

Influence de l'ajout de l'huile minérale usagée sur le comportement mécanique de déchets polymériques recyclés

F. Djeddi¹, M. Mohellebi², A. Ouibrahim³

Laboratoire d'Energétique Mécanique et Matériaux – LEMM Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie

¹fadilamohellebi@yahoo.fr,

²mohellebi_mouloud@yahoo.fr,

³ouibra@yahoo.fr

Résumé — Cette étude porte sur le recyclage de déchets polymériques issus des équipements électriques et électroniques (DEEE) hors d'usage et des huiles de lubrifications usagées. La grande consommation de ces équipements et la pratique, par certains fabricants, de l'obsolescence programmée font que ces déchets prennent une ampleur inquiétante dans la dégradation de l'environnement. L'ajout du polymère ABS à ces déchets permet de les réintroduire dans le cycle de la production de matières premières par recyclage. Dans un premier temps, nous avons procédé au rajout de l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) aux concentrations de 20, 40, 50, 60 et 80% à la matrice DEEE puis au rajout de 5% en masse d'huile de lubrification usagées. Le mélangeage s'est fait d'abord à froid en plaçant les différents constituants dans un cylindre en rotation aléatoire, puis à chaud par extrusion. Les déchets sont préalablement lavés et broyés en vrac et l'ABS est utilisé à l'état vierge. Nous avons aussi procédé au tri et à la sélection de ces déchets pour ne considérer que l'ABS. La caractérisation mécanique des échantillons a montré que l'introduction de l'ABS à la matrice DEEE engendre de faibles variations du module d'élasticité. La contrainte élastique maximale enregistre une augmentation qui atteint 27% pour le mélange (50%DEEE/50%ABS). La résilience aussi enregistre une augmentation avec l'augmentation de la concentration de l'ABS dans la matrice DEEE et atteint 90% pour le mélange (50%DEEE/50%ABS). Le rajout de » 5% en masse d'huile de lubrification usagée à ces mélanges engendre une de faibles variation de la contrainte élastique maximale et une amélioration de la résistance aux chocs. Enfin, nous avons procédé à l'observation et aux relevés des faciès de rupture par Microscopie Electronique à Balayage MEB

Mots clé - Déchets, environnement, polymère, recyclage

I. INTRODUCTION

Les déchets polymériques issus des équipements électriques et électroniques (DEEE) hors d'usage prend de plus en plus d'ampleur dans notre environnement dont la situation actuelle dégradée n'est pas 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 matériaux et contribuer ainsi à réduire notablement la

consommation des énergies fossiles non renouvelables et polluantes. Il est évident que devant un tel constat inquiétant sur notre environnement et le réchauffement climatique de nombreux et divers travaux scientifiques ont été entrepris à cet effet. La contribution de Yanhong Zheng et al. [1] concerne le recyclage des déchets non ferreux à partir de circuits imprimés (PCB : Printed Circuit Boards) en les utilisant comme charge de renfort à une matrice en Polypropylène. Les tests mécaniques de résistance à la température et de concentration en produit toxiques tel que le plomb qu'ils ont menés les ont fait constater qu'il y'a une nette amélioration des propriétés mécanique de résistance ainsi qu'une meilleure tenue à la température. Ils ont aussi montré que l'ajout jusqu'à 30% de ces déchets peuvent être alors ajoutés sans violer la réglementation environnementale. Xiaoning Yang et al. [2] ont procédé à la pyrolyse et à la déshalogénéation de matières plastiques à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques. Ils ont montré que l'élément halogène contenu dans les DEEE entrave gravement le rythme de recyclage et la déshalogénéation est l'étape clé de toutes les méthodes de recyclage des DEEE.

