



**HAL**  
open science

# Prise en compte des dispersions d'essais dans la modélisation de l'usure superficielle de came pour un contact roulant

Sylvain Cloupet, Luc Chevalier

## ► To cite this version:

Sylvain Cloupet, Luc Chevalier. Prise en compte des dispersions d'essais dans la modélisation de l'usure superficielle de came pour un contact roulant. 17e Congrès Français de Mécanique, 2005, Troyes, France. hal-04276568

**HAL Id: hal-04276568**

**<https://hal.science/hal-04276568v1>**

Submitted on 9 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Prise en compte des dispersions d'essais dans la modélisation de l'usure superficielle de came pour un contact roulant

Sylvain Cloupet<sup>1</sup>, Luc Chevalier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LMT-Cachan

61 av du P. Wilson, 94230 CACHAN cedex

<sup>2</sup>LaM (UE 2545),

Université de Marnes la Vallée, 5bd Descartes, Champs sur Marnes, 77454 Marnes la Vallée Cedex 2

## Résumé :

*Ce travail s'inscrit dans l'étude de la simulation de l'usure de came reproduite sur un banc d'essais. S'appuyant sur le principe du maximum d'entropie, un modèle probabiliste a été mis en place pour prendre en compte les dispersions des essais. Le calcul des inconnues de contact est réalisé pour chiffrer la puissance dissipée locale afin d'appliquer un modèle d'usure dérivé du modèle d'Archard.*

## Abstract :

*This study deals with wear simulation of cam reproduce on a test bench. Due to the fact that there is many uncertainties of experimental parameters, a probabilistic model based on maximum entropy method was introduced. The calculation of unknowns contact are realized to amount the dissipated wear energy and to apply a wear model (Archard law).*

## Mots clefs :

## Usure, contact roulant, approche probabiliste

### 1 Introduction

Nous nous intéressons ici aux phénomènes d'abrasion par glissement rencontrés dans les contacts roulants comme les cames de transferts des préformes de souffleuses de bouteilles plastiques. Nous considérons qu'il y a usure par abrasion du fait du microglissement relatif des corps en contact. Ce microglissement est quantifiable par des quantités appelées pseudoglissement. La simulation de l'usure superficielle, qui fait l'objet d'un logiciel en cours de développement, passe par l'identification d'un modèle d'usure. Pour cela, un banc d'essai reproduisant le contact entre un galet et un rondin cylindrique a été conçu et réalisé. Ce banc d'essai est présenté sur la figure 1. Sa conception est simple. Une éprouvette cylindrique est guidée et entraînée en rotation par un manchon de serrage. Une poulie, solidaire du manchon, est reliée à un moteur triphasé par une courroie. Sur la surface cylindrique de l'éprouvette roulent 3 galets orientés à 120° les uns par rapport aux autres. Le contact galet rondin est chargé par un système de rondelles élastiques. Des capteurs de force piézoélectriques permettent de mesurer la charge. L'ensemble {galet + rondelles élastiques + capteur d'effort + boîtier} représente le dispositif de chargement. Les trois dispositifs de chargements sont indépendants.

Le parti pris retenu pour cette étude consiste à utiliser des méthodes d'analyses et de calculs simples et rapides. Pour cette raison, il est volontairement fait quelques approximations

(justifiées) qui permettent de disposer de solutions analytiques ou d'algorithmes rapides. Cette approche a été présentée par Chevalier & al [1] et dérive de la théorie simplifiée du contact roulant de Kalker [2] et des travaux de Kik et Piotrowski [3]. Cette approche permet de calculer, en fonction des sollicitations, des caractéristiques géométriques des solides en contact, des pseudoglissements et des caractéristiques matériaux, la répartition normale de pression, la répartition des contraintes tangentielles à la surface et la répartition de la vitesse de glissement pour des cas de contact non Hertzien. Pour modéliser la perte de matière due à l'usure, un modèle dérivé des travaux d'Archard [4] est utilisé. Ce modèle est présenté et utilisé dans [5].

