



HAL
open science

Détermination et optimisation des pressions de contact dans les rotules par la méthode de flexibilité

François Peyruseigt, Sébastien Mistou, Olivier Dalverny, Marc Canadas,
Benjamin Jullière, Moussa Karama

► **To cite this version:**

François Peyruseigt, Sébastien Mistou, Olivier Dalverny, Marc Canadas, Benjamin Jullière, et al..
Détermination et optimisation des pressions de contact dans les rotules par la méthode de flexibilité.
8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01491058

HAL Id: hal-01491058

<https://hal.science/hal-01491058>

Submitted on 16 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

Détermination et optimisation des pressions de contact dans les rotules par la méthode de flexibilité

F. Peyruseigt^{*,}, S. Mistou^{*}, O. Dalverny^{*}, M. Canadas^{**},
B. Jullière^{***}, M. Karama^{*}**

** ENI de Tarbes, Laboratoire Génie de Production
47 avenue d'Azereix, BP 1629, 65016 Tarbes Cedex
{mistou, dalverny, moussa}@enit.fr*

*** AIRBUS France, TYEN, E5002, 316 route de Bayonne, 31060 Toulouse Cedex
{francois.peyruseigt, marc.canadas}@airbus.com*

**** SKF Aerospace, 1 av. Marc Seguin, BP29, 26241 St Vallier Cedex
benjamin.julliere@skf.com*

RÉSUMÉ. Cette étude présente l'application sur les rotules mécaniques d'une méthode semi-numérique pour résoudre l'équation intégrale du problème qui régit un contact sphère / cavité sphérique sans frottement entre deux corps élastiques. Cet outil permet la définition d'un correcteur logarithmique sur le profil des surfaces en contact pour réduire les contraintes trop importantes liées aux effets de bord.

ABSTRACT. This paper introduces the application on ball joints of a semi-numerical method to solve the integral equation of the problem that governs a contact sphere/spherical cavity without friction between two elastic bodies. This tool allows the definition of a logarithmic compensator on the profile section of the surfaces in contact to reduce the too important stresses related to edge effects.

MOTS-CLÉS : rotules, méthodes semi-numériques, fonctions d'influence, contact sphérique, correcteur logarithmique

KEYWORDS: ball joints, semi-numerical methods, Green functions, spherical contact, logarithmic compensator

1. Introduction

Le dimensionnement des rotules aéronautiques est essentiellement basé sur le calcul des pressions de matage sur les portées sphériques de la rotule. En effet, outre la charge que l'élément doit être capable de supporter, ces contraintes influent sur le frottement et l'usure dans le contact sphérique et donc sur la fonctionnalité de la rotule.

De par la conformité du contact entre bille et cage d'une rotule, la théorie de Hertz (Hertz, 1882) ne peut être utilisée dans ce cas. Cette étude présente l'application de la méthode semi-numérique de flexibilité pour résoudre l'équation intégrale du problème qui régit un contact sphère / cavité sphérique sans frottement entre deux corps élastiques. Le principal intérêt de cette méthode est qu'elle représente une alternative simple et moins coûteuse à la traditionnelle résolution par la méthode des éléments finis.

2. Méthode de résolution du problème de contact

2.1. Ecriture de l'équation régissant le contact

La résolution de l'équation intégrale gouvernant le problème du contact par la méthode de flexibilité est basée sur l'utilisation de fonctions d'influence générées numériquement (Woodward *et al.*, 1978 ; Sassi, 1996) ou une forme modifiée des fonctions d'influence de Boussinesq (Paul *et al.*, 1981). Cette méthode repose sur la résolution d'un système linéaire découlant de la discrétisation de surfaces candidates au contact en cellules où les niveaux de pression, considérés constants sur chaque cellule, sont les inconnues.

Soient deux points M_1 et M_2 appartenant respectivement à la surface du corps 1 (cavité sphérique) et à celle du corps 2 (sphère) de coordonnées $X(x,y)$ identiques (Figure 1).

