



**3<sup>ème</sup> CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR L'ÉNERGIE, LES MATERIAUX, L'ÉNERGÉTIQUE  
APPLIQUÉE ET LA POLLUTION (CIEMEAP'2016)**

**CONSTANTINE, ALGERIE,**

**30-31 Octobre 2016**

**3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY, MATERIALS, APPLIED ENERGETICS AND POLLUTION  
(ICEMAEP'2016)**

**CONSTANTINE, ALGERIA,**

---

## Etude du comportement mécanique de matériaux composites à matrice polypropylène et charges minérales recyclées

F. Djeddi<sup>1</sup>, M. Mohellebi<sup>2</sup>, A. Ouibrahim<sup>3</sup>

#Laboratoire Energétique Mécanique et Matériaux-LEMM, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie

<sup>1</sup>fadilamohellebi@yahoo.fr, <sup>2</sup>Mohellebi\_mouloud@yahoo.fr, <sup>3</sup>ouibraa@yahoo.fr

### RÉSUMÉ

*Résumé* : Dans ce travail, on s'intéresse à l'influence de la nature de la charge sur le comportement mécanique de matériaux composites à matrice polypropylène homopolymère (PPH). On procède au rajout de charges minérales qui sont, la fibre de verre, la poudre de verre récupérée des lampes à néon usagées et de la chaux. Ces charges sont rajoutées aux concentrations de 5 et 10% à la matrice PPH. Le mélangeage a été effectué à froid puis à chaud par extrusion. L'élaboration des éprouvettes a été effectuée par procédé d'injection après broyage du produit d'extrusion. La caractérisation mécanique des échantillons a montré que la fibre de verre engendre une amélioration du module d'élasticité aux concentrations de 5 et 10%. Pour la chaux et la poudre de verre, les variations sont relativement faibles. La contrainte élastique maximale est faiblement affectée par la fibre de verre. Par contre elle diminue pour la chaux et la poudre de verre. Concernant la résilience, on enregistre un gain de 25% pour la fibre de verre, une diminution de l'ordre de 20% pour la poudre de verre et une faible variation pour 10% de chaux. L'analyse des faciès de rupture par MEB a révélé le caractère fragile de la rupture par traction des différents mélanges.

**Mots-clés** : charge, chaux, composite, fibre, MEB, mélange, polymère, recyclage, verre.

---

### Nomenclature

PPH : Polypropylène Homopolymère	CH : Chaux
FV : fibres de verre	$\sigma_{\max}$ : Contrainte élastique
PV : Poudre de verre	$J_e$ : Résilience

---

## 1. INTRODUCTION

Les polymères sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne. Les innovations dans ce domaine pour satisfaire les exigences des réalisations technologiques ne cessent de croître et les polymères conventionnels ne suffisent souvent pas à répondre aux exigences en termes de rapport qualité/prix. Par ailleurs, il faut faire remarquer que les polymères conventionnels sont extraits de produits fossiles pour lesquels il est bien mis en évidence leur impact très négatif sur l'environnement et le réchauffement climatique ; sans compter que leurs réserves diminuent drastiquement. Ainsi, développer un matériau composite à partir de polymères et de charges minérales revient considérablement moins cher que d'en synthétiser de nouvelles molécules. Un moyen non

négligeable pour améliorer les propriétés mécaniques d'un thermoplastique est de lui ajouter des charges. Cette modification permet dans la plupart des cas d'améliorer une ou plusieurs de ses caractéristiques mécaniques. Dans le contexte de la récupération, du recyclage et de la réduction du réchauffement climatique, plusieurs travaux scientifiques ont été conduits à cet effet. Par exemple des travaux se sont intéressés à l'incorporation de déchets polymériques sous forme de particules à différentes matrices polymériques (élastomère, thermoplaste et thermodurcissables) [1], pendant que d'autres [2] ont focalisé leurs recherches sur 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 propriétés mécaniques des fibres de verre courtes renforcées et des mélanges en caoutchouc durcis de (PA6.6)/PP tenant compte des effets du rapport de (PA6.6)/PP ont de même été étudiées [3]. Les mélanges PP/(PA6.6) avec nano particules d'argile comme renfort ont attirés aussi l'intérêt de certaines études [4]. Notre contribution dans un tel contexte a pour objectif l'élaboration puis la caractérisation de matériaux composites à matrice (PPH) avec différentes charges minérales. Nous procédons au rajout de la fibre de verre, de la poudre de verre et de la chaux aux concentrations de 5% et 10% à la matrice PPH. Ces mélanges sont ensuite extrudés pour un mélangeage à chaud puis injectés pour réaliser des éprouvettes de traction et de résilience qui permettront de procéder à la caractérisation mécanique et morphologique de chaque mélange. Une étude comparative sera entreprise pour évaluer la variation des propriétés mécanique avec la nature de la charge.

