

Valorisation du noir de carbone récupéré des pneus usés

Maëlle Mathieu ^a, Yoan Debaud ^b, Catherine Billotte-Cabre ^{b,c}, Thierry Césaire ^b, Laurence Romana ^b

^a LGT Baimbridge, ^b GTSI Université des Antilles, ^c A2C2 Polytechnique Montréal

Introduction

Dans le monde, il y a 1 milliard de pneus usés générés chaque année. À ce chiffre s'ajoute 4 milliards de pneus usés stockés dans des décharges. En Guadeloupe et Martinique, on estime à 7 890 tonnes la quantité de pneus usés produits par an. Le pneu se compose principalement de caoutchouc, de tissus et d'acier, ainsi que de charges pour améliorer sa résistance mécanique et sa résistance à l'abrasion (noir de carbone). Le recyclage des pneus peut se faire de différentes manières : le rechapage pour réutilisation, le recyclage en granulat, le traitement thermique avec valorisation de la matière. Le pneu peut servir de source d'énergie par la combustion pour diverses industries comme la cimenterie. L'industrie des pneus représente à elle seule près de 65% du marché du noir de carbone.

Le noir de carbone se compose de différentes couches de plans graphène qui se superposent à l'échelle du nanomètre. Il est très utilisé dans les matériaux composites à matrice plastique pour ses propriétés mécaniques et surtout pour son pouvoir absorbant aux UV, permettant aux plastiques de ne pas se dégrader sous l'effet de la chaleur et des rayons du soleil. L'ajout de noir de carbone rend un matériau plus fort en améliorant les propriétés mécaniques. Cet additif peut également rendre le plastique conducteur.

L'objectif global dans lequel s'inscrit ce projet est de remplacer le noir de carbone commercial qui vient d'un procédé pétrolier, par le noir de pyrolyse issu du recyclage des pneus, dans une matrice polymère thermoplastique. De cette manière on obtient un produit 100% recyclable. Le thermoplastique obtenu peut donc en fin de vie être refondu et réutilisé pour la fabrication d'autres matériaux. Le matériau composite utilisé dans le cadre de ces travaux est un assemblage de noir de carbone issu de la pyrolyse des pneus et de matière thermoplastique. Les objectifs spécifiques des travaux sont : tester les propriétés mécaniques du composite et tester les propriétés lubrifiantes du noir de carbone de pyrolyse.

Matériel et méthode

La pyrolyse

La première étape dans le procédé de recyclage des pneus usés est la pyrolyse (Figure 1). Il s'agit d'une décomposition thermique en atmosphère raréfiée.

La pyrolyse des pneus usés permet de les décomposer en trois produits à forte valeur ajoutée : des huiles, du gaz naturel et du noir de carbone. Le procédé Pyrovac (Québec, Canada) a un rendement de 100% basé, toute la matière entrante est transformée. Ce procédé est autothermique (utilisation du gaz produit pour le chauffage)

Le noir de carbone étudié est issu de pyrolyses réalisées à 490-530°C selon 3 pressions différentes ; la pression a un effet sur la quantité de dépôt carbonés qu'il y aura sur le résidu solide (le noir de carbone de pyrolyse).

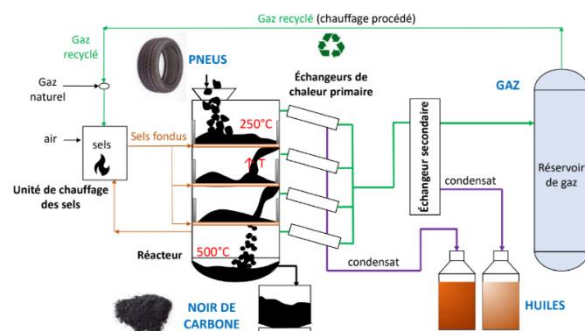


Figure 1 : Schéma du procédé de pyrolyse de Pyrovac Inc.

