

## ETUDE DU FROTTEMENT DE ROULEMENT DANS LES POLYMÈRES (APPROCHE EXPÉRIMENTALE)

M. RAHMANI, M. ZIANI<sup>2</sup> & A. YOUSFI<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Univerité de Laghouat, BP G67 Laghouat, rahmanimed2@gmail.com

<sup>2</sup>Univerité de Laghouat, BP G67 Laghouat, mohamedziani52@yahoo.fr

<sup>3</sup>Univerité de Laghouat, BP G67 Laghouat, a.yousfi@mail.lagh-univ.dz

### RESUME

Dans ce travail en utilisant un nouveau tribomètre à cinq billes sur éprouvette plane et en absence totale du frottement de glissement du au spin, nous avons tenté à mesurer expérimentalement les variations du couple de résistance au roulement des billes sur des éprouvettes planes en polymères en fonction de la charge et de la fréquence de passage des billes. Les expériences ont montré que la fréquence critique des polymères testés ne dépend pas du niveau de chargement. Le couple de résistance au roulement dépend de la charge et de la fréquence d'une part et d'autre part il dépend fortement de la morphologie et de la compressibilité du polymère. A la lumière de ces résultats il s'est avéré que le coefficient de frottement de roulement d'un polymère donné est la somme de deux expressions. La première est une constante issue de la loi de coulomb, et la deuxième est une fonction de la fréquence de chargement et qui exprime les manifestations viscoélastiques des matériaux en fonction de la fréquence de chargement.

**Mots clés :** *Frottement, contact roulant, viscoélasticité, polymères*

---

### NOMENCLATURE

Insert here the list of variables used in a table with 2 columns, centered and borders removed. Wherever possible, the 2 columns are of equal length. The symbols must conform to international rules.

<b>Symboles :</b>	$\psi(\omega)$ : fonction de viscoelasticité
C : Couple de résistance au	$\beta$ dépend du modèle viscoelastique
R= rayon de la piste de roulement	$\omega$ : frequence de passage des billes
N : Charge normale (N)	$\alpha$ :coefficient de frottement
<b>Lettres grecques :</b>	$\tau$ temps caractéristique de relaxation
$\mu_r$ = coef frottement global	

---

### 1. INTRODUCTION

Depuis leur apparition, les polymères ont envahi presque tous les domaines technologiques. Ces matériaux se distinguent par rapport aux métaux par leur propre comportement dit viscoélastique. Souvent sous contraintes mécaniques, les polymères possèdent des comportements viscoélastiques non linéaires, que les rhéologues ont tenté avec plus ou moins de réussite de les représenter par des modèles linéaires. Dans les applications tribologiques les polymères techniques ont démontré dans la pratique leur capacité de fonctionnement sous contraintes de contact.

Dans les applications tribologiques les polymères techniques ont démontré dans la pratique leur capacité de fonctionnement sous contraintes de contact. On distingue cependant deux types de frottement : le frottement de glissement (translation d'un corps sur un autre) et le frottement de roulement. Ce dernier est négligeable dans le cas des matériaux métalliques, par contre dans les polymères le frottement de roulement est très important. Ce problème a été traité théoriquement par différentes approches [1-9]:

*Hunter* [7] qui a tenté de modéliser le phénomène en considérant que la résistance au roulement est due à la distribution asymétrique de la pression de contact.

*Yamaguchi* [8] a étudié ce problème en utilisant la méthode des pertes par hystérésis et la théorie de Hertz de la mécanique de contact.

*Knothe et Miedler* [9] ont essayé de résoudre ce problème par la méthode énergétique en déterminant les contraintes normales et tangentielles dans la surface de contact.