Pour ce qui relève de la caractérisation de matières plastiques provenant des DEEE, Elisabeth Maris et al. [3] ont eu recours à la spectrométrie infrarouge moyenne (MIR Mid-infrared (MIR) spectrometry) pour désigner chaque type de polymère, et la spectrométrie de fluorescence X pour déterminer la nature et la quantité des retardateurs de flamme et des charges. Étant donné que les matériaux ignifuges bromés dans les polymères issus des DEEE ont été le principal obstacle au recyclage, Chuan Ma et al. [4] ont proposé le recyclage chimique comme méthode écologique de recyclage pour la production de combustibles propres ou de produits chimiques. Ils ont montré que l'intégration de la pyrolyse avec le procédé de mise à niveau catalytique peut fournir des options économiques et environnementales significatives dans la conversion de matières plastiques en matières utiles et de grande valeur. Joana Beigbeder et al. [5] ont étudié l'amélioration d'un dispositif de tri NIR permettant d'atteindre de hauts niveaux de pureté pour trois des plastiques les plus utilisés dans les DEEE: ABS, ABS / PC et HIPS, avec une teneur en impuretés variant entre 5 et 8% en poids. Gent Malcolm

Richard et al.[6] se sont intéressés à la séparation par densité des matières plastiques usées avec les cyclones DMS (*density media separation*) qui est un procédé peu coûteux et hautement efficace pour le recyclage des plastiques soit pour une utilisation directe dans la fabrication, soit pour préparer des fractions pour un traitement ultérieur avec d'autres procédés de traitement. Les travaux de Elisabete Maria Saraiva Sanchez [7] concernent l'effet du vieillissement sur les propriétés des mélanges de polymères en polycarbonate (PC) et en butylène téréphtalate (PBT) largement utilisés dans l'industrie automobile pour leur stabilité à la température et leur résistance aux chocs. Ils ont mis en évidence un bon allongement à la rupture après recyclage. Les modules d'élasticité et la résistance à la traction ne sont pas affectés par le vieillissement. L'indice de fluidité est affecté mais sans effets sur les propriétés de moulage. Seule la résistance aux chocs est affectée. Ils ont aussi montré que certaines propriétés sont récupérées après recyclage.

Notre contribution dans un tel contexte de la préservation de l'environnement par recyclage de déchets polymériques, a pour objectif la valorisation par recyclage de polymères provenant des déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE). Le procédé consiste, dans un premier temps à la récupération, sans tri ni sélection, des carcasses de ces équipements en polymères qui seront broyés pour former la matière première de base. La seconde étape consiste à rajouter ces déchets à une matrice polymère ABS (Acrylique Butadiène Styrene) à différentes concentrations pour former les mélanges. Ces mélanges sont ensuite injectés pour réaliser des éprouvettes de traction et de résilience qui ont permis de procéder à la caractérisation mécanique et morphologique de chaque mélange. Les courbes contraintes-déformations sont obtenues par essai de traction. Ces courbes sont ensuite analysées pour déterminer la variation du module d'élasticité, de la contrainte élastique maximale et de l'allongement à la rupture. Des essais de résilience ont été entrepris afin de déterminer la résistance aux chocs. L'analyse de la microstructure des faciès de rupture a été effectuée sur les images obtenues par MEB. Une étude comparative est alors entreprise pour évaluer l'impact de la concentration d'ABS dans la matrice DEEE sur les propriétés des mélanges.

II. MODE OPERATOIRE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAL

A. Récupération des déchets et réalisation des mélanges.

Les déchets polymériques sont récupérés des équipements électroniques et électriques réformés et entreposés à ciel ouvert dans l'environnement. Nous avons considéré dans un premier temps les déchets en vrac puis au tri et à la sélection pour ne considérer que l'ABS.

Nous avons aussi choisi de rajouter de l'ABS à la matrice DEEE et dont le choix est motivé par le fait qu'une partie importante de ces déchets est constitué d'ABS. Après broyage, nous avons rajouté à la matrice DEEE de l'ABS aux concentrations de 20, 40, 50, 60, et 80%. Le mélangeage s'est fait d'abord à froid en plaçant tous les

composants dans un cylindre à rotation aléatoire, puis à chaud par extrusion pour former des joncs qui seront à nouveau broyés. Ces mélanges constituent les matières premières dont on va étudier les propriétés mécaniques au travers des éprouvettes qui seront élaborées par injection. L'huile de lubrification usagée est rajoutée après lavage et séchage et broyages des DEEE. Une observation au microscope électronique à balayage (MEB) des faciès de rupture permettra d'identifier les phases existantes et le mode de rupture puis de corroborer les résultats obtenus lors des essais de traction et de résilience.

