



**HAL**  
open science

## Vibration d'une ligne d'arbre sur paliers hydrodynamiques texturés

Jocelyn Rebufa, Erick Le Guyadec, Denis Mazuyer, Fabrice Thouverez

► **To cite this version:**

Jocelyn Rebufa, Erick Le Guyadec, Denis Mazuyer, Fabrice Thouverez. Vibration d'une ligne d'arbre sur paliers hydrodynamiques texturés. CFM 2015 - 22e Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444726

**HAL Id: hal-03444726**

**<https://hal.science/hal-03444726>**

Submitted on 23 Nov 2021

**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

# Vibration d'une ligne d'arbre sur paliers hydrodynamiques texturés

**J. REBUFA<sup>a</sup>, E. LE GUYADEC<sup>b</sup>, D. MAZUYER<sup>c</sup>, F. THOUVEREZ<sup>d</sup>**

- a. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, [jrebufa@ec-lyon.fr](mailto:jrebufa@ec-lyon.fr)
- b. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, [erick.leguyadec@cea.fr](mailto:erick.leguyadec@cea.fr)
- c. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, [denis.mazuyer@ec-lyon.fr](mailto:denis.mazuyer@ec-lyon.fr)
- d. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, [fabrice.thouverez@ec-lyon.fr](mailto:fabrice.thouverez@ec-lyon.fr)

## Résumé :

*Les systèmes de lubrification, comme le palier hydrodynamique, jouent un rôle crucial dans la dynamique globale de la machine, et ont une influence significative sur les vibrations des structures. Afin de prédire les vibrations de l'arbre, les interactions fluide-structure entre le lubrifiant et le rotor doivent être prises en compte. Or, le palier hydrodynamique possède des comportements fortement non-linéaires qui compliquent l'analyse prédictive des vibrations. Par ailleurs, les progrès récents de la texturation de surface ont montré un certain nombre d'améliorations de la lubrification hydrodynamique. En revanche, les effets des différents motifs de texturation sur la dynamique de l'arbre ne sont pas bien connus, et doivent être correctement analysés.*

*Dans ce but nous présenterons les résultats d'un algorithme monolithique de résolution non-linéaire du problème couplé de ligne d'arbre tournant sur deux paliers hydrodynamiques. Le motif de texturation est pris en compte dans un premier temps par une méthode d'homogénéisation multi-échelles de l'équation de Reynolds. Dans un second temps, on modélise l'impact de la texturation par résolution de l'équation de Navier-Stokes laminaire à l'échelle locale.*

## Abstract :

*Advanced rotating machinery, using small rotors or working at high rotating speeds, require a complete control of the vibration components.*

*Lubrication systems, such as hydrodynamic journal bearings play a crucial role in the dynamical behavior of the whole machinery and have a significant influence on structure vibrations. Fluid Structure Interaction (FSI) between the lubricant and the rotating shaft has to be taken into account. Predictions of the shaft vibrations are difficult because of the nonlinear behavior of the hydrodynamic bearing. Besides, recent improvements in surface texturing have shown several enhancements in hydrodynamic lubrication. However, effects of the texture pattern on the dynamic behavior of the system are not well known and need to be properly analyzed.*

*In this work, we present the results of a monolithic algorithm solving the non-linear coupling problem of a rotating shaft on two hydrodynamic bearings. First, homogenization techniques of Reynolds equation are used to analyze surface texturing influence on the monolithic system. Second, the impact of the texturing pattern is analyzed with local Navier-Stokes resolution.*

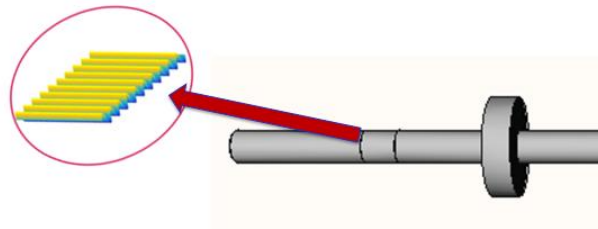
**Mots clefs : Palier hydrodynamique, couplage fluide-structure, cavitation, texturation de surface, méthodes multi-échelles**