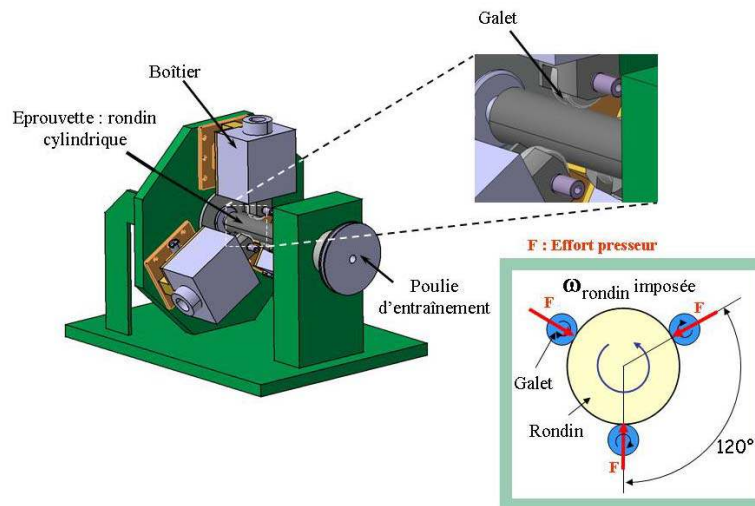


FIG. 1 – Présentation du banc d'usure

Cependant, un certains nombres de paramètres restent incertains ou sont mal maîtrisés et une approche probabiliste est nécessaire pour prendre en compte ces incertitudes. Cette approche s'appuie sur le principe du maximum d'entropie.

## 2 Présentation des résultats

Les résultats présentés dans cet article sont ceux où nous avons d'importantes dispersions : efforts presseur et profils d'usure.

### 2.1 Courbes de chargement

Le chargement de l'éprouvette est effectué par le biais d'un montage de rondelles élastiques et d'un système vis-écrou comme présenté figure 2. Un capteur piézoélectrique permet de mesurer l'effort

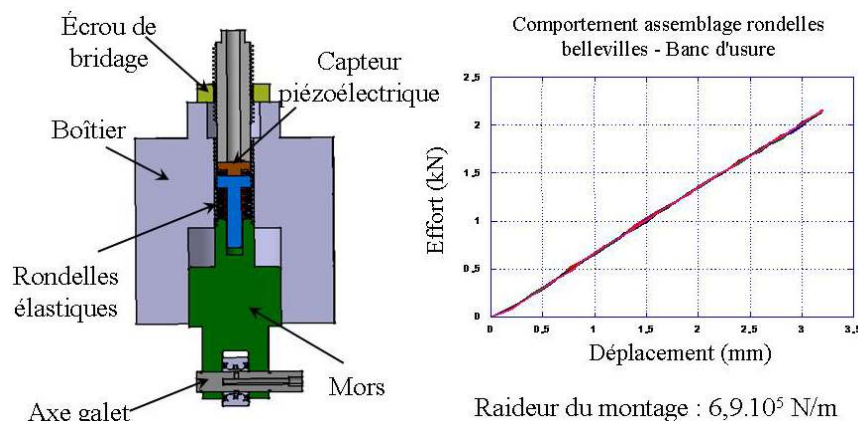


FIG. 2 – Description du système de chargement et raideur de l'assemblage des rondelles élastiques.

Les rondelles assemblées en opposition présentent l'avantage d'avoir un comportement linéaire. La raideur du montage identifiée est de 690 N/mm. Les courbes de chargement des trois galets appliqués sur l'éprouvette cylindrique sont présentées sur la figure 3.