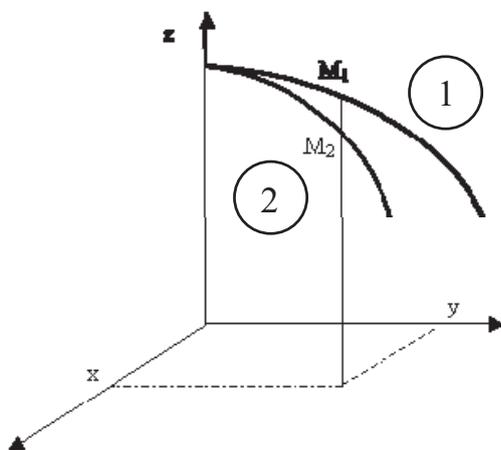


Figure 1. Les deux corps en contact avec positionnement de M_1 et M_2

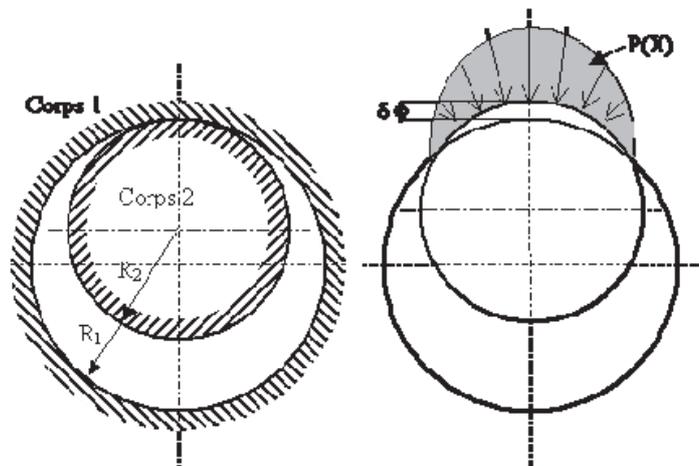


Figure 2. Mouvement de corps rigide δ et champ de pressions $P(X)$ induit

Dans le cas d'un contact à grande conformité, on peut considérer que la surface de contact candidate Ω appartient à l'une des deux surfaces initiales (la surface du corps 1 dans notre cas). Le contact peut être défini par la formule suivante :

$$\overrightarrow{M_1 M_2} \cdot \vec{n} = (\vec{\omega}_1(X) - \vec{\omega}_2(X) + F(X) \cdot \vec{z} - \delta \cdot \vec{z}) \cdot \vec{n} \approx 0 \quad [1]$$

où \vec{n} est la normale à Ω en M_1 , $\vec{\omega}_1$ et $\vec{\omega}_2$ sont les vecteurs de déplacement élastique de M_1 et M_2 , $F(X)$ est la distance de séparation initiale entre M_1 et M_2 , et δ la distance du mouvement de corps rigide appliquée.

Le déplacement élastique en M_i suivant \vec{n} est lié à la distribution des pressions $p(X)$ sur la surface Ω par la relation suivante :

$$\vec{\omega}_i(X) \cdot \vec{n} = \int_{\Omega} G_i(X, X') \cdot p(X') \cdot d\sigma' \quad [2]$$

où $G_i(X, X')$ est la fonction d'influence qui définit le déplacement normal en M_i lié à un effort normal unitaire en un point de Ω de coordonnées de X' . La fonction d'influence de Boussinesq sera utilisée car elle offre un bon compromis sur la précision des résultats par rapport au temps de calcul [3].

$$G_i = \frac{1 - \nu_i}{\pi \cdot E_i \cdot \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}} \quad [3]$$

où E_i et ν_i sont le module de Young et le coefficient de poisson du corps i . On en déduit l'équation qui régit le contact :

$$\int_{\Omega} (G_1 + G_2) \cdot p(X') \cdot d\sigma' + F(X) \cdot n_z - \delta \cdot n_z = 0 \quad [4]$$

2.2. Résolution numérique

Une discrétisation de la projection de la surface initiale candidate au contact dans le plan $z=0$ permet de résoudre le système linéaire généré par l'équation [4] où $p(X')$ sont les inconnues. Plusieurs itérations de calcul sont nécessaires pour ajuster la surface de contact en éliminant les éléments de surface où les pressions sont négatives (Figure 3) jusqu'à définir une surface où les pressions sur les cellules sont strictement positives.