## 2. MODE OPERATOIRE ET PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### A. Récupération des déchets et réalisation des mélanges.

Les charges sont la fibre de verre découpée, de la chaux du commerce et de la poudre de verre récupérée des lampes à néon usagées que nous avons broyé et mis sous forme pulvérulente. Les charges sont rajoutées à la matrice PPH aux concentrations de 5 et 10%. 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 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.

### B. Elaboration des éprouvettes

Des éprouvettes normalisées de traction et de résilience sont réalisées par injection.

#### a) Eprouvettes de traction

La géométrie et les dimensions des éprouvettes de traction (Schéma1) ont été réalisées conformément à la norme **NF EN ISO 527-2**. La vitesse de traction est fixée à 10mm/mn.

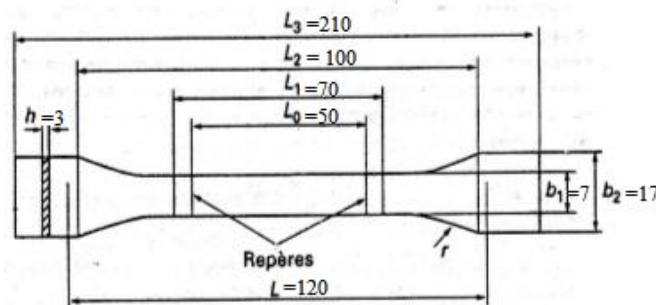


Schéma 1. Géométrie des éprouvettes de traction

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**

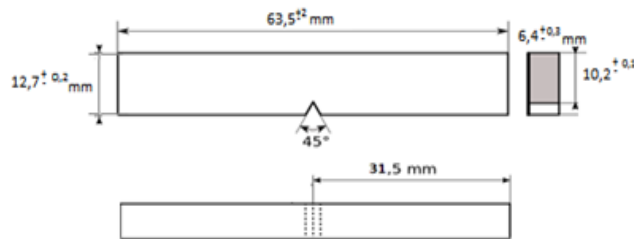


Schéma 2. Géométrie des éprouvettes de résilience

### 3. RESULTATS ET OBSERVATIONS

#### A. Caractérisation et propriétés mécaniques

##### 1) Courbes contrainte-déformation

La figure 1 représente les résultats des essais de traction sur les échantillons des composites à matrice PPH sans ajout puis avec des charges de 5% en fibre de verre, de poudre de verre et de chaux. On observe que l'ajout des charges engendre une diminution de la ductilité.

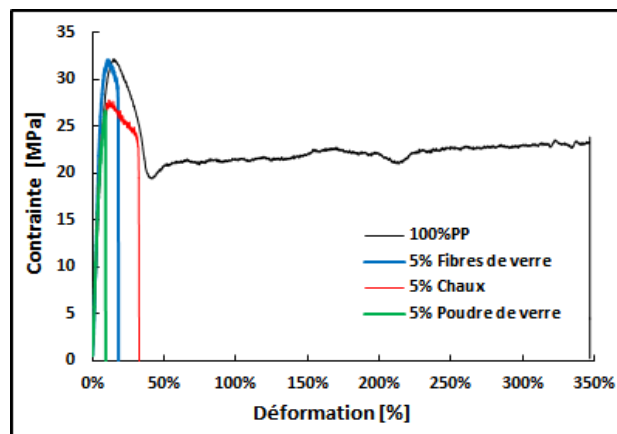


Figure. 1. Courbe Contrainte-Déformation du PPH et des composites à 5% de charges minérales.

