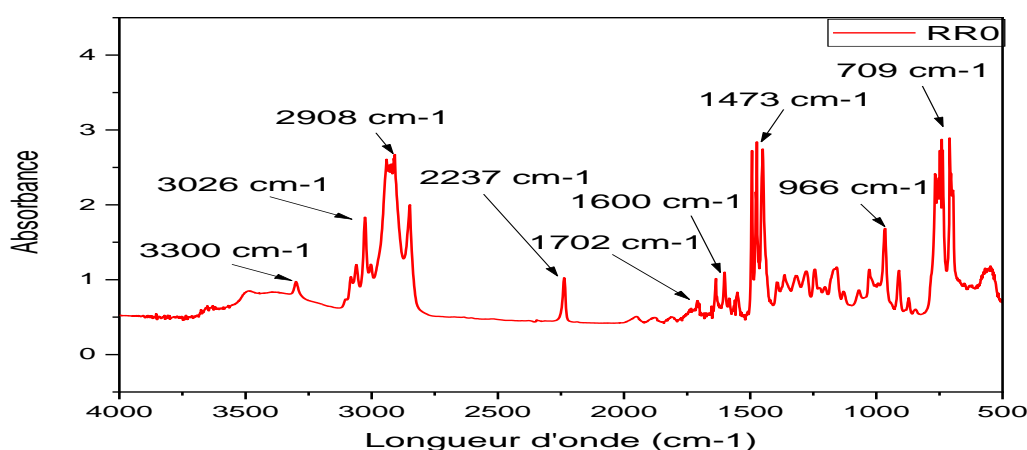


Figure III.2. : Spectre IRTF du RR0.

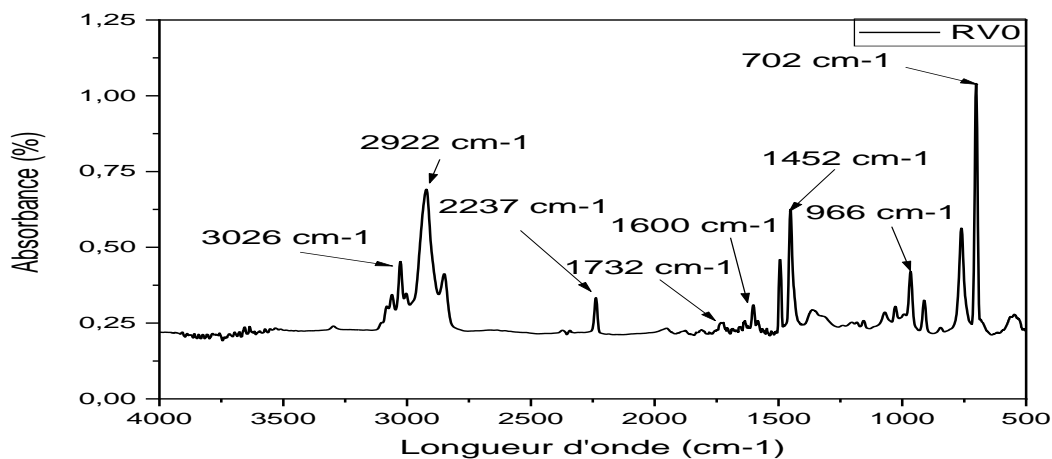


Figure III.3. : Spectre IRTF du RV0.

Tableau III.3. : Les groupements fonctionnels de l'ABS avec leurs longueurs d'ondes respectives.

Longueur d'onde (cm ⁻¹)	Groupe ment fonctionnel
3300	Additifs.
3026	Vibration d'élongation des C-H aromatiques.
2908	Vibration d'élongation des C-H aliphatiques.
2237	Groupe ment nitrile \equiv N.
1702	Groupe ment carbonile.
1600	Vibration d'élongation de la double liaison C=C.
1473	Vibration d'élongation des liaisons CH ₂ .
966	Vibration d'élongation des doubles liaisons =CH ₂ .
709	Groupe ment phényle -C ₆ H ₅ .