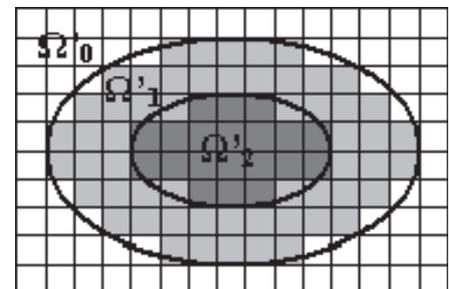


Figure 3. Itérations d'élimination d'éléments sur la surface projetée Ω'_0

Une fois la surface de contact et le champ de pressions définis, l'effort résultant doit être calculé pour être comparé à l'effort objectif du problème. En ajustant la

distance du mouvement de corps rigide δ sur plusieurs itérations, le problème de contact sera résolu pour l'effort désiré.

3. Application aux cas des rotules

La méthode a été appliquée sur une rotule de rayon de sphère $R=16,8$ mm avec un jeu de $20 \mu\text{m}$ entre la bille et la cage. La largeur L de la cage a été définie à 17 mm (Figure 4). Le matériau des éléments est un acier avec un module de Young $E=201000$ MPa et un coefficient de Poisson $\nu=0,3$. L'effort Q appliqué sur la rotule est un effort radial de 30000 N. La surface candidate initiale projetée est définie par le diamètre de sphère et la largeur de la cage. L'effort étant purement radial, seul un quart de la surface a été discrétisé en tenant compte des symétries.

Un outil développé dans un environnement SCILAB à partir de cette méthode a permis de comparer ses performances par rapport à une modélisation par la méthode des éléments finis sous ABAQUS (Figures 5, 6 et 7).

