



HAL
open science

MISE EN FORME D'UN COUSSINET DE BIELLE-SIMULATIONS ET EXPÉRIENCES

Philippe Saffré, J L Ligier, J. Pastor, P Bariod

► **To cite this version:**

Philippe Saffré, J L Ligier, J. Pastor, P Bariod. MISE EN FORME D'UN COUSSINET DE BIELLE-SIMULATIONS ET EXPÉRIENCES. 14ème Congrès Français de Mécanique (CFM 1999), Aug 1999, Toulouse, France. hal-01907103

HAL Id: hal-01907103

<https://hal.univ-smb.fr/hal-01907103>

Submitted on 28 Oct 2018

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.

MISE EN FORME D'UN COUSSINET DE BIELLE - SIMULATIONS ET EXPÉRIENCES

P. SAFFRÉ*, J.L. LIGIER, J. PASTOR*, P. BARIOD*****

* LaMaCo - E.S.I.G.E.C. - Université de Savoie - 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex - France

** Renault - DSAP - 67, rue des Bons-Raisins - 92508 Rueil Malmaison Cedex - France

*** Glacier-Vandervell - 65, chemin de la Prairie - 74009 Annecy - France

RÉSUMÉ

Afin de déterminer les facteurs influents lors de l'opération de mise en forme des coussinets de bielle, une simulation numérique en grandes déformations des différentes étapes de cette mise en forme a été réalisée par éléments finis. Un modèle simplifié de type RDM a été employé pour contrôler les ordres de grandeur des résultats obtenus par le code. In fine, une comparaison calcul-expérience s'avère tout à fait satisfaisante pour chacun des essais de validation que nous avons réalisés.

ABSTRACT

To identify the main parameters during the rod half bearing forming process, a numerical simulation in large strains of the different stages in the forming process was developed by finite elements analysis. A simplified model based on beam theory was used in order to evaluate confidence in FEA results. To conclude, the comparison between calculation results and experimental tests is proving to be very satisfactory.

MOTS CLES : Mise en forme - Grandes déformations - Elastoplasticité - Coussinet de bielle

I. INTRODUCTION

Les coussinets de bielle sont présents dans tous les moteurs thermiques à combustion interne de véhicules automobiles. Outre la génération d'un couple sur le vilebrequin dû à l'effort qu'elle applique sur ce dernier, la bielle doit aussi garantir le bon fonctionnement de ses articulations. Pour assurer cette dernière fonction, on utilise précisément des coussinets, ici de type bimétallique. Or il s'avère que la qualité géométrique de ceux-ci influe sur leurs prestations en fonctionnement. Pour plus d'informations sur le fonctionnement des coussinets, on se reportera à la synthèse de Ligier (1997).

L'étude de la mise en forme du coussinet à partir de la plaque originelle est réalisée en élastoplasticité avec frottement avec le code d'éléments finis Systus+, pour tenir compte des grands déplacements et des grandes déformations, avec remaillage de la structure. On distingue deux étapes dans la mise en forme d'un coussinet. Une bande d'acier revêtue d'une couche d'alliage d'aluminium antifriction subit d'abord un " cambrage " (Fig. 1.a), puis une étape de " conformation " (Fig. 1.b) donnant la forme finale à la pièce, par tassement de la pièce dans une matrice. Nous nous plaçons en hypothèse de déformation plane.

Les différentes phases de comportement du coussinet sont étudiées. Nous analysons aussi les observations " éléments finis " à l'aide d'approches RDM simples mais en fait convaincan-

tes. Les résultats obtenus sont enfin confrontés aux observations réalisées lors de la fabrication du coussinet. Ces vérifications portent essentiellement sur des caractéristiques géométriques du coussinet.