B. Elaboration des éprouvettes

Des éprouvettes normalisées de traction et de résilience sont réalisées par injection. Les paramètres de la machine d'injection sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. Paramètres de la presse d'injection

Températures				
Alimentation	Plastification	Pompage	Filière	
180 C°	200 C°	220 C°	250 C°	
Pressions				
Injection	Maintien		Contre pression	
100 Bar	80 Bar		16 Bar	
Temps				
Injection	Maintien	Refroidissement	Ouverture u moule	Fermeture
1,5 s	2,8 s	16 s	1,0 s	0,3 s

a) Eprouvettes de traction

La géométrie et les dimensions des éprouvettes de traction (Schéma 1) ont été réalisées conformément à la norme *NF EN ISO 527-2*. La vitesse de traction est fixée à 10mm/mn.

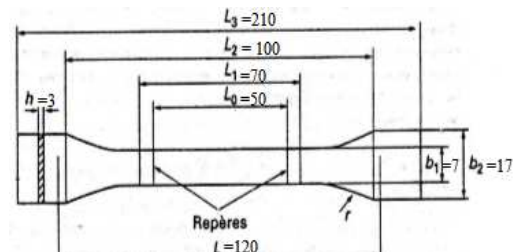


Schéma 1 Géométrie des éprouvettes de traction conforme à la norme *NF EN ISO 527-2*

b) Eprouvettes de résilience

Dans le cas des éprouvettes de résilience (entaille en V) pour essai Charpy (Schéma 2) leur géométrie et leurs dimensions ont été réalisées conformément à la norme *NE 3.03.070* selon la Méthode 3A. Nous avons utilisé un mouton pendule ZWICK 5102 conforme à la norme *DIN 51222*

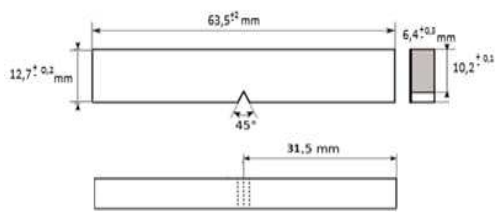


Schéma 2 Géométrie des éprouvettes de résilience

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Courbes contraintes-déformations

Les essais de traction sont effectués sur cinq échantillons d'un même mélange. Aux erreurs près qui sont de l'ordre de 11,7% pour l'allongement et de 9,9% pour la contrainte élastique maximale, la figure 1 montre bien, qu'il y a globalement répétitivité des résultats. L'absence du plateau de plasticité est aussi très visible. Ces résultats concernent des essais de traction sur les échantillons du mélange 100%DEEE.

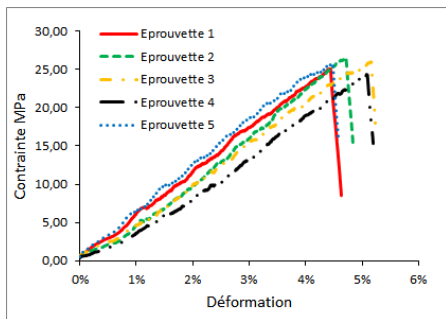


Fig. 1. Répétitivité de l'essai de traction des échantillons du mélange 100%DEEE

La figure 2 représente les résultats des essais de traction sur les échantillons d'ABS vierge, recyclé et ABS recyclé avec huile usagée.