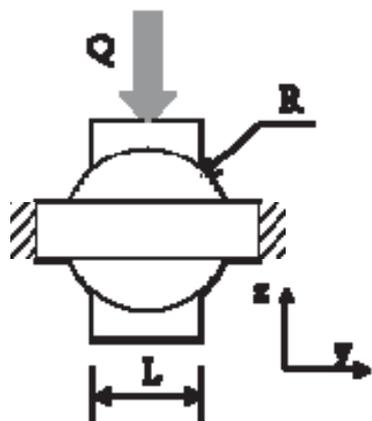


Figure 4. Rotule modélisée

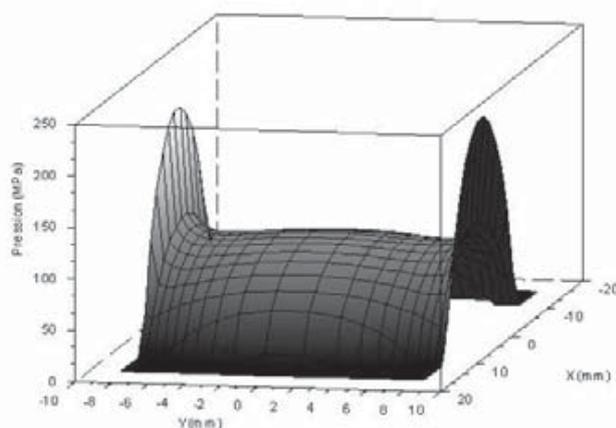


Figure 5. Distribution des pressions dans la sphère calculée sous Scilab

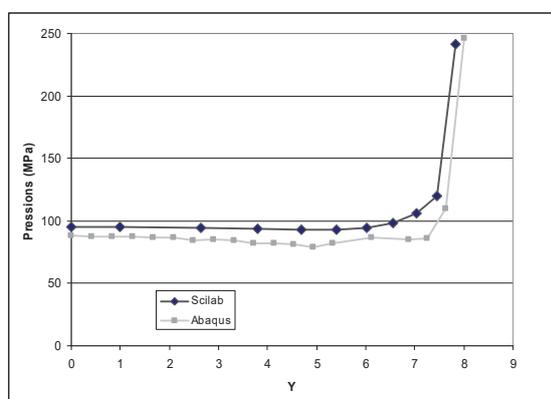


Figure 6. Répartition des pressions pour $x=0$

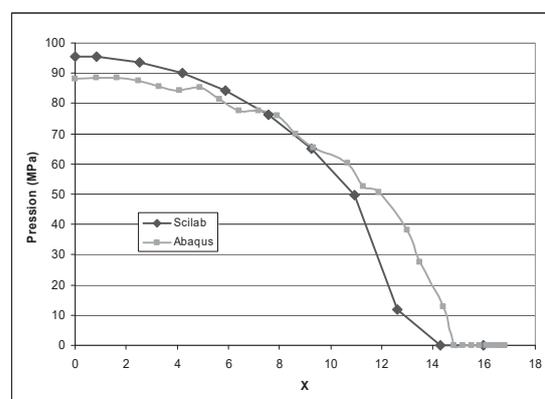


Figure 7. Répartition des pressions pour $y=0$

Ces comparaisons montrent la fiabilité de la méthode qui est plus rapide et plus facile à mettre en œuvre qu'un calcul par la MEF.

4. Optimisation de profil par l'utilisation d'un correcteur logarithmique

Dans le point précédent, les résultats des simulations montrent des effets de bords qui provoquent des surpressions locales assez importantes en sortie de contact (Figure 6). Dans le cas des rotules, ce problème est souvent constaté avec les arrêtes de la cage qui viennent dégrader assez gravement le revêtement de la bille. Pour éviter ce type d'endommagement, un travail peut être réalisé au niveau de l'évolution du rayon de la cage afin de mieux répartir les pressions sur la surface de contact. Dans cette optique, un correcteur géométrique inspiré des travaux réalisés sur les roulements à rouleaux (Reusner, 1988) a été étudié. Les expressions [5] et [6] caractérisent le correcteur logarithmique proposé.

$$c(y) = -k \cdot \ln \left(1 - \left(\frac{2y}{L} \right)^m \right) \text{ avec } 0 \leq y < 0,5L \quad [5]$$

$$c(0,5L) = -1,5k \cdot \ln(1 - (0,98)^m) \quad [6]$$

où k et m sont deux paramètres de définition du profil, L est la largeur du contact correspondant. La figure 8 montre une évolution du correcteur en fonction de la demi-largeur du contact.

L'étude suivante montre l'application de ce correcteur sur une rotule pour laquelle $R=39$ mm avec un jeu de $20 \mu\text{m}$. Le matériau de la cage et de la bille est un acier pour lequel $E=201000$ MPa et $\nu=0,3$. L'effort appliqué est 160000 N.

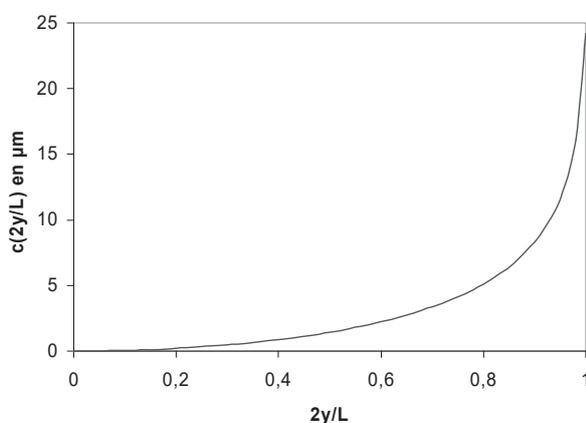


Figure 8. Evolution du correcteur pour $k=0.005$ et $m=2$

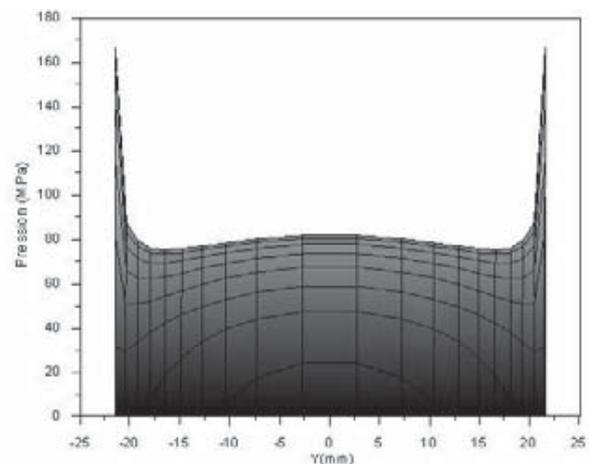


Figure 9. Distribution des pressions selon y pour $x=0$ sans correcteur

La figure 9 présente les résultats du calcul sans correcteur. Le calcul des paramètres k et m du correcteur doit être mené de manière itérative.