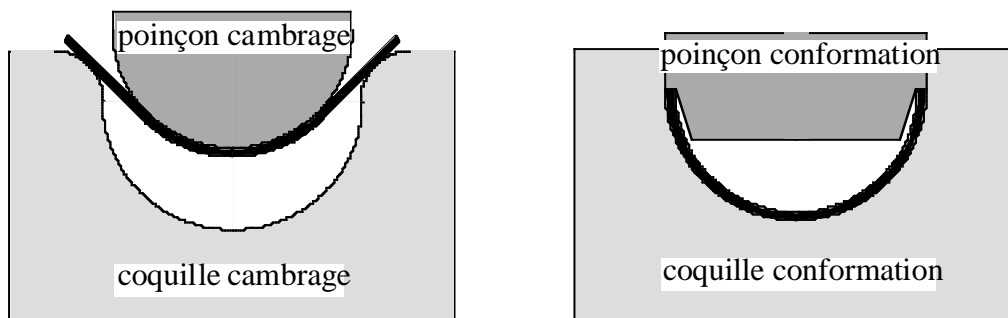


Figure 1 :

a. phase de cambrage

b. phase de conformation

II. SIMULATION MEF - HYPOTHESES DE CALCUL

L'analyse quasi-statique d'un tel problème est fortement non linéaire, et le développement numérique de ce type de non linéarités est clairement décrit par Charlier (1987).

- La loi de comportement des matériaux constitutants est élastoplastique avec écrouissage cinématique. On utilisera ici le critère de plasticité de Von Mises généralement utilisé. La loi est précisée à l'aide d'essais de traction simple sur éprouvettes découpées dans les matériaux. Ces derniers sont supposés isotropes et absents de contraintes résiduelles.

- La description cinématique relève des grandes déformations, et la formulation est de type lagrangien actualisé. La structure est soumise en outre à des conditions de contact avec ou sans frottement.

La résolution est incrémentale et itérative entre incréments. Le processus itératif est poursuivi jusqu'à ce qu'un critère de convergence soit vérifié, c'est-à-dire lorsque le résidu " d'équilibre " atteint la précision demandée.

III. MODELISATION DU CAMBRAGE

L'étape de cambrage (Fig. 1.a) consiste à soumettre le coussinet appuyé en deux points sur un berceau demi-cylindrique à l'action d'un poinçon de forme complémentaire à température ambiante. Les caractéristiques géométriques du poinçon et de la coquille de cambrage, ainsi que celles de la pièce initiale sont les suivantes : ϕ poinçon de cambrage = 47,94 mm ; ϕ coquille de cambrage = 52,25 mm ; longueur développée du coussinet = 81,90 mm ; épaisseur acier = 1,64 mm ; épaisseur antifriccion = 0,43 mm.

Sur les figures suivantes on constate que l'opération de cambrage est essentiellement une flexion à quatre appuis, ceux-ci évoluant le long du coussinet au cours du formage. Ces appuis sont représentés sur les figures par les points situés sur les rebords supérieurs et inférieurs du coussinet. Par raison de symétrie, les calculs ne sont réalisés que sur une demi-pièce.

L'évolution de la géométrie du coussinet, ainsi que celle des contraintes, dépend bien entendu de la localisation des points d'appui, peu nombreux pendant 80% de la mise en forme. Comme on s'y attend le coussinet a tendance à " s'enrouler " autour du poinçon. L'évolution du contact avec le poinçon a lieu par décollement d'un noeud juste après la prise de contact du noeud mitoyen. Les noeuds jouent alors un rôle de " rotule ". Le contact entre le coussinet et le

berceau est plus complexe, car l'évolution du contact procède soit par glissement du coussinet sur le rebord supérieur du berceau, soit par rotation autour de celui-ci (Fig. 2).