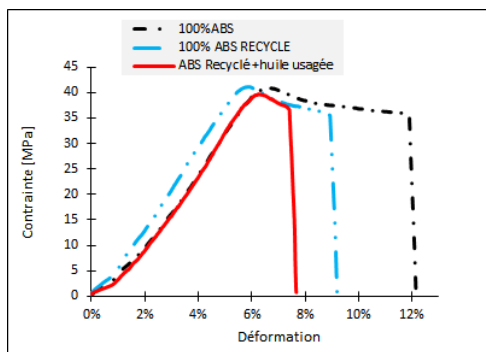


Fig. 2: Courbe Contrainte-Déformation des mélanges de l'abs vierge, recyclé et recyclé avec huile usagée

Les résultats des essais de traction montrent (Fig.2) que l'ABS recyclé sélectionné des déchets enregistre une faible diminution de la contrainte élastique maximale par rapport à l'ABS Vierge. Le même résultat est enregistré avec l'ajout d'huile usagée pour l'ABS recyclé.

Les courbes de la figure 3 montrent que l'ajout d'huile usagée aux DEEE recyclé apporte une amélioration de l'allongement à la rupture avec une faible variation de la contrainte maximale qui est de l'ordre de 4%. On note aussi une faible diminution du module d'élasticité donné par la tangente à la zone élastique de la courbe contraintes-déformations

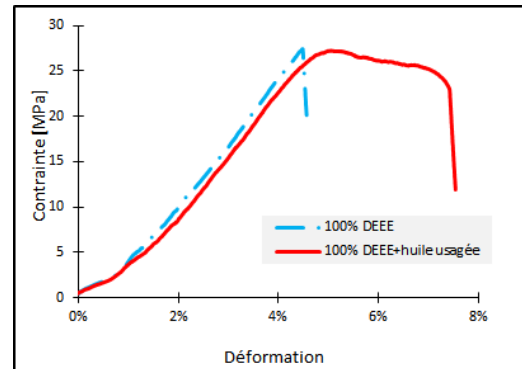


Fig. 3: Courbe Contrainte-Déformation des DEEE et DEEE avec huile usagée

La figure 4 représente la courbe contrainte -déformation du mélange 50%DEEE/50% ABS. On note que l'ajout d'huile usagée engendre une diminution de la contrainte élastique maximale et de l'allongement à la rupture.

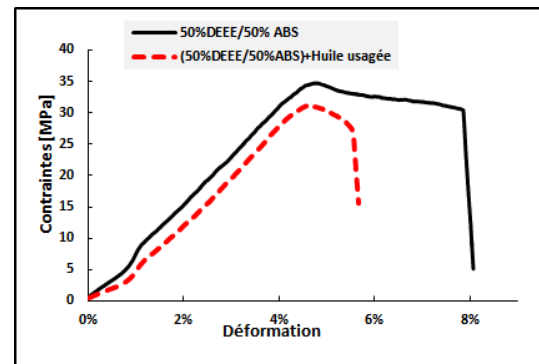


Fig. 3: Courbe Contrainte-Déformation des mélanges (50%DEEE/50% ABS) et (50%DEEE/50% ABS+huile usagée)

III.2 . Contrainte élastique maximale

La figure 4 représente la variation de la contrainte élastique maximale des mélanges DEEE/ABS et DEEE/ABS+huile usagée. Nous constatons que la contrainte élastique maximale augmente avec l'augmentation du taux d'ABS dans les mélanges. On note aussi que l'ajout d'huile usagée dans les mélanges engendre une diminution de cette contrainte sauf pour les DEEE où on enregistre une amélioration de l'ordre de 20%

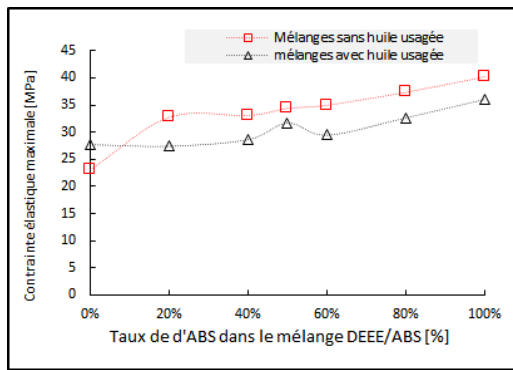


Fig. 4: Variation de la contrainte maximale des mélanges en fonction du taux d'ABS dans la matrice DEEE et DEEE+huile usagée

III.3. Résistance aux chocs

La figure 5 représente les résultats des essais de résilience. On note l'augmentation de la résistance aux chocs avec l'augmentation de la concentration de l'ABS dans le mélange DEEE/ABS. On note aussi l'augmentation de cette résistance aux chocs pour les mélanges contenant l'huile usagée.

