



**HAL**  
open science

## Simulation numérique du galetage

Nicolas Massué, Hatem Khanfir, Lakhdar Taleb, Étienne Arnoult

► **To cite this version:**

Nicolas Massué, Hatem Khanfir, Lakhdar Taleb, Étienne Arnoult. Simulation numérique du galetage : Impact de différents paramètres sur la tenue de l'outil. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01813045

**HAL Id: hal-01813045**

**<https://hal.science/hal-01813045>**

Submitted on 12 Jun 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.

Public Domain

---

# Simulation numérique du galetage

## Impact de différents paramètres sur la tenue de l'outil

Nicolas Massué<sup>\*,\*\*</sup> – Hatem Khanfir<sup>\*</sup> – Lakhdar Taleb<sup>\*\*</sup> – Etienne Arnoult<sup>\*\*\*</sup>

\*Renault SAS - CTR B02 1 60 - 67 rue des Bons Raisins - 92508 Rueil Malmaison

\*\*LMR INSA Rouen - Av. de l'Université -BP08 76801 St Etienne du Rouvray cedex

\*\*\*Laboratoire Roberval - UTC - BP 20 529 - 60 205 COMPIÈGNE cedex

[nicolas.massue-renexter@renault.com](mailto:nicolas.massue-renexter@renault.com)

---

*RÉSUMÉ. Pour des raisons de volonté forte de réduire la consommation de ses moteurs, Renault développe des groupes motopropulseurs, et donc des vilebrequins parmi les plus compacts du marché. Le vilebrequin est soumis à des sollicitations en service qui tendent à diminuer sa tenue en fatigue. Le procédé de galetage a pour objectif de créer des contraintes de compression dans les zones du vilebrequin les plus à risque de rupture, pour ainsi augmenter sa durée de vie. Pour atteindre l'objectif de tenue en fatigue de vilebrequins si compacts, le processus de galetage devient critique à cause de l'augmentation des efforts induits dans l'outillage. Dans un souci de réduire les coûts de fabrication associés au galetage, une étude d'optimisation de l'outil, du point de vue de sa tenue en fatigue, est réalisée. Après avoir identifié les paramètres les plus influents sur la durée de vie de l'outil, nous évaluerons, au moyen de simulations numériques, leur impact sur les contraintes et donc sur la durée de vie. Ainsi, nous verrons en quoi les paramètres numériques influent sur la pertinence des résultats et comment une modification de la géométrie de la gorge de la roue permet de réduire les pressions de contact.*

*ABSTRACT. To reduce its engine consumption, Renault is developing powertrains, and so crankshafts, among the most compact in the market. Under service loading can decrease the crankshaft lifetime. Deep fillet rolling process allows obtaining compression stresses in the most loaded crankshaft areas, to increase its lifetimes. To guarantee fatigue endurance of the tool, with such compact crankshafts, deep fillet rolling becomes critical because of the augmentation of the forces in the tools during the process. In order to reduce manufacturing costs caused by the deep fillet rolling process, a study for the tool optimization has been carried out. The most influent parameters on the tool lifetime are identified. Then, we will expose the main FEM results to show the impact of the parameters on the stresses and so, on the tool lifetime.*

*The study shows how the numerical parameters influence the results and how the modification of the fillet of the wheel can reduce the contact pressures.*

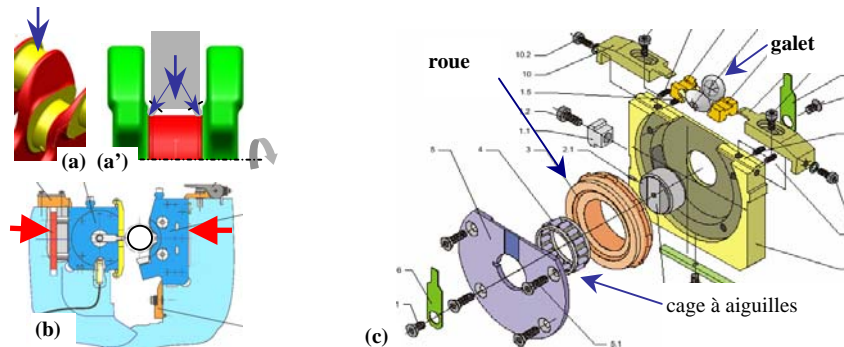
*MOTS-CLÉS : galetage, éléments finis, élastoplasticité, durée de vie, fatigue, production.*