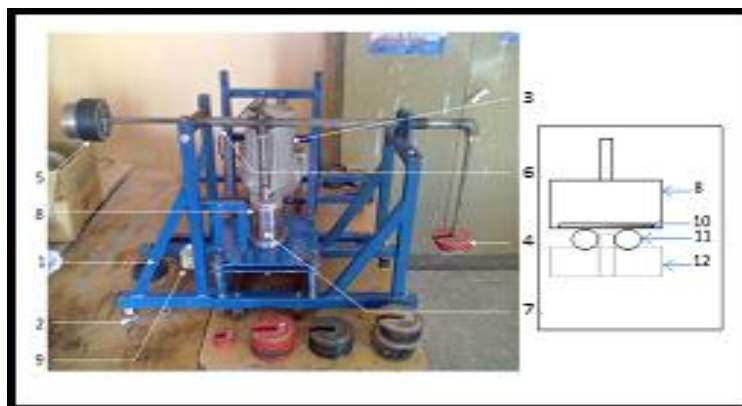
Parmi les approches expérimentales on peut citer celle de *Flom* [10-12] qui a conçu un appareil à trois billes, pour mesurer les pertes d'énergie par frottement de roulement dans le polymère. Le principe de ce montage repose sur la mesure de l'enfoncement des billes dans le polymère. La déformation ainsi mesurée lui a permis de calculer l'énergie perdue par frottement de roulement.

Le problème qui se pose est que l'énergie perdue par frottement de roulement n'est pas due uniquement à la déformation de la surface de contact. Il peut y avoir des pertes d'énergie par fissuration et même par d'autres phénomènes d'ordre morphologique qui sont encore mal connus. Il faut tenir compte de tous les modes de dissipation d'énergie perdue par frottement de roulement.

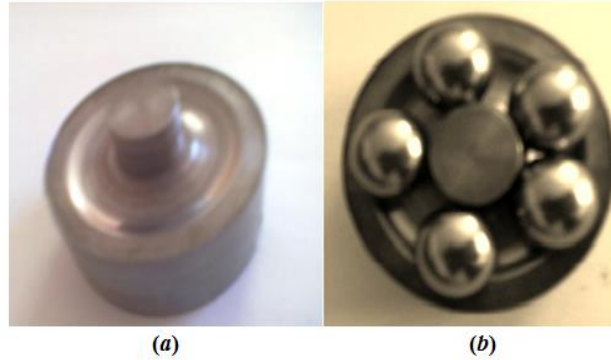
## 2. METHODE EXPERIMENTALE

### 2.1 Montage expérimental

Dans le but de tester les polymères, et sur la base d'une version précédente non optimisée [13] ce tribomètre a été conçu et fabriqué pour un contact billes sur plan (figure 1) dans lequel le spin des billes a été complètement neutralisé et le mouvement des billes sur l'éprouvette plane est un mouvement de roulement pur.



*Fig.1: banc d'essai (tribomètre)*



**Fig.2** *Disque moteur avec une gorge profonde*

1 -support métallique 2 -supports caoutchouteux 3 -moteur électrique 4 -Système de chargement 5 -contrepoids 6 -axe horizontale 7 -cylindre métallique creux contenant l'ensemble des pièces en contact (billes +disque moteur + l'éprouvette) 8 -porte-éprouvette 9 -petit pot 10 -l'éprouvette en polymère 11 -billes en acier 12 -Disque moteur

Le banc d'essai fonctionne avec cinq billes de 12.7 mm de diamètre et de dureté : Hrc58—62. Le disque moteur Figure 2 est la pièce maitresse dans ce banc d'essai, elle est réalisée en (*acier 42 CD4*),

#### **Préparation des éprouvettes :**

Des éprouvettes sous forme de disques de **39 mm** de diamètre ont été découpées avec 3 mm d'épaisseur pour le Pa66 fourni sous forme de tiges cylindriques, Pour l'*Acrylo-Butadiène – Styène* (ABS) un copolymère contenant du caoutchouc, les éprouvettes ont été découpées à partir de pièces moulées par injection. Les éprouvettes de caoutchouc non renforcé ont été découpées à partir d'une chambre à air neuve.

### 3.RESULTATS

Dans le cas du Nylon PA66 (matériau semi- cristallin à l'état vitreux) le couple de résistance au roulement reste relativement faible. Figures 3 et 4 La fréquence critique est de l'ordre de 208 cycles/Sec. Et elle reste la même quelle que soit la charge. L'ABS étant un copolymère qui contient du butadiène de comportement caoutchouteux résiste plus au roulement des billes avec un couple relativement élevé pour la même charge. La fréquence critique est de l'ordre de 250 cycles/Sec. Elle reste la même quelle que soit la charge. Le caoutchouc non renforcé fourni un couple de résistance au roulement de l'ordre de cinq fois celui du Nylon PA66 pour la même charge. La fréquence critique n'a pas été atteinte même avec la vitesse maximale du banc d'essai 6640 Tr/min soit 268.33 cycles/Sec. On constate que pour chaque polymère étudié, les courbes ont presque toutes la même forme et la même tendance quelle que soient la charge et la vitesse.

