

---

# La Tribologie : Fondamentaux et Applications Complexes

29-31 mai 2013, École Centrale de Lyon, Écully, France

---

## ETUDE TRIBOLOGIQUE SUR DES LUBRIFIANTS SOLIDES A HAUTE TEMPERATURE DANS DES MACHINES DE DETENTE

### **TRIBOLOGICAL STUDY ON SOLID LUBRICANTS AT HIGH TEMPERATURE USED IN EXPANSION MACHINE**

**A. Legros<sup>1,2,3</sup>, H. Zaïdi<sup>2</sup>, M. Diny<sup>1</sup>, M. Diaby<sup>1</sup>, V. Lemort<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> PSA Peugeot Citroën, La Garenne, 18 rue des Fauvelles, La Garenne Colombes, France

<sup>2</sup>Institut Pprime, Université de Poitiers, boulevard Pierre et Marie Curie, Chasseneuil, France

<sup>3</sup>Laboratoire de thermodynamique, Université de Liège, chemin des chevreuils, Liège,  
Belgique

#### **Résumé**

Dans le cadre de la conception d'un expandeur dédié à la récupération d'énergie à l'échappement d'un moteur à combustion interne, une étude sur des lubrifiants solides a été menée afin de choisir le couple de matériaux adéquat pour le joint principal de la machine. Ce joint doit assurer à la fois une fonction d'étanchéité interne et limiter ainsi les pertes par fuites internes de l'expandeur. Il doit également présenter un coefficient de frottement la plus faible possible afin de réduire les pertes par friction. Ce joint est en effet sollicité par des contraintes en frottement plan dans un environnement sous vapeur d'eau à des températures pouvant atteindre 250°C. Ces températures rendent complexe l'utilisation d'huile et le recours à des matériaux auto lubrifiants est dès lors l'unique solution.

#### **Abstract**

*In the context of the development of a new expander dedicated to waste heat recovery, a tribological study on solid lubricants has been conducted. This study aims to choose the adequate materials couple for the seals and its counterface. This seal must provide a good internal sealing in order to have a high efficiency. Moreover, some low friction properties are also required to reduce the frictional losses in the machine. The seal is submitted to severe conditions such as temperatures up to 250°C, under steam environment. Such high temperatures makes the use of liquid lubricants quite difficult. So, auto lubricant material are the best solution.*

#### **1. INTRODUCTION**

Actuellement, dans un moteur à combustion interne, environ deux tiers de l'énergie libérée par la combustion de l'essence est rejeté sous forme de chaleur, soit dans les gaz d'échappement, soit dans le liquide de refroidissement. Les normes européennes tendent à réduire les émissions de polluants et de gaz à effet de serre, ce qui incite dès lors les constructeurs automobiles à améliorer l'efficacité énergétique de leur véhicule.

Afin de profiter de l'énergie disponible à l'échappement, différentes technologies de valorisation peuvent être envisagées. La valorisation de l'énergie peut se faire notamment par

un cycle de Rankine dont les gaz d'échappement constituent la source chaude du cycle. Le cycle de Rankine est prometteur comme plusieurs travaux l'ont montré [1].

Le cycle de Rankine est composé d'une pompe, de deux échangeurs et d'un expandeur accouplé à la génératrice. Le cœur du cycle de Rankine consiste en l'expandeur qui va assurer la production de travail mécanique. Actuellement, le marché des machines d'expansion volumétrique est limité et aucune machine de détente adaptée aux conditions de récupération d'énergie sur gaz d'échappement n'est disponible sur le marché. Le développement d'une nouvelle machine d'expansion est dès lors nécessaire.

La tribologie, et plus particulièrement l'étude des lubrifiants solides à haute température, peut intervenir afin d'identifier les couples de matériaux adéquats pour réaliser les joints de la machine de détente du cycle. Cela permet de réduire les pertes globales de la machine et d'en améliorer le rendement. En effet, certains joints sont soumis à des conditions de fonctionnement sévères.

Le joint principal, appelé « tip seal » dans la littérature anglophone, est présenté à la Fig. 1. Ce joint possède une double fonction. Premièrement il assure l'étanchéité entre les différentes chambres d'expansion de la machine et il assure donc une efficacité élevée de celle-ci en réduisant les pertes par fuites internes. Sa seconde fonction est de minimiser les pertes par friction. En effet, ce joint se positionne dans une gorge en haut des spirales et sera sollicité en frottement lors de l'utilisation de la machine. Afin de ne pas dégrader trop fortement le rendement de l'expandeur, il convient donc d'étudier avec attention le matériau de ce joint et le revêtement de la contreface. Il faut finalement noter que ce joint est soumis à un gradient de température important. En effet, la partie centrale peut être chauffée à 250°C alors que l'extrémité du joint peut être à 100°C.