*KEYWORDS: deep fillet rolling, FEM, elastoplasticity, cycling, lifetime, fatigue, process.*

---

### 1. Introduction : contexte de l'étude, enjeux et objectifs

Le vilebrequin est une pièce maîtresse du moteur qui doit assurer une très grande tenue à la fatigue sur la durée de vie du véhicule. Les risques de fissurations de cette pièce, fortement sollicitée, sont grandement augmentés par la présence de gorges au niveau de la jonction entre les bras et des paliers (manetons et tourillons). Afin de limiter ces risques, une opération de renforcement (galetage, figure 1a' et 1b) est prévue dans le processus de fabrication du vilebrequin.



**Figure 1.** (a) Efforts sur un maneton en service. (a') Renforcement de la gorge par galetage. (b) Schéma de principe de l'opération. (c) Eclaté de l'outil de galetage.

Afin de garantir une tenue en fatigue avec des vilebrequins si compacts, le processus de galetage devient critique à cause de l'augmentation des efforts induits dans les pièces et dans l'outillage correspondant. Ceci a un impact direct et non négligeable sur la durée de vie des outils de galetage. La casse du galet est de ce fait responsable de 70% des rebuts et le coût outil à la pièce reste le plus élevé parmi toutes les opérations de fabrication.

Devant la complexité des phénomènes mis en jeu (déformation plastique, chargement cyclique, contact, lubrification, usure,...), une approche scientifique multidisciplinaire s'impose. Les recherches dans ce domaine se focalisent exclusivement sur l'effet dans le matériau du vilebrequin. L'intérêt de cette étude est d'orienter la modélisation numérique vers l'outillage (conception, fabrication, etc.).

Aussi pour limiter le coût outil associé, et tel est l'objectif de l'étude, est-il nécessaire de : **comprendre les phénomènes** mis en jeu lors de l'opération de galetage au moyen de simulations numériques, et d'**identifier les paramètres influents**. On proposera alors des **améliorations sur l'outil existant** et une **analyse comparative des solutions d'optimisation**.

Les objectifs clairement définis précédemment donnent lieu à la stratégie suivante pour le traitement du problème :

1. lister les paramètres principaux portant atteinte à la durée de vie

2. identifier l'influence de ces paramètres par un calcul par éléments finis
3. proposer un outil optimisé combinant tous les paramètres influents

## 2. Paramètres intervenant dans la tenue en fatigue de l'outil de galetage

| <i>Paramètres influençant DDV outil</i> | <i>Description</i>                            | <i>Modèle retenu pour l'étude</i>                                |
|---|---|--|
| <b>fonctionnels</b>                     | Tribologie lubrification./ contact            | 3D élastoplastique dynamique                                     |
|   | Température de galetage                       | 2D viscoplastique statique                                       |
| <b>matériaux</b>                        | Viscosité                                     | 2D élastoplastique statique                                      |
|   | Modules d'élasticité                          |  |
|   | Limites élastiques                            |  |
|   | Module d'érouissage                           | 2D/3D élastoplastique dynamique<br>( <i>Dang Van, EN ou SN</i> ) |
| <b>géométriques</b>                     | Géométries roue/galet <sup>2</sup>            | 2D/3D élastoplast. stat. ou dyn.                                 |
|   | Jeux fonctionnels <sup>1</sup>                | 2D élastoplastique statique                                      |
| <b>chargement</b>                       | Effort de serrage                             | 2D élastoplastique dynamique                                     |
|   | Cycles  | 2D viscoplastique dynamique                                      |
|   | durée galetage/<br>temps entre deux galetages | 2D viscoplastique dynamique                                      |
| <i>Paramètres numériques</i>            | Type d'élément <sup>2</sup>                   | Linéaire ? Déformation plane ?                                   |
|   | Type de chargement <sup>2</sup>               | Effort ou déplacement imposé ?                                   |
|   | Type de maillage <sup>2</sup>                 | Quelle finesse choisir ?   |
|   | Symétries <sup>2</sup>                        | ½ modèle ou modèle complet ?                                     |