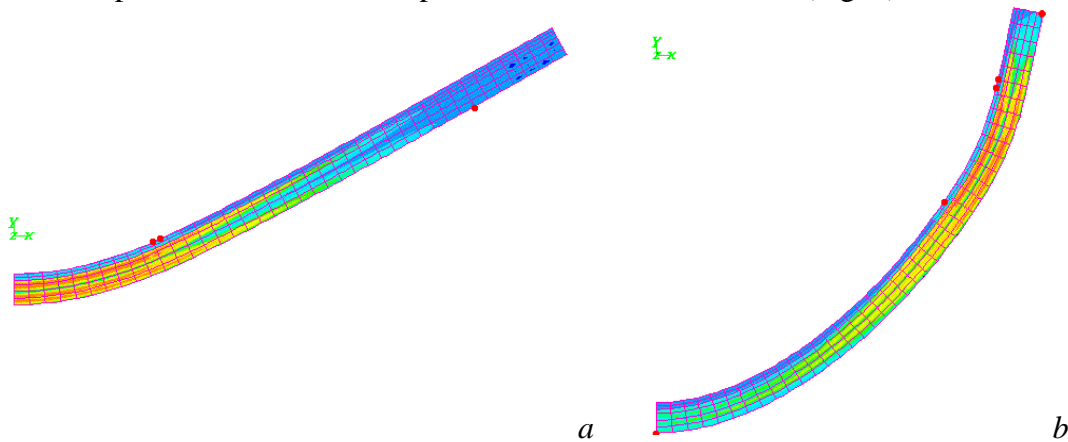


Figure 2 :
contraintes de Von Mises et points d'appui

Le coussinet est en flexion quatre points pendant 80% de la descente totale du poinçon (Fig. 2.a). La zone soumise à ce champ de contraintes évolue en fonction du déplacement des points de contact. Toutefois cette évolution n'entraîne pas de modification sensible des valeurs des contraintes. En effet le coussinet est plastifié dès le début du cambrage et le champ de contraintes est alors borné par le seuil plastique de chacune des deux couches du coussinet, compte tenu de la proximité des surfaces supérieure et inférieure libres de contraintes.

Après 80% de descente du poinçon le coussinet vient toucher le fond du berceau. Chaque moitié du coussinet se comporte alors comme une poutre encastrée-appuyée du fait de la symétrie interdisant toute rotation. A 90% et jusqu'à l'enfoncement total du poinçon, un point de contact supplémentaire apparaît entre coussinet et poinçon, créant ainsi une concentration de contraintes entre ces points, et une forte diminution du rayon de courbure dans cette même zone (Fig. 2.b). Après remontée complète du poinçon les contraintes résiduelles au sein du coussinet restent faibles et sont réparties de manière sensiblement uniforme.

Pour contrôler les résultats MEF à l'aide de la RDM, nous avons gardé l'hypothèse de Navier-Bernoulli, en déformation plane.

1^{ère} étape : la flexion est purement élastique dans chacune des deux couches, et les contraintes normales σ_x peuvent s'écrire de la façon suivante :

$$\sigma_x = \frac{E y}{\Gamma - \nu^2 R} \quad (1)$$

E est le module d'Young du matériau, ν le coefficient de Poisson, y la distance à la fibre la plus éloignée, et R le rayon de courbure.

Chacune des couches reste élastique jusqu'à son rayon critique R_c qui prend les valeurs suivantes : 1,54 m dans l'alliage antifriction sur sa surface concave ; 0,49 m dans le support acier sur sa surface convexe et 0,41 m sur sa surface concave. Les limites élastiques sont de fait atteintes dès le début du cambrage.

2^{ème} étape : la déformation plastique apparaît dans l'alliage antifriction

De la loi associée et du critère de plasticité on tire :

$$f(\sigma) = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k^2 \Rightarrow \sigma_x = \frac{\sigma_{01}}{\sqrt{0,75}} \quad (2)$$

où σ_{01} est la limite d'élasticité initiale de l'alliage antifriction.

3^{ème} étape : la déformation plastique est apparue dans le support acier et progresse

On trouvera figure 3 une comparaison de la distribution des contraintes normales en section centrale issue des simulations RDM (Fig. 3a) et MEF (Fig. 3.b). Dans la section centrale du coussinet en fin de cambrage (MEF), on retrouve bien une distribution similaire des contraintes.