**Fig. 1 :** Joint "tip seal" à droite et présentation de la gorge à gauche

*On the right is a tip seal and on the left, the place where the seal is placed in a scroll compressor*

## 2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Une étude tribologique sur des couples de matériaux est proposée afin de déterminer le couple de matériaux adéquats pour la définition du joint. Les propriétés recherchées sont un coefficient de frottement et un taux d'usure faibles sur une plage de température allant de la température ambiante jusqu'à 250°C pour des pressions de contact relativement faible – 0.3 MPa – et de vitesse de glissement de l'ordre de 1 à 2 m/s. Ces conditions de fonctionnement ont été déterminées par une modélisation complexe de la machine de détente au moyen de laquelle les conditions extrêmes ont été simulées [2].

Afin d'étudier les propriétés des différents couples de matériaux, des tests sur un tribomètre pion-disque sont réalisés. Il s'agit d'un tribomètre CETR et il est présenté à la Fig. 2. Ce tribomètre permet de réaliser des essais de type pion sur disque dans une enceinte chauffée et dans laquelle un lubrifiant liquide peut être ajouté. La vitesse de frottement, la pression de contact, la température et l'environnement sont contrôlés.



**Fig. 2 :** Tribomètre CETR

*CETR tribometer*

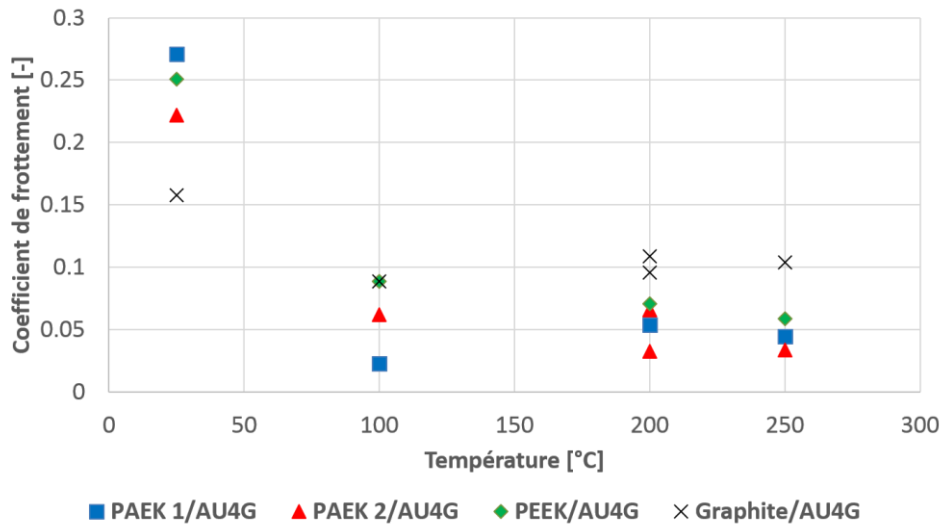
Plusieurs couples de matériaux sont envisagés en se référant aux matériaux les plus adéquats selon la littérature ([3], [4] par exemple). Le disque est composé d'aluminium non revêtu dans un premier temps afin de servir de référence. Différents revêtements seront par la suite testés mais ne seront pas présentés dans cet article. Les pions sont faits dans différents matériaux pouvant supporter des températures élevées, allant jusqu'à 300°C. Il s'agit principalement de matériaux composites à matrice polymère de type PEEK ou PAEK ou de graphite avec additifs. Une variante à base de PEEK ainsi que deux à base de PAEK ont été testées et des échantillons en graphite avec additifs ont été testés sur le tribomètre. Les pions sont constitués du matériau du joint alors que les disques représentent la contreface.

### 3. RÉSULTATS ET OBSERVATIONS

Les premiers essais ont été réalisés en faisant varier la température entre 25 et 250°C, en conservant une pression de contact et une vitesse de glissement constantes. Ces essais se sont déroulés sans utilisation de lubrifiant et le frottement étant donc sec. Le choix de ce type d'essai plutôt que d'un essai lubrifié à la vapeur d'eau, comme ce sera le cas dans l'application finale, peut s'expliquer par le fait que ces essais à sec servent de référence. En effet, le frottement sous vapeur d'eau est très peu abordé dans la littérature et les essais à sec permettront d'observer les changements qu'implique la lubrification sous vapeur d'eau.