La **figures III.2.** et la **figure III.3.** , montrent la présence de bandes d'élongation des liaisons C-H aliphatiques à environ 2908 cm⁻¹ et C-H aromatique à 3026 cm⁻¹ , d'une bande à 2237 cm⁻¹ type du groupe ment nitrile, d'un pic situé vers 1600 cm⁻¹ correspondant à la double liaison C=C du Butadiène et de pics à 709 cm⁻¹ correspondant au groupe ment phényle.

Les bandes d'absorption qui apparaissent sur nos spectres apparaissent également sur le spectre tiré de la littérature [30]. Cela nous confirme que l'échantillon récupéré en décharge est bien de l'ABS.

La spectroscopie IRTF est un outil précieux pour détecter les produits de dégradation des polymères grâce à sa capacité à identifier la formation de groupes contenant de l'oxygène qui peuvent être le résultat d'une attaque oxydative [25].

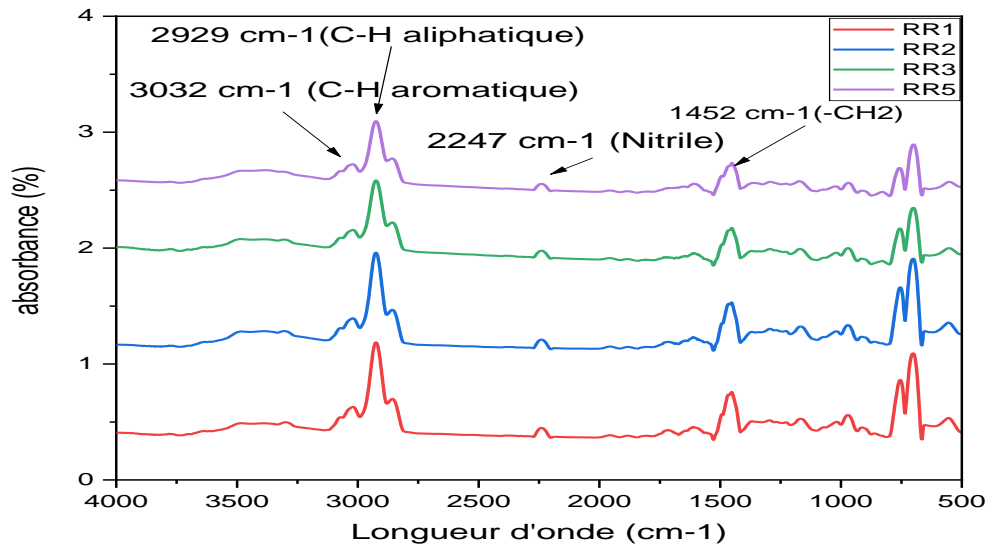


Figure III.4. : Spectre IRTF du DEEE.