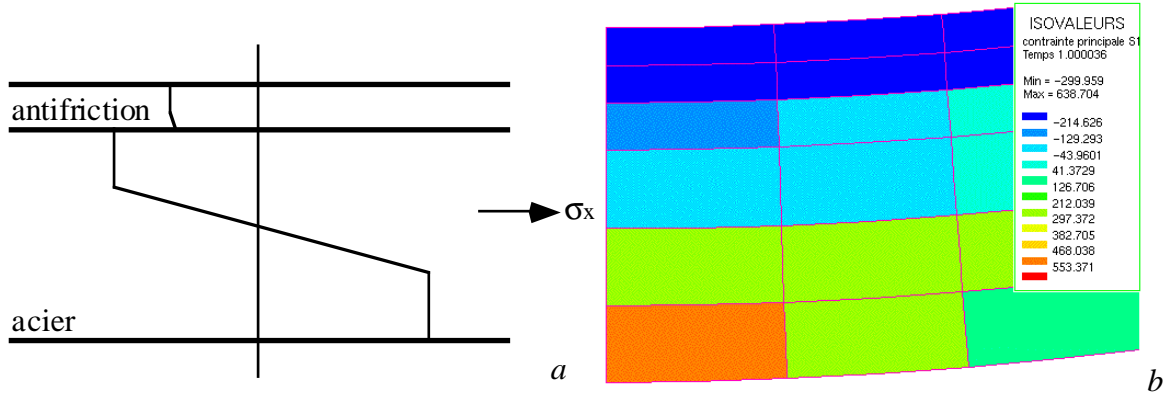


Figure 3 :
répartition des contraintes σ_x au centre du coussinet

IV. MODELISATION DE LA CONFORMATION

L'étape de conformation (Fig. 1.b) permet de donner au coussinet sa forme finale. A l'issue de la phase de cambrage, le coussinet est directement poussé dans une coquille de diamètre très légèrement supérieur ou coquille de conformation. Le poinçon tasse et pince le coussinet à chacune de ses extrémités de façon symétrique, à température ambiante. Les caractéristiques géométriques du poinçon et de la coquille sont ici les suivantes : largeur du poinçon = 52,69 mm ; épaulement du poinçon = 1,94 mm ; ϕ coquille = 52,69 mm.

Cette phase de conformation peut être scindée en deux étapes tenant à la géométrie particulière du poinçon. Pendant une partie de la descente du poinçon, le temps nécessaire au coussinet pour " se loger ", le contact ne porte que sur quelques points comme on peut le voir figure 4.a. Une schématisation du système en RDM est représentée figure 4.b. Le coussinet s'apparente à un arc semi-encastré comprimé et fléchi. Du fait de la géométrie quasiment circulaire du coussinet, le moment maximal est obtenu entre les points de contact entre coussinet et berceau, dans la section à mi-portée repérée par les points A et B comme sur la figure 4.a. Les contraintes normales sont plus faibles dans la partie alliage antifriction du fait de la limite d'élasticité de 48,5 Mpa. Les contraintes de Von Mises plafonnent à 80 MPa environ. Du pincement de la tête du coussinet résultent des surcontraintes dans la zone de chargement.