**Figure 3.** Liste non exhaustive de paramètres influents sur la durée de vie (DDV) de l'outil

## 3. Impact du modèle sur la pertinence des résultats

### 3.1. Les éléments

Pour modéliser un tel problème, la question de la pertinence d'utiliser les éléments de déformations planes (DP) est posée. En effet, les éléments DP permettent de s'affranchir d'un modèle tridimensionnel au prix de l'hypothèse contraignante selon laquelle les déformations dans la profondeur sont nulles. Ceci revient à modéliser le problème par une plaque d'épaisseur arbitraire, dans le plan

1. Paramètre précédemment étudié dans le DEA de H.Soboh

2. Paramètre étudié dans le présent article

de contact roue/galet/vilebrequin, où les efforts sont supposés maximums. Par contre, les contraintes ne sont pas supposées nulles dans l'épaisseur.

Cette hypothèse est justifiable par le fait que, jusqu'à une certaine épaisseur, la courbure des trois pièces est assimilable à une droite, et que la déformation du galet et de la roue dans la troisième dimension est négligeable. Par contre, la déformation du vilebrequin risque de ne pas être nulle, ce qui peut avoir un impact sur les calculs.

Cette hypothèse nous a permis d'obtenir les premiers résultats. Pour la suite de l'étude, notamment pour l'aspect dynamique, nous ne pourrions plus nous en contenter.

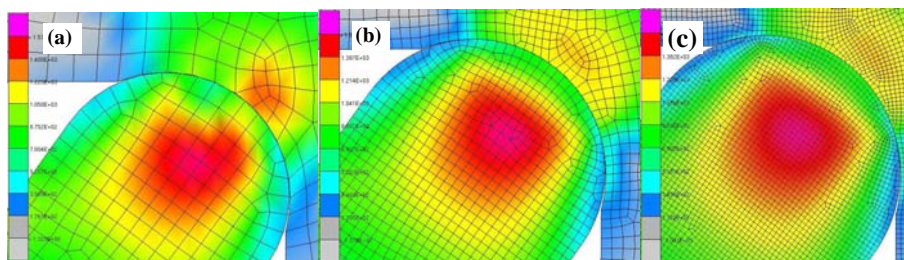
### 3.2. Le chargement

Le chargement réel est un chargement d'efforts imposés sur la roue. Cependant, les hypothèses précédentes sont si contraignantes, que l'effort réel engendre des contraintes qui dépassent le seuil de déformation acceptable des éléments (lors de leur plastification), pour la convergence des calculs éléments finis, et qui ne sont pas réalistes. Deux solutions peuvent être choisies pour résoudre ce problème.

La première consiste à réduire l'effort jusqu'à obtenir une déformation de gorge équivalente au cas réellement observé sur le vilebrequin après galetage. La seconde consiste à piloter le déplacement de la roue et non les efforts qu'elle subit. Si aucune des deux solutions n'est idéale, c'est cependant la première qui sera choisie car elle permet de conserver le type de chargement le plus réaliste.

### 3.3. Le maillage

Plusieurs tailles de maille ont été testées. Il s'agit de détecter la taille de maille qui donne le meilleur compromis temps de calcul / précision des résultats. Nous observons sur les figures 4a à 4c que la cartographie des contraintes s'affine avec le maillage.

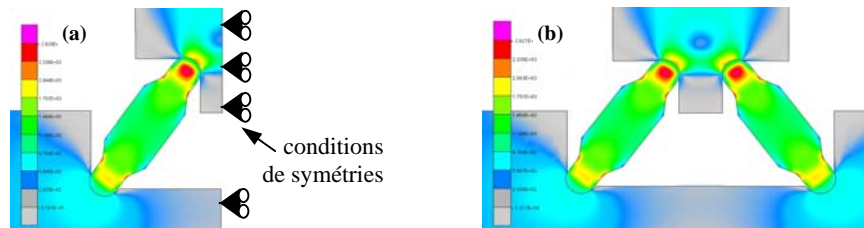


**Figure 4.** Contraintes de Von Mises pour une maille de (a) 0.2mm (b) 0.1mm (c) 0.05mm

Si elle paraît grossière pour une taille de maille de 0.2mm, la répartition des contraintes de Von Mises devient acceptable pour une taille de maille de 0.1mm. En outre, le temps de calcul pour une taille de 0.05mm n'est pas acceptable : 5 fois plus grand que pour la maille de 0.1mm, et 42 fois plus grand que pour la maille de 0.2mm. Pour la phase d'optimisation ultérieure, la taille de maille de 0.1mm sera retenue.