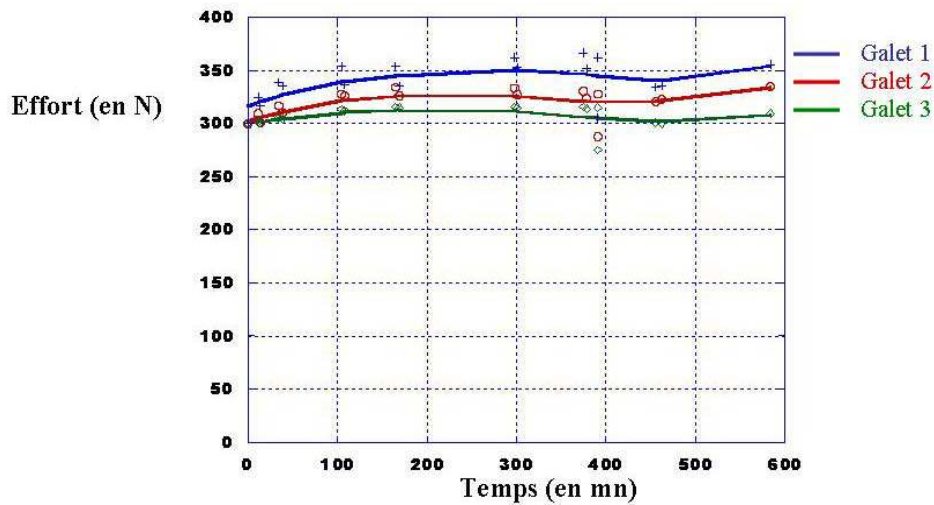


FIG. 3 – Présentation des courbes de chargement de chaque galet. Une courbe de tendance est représentée en trait plein pour chaque galet.

Les fluctuations observées sur la figure 3 proviennent de l'échauffement du boîtier et de l'ensemble du montage au voisinage de la surface de contact. Cela entraîne une dilatation des corps en présence et induit un chargement du fait de la raideur élevée et de la gamme de sollicitation souhaitée. Ce constat est renforcé par la chute de l'effort observée autour de 400 minutes. Cette diminution correspond à l'arrêt de l'essai et donc au refroidissement des pièces.

## 2.2 Profils d'usure

Une dispersion importante est également observée sur les relevés de profils d'usure. La figure 4 présente trois profils d'usure relevés au même instant (450 minutes) pour trois essais effectués dans les mêmes conditions expérimentales. Ces essais ont été réalisés pour un effort de chargement de 300 N et une vitesse de rotation du rondin de 1000 tr/min. Les trois relevés présentent des différences importantes : la largeur varie de 14 mm (pour le premier essai) à 18 mm (pour le troisième essai) et la profondeur varie de 0,028 mm (premier essai) à 0,068 mm (troisième essai). Une dissymétrie est aussi observée.

Les dispersions observées sur ces résultats d'usure peuvent provenir de différentes sources. Tout d'abord, la lubrification mal maîtrisée du chemin de roulement va faire varier fortement le coefficient de frottement. Ensuite, le galet peut osciller autour d'une position d'équilibre du fait de l'angle de rotulage existant dans les liaisons et induire des glissements locaux. Enfin, la fluctuation de l'effort presseur au cours de l'essai peut aussi influencer l'usure.

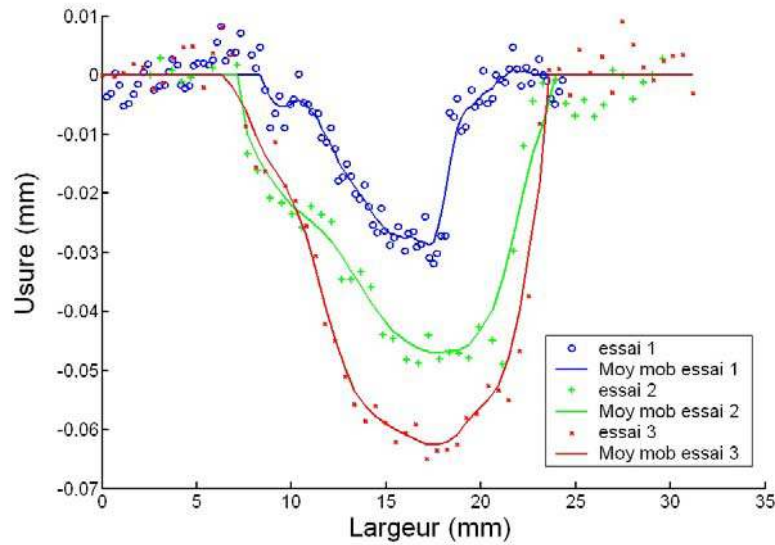


FIG. 4 – Relevés de profils d'usure de trois essais

Pour ces différentes raisons, une approche probabiliste a été mise en place.

