



**HAL**  
open science

## Une modélisation du troisième corps dans le cas du fretting

Stéphanie Basseville, Olivier Vernhet, Georges Cailletaud

► **To cite this version:**

Stéphanie Basseville, Olivier Vernhet, Georges Cailletaud. Une modélisation du troisième corps dans le cas du fretting. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. pp.327-332. hal-01488166

**HAL Id: hal-01488166**

**<https://hal.science/hal-01488166>**

Submitted on 13 Mar 2017

**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.

Public Domain

---

# Une modélisation du troisième corps dans le cas du fretting

**Stéphanie Basseville — Olivier Vernhet — Georges Cailletaud**

*Centre des Matériaux, Mines Paris–Paristech, CNRS UMR 7633*

*BP 87*

*91003 Evry Cedex, France*

*{stephanie.basseville,georges.cailletaud}@ensmp.fr*

---

*RÉSUMÉ. L'usure est un phénomène dissipatif conduisant au détachement de particules le long de l'interface. Cet ensemble de particules constitue le "troisième corps". On propose dans cette étude de prendre en compte la présence de ce troisième corps lors d'un test numérique de fretting entre un cylindre et un plan. Au lieu de faire évoluer les coefficients de frottement au cours de l'essai, on prend délibérément le parti d'effectuer une simulation explicite des débris. Une première possibilité consisterait à les considérer comme un milieu granulaire, mais cette solution a été écartée, afin de privilégier les aspects contact–adhésion, et de mieux comprendre les conditions d'éjection. On s'intéresse alors à l'évolution du troisième corps selon le mécanisme considéré : usure, usure+fissuration, cisaillement plastique, glissement partiel, fissuration.*

*ABSTRACT. Wear is a dissipative phenomenon which produces particles along the interface. This particles constitute the third body. In this study, we consider the presence of this third body during a numerical test of fretting between a cylinder and a plan. Instead of having an indirect modeling of the particles by means of a varying coefficient of friction, it was decided to use an explicit simulation of the particules. A first possibility would consist in considering the particle as a granular material. We prefer to promote the contact–adhesion aspects, in order to better understand the ejection conditions. It is then possible to characterize the evolution of the third body according to mechanisms like wear, wear+fissuration, plastic shearing, partial slip, fissuration.*

*MOTS-CLÉS : Eléments finis, troisième corps, fretting, contact, usure*

*KEYWORDS: Finite element, third body, fretting, contact, wear*

---

## 1. Introduction

La complexité de l'interaction des surfaces en glissement lorsque plusieurs mécanismes physiques interviennent est une des principales limitations dans la modélisation de l'usure. Pour ce qui concerne la modélisation de l'usure, la littérature renferme deux types d'approches, une approche globale et une approche locale. La méthode globale la plus classique ((Archard, 1953)) permet de déterminer le volume usé comme fonction d'une constante d'usure, de la force normale et de la distance de glissement. Ce type de méthode conduit naturellement à utiliser un critère énergétique, dans lequel l'énergie dissipée est le paramètre critique gouvernant l'usure, sous une forme globale (Fouvry *et al.*, 1996), ou locale(Oqvist, 2001). Dans l'approche locale, la force de contact est remplacée par la pression de contact, la distance de glissement imposée au loin est remplacée par les glissements relatifs des points initialement en regard, et le volume d'usure par une profondeur locale d'usure. L'approche locale offre donc l'occasion de prendre en compte le profil de la pièce modélisée. On obtient ainsi des réactions de contact plus réalistes. Certains auteurs considèrent la détérioration du matériau comme un phénomène dissipatif associé à un détachement de particules le long de l'interface. (Fillot *et al.*, 2004) caractérisent le troisième corps comme un milieu granulaire. (Dragon-Louiset, 2001) modélise le détachement de particules du corps sain vers le troisième corps en utilisant une analyse thermodynamique. Dans ce travail, afin de privilégier les aspects contact-adhésion, et de mieux comprendre les phénomènes d'éjection des particules lors d'un test de fretting, on écarte la possibilité de modéliser le troisième corps comme un milieu granulaire. La modélisation du transfert de matière se fait en adaptant la méthode d'(Oqvist, 2001).