Le matériau composite

À partir du noir de carbone récupéré par pyrolyse, on peut réaliser différents assemblages avec des matériaux plastiques. Pour cela, on utilise une extrudeuse munie de 2 vis sans fin qui permet de mélanger le noir de carbone et les granules de plastiques fondus pour former les nouveaux matériaux. En sortie de la tête d'extrudeuse, le filament de composite est amené à un granulateur pour la découpe. Les granules obtenus serviront à réaliser des éprouvettes pour les essais mécaniques.

La tribologie

Le noir de carbone possède des propriétés lubrifiantes qui peuvent être évaluées avec la tribologie (science qui étudie les phénomènes de frottement, d'usure et de lubrification).

Nous avons étudié les propriétés tribologiques de trois échantillons de noir de carbone pyrolysés à trois pressions différentes : 13 kPa, 15-20 kPa et 63 kPa. Pour cela nous avons utilisé un tribomètre alternatif à contact sphère-plan (Figure 2). Cet appareil permet de mesurer la force tangentielle qui s'applique au niveau du contact sphère/plan. En effet, le coefficient de frottement du noir de carbone que l'on cherche à déterminer correspond au rapport entre la force tangentielle et la force normale appliquées au point de contact. La force normale étant connue, le logiciel de traitement relié au tribomètre permet de mesurer la force tangentielle, et donc de calculer le coefficient de frottement du matériau testé.

Pour réaliser ce contact sphère-plan, il faut une bille et un plan en acier 100C6, qui seront placés sur leur support respectif (Figure 3). Il est nécessaire de nettoyer la bille et le plan dans un bain d'éthanol, car les matériaux sont stockés graissés afin d'éviter les risques de corrosion. Le plan doit ensuite être dépoli à l'aide d'un disque abrasif, puis rincé dans un bain

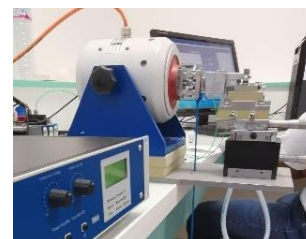


Figure 2 : Tribomètre



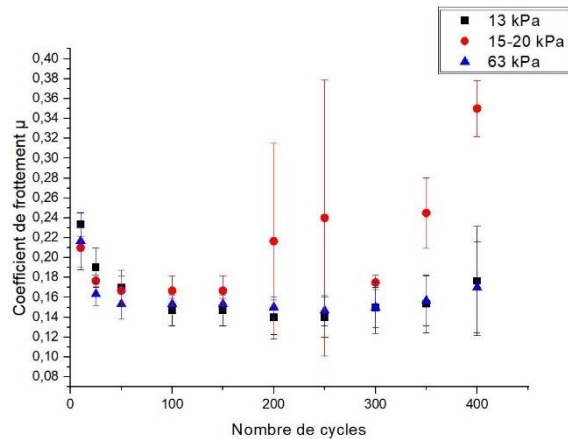
Figure 3 : Contact sphère-plan

d'acétone puis d'éthanol. On dépose ensuite une petite quantité de noir de carbone sur le plan, et on fait le contact avec la bille.

Le microscope électronique à balayage

Le microscope électronique à balayage (MEB) utilise un faisceau d'électrons pour "bombarder" un échantillon. Les électrons secondaires permettent d'étudier la topographie de l'échantillon. On peut obtenir des grossissements élevés allant jusqu'à 5 millions de fois. L'observation des traces d'usure au MEB permet de montrer l'efficacité d'un lubrifiant. En effet, la largeur de la trace est une caractéristique de l'usure. Pour un contact acier/acier, une faible usure correspond selon la théorie de Hertz à une largeur de trace de 140 μm .