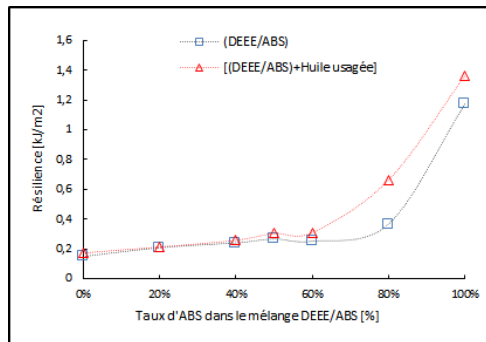


Fig. 4: Variation de la résilience des mélanges en fonction du taux d'ABS dans la matrice DEEE et DEEE+huile usagée

Pour mieux mettre en évidence l'influence de l'ajout d'huile usagée aux mélanges DEEE/ABS et quantifier ces variations, nous considérons le taux de variation de cette résistance aux chocs par rapport à celle de la matrice DEEE/ABS et que nous définissons par la relation (2):

$$\Delta J_e = \frac{J_{\text{DEEE+ABS+huile usagée}} - J_{\text{DEEE+ABS}}}{J_{\text{DEEE+ABS}}}$$

L'histogramme de la figure 6 montre bien que l'huile usagée apporte une nette amélioration de la résistance aux chocs pour les mélanges DEEE/ABS. On enregistre une augmentation de 17,85% pour les DEEE et atteint 81,15% pour le mélange 80%ABS/20%DEEE ;

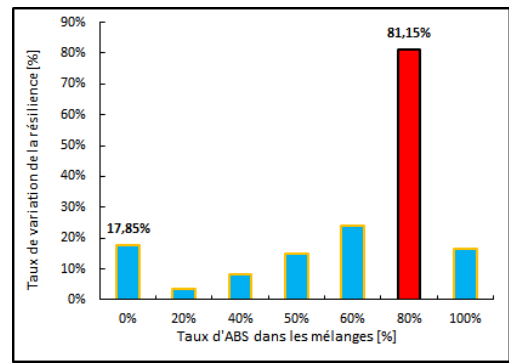


Fig.6. Taux de variation de la résistance aux chocs des mélanges DEEE/ABS et DEEE/ABS+huile usagée

III.4 Observation au MEB

La figure 7, représente le faciès de rupture du mélange 100% DEEE+huile usagée. Nous constatons la présence d'une phase continue de styrène acrylonitrile (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

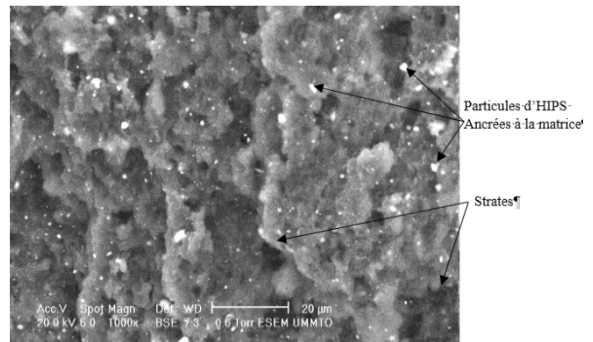


Fig. 7: Morphologies du faciès de rupture du mélange 100% DEEE+huile usagée

La figure 8 représente le faciès de rupture du mélange (40% DEEE/60% ABS).