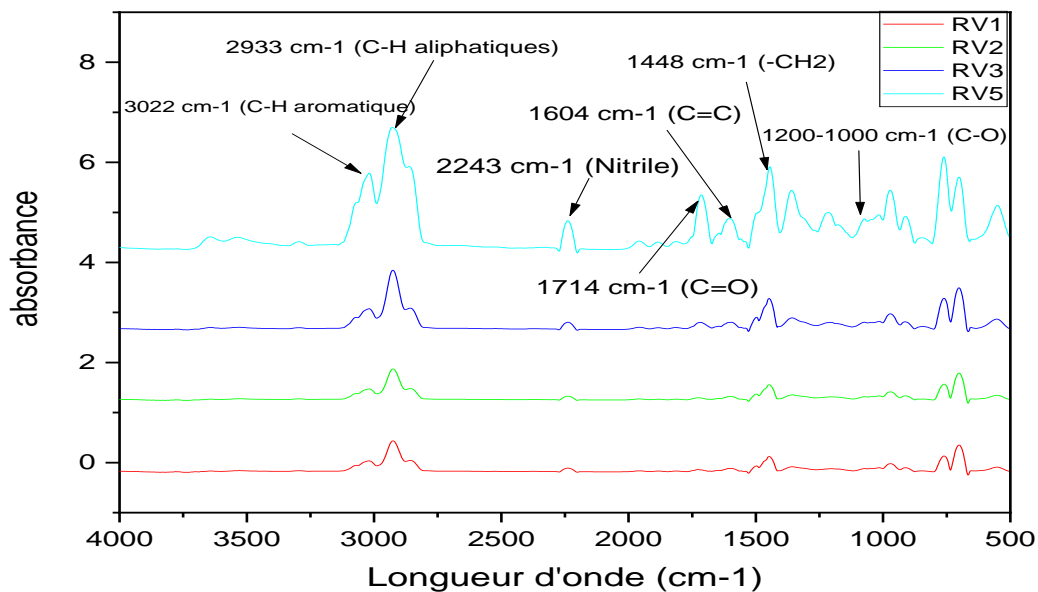


Figure III.5. : Spectre IRTF de l'ABS vierge.

On observe dans nos spectre IRTF (figure III.4. et figure III.5.) une légère diminution de l'intensité des pics correspondant aux groupements fonctionnels présents dans le DEEE après chaque cycle d'extrusion, contrairement aux spectres de l'ABS vierge où les bandes s'intensifient de plus en plus, surtout pour le dernier cycle.

On remarque l'apparition de bandes intenses vers 3026 cm^{-1} et 2935 cm^{-1} correspondant aux vibrations d'élongation des C-H aromatiques et aliphatiques respectivement pour l'ABS vierge (RV0), ainsi qu'une bande à 2237 cm^{-1} correspondant au groupement nitrile, qui caractérise notre polymère. On observe une diminution de l'intensité des pics à partir du 1^{er} cycle d'extrusion puis une augmentation progressive jusqu'au 5^{ème} cycle. Cela peut être interprété par une réticulation du matériau.

L'apparition d'un pic durant le 5^{ème} cycle vers 1700 cm^{-1} qu'on attribue au groupement carbonyle et un autre pic vers 1200 cm^{-1} attribué au groupement ester sont observés. Nous pouvons expliquer cela par la dégradation thermomécanique qui est due à l'extrusion répétée comme l'ont montré **E.-K. Karahaliou et al** [25]. dans leur étude, ils expliquent que l'extrusion répétée de l'ABS produit des groupements contenant de l'oxygène tel que l'ester et les carbonyles à partir du 5^{ème} cycle d'extrusion, ces groupements ont été retrouvés dans nos spectres.

Dans ce cas, les bandes d'absorption enregistrées diminuent progressivement en intensité à partir du 1^{er} cycle d'extrusion jusqu'au 5^{ème}, ce qui peut être expliqué par une scission de chaînes due à la dégradation thermomécanique.

En conclusion nous pouvons dire que la double liaison présente dans le butadiène peut influencer le comportement de l'ABS après plusieurs cycles d'extrusion : réticulation dans le cas de l'ABS vierge, et scission de chaînes dans le cas du DEEE.

III.1.3. Evolution de la structure cristalline par DRX.

Afin d'évaluer l'impact du recyclage sur la structure cristalline de l'ABS vierge et des DEEE, une étude par Diffraction des Rayons X a été effectuée.