##### 2) Essai de résilience

La figure 2 montre que la résistance aux chocs augmente pour la charge en fibre de verre et diminue pour celle de la poudre de verre et encore plus pour la charge en chaux.

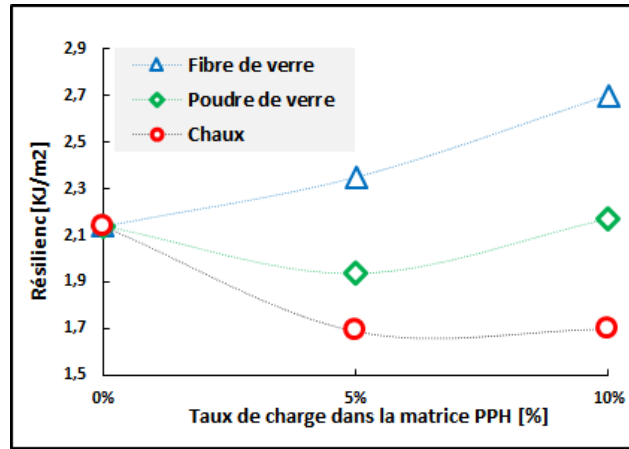


Figure2. Variation de la résilience des composites pour les différentes charges.

#### 4. ANALYSE ET EVALUATION DES RESULTATS

##### 1) Modules d'élasticité

A partir de la figure 1, on extrait les modules d'élasticité en fonction des taux de charge, pour les différents composites que l'on représente alors sous forme d'histogramme (figure 3). On constate une augmentation des modules d'élasticité pour les concentrations de 5 et 10% d'ajout de fibres de verre, une légère diminution pour 5% de chaux puis une augmentation pour 10% de chaux. On constate par contre une diminution pour la charge de 5% de poudre de verre qui remonte légèrement lorsque la concentration passe à 10%.

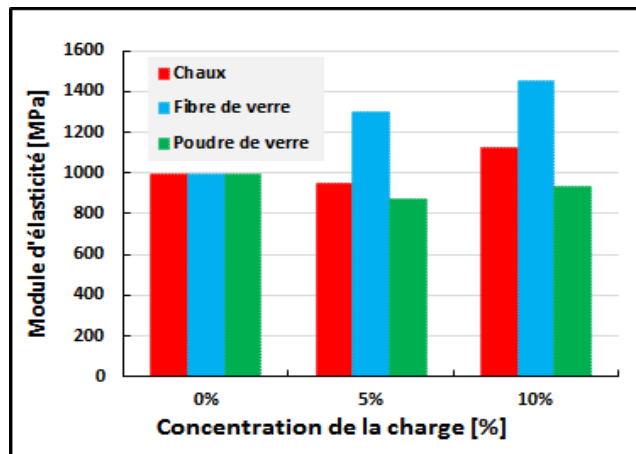


Figure 3. Variation du module d'élasticité des composites pour les différentes charges

##### 2) Allongement à la rupture

A partir de la figure 1 on extrait l'allongement à la rupture pour chaque composite et on le reporte sur la figure 4. On constate sur cette figure que cet allongement diminue significativement pour tous les composites.

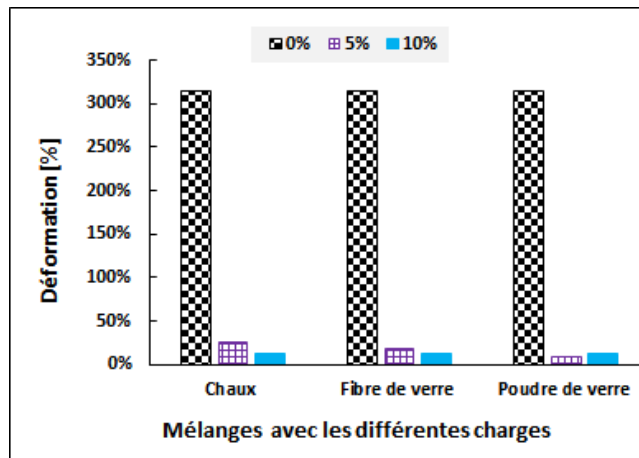


Figure 4 : Variation de l'allongement à la rupture des composites pour les différentes charges

### 3) Contrainte élastique maximale

A partir de la figure 1 on extrait la contrainte élastique maximale pour chaque composite qu'on reporte alors sur la figure 5. On observe sur cette figure que la contrainte élastique maximale est faiblement affectée par l'ajout de la fibre de verre. Par contre elle diminue pour l'ajout de chaux et de poudre de verre.

