



**HAL**  
open science

## Analyse tribologique d'un contact d'un assemblage boulonné via la DEM

Komla Apélété Kounoudji, Mathieu Renouf, Guilhem Mollon, Yves Berthier

► **To cite this version:**

Komla Apélété Kounoudji, Mathieu Renouf, Guilhem Mollon, Yves Berthier. Analyse tribologique d'un contact d'un assemblage boulonné via la DEM. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01517307

**HAL Id: hal-01517307**

**<https://hal.science/hal-01517307v1>**

Submitted on 3 May 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.

# Analyse tribologique d'un contact d'un assemblage boulonné via la DEM

K.A. Kounoudji<sup>1</sup>, M. Renouf<sup>2</sup>, G. Mollon<sup>1</sup>, Y. Berthier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LAMCOS, INSA-Lyon

{Komla-Apelete.Kounoudji, Guilhem.Mollon, Yves.Berthier} @insa-lyon.fr

<sup>2</sup> LMGC, Université Montpellier

Mathieu.Renouf@univ-montp2.fr

**Résumé** — Les méthodes par éléments discrets sont devenues incontournables en tribologie car elles nous offrent la possibilité de modéliser le comportement dynamique d'une interface. Elles sont utilisées ici pour modéliser l'interface des filets en prise d'un assemblage boulonné. Le modèle s'appuie sur l'approche NSCD et est construit à partir d'observations faites à l'échelle microscopique. Le cas de la migration d'un troisième corps naturel est traité et l'évolution du frottement macroscopique, mesuré en fonction de ses débits est discutée.

**Mots clés** — tribologie, DEM, troisième corps, filet, assemblage boulonné

## 1. Introduction

Le boulonnage est un procédé d'assemblage de pièces dans les industries modernes constituant près de 70% des procédés mécaniques de mise en tension à travers le monde [1].

Assembler deux pièces en serrant un boulon est un geste que l'on effectue presque machinalement et qui ne nécessite, *à priori*, aucune attention particulière. Mais il suffit de penser aux différents facteurs qui entrent en jeu dans cette opération pour se rendre compte que la réalité est bien plus complexe. Par exemple, comment s'assurer que l'état de contrainte que l'on applique lors du serrage est à la fois suffisant pour être efficace, et pas trop important pour ne pas endommager l'assemblage ?

Cette méthode de liaison par serrage, est finalement une source d'incertitudes et de difficultés, de la conception d'un produit à son exploitation (autodesserrage [2], fissuration et rupture des produits [3, 4], etc.). Or, dans des secteurs comme l'aéronautique, le spatial, l'automobile, le ferroviaire, la première garantie des produits repose sur la fiabilité structurale des boulons. Le boulonnage est devenu un problème qu'il faut aborder avec une attention particulière pour pouvoir y trouver des solutions.

De nombreux travaux, aussi bien numériques qu'expérimentaux, œuvrent pour mieux comprendre la *vie* d'un boulon, mais force est de constater que jusqu'aujourd'hui, par ignorance ou par l'incapacité de pouvoir démonter un assemblage sans le desserrer, personne ne s'est jamais intéressé à y identifier les conditions locales de contact une fois le boulon monté. D'un point de vue numérique, la conséquence majeure est que dans tous les travaux (se basant sur les approches FEM essentiellement), les contacts sont supposés *parfaits* [5, 6,] et tous les aspects liés au frottement au niveau des filets, sont réduits au fameux paramètre  $\mu$ , choisi de façon arbitraire (0.1, 0.2 ?!) ou obtenu à partir de formules empiriques. Ce paramètre, indispensable car il permet d'englober l'ensemble des phénomènes tribologiques qui ont lieu dans un contact en assurant une résistance tangentielle, masque complètement la complexité et la compréhension des problèmes sous-jacents.

Dans ce travail, le problème est analysé sous l'angle de la notion de frottement en adoptant le concept de triplet tribologique issu des travaux de Godet et Berthier [7, 8]. De ce fait, une vision plus

locale des structures boulonnées est proposée en considérant le problème au niveau des filets. Une attention particulière est portée sur le rôle d'un troisième corps artificiel dans les interfaces filets, et l'impact de sa migration sur les mesures de frottement. Pour répondre à cette attente, une approche basée sur les méthodes par éléments discrets est utilisée, approche ayant largement montré son potentiel dans le contexte de la tribologie numérique [9].

## 2. Cadre numérique

### 2.1. De la réalité au modèle

Dans une structure boulonnée, les contacts filets sont les plus confinés et le siège des phénomènes tribologiques complexes. La réalité de ces contacts n'est pas simple à modéliser car le problème empêche quasiment toutes les simplifications possibles (pas de symétrie, chargement non homogène, existence du troisième corps, etc.) et conduit les modélisateurs à proposer des modèles ultra-simplifiés.

Pour mieux cerner le problème, une vision locale de l'interface des filets en prise est proposée (cf. Fig. 1), vision qui se veut suffisamment riche pour rendre compte de sa phénoménologie et contenir ainsi les différents ingrédients nécessaires à cette compréhension.