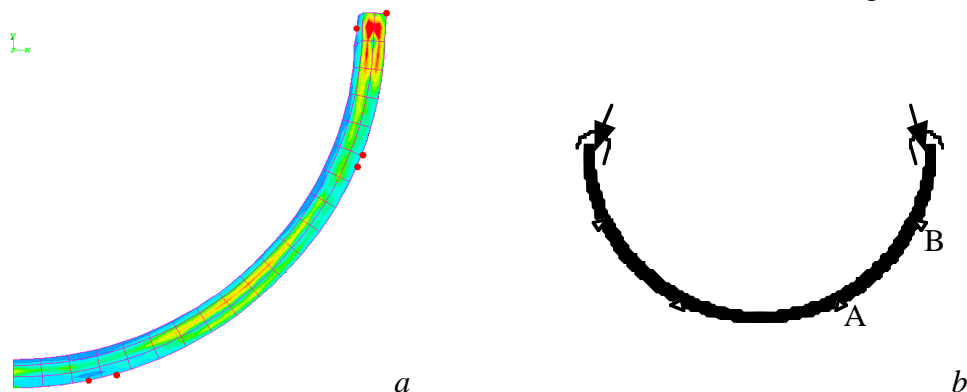


Figure 4 :
coussinet soumis à des forces de contact ponctuelles

Lors d'une seconde phase, le coussinet est complètement encastré entre le poinçon et la coquille de conformation et le contact parfaitement établi sur toute la surface du coussinet (Fig. 5.a). De nouveau le système peut être schématisé (Fig. 5.b). A partir de ce moment, le coussinet est principalement en compression. Il est soumis à la combinaison d'un effort normal, dû à la compression, et d'un moment de flexion, mais les forces de contact sont désormais réparties sur toute la surface du coussinet. Lorsque l'on s'éloigne de la fibre neutre vers les fibres externes du coussinet, les contraintes $\sigma_{\theta\theta}$ dues à l'effort normal de compression sont de signes opposées à celles issues de la flexion. Elles ont alors tendance à s'annuler et la résultante est en effet plus faible que les contraintes à l'intérieur du coussinet.

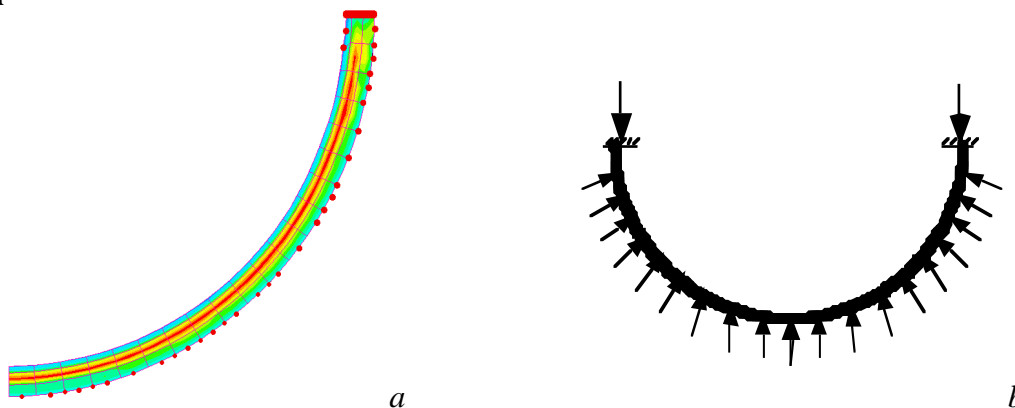


Figure 5 :
coussinet articulé et soumis à des forces réparties

Après relâchement du poinçon, le niveau des contraintes dans le coussinet redevient négligeable.

L'ensemble de ces simulations numériques est entièrement détaillé par Saffré (1997).

V. VERIFICATIONS EXPERIMENTALES

Les observations expérimentales portent sur la géométrie du coussinet à chaque étape après retrait total du poinçon sur la pièce. Ces mesures portent sur l'ouverture libre (distance entre les deux bords extérieurs des plans de joint) et la hauteur du coussinet. Dans le tableau suivant sont répertoriés les résultats expérimentaux ainsi que ceux issus du calcul MEF.

	Après cambrage		Après conformation	
	Résultats MEF	Résultats exp.	Résultats MEF	Résultats exp.
Ouverture libre	53,78 mm	54,00 ± 0,1 mm	52,20 mm	52,30 ± 0,1 mm
Hauteur	27,37 mm	27,34 mm	26,31 mm	26,08 mm

En plus de ces vérifications, les pièces ont été striées régulièrement au dos par gravage (Fig. 6) afin de mesurer l'évolution de longueur des " mailles " ainsi tracées.