Pour mieux mettre en évidence et quantifier ces variations de la contrainte élastique maximale  $\sigma_{\max}$ , nous considérons le taux de variation de cette contrainte par rapport à celle de la matrice PPH que nous définissons par la relation suivante.

$$\Delta\sigma_{\max} = \frac{\sigma_{\max}^{\text{matrice+charge}} - \sigma_{\max}^{\text{matrice}}}{\sigma_{\max}^{\text{matrice}}} \quad (1)$$

La figure 6 qui s'en suit montre bien ces taux de variations où on remarque que pour la chaux la diminution ne dépasse pas 15% alors qu'elle atteint 20% pour la charge en poudre de verre tandis que pour la fibre de verre la variation est très faible, pratiquement négligeable.

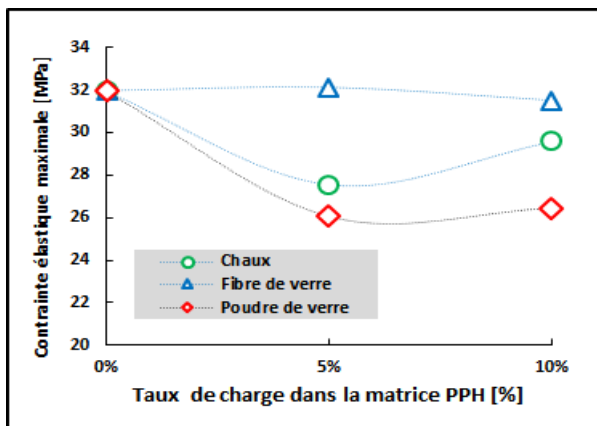


Fig.5 : Variation de la contrainte maximale des composites pour les différentes charges

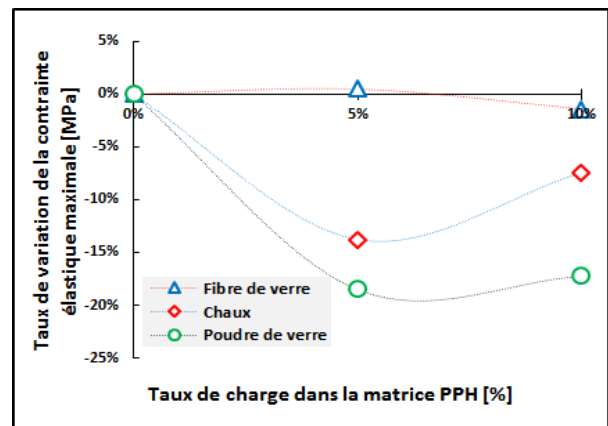


Fig.6 : Taux de Variation de la contrainte élastique maximale des composites pour les différentes charges

#### 4. Résilience

De même, comme pour le taux de variation de la contrainte élastique maximale, on définit aussi le taux de variation de la résilience en considérant une relation analogue à (1) appliquée aux données extraites de la figure 2, soit :

$$\Delta J_e = \frac{J_e^{matrice+charge} - J_e^{matrice}}{J_e^{matrice}} \quad (2)$$

Ainsi, on constate sur la figure 7 que l'ajout de la fibre de verre comme charge à la matrice polypropylène engendre une augmentation de la résilience qui dépasse 26%. Dans le cas de l'ajout de poudre de verre, on obtient une diminution de la résilience de l'ordre de 20%.

