



HAL
open science

Étude bidimensionnelle de la répartition des charges dans une vis à billes par photoélasticimétrie

Romuald Bertolaso, Yoann Barranger, Mohammed Cheikh, Jean-Christophe
Dupré, Arnaud Germaneau, Pascal Doumalin

► **To cite this version:**

Romuald Bertolaso, Yoann Barranger, Mohammed Cheikh, Jean-Christophe Dupré, Arnaud Germaneau, et al.. Étude bidimensionnelle de la répartition des charges dans une vis à billes par photoélasticimétrie. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01413606

HAL Id: hal-01413606

<https://hal.science/hal-01413606>

Submitted on 10 Dec 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Étude bidimensionnelle de la répartition des charges dans une vis à billes par photoélasticimétrie

R. Bertolaso¹, Y. Barranger³, M. Cheikh²,
J.C. Dupré³, A. Germaneau³, P. Doumalin³

¹ CROMeP (Mines Albi)
Université de Toulouse, Mines Albi, CROMeP, Campus Jarlard, 81013 Albi cedex 09, France
{bertolas,mcheikh}@enstimac.fr

² LRPMIP (IUT Figeac)
Université Toulouse II, Campus de Figeac, av Nayrac, 46100 Figeac, France
{mcheikh}@univ-tlse2.fr

³ LMS (Université de Poitiers)
Université Poitiers, SP2MI bd. Marie et Pierre Curie, Téléport 2, BP 30179 Futuroscope
Chasseneuil 86962 France
{barranger,dupre,germaneau,doumalin}@lms.univ-poitiers.fr

Résumé — Ce travail concerne l'étude de la répartition des contraintes dans une vis à billes. Pour cela, un modèle numérique bidimensionnel par éléments finis est construit sur ABAQUSTM et validé à partir d'essais expérimentaux. La méthode de mesure utilisée permettant de mettre en évidence la répartition de charge dans le volume est la photoélasticimétrie. On compare alors les franges expérimentales aux franges numériques calculées à l'aide des résultats du modèle éléments finis.

Mots clés — contact, distribution de charge, éléments finis, photoélasticimétrie.

1 Introduction

Depuis ces dernières années, les vis à billes sont de plus en plus utilisées dans les systèmes mécaniques car elles présentent une grande efficacité mécanique et une grande puissance de transmission. La vis à billes de cette étude fait partie des actionneurs du plan horizontal des avions. La fonction de mobilité du plan arrière est assurée par le déplacement d'un écrou le long de la vis grâce à un système de re-circulation de billes. La notion de contact entre les billes, la vis et l'écrou, ainsi que la distribution de charge dans le système, sont deux aspects importants [1]. Notre étude consiste à développer un modèle numérique par éléments finis permettant d'évaluer la distribution des contraintes et de prévoir la durée de vie de cet élément. La géométrie étant complexe, nous avons choisi d'étudier 2 modèles à géométrie simplifiée : d'une part un modèle 2D en contraintes planes et d'autre part un modèle 3D d'une butée à billes. Dans les 2 cas, les données numériques sont comparées aux résultats expérimentaux obtenus par photoélasticimétrie 2D [2] et 3D [3, 4]. Dans cet article, nous présentons uniquement la première étude 2D concernant une vis à une rangée de billes ainsi que la répartition des contraintes dans le contact bille/gorge.

2 Partie expérimentale : la photoélasticimétrie 2D

La photoélasticimétrie est une technique expérimentale de mesure des contraintes. Cette technique est basée sur les phénomènes de biréfringence du matériau et de polarisation de la lumière [2]. On a recours à la photoélasticimétrie afin d'élaborer des hypothèses plausibles sur les conditions aux limites ou de vérifier les résultats obtenus par le calcul. C'est dans cette optique que nous avons choisi cette technique.

2.1 Identification du matériau

Les matériaux des éprouvettes réalisées ont été choisis afin de répondre correctement aux exigences optiques de la photoélasticimétrie. Les éprouvettes usinées sont en PMMA. Elles ont pour épaisseur $e = 5mm$ avec un module d'Young $E = 2.25GPa$ et un coefficient photoélastique $C = 4.9Bw$. Le module d'Young ainsi que le coefficient photoélastique de ce matériau sont identifiés à l'aide d'essais de traction [5]. La réalisation de l'éprouvette montre une forte sensibilité du matériau à l'usinage. Nous observons des précontraintes importantes au niveau des zones usinées. Un traitement thermique du matériau s'est avéré nécessaire afin d'éliminer ces précontraintes [6].