### 3.4. Les symétries

L'influence de la symétrie de l'outil (mise en position de la roue grâce au deuxième galet) a été testée grâce à la réalisation d'un maillage complet.



**Figure 5.** Contraintes de Von Mises pour un (a) demi maillage (b) maillage complet

Nous constatons sur les figures 5a et 5b que les contraintes de Von Mises sont quasiment identiques, tant qualitativement que quantitativement, pour les deux maillages. Le temps de calcul étant plus de 7 fois supérieur pour un maillage complet, le demi maillage est la solution à privilégier pour les calculs ultérieurs.

## 4. Exemple d'étude : impact d'un paramètre géométrique (géométrie de la gorge de roue) sur la tenue en fatigue de l'outil

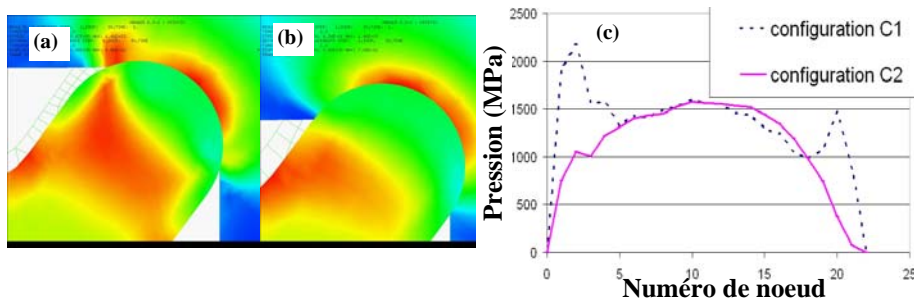
### 4.1. Définitions

Cette partie a pour objet de comparer deux géométries de gorge de roue, et de déterminer quel est l'impact de cette modification sur les pressions de contact avec le galet, et donc sur la tenue en fatigue de celui-ci.

On notera dans la suite la configuration actuelle C1, et la configuration modifiée C2. La configuration C2 est une gorge dite piquée. Cette géométrie permet d'avoir une surface de contact maximale entre le galet et la roue, et ainsi d'éviter les pics de contraintes parfois observés au niveau du contact. Nous cherchons finalement à uniformiser la pression de contact.

Nous nous sommes assurés de l'équivalence des pressions de contact au niveau du vilebrequin.

#### 4.2. Résultats



**Figure 6.** Contraintes de Von Mises dans la (a) configuration actuelle (b) configuration modifiée. (c) Pressions de contact sur la gorge de la roue en fonction du noeud

Les différences observées par rapport aux résultats des figures 4, s'expliquent par un choix différent de conditions initiales.

Nous observons sur les figures 6a et 6b que le profil des contraintes est différent du côté de la roue, et les contraintes paraissent plus uniformes.

Pour chiffrer la baisse des pressions de contact, nous présentons la pression de contact en fonction du nœud du galet (figure 6c).

Au vu de ces résultats, nous pouvons affirmer que la configuration C2 est beaucoup plus avantageuse du point de vue de la répartition des pressions de contact que la configuration actuelle. Il faudra donc envisager de faire tendre les évolutions futures de l'outil vers une configuration où la surface de contact entre le galet et la roue est maximale.

#### 5. Bibliographie

- Choi K.S., Pan J., Ho S., Fatigue failure of rollers in crankshaft fillet rolling, to be published, january 2004, Daimler Chrysler - University of Michigan.
- Soboh H., Simulation numérique du galetage, DEA, Renault - UTC, 2003.
- Lemaître J., Chaboche J.-L., Mécanique des matériaux solides, 2<sup>ème</sup> édition, Dunod, 1988.
- Braham S., Modélisation du galetage des vilebrequins, évolution des contraintes résiduelles sous chargement de service, PhD Thesis, Ecole Polytechnique, 1991.