### 3 Approche probabiliste

#### 3.1 Description de la méthode

La dispersion de chaque paramètre indépendant peut être décrite par la densité de probabilité associée à chaque variable probabiliste. La construction de cette densité de probabilité est obtenue en appliquant le principe du maximum d'entropie [6]. Si on considère la variable scalaire probabiliste  $X$  associée à la densité de probabilité  $p_X(x)$  nous pouvons définir l'entropie par l'équation 1

$$S(X) = - \int_{[-\infty, +\infty]} p_X(x) \log(p_X(x)) dx \quad (1)$$

Le principe du maximum d'entropie est un outil permettant de trouver la densité de probabilité en cherchant le maximum de  $S(X)$  en fonction des informations connues sur la variable  $X$  comme par exemple le domaine de définition de la variable  $X$ , la moyenne de  $X$  ou l'écart type de  $X$ . Un multiplicateur de Lagrange  $\lambda_i$  sera associé à chaque condition définie par la relation 2

$$E\{g_i(X)\} = \int_{[-\infty, +\infty]} g_i(x) p_X(x) dx = f_i \quad (2)$$

Où les  $g_i(X)$  sont des fonctions qui dépendent des informations connues  $f_i$ . Par exemple, si  $g_i(x) = x$ ,  $f_i$  est la moyenne de  $X$ . On peut montrer que les multiplicateurs  $\lambda_i$  sont obtenues en minimisant la fonction convexe  $H(\lambda_i)$  définie par l'équation 3.

$$H(\lambda_i) = \lambda_0 + f_1 \lambda_1 + f_2 \lambda_2 + \int_{-\infty}^{\infty} 1_{[a,b]} \exp(-\lambda_0 - \lambda_1 g_1(x) - \lambda_2 g_2(x)) dx \quad (3)$$

L'expression de la densité de probabilité est donnée par l'équation 4

$$p_X(x) = 1_{[a,b]} \exp\left(-\lambda_0 - \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x)\right) \quad (4)$$

Classiquement, les informations connues sont le domaine de définition, la moyenne et l'écart type de la variable probabiliste. Cette approche est détaillée dans [7].

### 3.2 Exemple sur l'effort presseur

Les relevés du 2.1 font apparaître un effort moyen de 307 N et un écart type de 32 N. Le système à résoudre pour trouver la densité de probabilité associée à l'effort normal est défini par le système 5

$$\begin{cases} 1 = \int_0^{\infty} p_N(n) dn \\ m_N = \int_0^{\infty} n \cdot p_N(n) dn \\ \sigma_N^2 + m_N^2 = \int_0^{\infty} n^2 \cdot p_N(n) dn \end{cases} \quad (5)$$

Où  $n$  est la variable probabiliste associée à la densité de probabilité  $p_N(n)$ ,  $m_N$  est la moyenne de  $n$  et  $\sigma_N$  est l'écart type de  $n$ . La figure 5 illustre cette densité de probabilité.

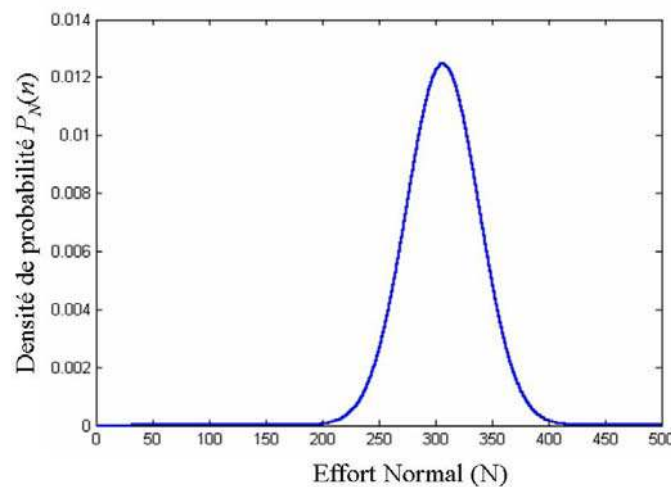


FIG. 5 Densité de probabilité pour l'effort normal N

Le modèle d'usure utilisé est un modèle dissipatif. En s'appuyant sur la loi d'Archard, nous supposons que l'usure est proportionnel à la puissance linéique dissipée. Cette puissance est l'intégrale suivant la direction de roulement du produit de la répartition surfacique des contraintes tangentielles par la répartition surfacique de la vitesse de glissement.