2.2 Banc d'essai expérimental 2D

Dans notre étude, le banc d'essai représenté sur la Figure 1, correspond à un polariscope circulaire associé à un système d'enregistrement des résultats (caméra CDD) et d'un système de charge. Les différences de contraintes doivent être constantes dans l'épaisseur, d'où l'analyse de

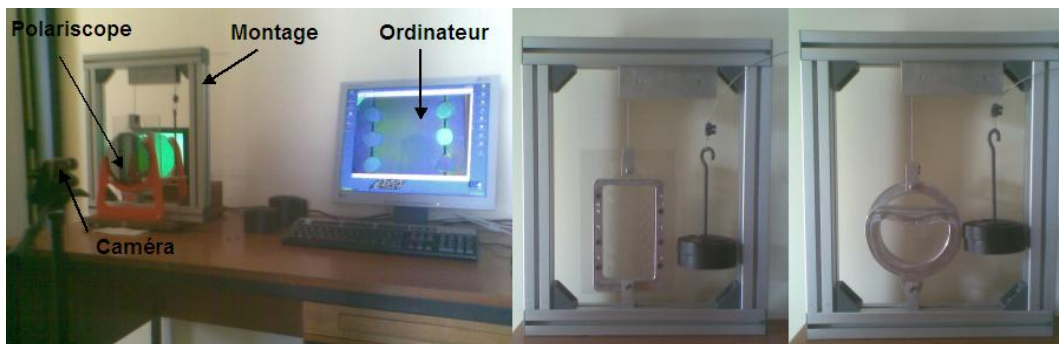


Figure 1 – Banc d'essai photoélastique et montage 2D

modèles plans de faible épaisseur. Le premier montage représente le système 2D simplifié de la vis à bille (Vis - Écrou - Billes) tout en respectant certaines caractéristiques de la pièce réelle (par exemple : géométrie des gorges), et va nous donner la distribution de charge. Le deuxième montage est constitué de la gorge gothique de la vis et d'une bille et va nous permettre d'étudier l'influence de l'angle de contact dans cette distribution de charge. Pour les deux montages, la partie inférieure de l'éprouvette est fixée alors qu'une force de traction est imposée sur la partie supérieure de l'éprouvette. La force exercée a été choisie afin de ne pas dépasser la limite d'élasticité du matériau.

3 Simulation numérique

Dans cette partie, nous avons modélisé le système étudié sous le logiciel *AbaqusTM*. Dans un premier temps, nous avons modélisé le système vis-écrou-billes 2D (Figure 2) dans le cas d'une

rangée de billes. La géométrie des pièces simulées correspond à l'éprouvette expérimentale utilisée sur notre banc d'essai. Un déplacement uniaxial est imposé à la vis suivant l'axe Oy. L'écrou est considéré comme encastré sur ses cotés. L'ensemble est maillé par 87091 éléments CPS3 triangulaires linéaires en contraintes planes avec des zones raffinées au niveau des points de contact de chaque bille. La taille de maille dans ces zones est de l'ordre de $45 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$. La notion de contact est prise en compte en utilisant les multiplicateurs de Lagrange avec un coefficient de frottement $f = 0,4$ [7]. Dans un second temps, nous avons modélisé une seule bille dans une gorge gothique

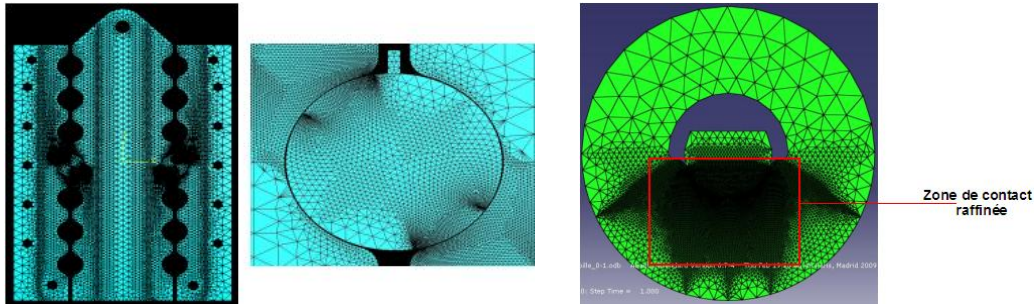


Figure 2 – Maillage des modèles étudiés

dont nous avons fait varier l'orientation afin de voir l'influence de l'angle d'attaque de la force sur la pression de contact. On applique un déplacement uniaxial suivant l'axe Oy et on considère que la surface externe du disque est encastrée (Figure 2). L'ensemble est maillé par 19571 éléments CPS3 triangulaires linéaires en contraintes planes avec des zones raffinées au niveau des zones de contact. Pour valider expérimentalement ces deux modèles par photoélasticimétrie, les franges expérimentales isochromes seront comparées aux franges calculées à partir des différences de contraintes principales simulées [5].