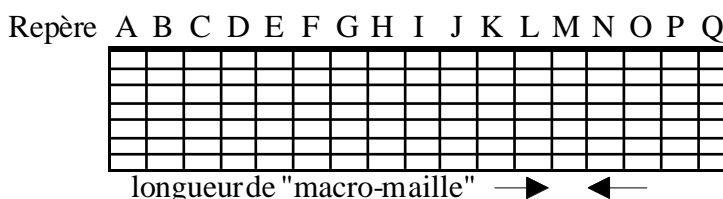


Figure 6 :
quadrillage du dos du coussinet en " macro-mailles "

On réalise, sur un même coussinet, des mesures de variation de quadrillages au dos avant et après chaque étape de son élaboration. Les variations de longueur des “ macro-mailles ”, mesurées entre l’état après cambrage et l’état initial plan de la pièce, entre l’état après conformation et l’état initial plan, et enfin entre l’état après conformation et l’état après cambrage, sont représentées sur la figure 7.

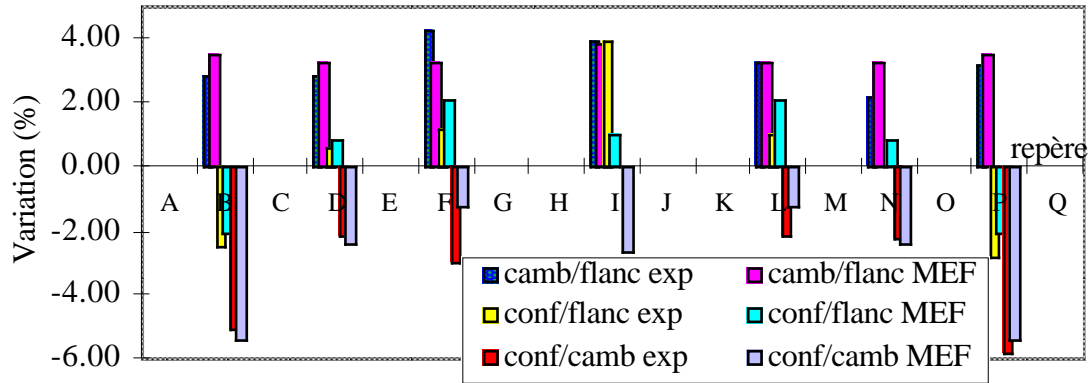


Figure 7 :
variations de la longueur de maille

Les résultats expérimentaux et numériques concordent bien, mis à part les variations conforme/flanc ou conforme/cambrage prises au centre du coussinet. Ces écarts peuvent venir de l’incertitude liée à la complexité des mesures expérimentales. L’ensemble de ces résultats confirment la pertinence des calculs réalisés, ainsi que les hypothèses retenues.

VI. CONCLUSION

Aujourd’hui la compréhension de la fabrication d’un coussinet repose sur des bases de connaissances expérimentales, des constats phénoménologiques ainsi que des mesures fines. Cette simulation numérique de l’étape de fabrication constitue une avancée importante par rapport aux outils de compréhension disponibles. Elle a permis d’améliorer la connaissance des paramètres influents de la mise en forme du coussinet et offre des possibilités de gain de temps important sur l’optimisation dimensionnelle du coussinet. En particulier, la qualité des corrélations calculs/mesures met en évidence que l’outil de simulation est tout à fait adapté pour effectuer des études de sensibilité et parvenir à des optimisations de forme du coussinet. Il est alors possible de modifier l’outillage pour améliorer encore la géométrie et surtout supprimer les surcontraintes induites par le procédé de fabrication, ces aspects ayant des conséquences directes sur le comportement de la pièce en situation réelle de fonctionnement.

REFERENCES

- CHARLIER R.; 1987, Approche unifiée de quelques problèmes non linéaires de mécanique des milieux continus par la méthode des éléments finis, Thèse de l’Université de Liège.
 LIGIER J.L.; 1997, Lubrification des paliers moteurs, Ed. Technip.
 SAFFRÉ P., 1997, Optimisation du coussinet de bielle : caractérisations, simulations et mise en forme, Thèse de l’Université de Savoie.