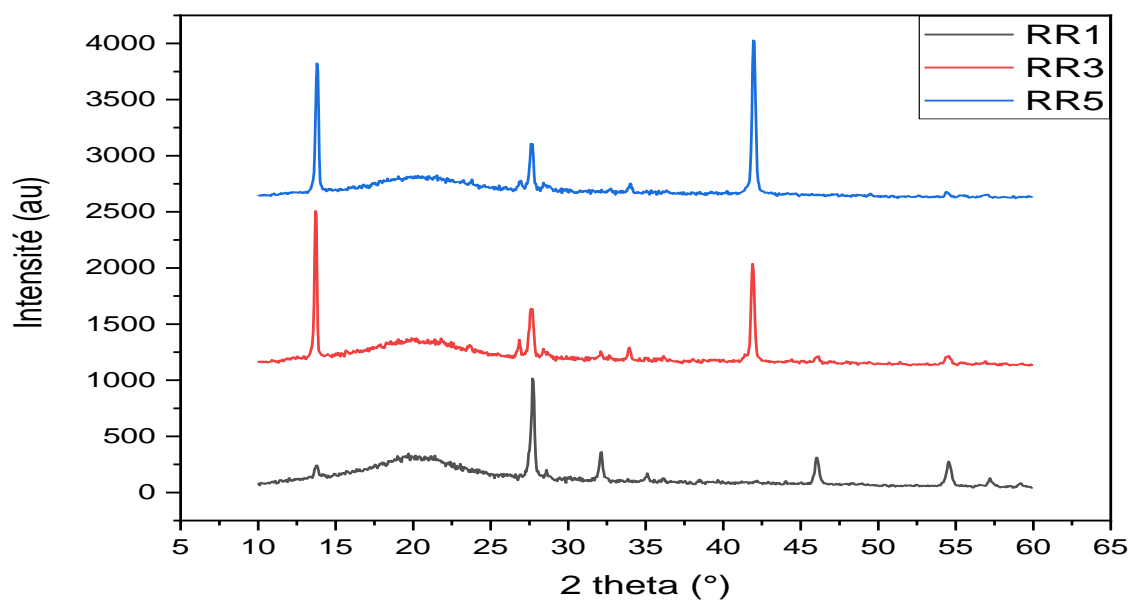


Figure III.6. : Diagramme DRX du DEEE après des cycles d'extrusion répétés.

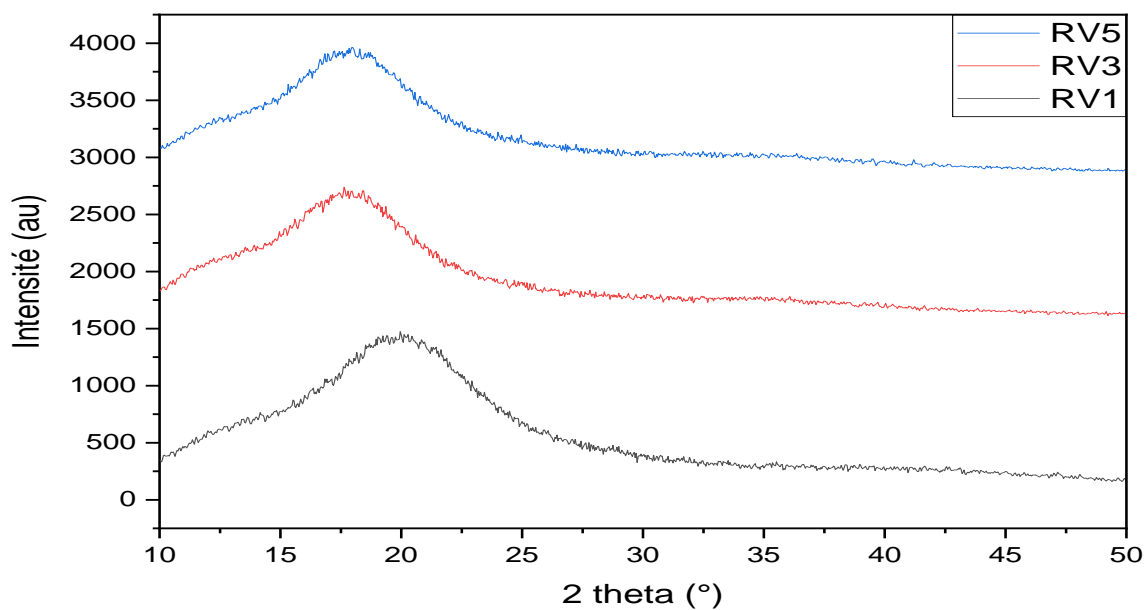


Figure III.7. : Diagramme DRX de l'ABS vierge après des cycles d'extrusion répétés.