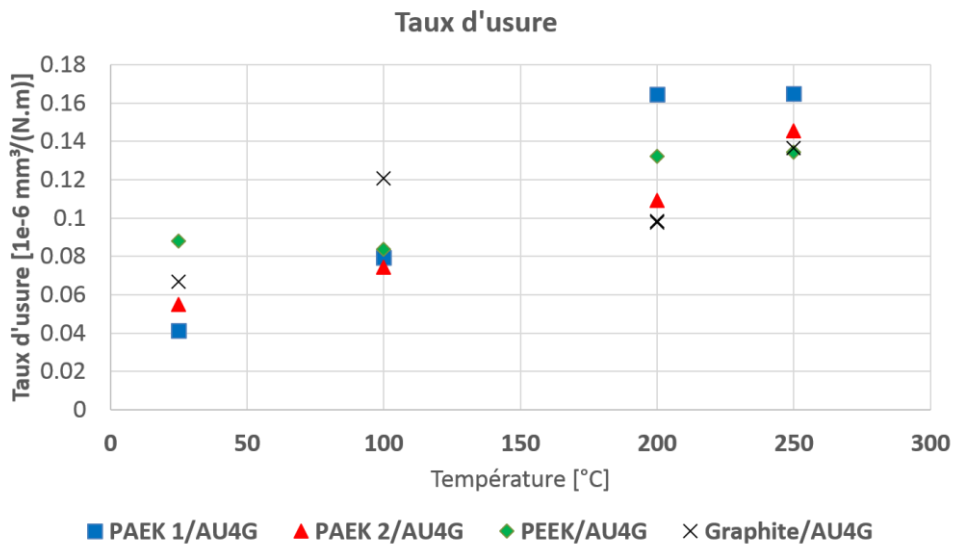
La Fig. 3 présente les premiers résultats des essais à sec pour les différents matériaux sur un disque en aluminium. Le graphite présente des propriétés plus stables à la température comme la figure ci-dessous le montre. Il est également important de remarquer que les composites à matrice polymère ont un coefficient de frottement fortement variable, ce qui est très probablement dû au module de cisaillement qui chute fortement.

Le graphique de la Fig. 4 présente le taux d'usure en fonction de la température. De manière générale, le taux d'usure augmente avec la température. Cependant, l'effet est plus prononcé sur les composites à matrice polymère que sur le graphite, où le taux d'usure n'augmente que très peu.



**Fig. 3 :** Evolution du coefficient de frottement en fonction de la température pour différents composites à matrice polymère en frottement sur des disques en aluminium AU4G. Les autres paramètres de tests sont conservés.

*Evolution of friction coefficient in function of the temperature for different polymer composites in a pin-on-disk test on AU4G aluminum. Other parameters are conserved.*



**Fig. 4 :** Evolution du taux d'usure en fonction de la température pour différents composites à matrice polymère en frottement sur des disques d'aluminium AU4G. Les autres paramètres de test sont conservés.

*Evolution of the wear rate in function of the temperature for different polymer composites in a pin-on-disk test on AU4G aluminum. Other parameters are conserved.*

#### 4. CONCLUSION

Ces premiers tests serviront de référence lors des essais lubrifiés avec de la vapeur d'eau. Cependant, ils montrent déjà quelques tendances intéressantes. En effet, les

composites à matrice polymère présentent une forte variation du taux d'usure en fonction de la température. Le choix du matériau du joint doit être donc judicieux afin que l'usure du joint soit la plus régulière possible et éviter ainsi des fuites après quelques heures d'utilisation de la machine.

## 5. RÉFÉRENCES

- [1] Travaux internes PSA.
- [2] Legros A., Guillaume L., Lemort V., Diny M., Bell I., Quoilin S., « Investigation on a scroll expander for waste heat recovery on internal combustion engines », *International Conference on Compressors and their systems*, 2013.
- [3] Zhang, G., Rasheva, Z., Sclarb, A. K., « Friction and wear variations of short carbon fiber (SCF)/PTFE/graphite (10 vol.%) filled PEEK : Effects of fiber orientation and nominal contact pressure », *Wear*, 2010
- [4] Lancaster, J.K., « A review of the influence of environmental humidity and water on friction, lubrication and wear », *Tribology International*, 1980