4 Résultats

4.1 Cas vis/écrou une rangée :

L'éprouvette a été mise sous charge de $F = 0 \text{ N}$ à $F = 50 \text{ N}$ dans le cas de la vis à billes composée d'une rangée de billes. Chaque image de la Figure 3 correspond à un cas de charge différent.

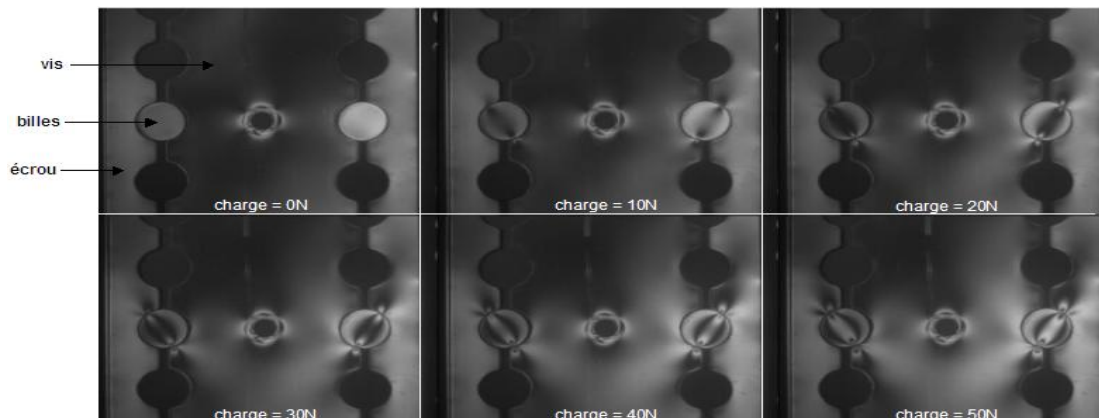


Figure 3 – Franges photoélastiques 2D en lumière monochromatique

Dès l'application de la charge, deux points de contact sur chaque bille apparaissent. La symétrie est respectée quelle que soit la charge appliquée. Nous observons clairement l'augmentation de la

différence des contraintes principales avec l'augmentation de la charge à l'intérieur des billes ainsi que dans la vis et l'écrou. Ces contraintes se propagent vers la rangée supérieure de l'écrou et vers la rangée inférieure de la vis.

Sur la Figure 4, on observe les franges numériques que l'on peut comparer aux franges expérimentales. On voit très nettement la similitude des deux réseaux de franges. Que ce soit au niveau