Les résultats des taux de cristallinité obtenus sont résumés dans le **tableau III.4**.

Tableau III.4. : Taux de cristallinité en fonction de nombre de cycles d'extrusion.

Formulations		Taux de cristallinité
		χ (%)
ABS vierge	RV1	44
	RV3	44
	RV5	46
ABS Recyclé (DEEE)	RR1	34
	RR3	34
	RR5	35

Sous l'effet du recyclage, on enregistre une stabilité du taux de cristallinité de l'ABS vierge et de DEEE après des cycles d'extrusion répétés.

Les diffractogrammes DRX du polymère vierge montrent des pics larges pour 2θ compris entre 10° et 25° qui indiquent l'ordination des plans à une courte distance liés aux structures amorphes de l'ABS. Ces modèles enregistrés sont en accord avec les études précédentes, notamment **M. Mazher Iqbal et al** [30]. dans leur étude de la fabrication en boucle fermé avec de l'ABS à l'aide de la fabrication additive, ils ont supposé que ces pics correspondent à des plastifiants, des colorants et des agents stabilisants.

Dans les diffractogrammes DRX de polymères recyclé, plusieurs pics supplémentaires ont été identifiés à $27.7^\circ, 32.1^\circ, 35.1^\circ, 46^\circ, 54.5^\circ$ et 57.2° . Ces pics sont caractéristiques de sous-composants supplémentaires dans le polymère (additifs). Nous ne sommes pas sûr de la nature de ces additifs car le polymère de cette étude a été récupéré en décharge.

Selon les taux de cristallinité obtenus on peut déduire que le traitement par extrusion n'influe pas sur la cristallinité de l'ABS qui est un polymère amorphe.

III.1.4. Teste de couleur.

Une différence de couleur a été observée sur les échantillons passés à l'extrudeuse, du plus clair pour les RR0 et RV0 au plus foncé pour les RR5 et RV5.

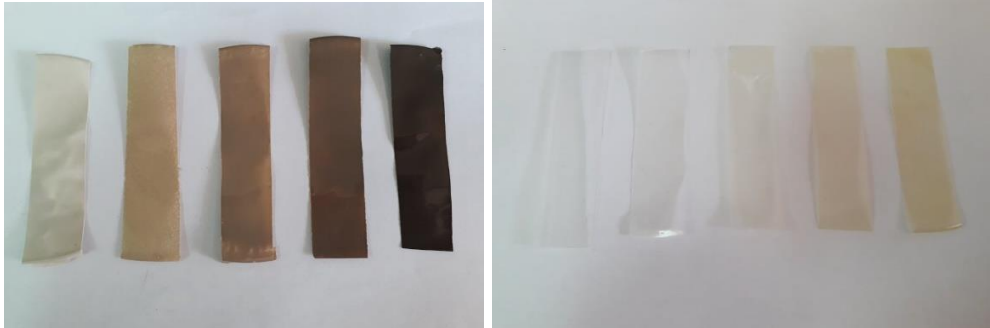


Figure III.8. : Différence de couleur après des cycles d'extrusion du RR à gauche et du RV à droite.

Les tons foncés de l'ABS sont expliqués par **E. K. Karahaliou et al** [25]. par la formation de produits d'oxydation, ils ont suivi les cycles d'extrusion répétés par chromatométrie en mesurant les changements de l'indice de clarté qui a baissé, de l'indice de saturation jaune qui a augmenté et de la couleur de l'ABS en fonction du traitement par extrusion. D'autre part, l'indice de saturation du rouge a montré quelques changements marginaux. En conséquence, le changement total de couleur se fait du plus clair au plus foncé.

III.1.5. Mesure de l'Indice de Fluidité.

Les résultats obtenus de l'indice de fluidité en fonction du nombre de cycles d'extrusion sont rassemblés dans la **Figure III.10.**, **figure III.11.** et le **Tableau III.5.**

Tableau III.5. : Valeurs de l'IF en fonction du nombre de cycles d'extrusion pour l'ABS vierge et le DEEE.