D’abord, en fixant $m=2$, plusieurs incréments Δk (dans l’exemple $\Delta k = 5.10^{-4}$) sont appliqués sur le paramètre k jusqu’à ce que $p(0,0) = \max(p(x, y))$.

La distribution suivant y du profil résultant (Figure 10) n’étant pas parfaite, il convient d’itérer sur m avec un incrément Δm (dans l’exemple $\Delta m = 1$) jusqu’à obtenir une répartition optimisée (Figure 11).

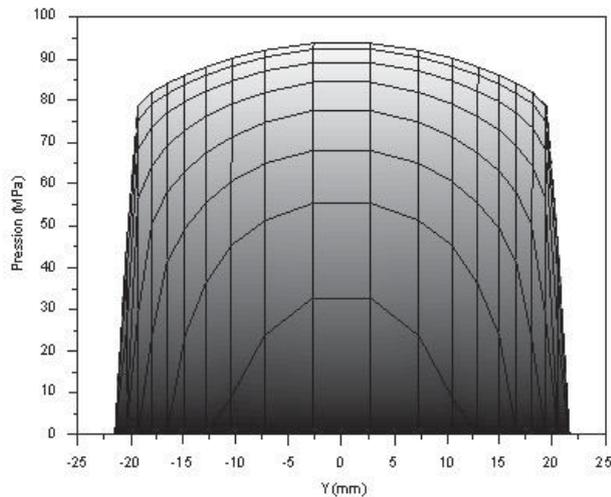


Figure 10. *Distribution des pressions selon y pour $x=0$ avec correcteur ($k=0,0045$ et $m=2$)*

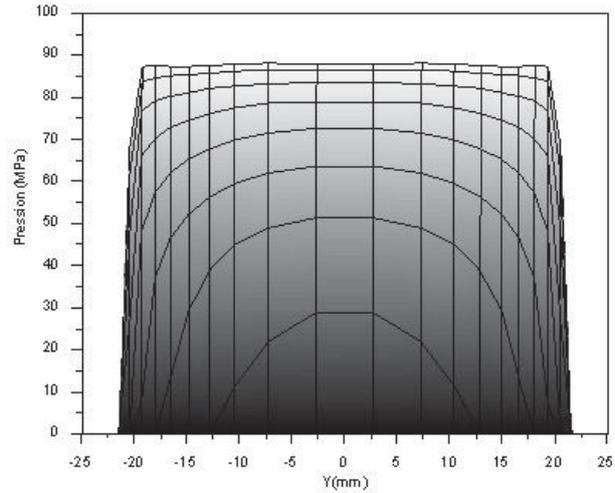


Figure 11. *Distribution des pressions selon y pour $x=0$ avec correcteur ($k=0,0045$ et $m=4$)*

Références

- Hertz H., “Ueber die Berührung fester elastischer Körper “, “Ueber die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte”, *Gesammelte Werke*, 1881, p. 155-196
- Paul B., Hashemi J., “Contact Pressures on Closely Conforming Elastic Bodies”, *Journal of Applied Mechanics*, vol. 48, september 1981, p. 543-548
- Reusner H., “The logarithmic roller profile – the key to superior performance of cylindrical and taper roller bearings”, *Ball Bearing Journal*, vol. 230, 1988, p. 2-10
- Sassi M., Modélisation du contact dans les roulements à billes à grande conformité en vue d’une prévision de la durée de vie, Thèse de doctorat, ENSAM de Paris et d’Aix-en-Provence, 1996
- Woodward W., Paul B., Contact Stresses for Closely Conforming Bodies : Application to Cylinders and Spheres, Technical Report N°2, DOT-TST-77-48, 1976