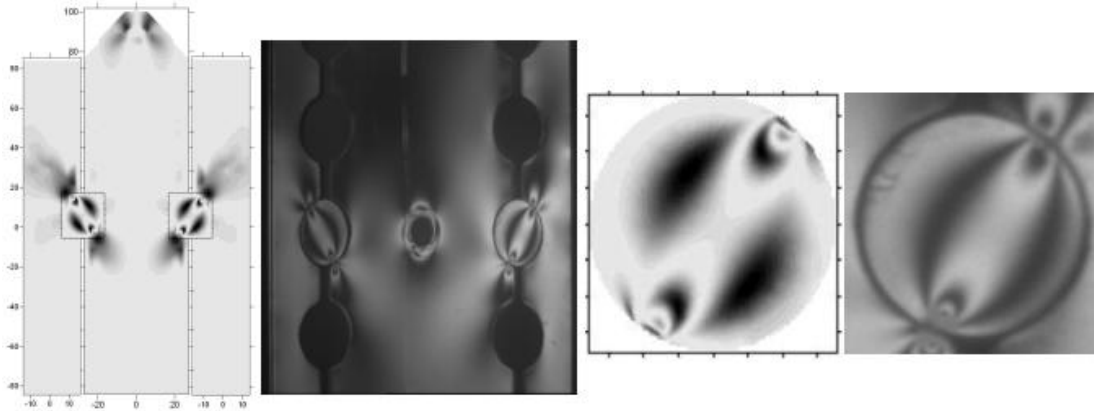


Figure 4 – Validation des franges : vis à billes une rangée

de la répartition globale dans le système ou locale au niveau des zones de contact (Figure 4), nous pouvons conclure que la simulation est représentative du cas expérimental et que les conditions aux limites sont bien adaptées. De ce fait, nous pouvons utiliser les résultats de la simulation pour évaluer le comportement du système, et par exemple, visualiser la concentration des contraintes de Tresca dans les zones de contact. La Figure 5 montre la répartition des contraintes de Tresca dans le système pour une force de traction de $F = 50N$ suivant l'axe Oy. Les contraintes atteignent leur

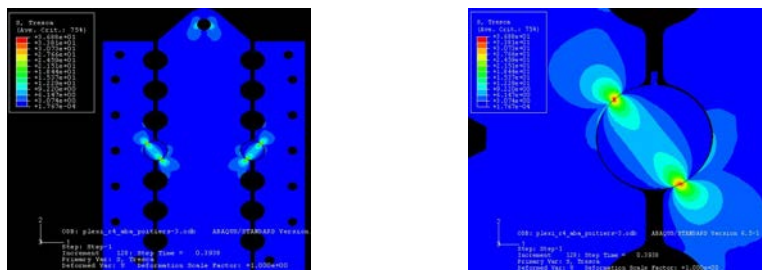


Figure 5 – Contrainte de Tresca dans le système vis-écrou-billes

maximum aux points de contact bille-écrou et bille-vis. Elles se propagent à travers la bille ainsi que sur la rangée supérieure de l'écrou et sur la rangée inférieure de la vis.

4.2 Cas bille/gorge 2D :

Le montage suivant représente une bille dans une gorge gothique similaire au profil réel, à une échelle supérieure afin d'observer plus distinctement les franges. On applique également une force de traction uniaxiale suivant l'axe Oy de $F = 50N$. La Figure 6 montre les franges photoélastiques pour différentes orientations de la gorge (0° , 20° , 40° et 60°). On remarque logiquement que les points de contact et donc la répartition des efforts évoluent en fonction de cette orientation. Les deux premiers cas correspondent à deux zones de contact, une sur chaque arête du contour gothique. Pour l'angle de 20° , on peut voir une augmentation des franges sur l'arête gauche qui implique une augmentation des contraintes dans cette zones. Pour un angle de 40° et 60° , le contact

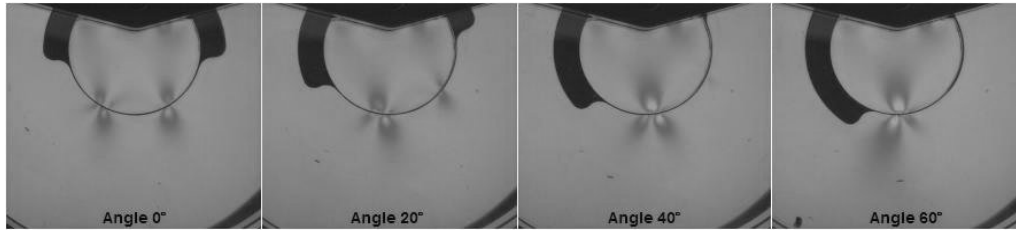


Figure 6 – Franges photoélastiques 2D de 0° à 60°

se limite à un seul point (sur l'arête gauche) avec une augmentation des franges avec l'augmentation de l'angle. La Figure 7 montre la comparaison des franges numériques et expérimentales pour un angle de 0° et 60° et une force $F = 50N$. Les images A et C représentent les franges nu-