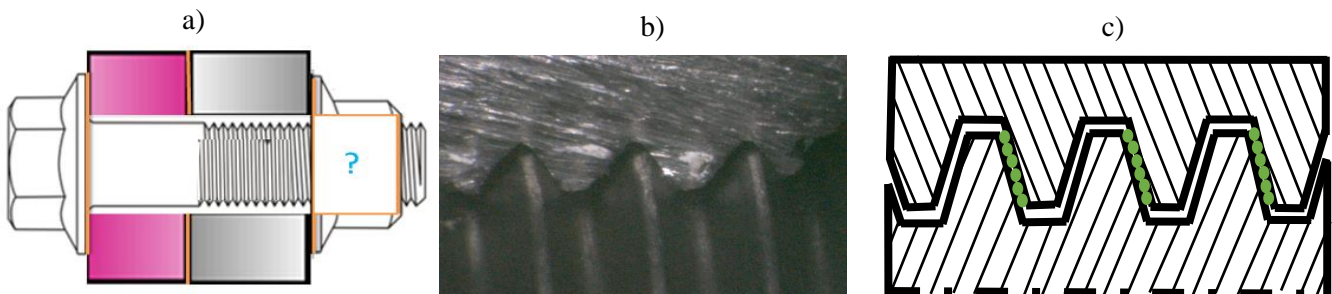


Figure 1 – Exemple d'assemblage boulonné (a) avec un zoom de l'interface filets (b) et le modèle proposé (c)

Il a été constaté qu'en serrant un boulon, un troisième corps solide se forme au niveau des contacts, lié en partie aux conditions tribologiques qu'impose le serrage (prétension subie par l'assemblage, vitesse de serrage,...). Ce troisième corps est une mixture issue d'un troisième corps dit artificiel introduit dans les contacts au début du serrage (graisse) et d'un troisième corps naturel généré par écoulement plastique de la peau des filets. Ainsi au niveau local, les ingrédients indispensables à prendre en compte sont une partie des premiers corps en contact (premier corps 1, la vis, et premier corps 2, l'écrou), le troisième corps (graisse + débris) puis les conditions limites particulières dues au serrage.

Les aspects usure et dégradation ne sont, dans un premier temps, pas pris en compte.

### 2.2. Du modèle à la modélisation

Une méthode par éléments discrets est utilisée pour décrire le modèle de la figure 1c. Le modèle proposé est un modèle pseudo 3D (volume négligé) construit à partir d'une collection de particules sphériques rigides. Dans la conceptualisation du triplet tribologique, les premiers corps qui sont ici la peau des filets vis/écrou, sont constitués de particules de diamètre  $20 \mu\text{m}$ ; ce qui est approximatif à l'épaisseur de revêtement en argent réalisé sur les filets de l'écrou. Quant aux particules de troisième corps (mixture graphite/argent), les diamètres sont de  $8 \mu\text{m}$  pour le graphite et de  $9 \mu\text{m}$  pour l'argent. Le mécanisme serrage est simulé en appliquant simultanément la prétension subie par l'assemblage à l'un des premiers corps et la vitesse de serrage à l'autre.

L'approche DEM choisie pour modéliser le système vis/écrou est l'approche, Non-Smooth Contacts Dynamics (NSCD) [10], largement utilisée dans le contexte de la tribologie numérique. Les grandes lignes de cette approche (intégration temporelle basée sur un  $\theta$ -schéma, résolution implicite des contacts via un algorithme type Gauss-Seidel non linéaire) ne sont pas détaillées ici.

Seules les lois d'interaction servant à gérer les contacts entre particules sont expliquées. Nous renvoyons aux travaux précédents pour plus d'informations [9].

Pour modéliser les phénomènes physico-chimiques interfaciales qui se produisent lors du serrage de boulon, une loi de contact unilatéral cohésive a été utilisée. Elle gère non seulement les interactions au sein du troisième corps mais aussi celles entre le troisième et les premiers corps. Cette loi est l'extension de la loi de Signorini au cas cohésif :

$$(r_n + \gamma) \geq 0, g \geq 0, (r_n + \gamma) g = 0, \quad (1)$$

où  $\gamma$  représente la force de cohésion au contact agissant sur une distance  $d_w$ ,  $r_n$  désigne la force de contact et  $g$  le gap entre particules.

### 3. Résultats

Le coefficient de frottement macroscopique au sein du troisième corps a été mesuré au cours des simulations. Il est défini comme étant le rapport de la somme des composantes tangentielles,  $R_t^i$  des forces,  $R^i$  exercées sur les particules,  $i$  de troisième corps sur la force normale,  $F_n$  du système. Cette force normale dérive de la prétension  $F$  subie par l'assemblage en phase serrage et la résistance tangentielle considérée est celle qui est dans la même direction que la vitesse de serrage (suivant l'axe  $y$  sur la figure 2).