## 2. Modélisation du troisième corps

Dans cette étude, les calculs d'usure sont effectués en utilisant le code de calcul Zébulon. En présence de contact et de frottement, le code utilise un algorithme robuste issu de la méthode de flexibilité (Sachdeva *et al.*, 1981). Un bref rappel de cette méthode est donné avant de détailler la stratégie adoptée pour prendre en compte le phénomène d'usure.

### 2.1. La méthode de flexibilité

Les zones de contact sont modélisées par un ensemble de nœuds, agissant en tant que surface impactante (appelé aussi esclave) susceptible d'entrer en contact avec une surface cible (appelé aussi maître). Le contact est interprété comme un système additionnel de contraintes implicitement définies en termes d'efforts de contact. Par conséquent, la stratégie consiste à résoudre un sous-système permettant de déterminer les contraintes dues au contact et les déplacements. Une matrice de flexibilité permettant de décrire la déformation de chaque nœud au niveau de la surface de contact est construite. La prise en compte du contact intervient lors de la procédure itérative glo-

bale. Par une méthode classique de Newton utilisant le calcul de résidus, on estime tout d'abord les champs globaux sans prendre en compte le contact. Ensuite, à partir de la matrice de flexibilité, on construit la matrice de rigidité globale. Les réactions de contact sont alors introduites dans les équations globales du résidu. La résolution du problème global se fait par une méthode itérative de Newton. L'algorithme présente l'avantage de ne traiter le contact que sur les nœuds actifs.

## 2.2. Stratégie d'adaptation du maillage

Le modèle proposé s'appuie sur un critère énergétique semblable à celui d'(Oqvist, 2001). L'usure conduisant à un changement de géométrie au niveau de la surface de contact des deux corps, il faut adapter le maillage à chaque incrément. Pour cela, un post-traitement permet de sauvegarder l'énergie de dissipation pour chaque nœud en contact  $e_{dc(i)}$ , puis de calculer l'énergie nodale dissipée accumulée :

$$de_{dc(i)} = p_{(i)}\mu ds_{(i)}$$

où  $p_i$  est la pression nodale de contact,  $\mu$  le coefficient de frottement et  $s_i$  la distance de glissement relatif. On procède ensuite à l'adaptation du maillage à partir de la profondeur usée à chaque nœud  $h_{wear(i)}$ ,

$$h_{w(i)} = K_w e_{dc(i)}$$

Le coefficient d'usure  $K_w$  peut avoir une valeur différente pour chaque corps en contact. A chaque nœud, on définit un vecteur unitaire de normale extérieure  $\vec{n}$ . La géométrie de la surface est adaptée en déplaçant chaque nœud en contact d'une quantité égale à la profondeur usée :

$$\vec{h}_{w(i)} = -h_{w(i)}\vec{n}$$

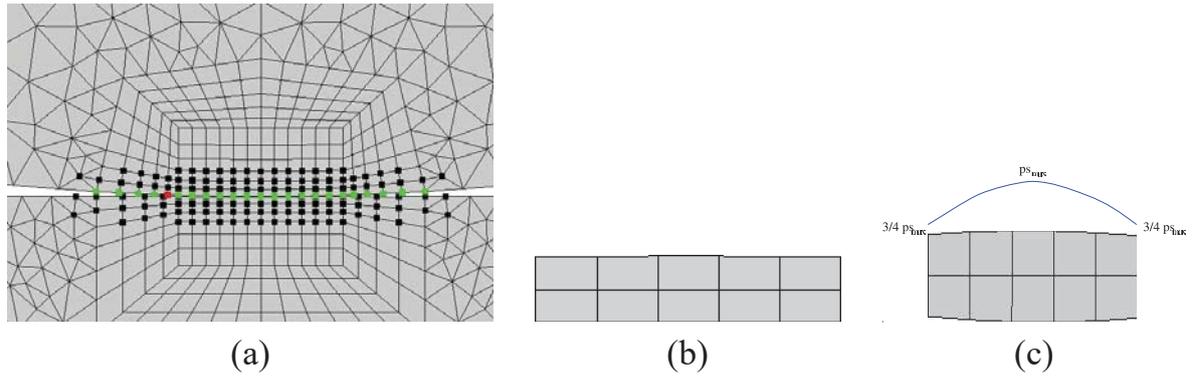
Pour éviter de se trouver dans la situation où la profondeur totale usée est supérieure à la taille d'un élément, les nœuds proches de la surface de contact doivent être déplacés. On définit ainsi une *wearbox* constituée des nœuds proches de la surface de contact, comme le montre la Fig 1a. Le déplacement des nœuds appartenant à la *wearbox* dépend de leur position par rapport à la surface de contact.