## 1 Introduction

Le palier hydrodynamique est une solution de guidage en rotation intéressante à hautes vitesses de rotation, à la fois pour ses propriétés de lubrification, mais aussi pour ses propriétés d'amortissement dynamique via la viscosité de l'huile. Cependant, dans les cas de miniaturisation des machines tournantes, les vibrations auto-entretenues, voire instables des paliers hydrodynamiques sont accentuées. Par exemple, le phénomène d'« oil whirl » dû au tournoiement de l'huile autour de l'arbre a fait l'objet de nombreuses recherches ([1], [2], [3]) et reste relativement complexe à étudier pour les rotors légers ou disposés verticalement. De plus, le phénomène de cavitation dans le lubrifiant, ou de rupture de film, apparaît fréquemment et change radicalement le profil de pression dans le palier. Différents modèles de cavitation peuvent être retenus ([4], [5], [6]), cependant chaque modèle implique des comportements différents dans la prédiction de la dynamique globale.

Par ailleurs, les progrès récents de la texturation de surface ont montré un certain nombre d'améliorations de la lubrification hydrodynamique ([7]), comme par exemple la réduction du frottement, ou encore l'augmentation de la force de chargement statique soutenue par le palier. En revanche, les effets des différents motifs de texturation sur les vibrations de l'arbre ne sont pas bien connus, et doivent être correctement analysés.

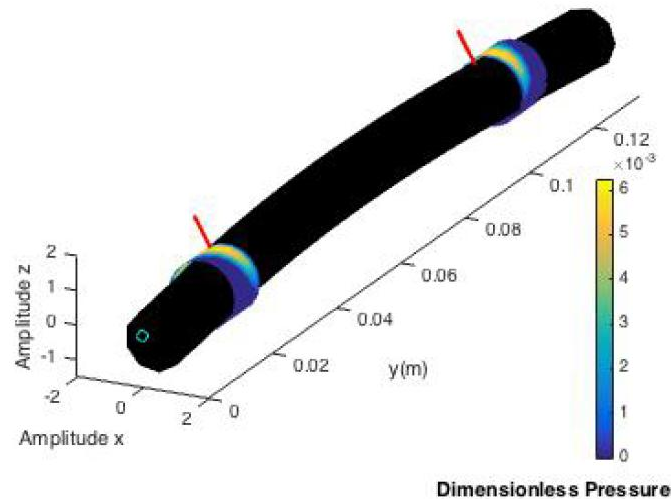
Dans ce but, nous présenterons les caractéristiques d'un outil de prédiction multi-physiques et multi-échelles permettant l'analyse de l'impact de la texturation du palier sur la dynamique du rotor.



**Figure 1** – Schématisation d'un rotor possédant une texturation sinusoidale circumférentielle au niveau du palier hydrodynamique

## 2 Un algorithme multi-physiques et multi-échelles

Afin de prédire l'impact des vibrations d'arbre tournant sur deux paliers hydrodynamiques texturés, un algorithme monolithique de résolution non-linéaire du problème couplé a été programmé. Le phénomène de cavitation dans le lubrifiant est modélisé par un problème à frontière libre entre deux domaines fluides, régis par les équations de Reynolds pour le film complet, et par le modèle de conservation du débit de Jakobsson-Floberg-Olsson / Elrod-Adams dans la zone de rupture de film. Les équations fluides sont résolues sous forme de problème linéaire complémentaire par l'algorithme de Lemke, et la pression est projetée sur la structure. La discrétisation des domaines fluides et structure est effectuée par éléments finis autorisant le désalignement de l'arbre (figure 2).