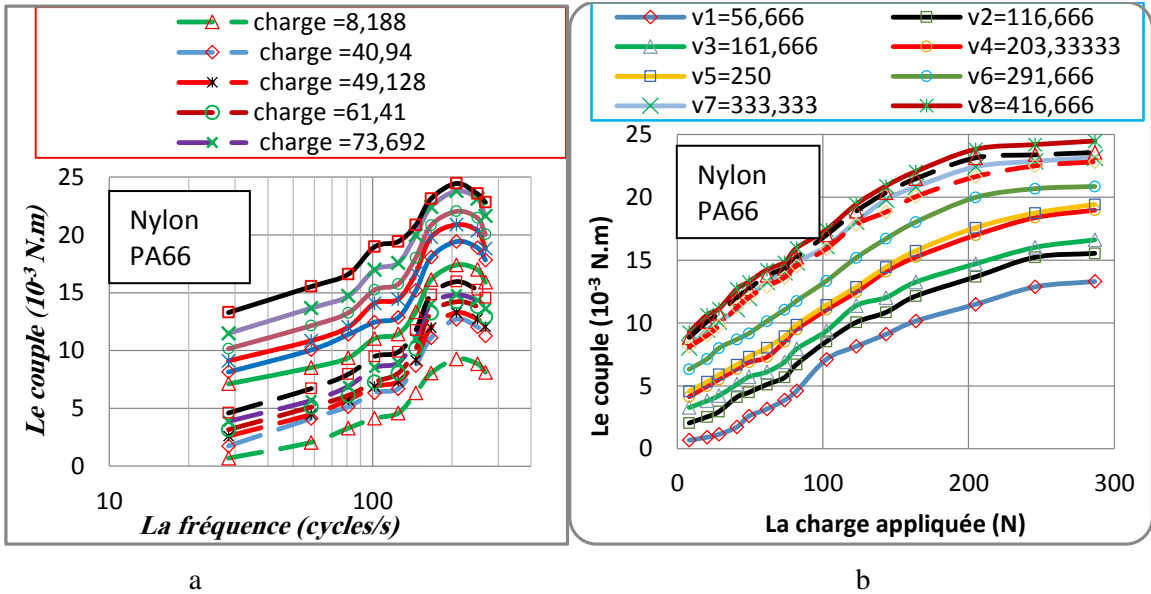


Figure 3(a,b) Couples de résistance du nylon PA66 au roulement des billes en fonction de la fréquence de chargement (a) et en fonction de la charge appliquée (b).

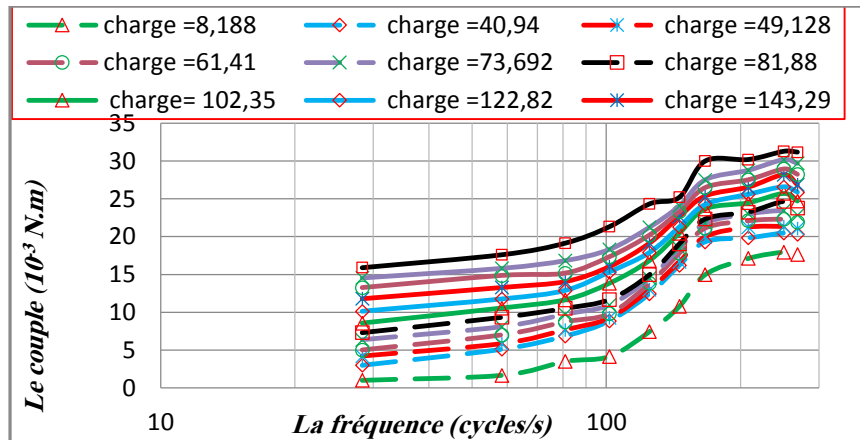


Figure 4 Couple de résistance au roulement sur l'ABS en fonction de la fréquence de chargement.