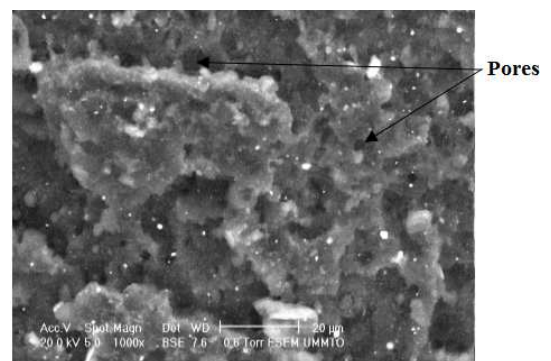


Fig. 7: Morphologies du faciès de rupture du mélange (20% DEEE/80% ABS+huile usagée)

Des pores sont très visibles et qui sont dus à l'arrachement de nodules d'ABS et aussi à un mauvais dégazage. Ce qui

peut expliquer la perte de résilience des mélanges par rapport à l'ABS vierge.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons procédé à la récupération de déchets polymériques issus des équipements électriques et électroniques hors d'usage. Nous avons aussi récupéré des huiles de lubrification usagées que nous avons rajouté à la concentration de 5% en masse aux mélanges. Sachant que l'un des composants de ces équipements est de l'ABS, nous avons choisi de le rajouter à ces DEEE aux concentrations de 20, 40, 50, 60 et 80% dans un premier temps, puis de le sélectionner des déchets et le recycler seul. Les éprouvettes d'essais sont élaborés par procédé d'injection après mélangeage à froid dans un cylindre en rotation aléatoire et à chaud par extrusion. La caractérisation mécanique à travers les essais de traction a montré une faible variation du module d'élasticité pour toutes les concentrations d'ABS dans la matrice DEEE. La contrainte élastique maximale enregistre une amélioration qui atteint 27% pour une concentration de 50% de DEEE. Quant à la résilience elle augmente de 90% pour le mélange (50%DEEE/50%ABS). Nous avons aussi montré que l'ajout de l'huile de lubrification usagée à la concentration de 50% en masse apporte une amélioration de la résistance aux chocs avec de faibles variation de la contrainte limité élastique. L'analyse des micrographies des faciès de rupture par traction a révélé l'existence de pores qui sont dus à l'arrachement de nodules d'ABS et aussi à un mauvais dégazage. Ceci corrobore les résultats obtenus pour la diminution de la résilience par rapport à l'ABS vierge.

REFERENCES

- [1] YanhongZheng, ZhigangShen, ChujiangCai, Shulin Ma, Yushan Xing, *The reuse of nonmetals recycled from waste printed circuit boards as reinforcing fillers in the polypropylene composites* Journal of Hazardous Materials 163 (2009) 600–606
- [2] Xiaoning Yang, Lushi Sun, Jun Xiang, Song Hu, Sheng Su, *Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE)*, Waste Management 33 (2013) 462–473
- [3] Elisabeth Maris, Pierre Botané, Philippe Wavrer, Daniel Froelich *Characterizing plastics originating from WEEE: A case study in France*, Minerals Engineering 76 (2015) 28–37
- [4] Chuan Ma, JieYu , Ben Wang, Zijian Song, Jun Xiang, Song Hu, Sheng Su, Lushi Sun *Chemical recycling of brominated flame retarded plastics from-waste for clean fuels production: A review* Renewable and Sustainable Energy Reviews 61 (2016) 433–450
- [5] Joana Beigbeder, Didier Perrin, Jean-Franc, oisMascaro , José-Marie Lopez-Cuesta *Study of the physico-chemical properties of recycled polymers from waste electrical and electronic equipment (WEEE) sorted by high resolution near infrared devices* Resources, Conservation and Recycling 78 (2013) 105– 114
- [6] Gent Malcolm Richard, Menendez Mario, Torano Javier, Torno Susana *Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones* Resources, Conservation and Recycling 55 (2011) 472–482
- [7] Elisabete Maria Saraiva Sanchez, *Ageing of PC/PBT blend: Mechanical properties and recycling possibility*, Polymer Testing 26 (2007) 378–387