En fait, on déplace collectivement l'ensemble des nœuds de chaque particule, afin d'obtenir une forme de débris ovoïde Fig.1b et Fig.1c. Cette forme est obtenue en moyennant l'énergie dissipée sur chaque particule, puis en redistribuant le résultat sur l'ensemble de sa section, en adoptant une répartition parabolique. Cette démarche d'adaptation de maillage permet ainsi de modéliser le transfert de matière du corps sain vers le troisième corps.

## 3. Maillage et conditions limites

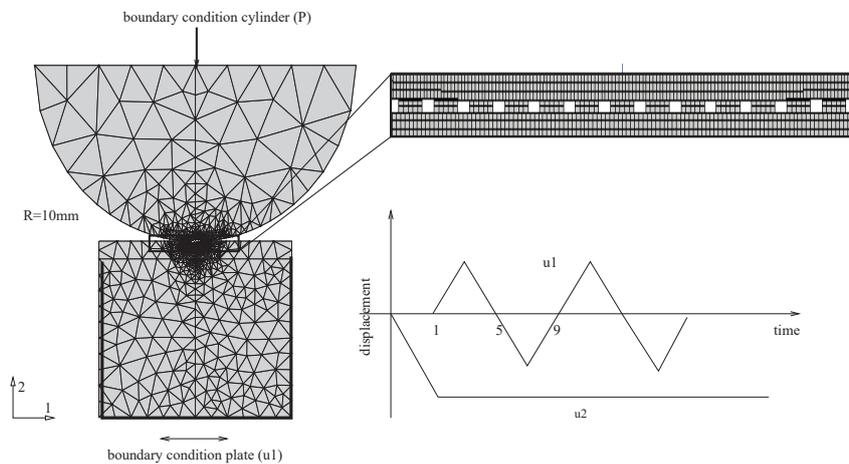
### Maillage EF

La géométrie du système étudié est constituée d'un cylindre de rayon 10 mm en



**Figure 1.** *Modèle géométrique utilisé : (a) Définition de la wearbox; les points indiquent les nœuds concernés. (b) Forme initiale et (c) forme après modification par l'usure des débris.*

contact avec un plan. Un zoom au niveau de la zone de contact permet de visualiser la façon dont est pris en compte le troisième corps, au moyen d'une quarantaine de particules dont la taille est de  $5 \mu m$  par  $1 \mu m$ , avec une distance inter-particule de  $2,5 \mu m$  (Fig.2). Le maillage 2D est constitué d'éléments linéaires. Afin d'obtenir une bonne précision des résultats au niveau de la zone de contact et dans le souci d'obtenir des temps de calculs raisonnables, le maillage est raffiné sur un domaine régulier constitué d'éléments rectangulaires à 4 nœuds de taille  $11 \mu$  par  $8 \mu m$ .

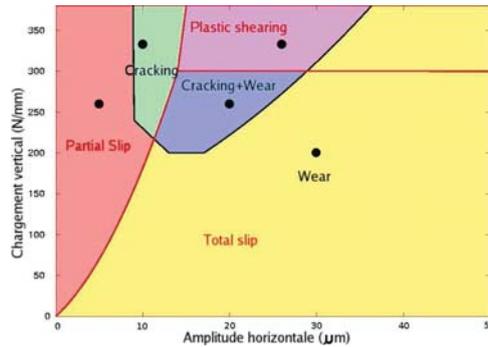


**Figure 2.** *Modèle éléments finis : maillage et conditions limites. Zoom de la zone de contact.*

### Conditions aux limites

Le phénomène de fretting entre le cylindre et le plan est modélisé en imposant tout d'abord une pression  $P$  sur le bord supérieur du cylindre, puis en appliquant des cycles de déplacements  $u_1$  tout en maintenant la pression  $P$ , Fig 2. Différentes conditions

aux limites correspondant à la carte des réponses du matériau en présence de fretting proposée par (Fridrici, 2002) sont choisies.



**Figure 3.** Carte de la réponse du matériau dans le cadre du fretting (Fridrici, 2002). Les conditions de chargement pour les calculs sont représentées par un point.