### 3.3 Exemple sur la puissance dissipée.

Le résultat présenté figure 6 provient d'un calcul en état stationnaire d'un contact roulant entre un galet et un rondin auquel nous avons rajouté une distribution stochastique sur le coefficient de frottement. La valeur moyenne et l'écart type considérés sur le coefficient de frottement sont respectivement de :  $m_\mu = 0.1$  et  $\sigma_\mu = 0.02$ .

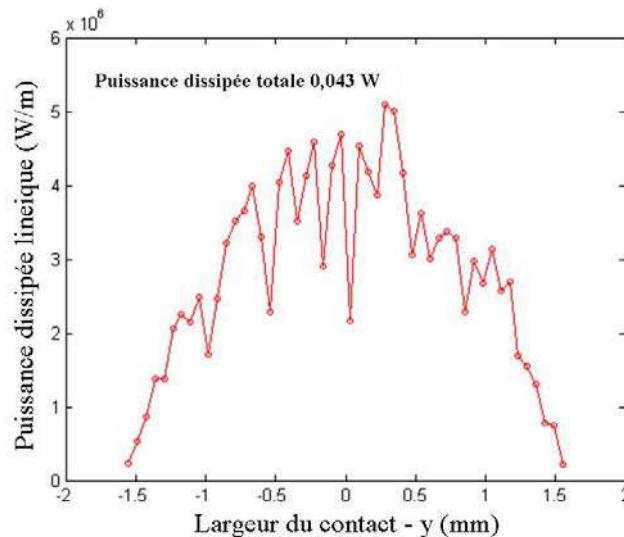


FIG. 6 – Puissance dissipée linéique calculée à partir d’une distribution stochastique sur le coefficient de frottement.

Comme nous supposons la proportionnalité de l’usure avec la puissance dissipée linéique, la dispersion observée sur la figure 6 sera directement distribuer sur le profil usé.

#### 4 Conclusion

Dans cette étude, nous avons montré comment une approche probabiliste peut être mise en place pour quantifier les dispersions sur l’usure. Il existe plusieurs sources de dispersion et de nombreux essais doivent être réalisés : des essais « indépendants » pour quantifier les grandeurs statistiques associées à chaque variable et des essais d’usure pour connaître la dispersion globale sur l’usure. Des essais d’usure et des mesures de coefficient de frottement sont en cours de réalisation.

#### References

- [1] Luc Chevalier, Contributions à la modélisation simplifiée de la mécanique des contacts roulants. Mec. Ind, soumis en oct 2004.
- [2] J. J. Kalker, A Fast Algorithm for the Simplified Theory of Rolling Contact, Vehicle Syst. Dyn. 11 (1982) 1-13.
- [3] Kik W. et Piotrowski J., “A fast approximative method to calculate normal load at contact between wheel and rail, and creep forces during rolling”, Warsaw Technical University, 2nd mini-conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems, Budapest, July 29-31 (1996)
- [4] J.F. Archard, Contact and rubbing of flat surfaces, J. Appl. Phys. 24 (1953) 981–988.
- [5] L. Chevalier, S. Cloupet, M. Quillien, Friction and Wear during a bi-disc test under severe conditions, soumis dans International Journal of Tribology.
- [6] E.T. Jaynes, ‘Information theory and statistical mechanics’, Physical Review, 106 (4) 620-630 and 108 (2) 171-190 (1957)
- [7] L. Chevalier, S. Cloupet, C. Soize, Probabilistic model for random uncertainties in steady state rolling contact, Wear, Volume 258, Issue 10, May 2005, Pages 1543-1554