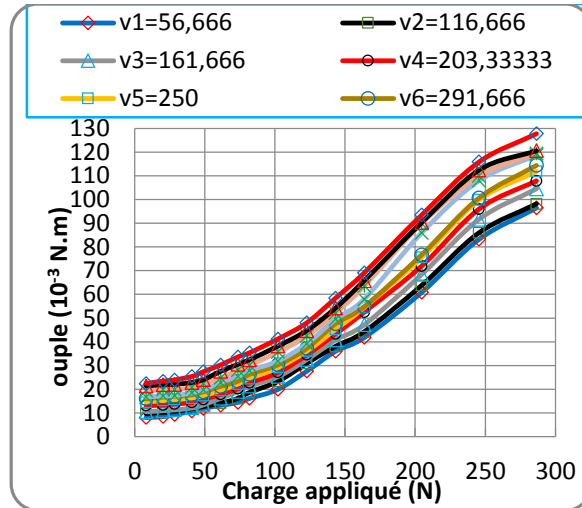


Figure 5 Couple de résistance au roulement sur le Caoutchouc en fonction de la charge N

Le couple de résistance au roulement des billes s'atténue dans le cas des charges élevées. Dans le cas des caoutchoucs le couple de frottement continue à augmenter. Et la fréquence critique de chargement est la plus élevée. En soustrayant la courbe moyenne des couples de chacune des courbes nous obtenons à chaque fois une courbe pratiquement constante qui ne dépend pas de la fréquence Figure (6) pour le PA66, pour le caoutchouc et l'ABS. Respectivement. Le couple de frottement de roulement peut alors être exprimé par l'équation suivante :

$$\frac{C}{R} = \alpha N + f(N, \omega) \quad (1) \quad \text{Où : } R=0.013m$$

$\alpha$  n'est autre que la pente prise dans la partie droite des courbes qui présentent le couple en fonction de la charge normale figures (4,6,8)

$f(N, \omega)$  est une fonction qui exprime les manifestations viscoélastiques des polymères

En utilisant les modèles viscoélastiques linéaires, la fonction  $f(N, \omega)$  deviendra :

$$f(N, \omega) = N \cdot \psi(\omega) \quad (2)$$

Et le coefficient de frottement de roulement  $\mu_r$  deviendra :

$$\mu_r = \alpha + \psi(\omega) \quad (3)$$

Et d'après [14] et [15]

$$\psi(\omega) = \beta \frac{\omega\tau}{1+(\omega\tau)^2} \quad (4)$$

$$\mu_r = \alpha + \beta \frac{\omega\tau}{1+(\omega\tau)^2} \quad (5)$$

Le paramètre  $\beta$  dépend du modèle linéaire choisi pour représenter le comportement viscoélastique du matériau et  $\tau$  est le temps caractéristique de relaxation qui est une caractéristique du matériau.

La fonction  $\psi(\omega)$  est en relation directe et même de proportionnalité avec le module de perte viscoélastique du matériau, et lorsque le produit  $\tau\omega=1$ , la fonction  $\psi(\omega)$  passe par son maximum

Lorsque le matériau n'est pas viscoélastique l'équation (5) se réduit au modèle proposé par Knothe et Miedler [9], c'est à dire lorsque ( $\tau=0$ ). Le paramètre  $\alpha$  ainsi que le modèle proposé par Knothe et Miedler [9] risquent de surestimer le coefficient de frottement pour les charges élevées car la pente s'atténue beaucoup figures (3 et 5). Et surtout pour les polymères non caoutchouteux (Nylon).