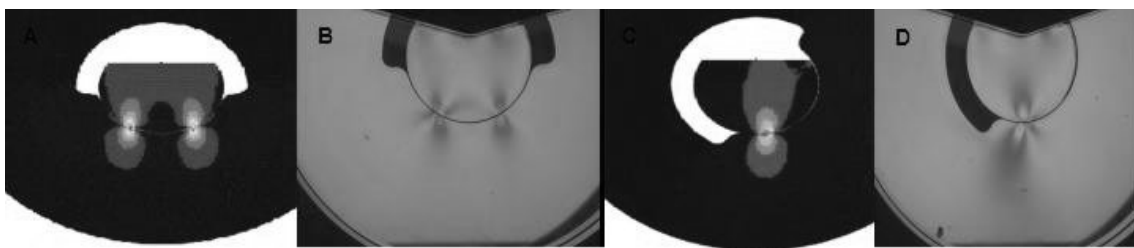


Figure 7 – Franges numériques et expérimentales : 0° et 60°

mériques alors que les images B et D représentent les franges expérimentales. Il y a une bonne correspondance entre l'expérimental et le numérique pour 0° et plus approximative pour 60° probablement due à un défaut local de forme. Néanmoins l'ordre de franges étant conservé, l'amplitude des contraintes reste identique. On peut donc utiliser les résultats de la simulation pour évaluer le comportement de la répartition de charge avec la variation de l'angle de la force. La Figure 8 représente la pression de contact (gauche) ainsi que les contraintes de Tresca (droite) pour cinq configurations différentes : 0°, 20°, 40°, 60° et 80° pour une même force $F = 50N$. On retrouve de

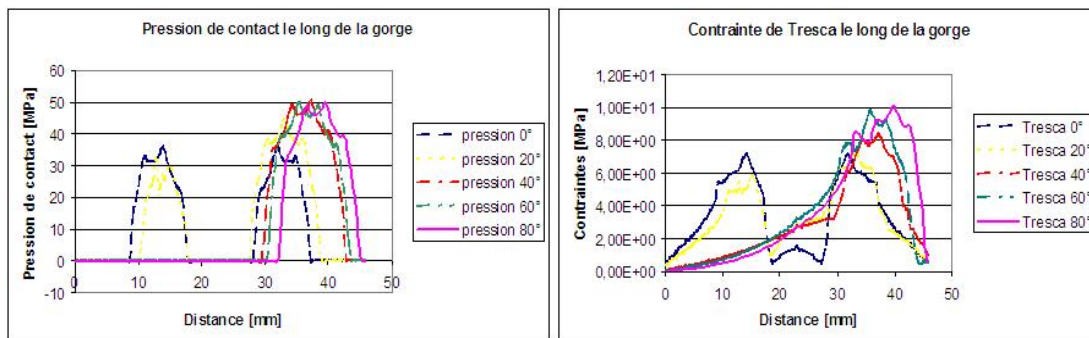


Figure 8 – Pression de contact/Contraintes de Tresca pour différentes valeurs d'angles

manière quantitative les résultats et les conclusions énoncés précédemment.

5 Conclusion et perspectives

Dans ce travail, une éprouvette 2D modélisant un système de vis à billes a été analysée par photoélasticimétrie et confrontée à un modèle numérique simplifié par éléments finis. La comparaison des résultats expérimentaux et numériques nous a permis de valider les conditions aux

limites. Nous avons également mis en évidence l'influence de l'angle de contact sur cette même répartition de charges. La prochaine étape est de valider nos calculs 3D représentant la vis à billes grâce avec la photoélasticimétrie 3D par découpage optique.

Références

- [1] T. Huang, B. Ravani. Contact Stress Analysis in Ball Screw Mechanism using the Tubular Medial Axis Representation of Contacting Surfaces. *Journal of Mechanical Design*, 119 :1 :8 :14, 1997.
- [2] J. Avril. *Encyclopédie d'analyse des contraintes*. Micromesures, 1984.
- [3] J.C. Dupré, A. Lagarde. *Photoelastic analysis of a three-dimensional specimen by optical slicing and digital image processing*. *Exp. Mech.* 37(4), 393-397, 1997.
- [4] A. Germaneau, P. Doumalin, J.C. Dupré. *3D Photoelasticity and Digital Volume Correlation applied to 3D mechanical studies*. In Proc. ICEM 13, Alexandroupolis, Greece, 2007.
- [5] A. Germaneau, F. Peyruseigt, S. Mistou, O. Dalverny, P. Doumalin, J.C. Dupré. *Experimental validation of a spherical plain bearing numerical model by scattered light photoelasticity*. In Proc. IMechE Vol. 222 (5) Part J : J. Engineering Tribology, 647-656, 2008.
- [6] A. Germaneau. Développement de techniques de mesure dans le volume : photoélasticimétrie 3D par découpage optique et corrélation volumique par tomographie optique et rayons X. Application à l'étude des effets mécaniques 3D dans les structures et les biomatériaux. *Université de Poitiers*, le 30 novembre 2007.
- [7] G. Zambelli, L. Vincent. *Matériaux et contacts : Une approche tribologique*. *Presse polytechniques et universitaires romandes*, 1998.