Nombre de cycles d'extrusion	Indice de fluidité (IF) g/10min			
	ABS vierge	Ecart type	ABS recyclé	Ecart type
0	2.59	0,03	3.02	0,12
1	2.74	0,01	5.67	0,17
2	2.69	0,05	2.36	0,24
3	2.63	0,31	3.10	0,27
5	3.62	0,05	2.55	0,40

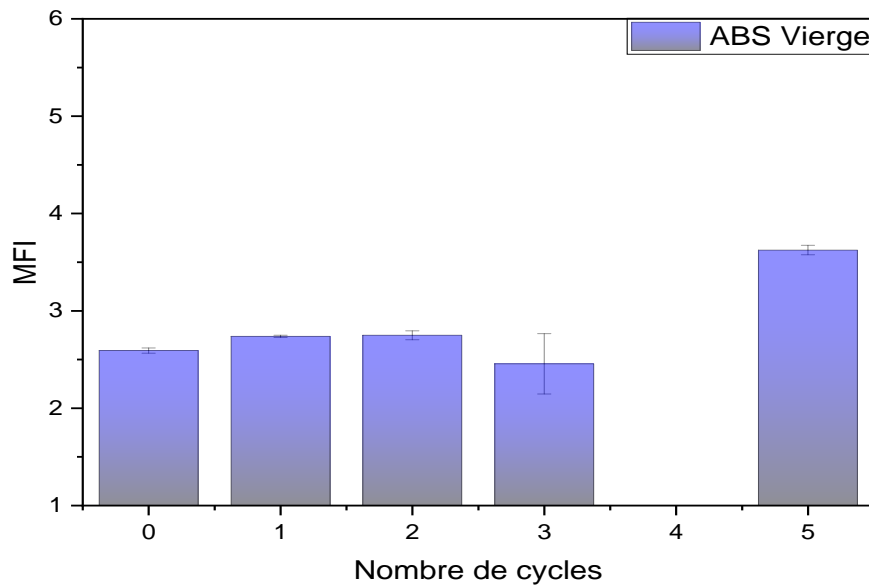


Figure III.9. : Variation de l'IF pour l'ABS vierge en fonction du nombre de cycles d'extrusion.

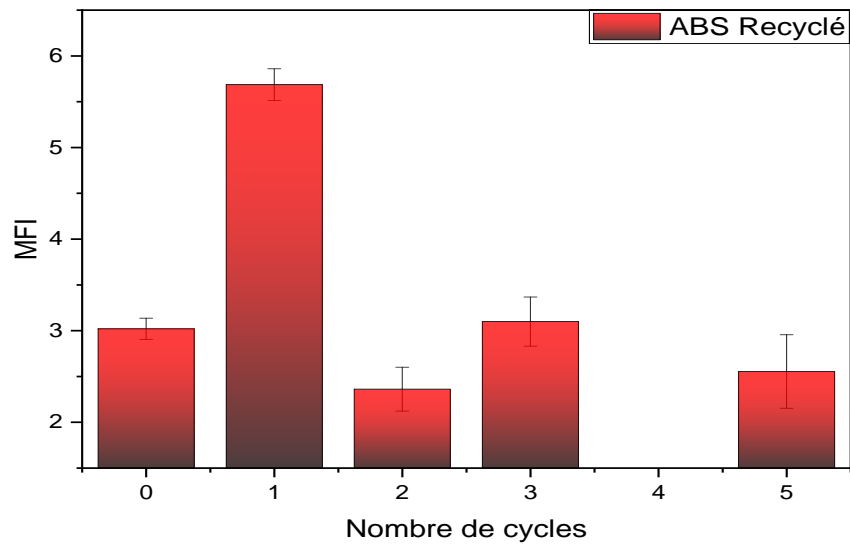


Figure III.10. : Variation de l'IF pour le DEEE en fonction du nombre de cycles d'extrusion.