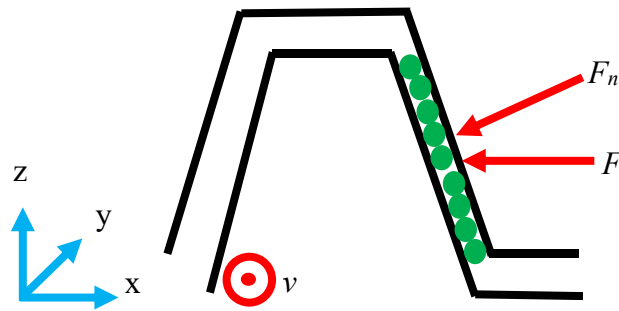


Figure 2 – Conditions aux limites et calcul de la valeur de frottement

Le coefficient de frottement est donc exprimé comme suit :

$$\mu(t) = \frac{\sum_1^i R_t^i(t)}{F_n(t)} \quad (2)$$

Sur la figure 3, on peut visualiser l'intérieur du contact montrant la migration des particules de troisième corps. Ceci cadre parfaitement avec les observations réalisées sur des assemblages réels. A la fin du serrage, le coefficient de frottement macroscopique a le profil montré sur la figure 4.

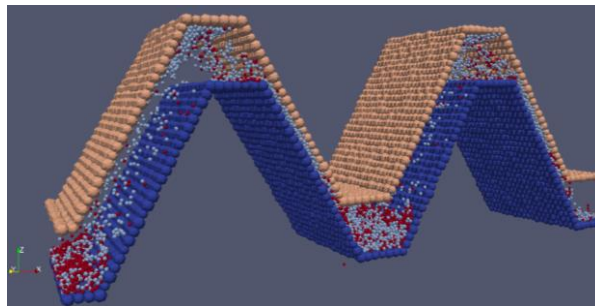


Figure 3 – Migration des particules de troisième corps en phase serrage

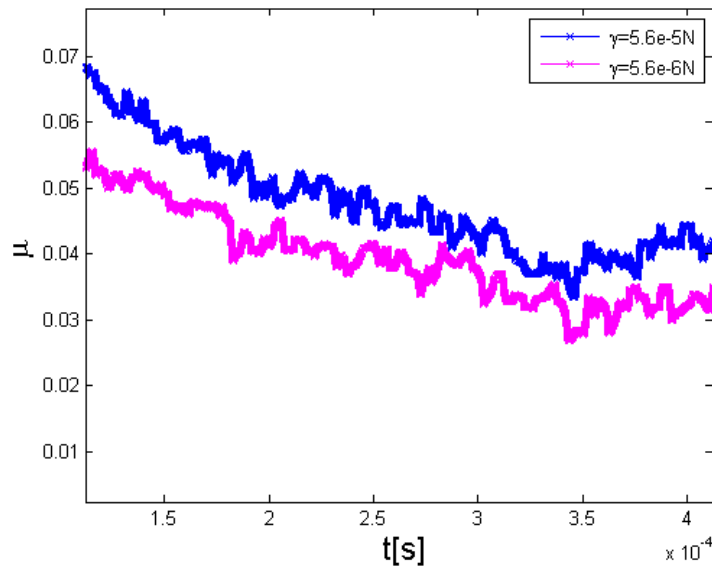


Figure 4 – Evolution du frottement macroscopique en fonction du temps

On constate que le frottement obtenu varie en fonction du temps et sa valeur augmente avec l'augmentation de la cohésion intergranulaire. Cette variation est le résultat des instabilités de contact en phase serrage. Ces résultats placent la maîtrise des performances tribologiques des surfaces et des graisses utilisées au cœur de l'efficacité de serrage de boulon.

## Références

- [1] R. Chumakov. Optimal control of screwing speed in assembly with thread-forming screws. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3): pp.395-400, (2008).
- [2] D. Eccles, W. Tribological aspects of the self-loosening of threaded fasteners. PhD thesis, Jost Institute for Tribotechnology, University of Central Lancashire, (2010).
- [3] D. Croccolo, M. De Agostinis, N. Vincenzi. Failure analysis of bolted joints: Effect of friction coefficients in torque-preloading relationship. *Engineering Failure Analysis*, 18(1):pp. 364-373, DOI:10.1016/j.engfailanal.2010.09.015, (2011).
- [4] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Accident\\_ferroviaire\\_de\\_Br%C3%A9tigny-sur-Orge](http://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_ferroviaire_de_Br%C3%A9tigny-sur-Orge)
- [5] J. Mackerle. Finite element analysis of fastening and joining: A bibliography. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 80: pp. 253–271, (2003).
- [6] Y. Jiang, M. Zhang, C.-H. Lee. A study of early stage self-loosening of bolted joints. *ASME J. Mech. Des.*, 125:pp. 518–526, (2003).
- [7] M. Godet. The third body approach : A mechanical view of wear, *Wear*, 100: pp.437-452, (1984).
- [8] Y. Berthier. Mécanismes et tribologie, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et de l'Université Claude Bernard de Lyon, (1988).
- [9] M. Renouf, H.-P. Cao, V.-H. Nhu. Multiphysical modeling of third-body rheology, *Tribol. Int.* 44(4): pp.417-425, (2011).
- [10] M. Jean. The non smooth contact dynamics method. *Computational Methods in applied mechanics engineering* 177 :pp.235-257, (1999).