### Caractéristique matériau

On suppose que le matériau a un comportement élastique linéaire avec un module de Young  $E$  de 119 GPa et un coefficient de Poisson  $\nu$  de 0,29. Ces paramètres caractérisent un alliage de titane, le TA6Al4V.

### Frottement et usure

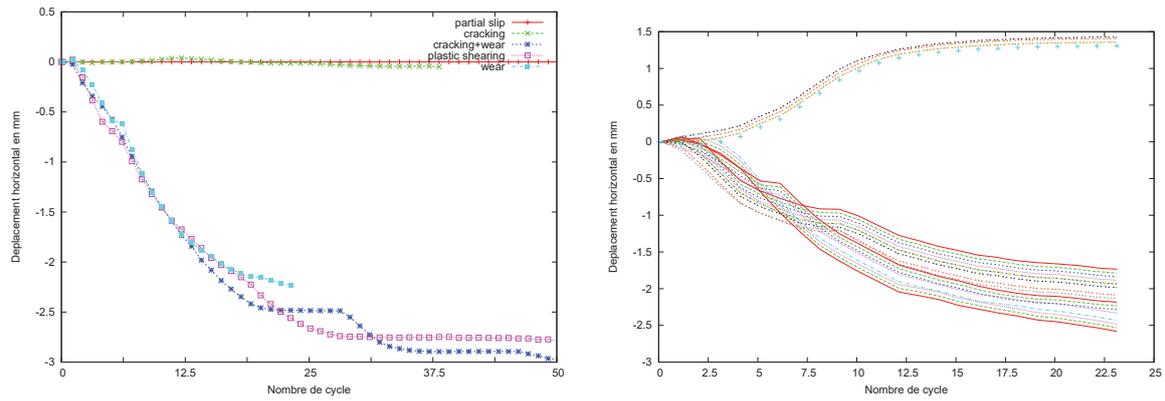
Le coefficient de frottement est constant, égal à 0,8 ce qui représente un contact titane–titane avec frottement sec. Le coefficient d’usure  $K_w$  est de  $40 \cdot 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{mJ}$ .

## 4. Résultats et discussion

La figure 4a montre l’évolution du déplacement horizontal de la particule située au centre de l’interface selon les différents types de mécanismes. On constate que l’éjection est rapide dans le cas des mécanismes d’usure, d’usure–fissuration et de cisaillement plastique. Cette éjection s’explique par un mécanisme de translation–blocage, lié à des périodes successives de contact glissant et collant. En revanche, lorsqu’on s’intéresse au cas du glissement partiel ou à la fissuration, le troisième corps reste captif dans la zone de contact. La figure 4b montre quant à elle les mouvements en translation de la totalité des débris, dans le cas du mécanisme d’usure. On observe une légère dissymétrie dans l’éjection, la plupart des débris partant vers la gauche. Les états de contrainte obtenus sont considérablement modifiés par la présence de débris, ce qui nous amènera probablement à réviser les critères classiquement utilisés pour arbitrer la compétition usure-fissuration.

## 5. Bibliographie

Archard J. F., « Contact and rubbing of flat surfaces », *Journal of Applied Physics*, vol. 24, p. 981-988, 1953.



**Figure 4.** Evolution des débris : a. en fonction de différents types de mécanisme ; b. pour le mécanisme d'usure

Dragon-Louiset M., « On a predictive macroscopic contact–sliding wear model based on micro-mechanical considerations », *International Journal of Solids and Structures*, vol. 38, p. 1625-1639, 2001.

Fillot N., Iordanoff I., Berthier Y., « A granular dynamic model for a degradation of material », *ASME Journal of tribology*, vol. 126, n° 3, p. 606-614, 2004.

Fouvry S., Vincent L., Kapsa P., « Quantification of fretting damage », *Wear*, vol. 200, n° 1-2, p. 186-205, Dec, 1996.

Fridrici V., Fretting d'un alliage de titane revêtu et lubrifié application au contact aube/disque, PhD thesis, École Centrale de Lyon, Ecully, 2002.

Oqvist M., « Numerical simulations of mild wear using updated geometry with different step size approaches », *Wear*, vol. 249, n° 1-2, p. 6-11, Apr, 2001.

Sachdeva T., Ramakrishnan C., « A finite element solution for the two-dimensional elastic contact problems with friction », *Int. J. Numer. Methods eng.*, vol. 17, p. 1257-1271, 1981.