Le **tableau III.5.** montre que les valeurs de l'IF pour le polymère vierge restent presque constantes, du cycle 0 au cycle 3 d'extrusion ce qui signifie qu'aucun effet apparent sur le poids moléculaire et donc sur la viscosité de l'ABS. A partir du cycle 5 on remarque une légère augmentation de l'IF, donc sa viscosité a diminué ce qui peut être interprété par une scission de chaînes.

On observe que la valeur de l'IF du polymère recyclé monte dans le cycle 1 puis diminue dans le cycle 2 puis remonte encore, cela est probablement dû à une concurrence entre les deux phénomènes de réticulation et de scission de chaînes.

D. Hirayama et al [31]. ont étudié les propriétés de l'ABS et du HIPS,

Leur étude a montré une augmentation de l'indice de fluidité de l'ABS, Ce qui indique un effet de diminution du poids moléculaire du polymère par dégradation.

Conclusion

Les déchets d'équipements électriques et électroniques hors d'usage prend de plus en plus d'ampleur dans la nature ce qui a des conséquences drastiques sur l'environnement et la santé publique.

L'objectif de ce travail est le recyclage de ces DEEE , particulièrement l'Acrylonitrile-Butadiène-Styrène (ABS).

Un traitement répété a été réalisé par voie fondue dans une extrudeuse à double vis. Un ABS vierge a été pris comme échantillon de référence. La caractérisation des polymères a été faite par analyse IR, DRX et MFI et une observation du changement de couleur.

Pour mieux caractériser ce polymère, il est important de s'appuyer sur d'autres techniques notamment :

- Une caractérisation par chromatographie en phase liquide de l'ABS vierge et du DEEE pour voir quel type d'additifs est présent dans le matériau comme les retardateurs de flammes.
- Des testes mécaniques pour déterminer la résistance à la traction et au choc.
- Une étude par viscosimétrie ou par chromatographie en phase gazeuse pour déterminer sa masse molaire afin de savoir si il y a cession de chaines ou réticulation.
- Une analyse thermogravimétrique pour mesurer la stabilité thermique et le taux de résidus notamment les retardateurs de flammes.

Afin de renforcer ce matériau, il serait intéressant d'ajouter des charge et des additifs pour améliorer les caractéristiques mécaniques dont le modul d'young.

Les résultats obtenus nous ont montré que le recyclage thermomécanique de l'ABS n'affecte pas les caractéristiques et les propriétés mecanique du matériau jusqu'à cinq cycles d'extrusion

Références bibliographiques

- [1] S. TOSTAR, L'irradiation gamma dans le recyclage des ABS à cycles multiples - effets sur les propriétés des ABS et la récupération de l'antimoine, CHALMERS, 2013.
- [2] A. Mohammedi, Valorisation Par Recyclage de Déchets Polymériques issus Des Equipements Electriques et Electroniques, MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, 2016.
- [3] M. Mohellebi et al. , Recyclage de déchets polymériques récupérés de l'environnement, Laboratoire d'Energétique Mécanique et Matériaux – LEMM, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 2016.
- [4] M. P. Chazara, , Outils d'élaboration de stratégie de recyclage basée sur la gestion des connaissances: application au domaine du génie des procédés, TOULOUSE, 2015.
- [5] T. KOSENTINI KALLEL, Etude de Mélanges PE/PS Contribution au Recyclage, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [6] J. M. Balet, Gestion des déchets, Dunod, 2016.
- [7] M. L. Barthès, Régénération d'ABS et de PC Issus de DEEE sous Forme d'Alliages de Polymères Techniques ou de Nanocomposites, Bordeaux 1, 2010.
- [8] <http://www.e-dechet.com/deee/qu-est-ce-qu-un-dechets-d-equipements-electriques-et-electroniques-deee-ou-d3e.htm>.
- [9] A. ABOUBAKER, Structuration des Mélanges ABS/PC en vue du Recyclage des DEEE, paris, CNAM, 2014.
- [10] I. DEBBAH, Préparation et caractérisation des mélanges à base de polycarbonate/acrylonitrile-polybutadiène-styrène (PC/ABS), SETIF1, 2019.
- [11] H. LADJABI, étude expérimentale du comportement Mécanique des Polymères, BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2011.
- [12] R. BOUGHRASSA et al. , élaboration et caractérisation des mélanges ABS/PEHD, BLIDA 1, 2018.