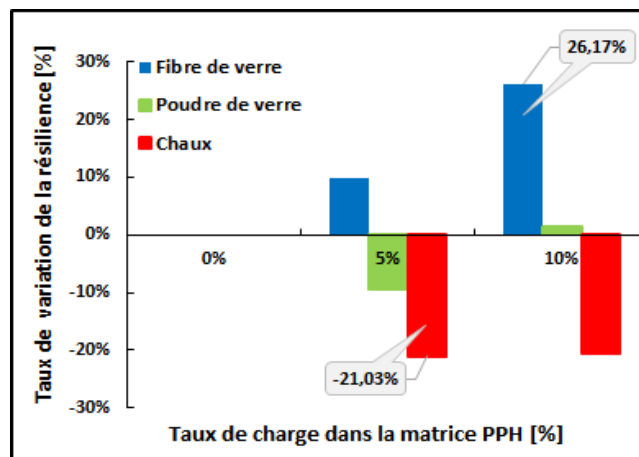


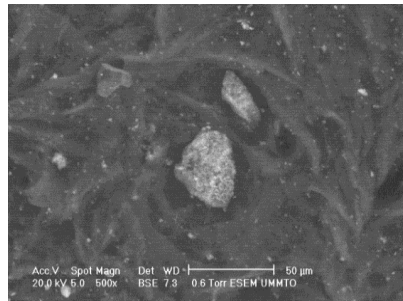
Fig.7 : Taux de variation de la résilience des composites pour les différentes charges

#### B. Morphologique des faciès de rupture

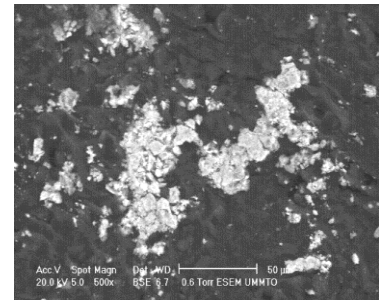
La figure 8 représente le faciès de rupture du mélange 90% PPH/10% FV. Des pores laissés par les fibres de verre arrachées sont très visibles. La figure 9 représente le faciès de rupture du mélange 90% PPH/10% Chaux. Nous remarquons la répartition inhomogène de la chaux dans la matrice qui aura constitué des inclusions fragilisant la structure. La figure 10 représente le faciès de rupture du mélange 95% PPH/5% PV. Nous remarquons la répartition inhomogène de la poudre de verre dans la matrice PPH, ce qui a induit une structure fragile.



**Fig. 8.** Micrographie des faciès de rupture du mélange 90%PP/10%FV



**Fig. 9.** Micrographie des faciès de rupture du mélange 90%PP/10%CH



**Fig. 10.** Micrographie des faciès de rupture du mélange 95%PP/5%PV

## 5. CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à l'effet des charges minérales sur le comportement du PPH. Nous avons ainsi procédé au rajout de la fibre de verre, de la poudre de verre et de la chaux aux concentrations de 5% et 10% à la matrice PPH. Les mélanges sont réalisés à froid puis à chaud par extrusion pour former des joncs qui seront broyés. Les éprouvettes sont réalisées par injection. Nous avons ensuite effectué une caractérisation mécanique via l'essai de traction et de résilience et une analyse des faciès de rupture obtenus par observation au MEB. La caractérisation mécanique des échantillons a montré que toutes les charges (fibre de verre, poudre de verre et chaux) engendrent une diminution importante de la ductilité. Nous avons aussi montré que la fibre de verre engendre l'augmentation du module d'élasticité de la contrainte maximale ainsi que de la résilience. La chaux apporte une petite amélioration du module d'élasticité avec une diminution de la contrainte maximale. Par contre la poudre de verre engendre la diminution des caractéristiques mécaniques. L'analyse des faciès de rupture a révélé le caractère fragile des échantillons.

## Références

- [1] S. Ramarad, M. Khalid, C.T. Ratnam, A. Luqman Chuah, W. Rashmi, *Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future*, Progress in Materials Science 72 (2015) 100–140
- [2] Yanhong Zheng, Zhigang Shen, Chujiang Cai, 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
- [3] Naresh Dayma, Bhabani K. Satapathy, Amar Patnaik. *Structural correlations to sliding wear performance of PA-6/PP-g-MA/nanoclay ternary nanocomposites*. Composites : Part B 37 (2006) 182–190
- [4] Shao-Yun Fua, b, c,., Bernd Lauke, Robert K.Y. Lid, Yiu-Wing Maic. *Effects of PA6,6/PP ratio on the mechanical properties of short glass fiber reinforced and rubber-toughened polyamide 6,6/polypropylene blends*. Composites : Part B 37 (2006) 182–190