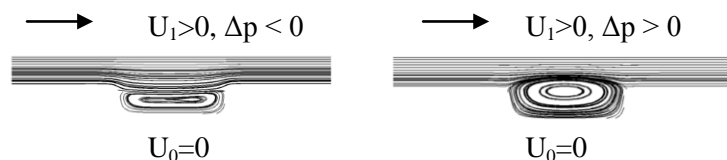
**Figure 2** – Pression hydrodynamique des paliers texturés projetée sur un arbre tournant flexible (en noir) soumis à deux balourds (en rouge)

Le motif de texturation est pris en compte dans un premier temps par une méthode d'homogénéisation multi-échelles de l'équation de Reynolds ([8]). Dans cet article, Bayada et al. proposent des expressions analytiques de facteurs de flux. Ces coefficients sont utilisés pour pondérer l'équation de Reynolds avec cavitation, permettant de calculer la pression dans chaque palier et la projeter sur la structure.

La résolution est effectuée par analyse statique, modale ou temporelle du système d'équation obtenu avec les hypothèses présentées ci-dessus. Nous montrerons, entre autre, l'impact cumulé du modèle de cavitation et du motif de texturation sur les modes de corps rigide de la structure, correspondant au phénomène d'« oil whirl ». Les vibrations non-linéaires obtenues par intégration temporelle seront de plus analysées.

### 3 Résolution locale de Navier-Stokes

Afin de prendre en compte les possibles recirculations du fluide dans les aspérités (figure 3), on modélise l'impact de la texturation par résolution de l'équation de Navier-Stokes laminaire à l'échelle locale.



**Figure 3** - Différents régimes d'écoulement au-dessus d'un motif de texture -  $U_1$  désigne la vitesse de cisaillement du plan supérieur -  $U_0$  désigne la vitesse de cisaillement du plan inférieur -  $\Delta p$  la différence de pression entrée/sortie

On retrouve, figure 2 les résultats obtenus par De Kraker et al. ([9]) concernant l'impact des conditions aux limites du motif sur la recirculation. Les débits axiaux et transversaux résultants de chaque

texturation sont comparés aux débits obtenus dans le cas de plans lisses. Les rapports des débits déterminent les facteurs de flux pondérant l'équation de Reynolds en s'appuyant sur la méthode de De Kraker et al. ([9]). Ces facteurs sont ensuite insérés dans l'algorithme multi-physique.

## Références

- [1] J. W. Lund et E. Saibel, « Oil Whip Whirl Orbits of a Rotor in Sleeve Bearings », *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 89, n° 4, p. 813-823, nov. 1967.
- [2] D. W. Childs, *Turbomachinery Rotordynamics: Phenomena, Modeling, and Analysis*. John Wiley & Sons, 1993.
- [3] A. Muszynska, *Rotordynamics*. CRC Press, 2005.
- [4] J. C. Coyne et J. H. G. Elrod, « Conditions for the Rupture of a Lubricating Film. Part I: Theoretical Model », *J. Tribol.*, vol. 92, n° 3, p. 451-456, juill. 1970.
- [5] H. G. Elrod, « A Cavitation Algorithm », *J. Tribol.*, vol. 103, n° 3, p. 350-354, juill. 1981.
- [6] D. Vijayaraghavan et T. G. Keith, « Development and Evaluation of a Cavitation Algorithm », *Tribology Transactions*, vol. 32, n° 2, p. 225-233, janv. 1989.
- [7] I. Etsion, « State of the Art in Laser Surface Texturing », *Journal of Tribology*, vol. 127, n° 1, p. 248, 2005.
- [8] G. Bayada, S. Martin, et C. Vázquez, « An Average Flow Model of the Reynolds Roughness Including a Mass-Flow Preserving Cavitation Model », *J. Tribol.*, vol. 127, n° 4, p. 793-802, mai 2005.
- [9] A. de Kraker, R. A. J. van Ostayen, et D. J. Rixen, « Development of a texture averaged Reynolds equation », *Tribology International*, vol. 43, n° 11, p. 2100-2109, nov. 2010.