- [13] « ABS/ type de polymères- Resinex » disponible sur : www.resinex.fr > type-de-polymères ABS.
- [14] Z. REBBAH, Élaboration et caractérisation mécanique des mélanges polymériques à base de PMMA-ABS (ABS recyclé et vierge), MOULOUD MAMMARI, TIZI OUZOU, 2017.
- [15] Acrylonitrile butadiène styrène –ABS-PHT Plastics haute technologie sur <http://www.pht-plastique.fr>.
- [16] M. B. Shriver et al. , “Characterisation of recycled Injection molded plastics for material life-cycle analysis”, SPEANTEC Proceedings, May 1994.
- [17] A. Colbeaux, Comptabilisation de mélanges PP/PE par extrusion réactive, Laboratoire des Matériaux Macromoléculaire de l’INSA de Lyon, 2001.
- [18] E. Feghali, Nouveaux procédés catalytiques pour le recyclage de déchets ligno-cellulosiques, de polymères et de dérivés du CO₂, Paris Sud-Paris XI, 2015.
- [19] T.K. Kallel, Étude de mélanges PE/PS, contribution au recyclage, l’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2003.
- [20] J. Desamault, plastic waste recovery-objectives for the year 2002, ELF Atochem. Recycle, environmental technologies Davos, 1995.
- [21] A. I. Ignatyev et al. , Recyclage des polymères : un examen, Wiley online library,2014.
- [22] H. Terchag, Caractérisation mécanique des matériaux obtenus par le recyclage des déchets de polystyrène expencé, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
- [23] <http://www.planete-durable.com/author/admin/>.
- [24] A. GONZLEZ, Avantages et inconvénients du recyclage pour les professionnels Arts – culture, Juin 13 2018, Juin 07 2019. Available from: <https://article.coachreferencement.fr/avantagesinconvénients-recyclage-professionnels/>
- [25] E. K. Karahaliou et al. Stabilité des composés ABS soumis à des cycles répétés de traitement par extrusion, Laboratoire de technologie des polymères, École d’ingénierie chimique, Université technique nationale d’Athènes, Zographou, Athènes, GR 157 80, Grèce, 2009.

- [26] M. De Gracia et al. , Recycling of acrylonitrile-butadiene-styrene using injection moulding machine, école nationale des sciences appliquées d'Al Hoceima (ENSAH), BP 03 Ajdir, 32000 Al Hoceima, Morocco, 2016.
- [27] P.A. Tarantili et al. , processing and properties of engineering plastics recycled from waste electrical and electronic equipment (WEEE), National Technical Univ. of Athens, School of Chemical Engineering, Lab. of Polymer Technology, 9, Heroon Polytechniou Str., Zographou, Athens, GR 157 80, Greece, 2010.
- [28] V. Y. Vazquez et al. , Use of acrylonitrile-butadiene-styrene from waste electric and electronic equipment without an accurate previous separation, environmental investigation and training center,2018.
- [29] B.E. Tiganisa et al, Thermal degradation of acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) blends, a CSIRO Building, Construction and Engineering, PO Box 56, Highett, Victoria 3190, Australia
b CSIRO Manufacturing Science and Technology, Victoria, Australia, 2002.
- [30] M. MaZher Iqbal et al, étude de la fabrication en boucle fermée avec de l'acrylonitrile butadiène styrène ABS sur plusieurs génération a l'aide de la fabrication additive, ACS chimie et ingénierie durable, juin 2019.
- [31] D. Hirayama et al., caractérisation de l'acrylonitrile butadiène styrène et du polystyrène choc issus de déchets d'équipements informatique au Brésil, Gestion des déchets et recherche, 2015.