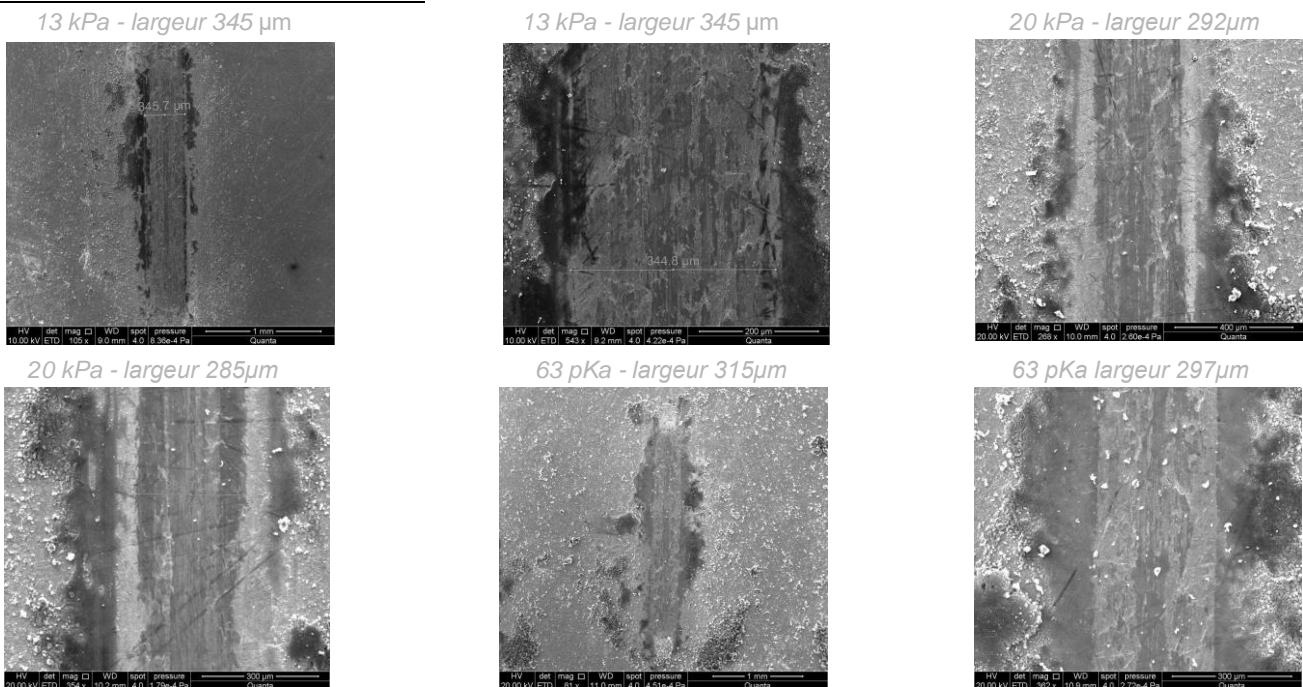
Résultats et discussion



On constate au Graphe 1 que jusqu'à environ 200 cycles, c'est-à-dire 200 allers-retours de la bille sur le plan, les coefficients de frottement sont assez proches pour les 3 échantillons de noir de carbone. On remarque ensuite une nette augmentation du coefficient de frottement pour l'échantillon pyrolysé entre 15 et 20 kPa, montrant que le tribofilme de protection s'est rompu. Cet échantillon possède les moins bonnes propriétés tribologiques. Par la suite, on se rend compte que l'incertitude au niveau du coefficient de frottement pour les échantillons pyrolysés à 13 kPa et 63 kPa a tendance à augmenter. Pour autant, la valeur de leur coefficient de frottement reste proche.

Graph 1 : Propriétés tribologiques

Observation des traces d'usure au MEB



Pour nos particules de noir de carbone pyrolysés selon trois différentes pressions, nous observons une usure avancée puisque les largeurs des traces d'usure avoisinent les 300 μm . Or pour rappel, la théorie de Hertz annonce une faible usure pour un contact acier/acier avec une largeur de trace de 140 μm . Le tribofilme de protection n'est pas homogène : on peut voir différentes épaisseurs de film ainsi que des cassures.

Conclusion

Nous avons évalué les propriétés tribologiques, on se rend compte que, excepté pour l'échantillon pyrolysé à 15-20 kPa, il semble qu'on ait des particules pas encore optimales mais correctes. Avec le microscope électronique à balayage, nous observons que le tribofilme protecteur a cédé dans la plupart des cas. Il est donc nécessaire de mener de nouveaux essais avec possibilité d'ajout de solvant au niveau du contact sphère-plan pour favoriser l'entrée des particules de noir de carbone dans le contact.