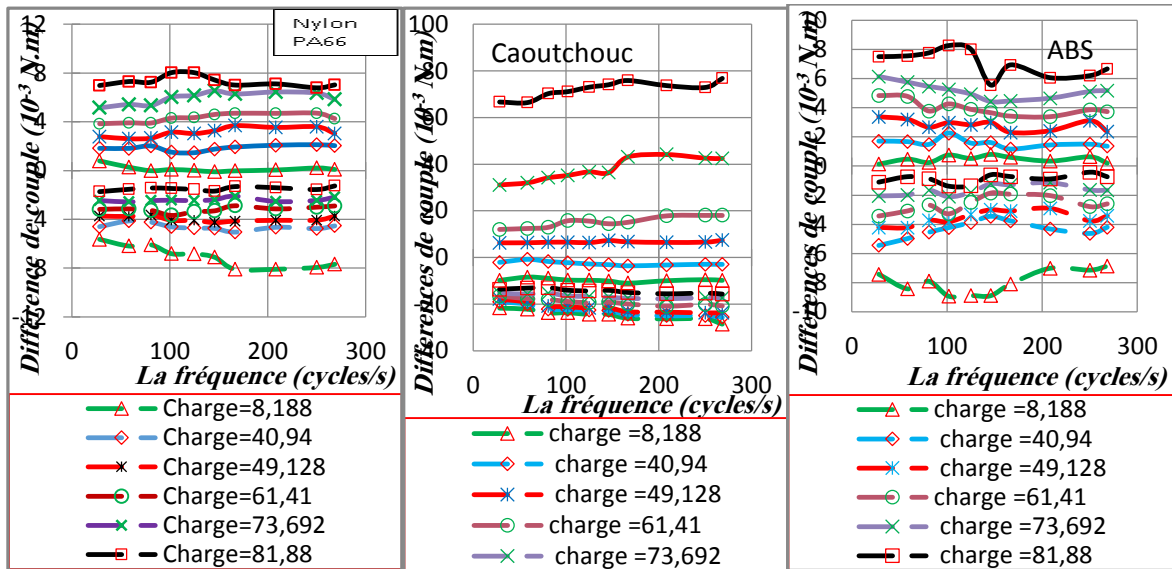


Figure 6 Différences des couples de résistance au roulement des billes du PA66, du Caoutchouc et de l'ABS en fonction de la fréquence de chargement.

#### 4. CONCLUSIONS

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Les matériaux caoutchouteux sont les plus résistants au roulement.
- Pour les polymères non caoutchouteux et Nylon le couple de résistance au roulement reste stable au-delà d'un certain niveau de chargement
- Le coefficient de frottement de roulement se compose de deux parties une constante valable pour tous les matériaux, et une autre qui exprime le comportement viscoélastique et concerne surtout les polymères.

#### REFERENCES

- [1] L. W. Morland, « Exact Solutions for Rolling Contact between Viscoelastic Cylinders, » Q. J. Mech. Appl. Math., Vol. 20, Part 1, pp.73-106. 1967.
- [2] I. G. Goriacheva, «Contact Problem of Rolling of Viscoelastic Cylinder on a Base Of The Same Material» PMM 37, N°. 5.
- [3] C. Panek et J. J. Kalker, «Three-dimensional Contact of a Rigid Roller Traversing A Viscoelastic Half Space,» J. Inst. Math. Applies., Vol. 26, pp. 299-313, 1980.
- [4] K.L. Johnson, «Tangential tractions and micro-slip in rolling contact» rolling contact phenomena, Amsterdam, Elsevier. Pub. Co, p.6,(1962).
- [5] D. Tabor, «The Mechanism of rolling friction» Philosophical Magazine, series7, vol. 43, pp. 1055-1059, 1952.
- [6] D.G. Form, «Rolling friction of polymeric materials» J. of Appl. Phy. Vol. 31, pp.306-314. 1960.
- [7] S.C., Hunter, « The Rolling Contact of a rigid Cylinder with a viscoelastic Half Space » ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 28, N°.4, pp. 611-617. 1961.
- [8] Y. Yamaguchi, «Tribology of Plastics Materials» Tribology series Vol. 16, edition Elsevier, P34, 1990.
- [9] K. Knothe, U. Miedler «Analytische Näherungsformeln für den Rollwiderstand

elastischer und viskoelastischer Walzen» Konstruktion 47, 118-124, 1995.

- [10] DG. Flom Rolling Friction of Polymeric Materials. I. Elastomers, J. Appl. Phys. 1960; 31(2),
- [11] DG Flom,. Rolling Friction of Polymeric Materials. II. Thermoplastics, J. Appl. Phys. 1961; 32(8), pp. 1426-1436.
- [12] D.G. Flom, «Dynamic Mechanical Losses in Rolling Contacts» rolling contact Phenomena. Amsterdam: Elsevier pub Co., 1962.
- [13] Rahmani, M, Tribomètre à trois billes pour le frottement de roulement. Algerian patent 2005; PCT/DZ2005/000003
- [14] Valentin L. Popov «Contact Mechanics and Friction », Physical Principles and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [15] K. L. Johnson. «Contact Mechanics». Cambridge University Press, 1985, 452