



HAL
open science

Analyse des instabilités de frottement à l'interface d'une garniture mécanique

Mathieu, Rouillon, Noël Brunetière

► **To cite this version:**

Mathieu, Rouillon, Noël Brunetière. Analyse des instabilités de frottement à l'interface d'une garniture mécanique. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444728

HAL Id: hal-03444728

<https://hal.science/hal-03444728>

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.

Analyse des instabilités de frottement à l'interface d'une garniture mécanique

M. ROUILLON^{a,b}, N. BRUNETIERE^a

- a. INSTITUT P' D3 / Axe TRIBOLUB – UPR 3346 CNRS, Université de Poitiers, SP2MI – Boulevard Pierre et Marie Curie, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France
- b. CNES, Direction des lanceurs, 52 rue Jacques Hillairet, 75612 Paris Cedex, France

Résumé :

Cette étude s'intéresse à l'apparition d'oscillations concernant le couple de frottement mesuré au sein d'une garniture mécanique fonctionnant avec de l'eau liquide. L'analyse réalisée montre que ces oscillations sont principalement dues à des instabilités thermomécaniques, dont la période est contrôlée par la pression d'alimentation et la température du fluide ainsi que la vitesse de rotation du moteur. Les conditions d'apparition de ces oscillations ont pu être caractérisées.

Abstract :

This experimental study is interested in frictional torque cycling inside smooth mechanical face seals in water simple-phase flow. The analysis shows that these cycles are mainly due to thermomechanical instabilities, where period is controlled by the supply pressure, the fluid temperature and rotation speed of the electrical motor. Conditions of cycling behaviour have been investigated.

Mots clefs : Garniture mécanique, lubrification, instabilités thermomécaniques, étanchéité dynamique

1 Introduction

Une garniture mécanique (GM) est un dispositif d'étanchéité utilisé dans les machines tournantes. Elle se compose de deux faces annulaires planes en mouvement relatif. Son rôle est d'assurer l'étanchéité entre deux milieux à pressions différentes tout en minimisant l'usure des faces ainsi que la fuite occasionnée. Les GM peuvent être à faces dites « lisses » ou à faces dites « rainurées » (en spirale ou non) plus particulièrement lorsque les fluides à étancher sont compressibles pour favoriser la formation d'un film lubrifiant à l'interface. Dans le cas de surfaces lisses, le film se forme sous l'effet des déformations thermomécaniques des solides résultant de l'échauffement du contact [1]. Sous certaines conditions, des instabilités thermiques et de frottement se caractérisant par des oscillations de couple et de température peuvent être observées. Salant et Hassan en 1989, ont mis en évidence des instabilités présentant de très faibles périodes d'oscillations (0.01s) [2] au moyen d'un modèle

théorique de déformations thermoélastiques. De plus, une déformation soudaine des faces de la GM peut provoquer des instabilités thermoélastiques [3, 4]. Une trop grande chute de pression dans le contact peut également être responsable d'instabilités [5] (oscillations de 2.1s sur la température, fuite importante).

Notre étude expérimentale montrera que les périodes d'oscillation mesurées sur le couple de frottement peuvent être plus élevées que celles obtenues dans ces travaux. Une analyse théorique simple nous permettra de mettre en évidence l'origine thermique de ces instabilités et un critère de fonctionnement stable.

2 Etude expérimentale

Le banc d'essai utilisé dans notre étude est présenté sur la figure 1.

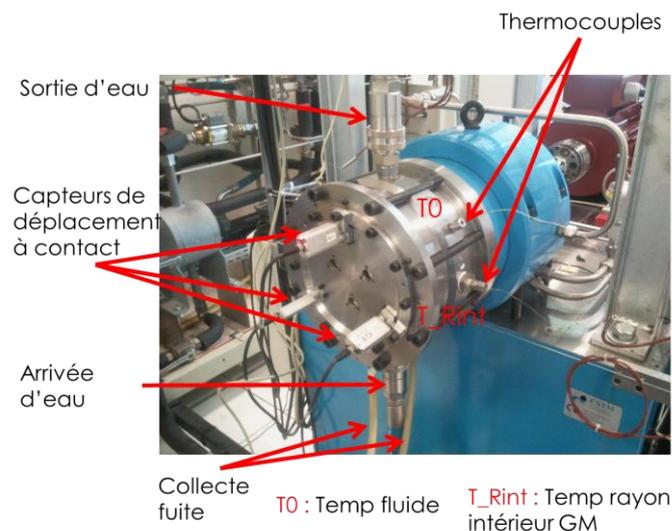


Figure 1 : Banc d'essai pour garniture mécanique – vue de la cellule d'essai

Il est composé d'une cellule d'essai qui inclue deux GM montées en opposition, d'un palier, d'un moteur électrique de 18kW, d'une centrale hydraulique permettant d'alimenter en huile le palier et d'une centrale hydraulique permettant d'alimenter en fluide (ici de l'eau liquide) la cellule d'essai. Les paramètres de fonctionnement contrôlés sont la vitesse de rotation du moteur, la pression d'alimentation du fluide, ainsi que sa température et son débit de circulation. Le couple de frottement total, la température du fluide dans la cellule, les températures aux rayons intérieur et extérieur d'une GM, la pression du fluide dans la cellule, le déplacement axial du rotor, le débit de fuite des deux GM sont les grandeurs mesurées. Les instruments de mesure sont placés sur une seule des deux GM, et seulement sur la partie statorique. Les essais présentés ici se limitent, pour des GM à faces lisses, à une vitesse évoluant de 1000 à 2000 tr/min, une pression de 6 à 10 bar ainsi qu'une température du fluide de 20°C à 80°C. Le couple de frottement maximal mesuré approchait 35N.m sous certaines conditions de fonctionnement, pour une limite admissible par le moteur de l'ordre de 40N.m. Des oscillations importantes (plusieurs N.m d'amplitude) sur le couple de frottement mesuré ont été constatées sur des périodes variant de 2 à 17s (fig 2 à 5).

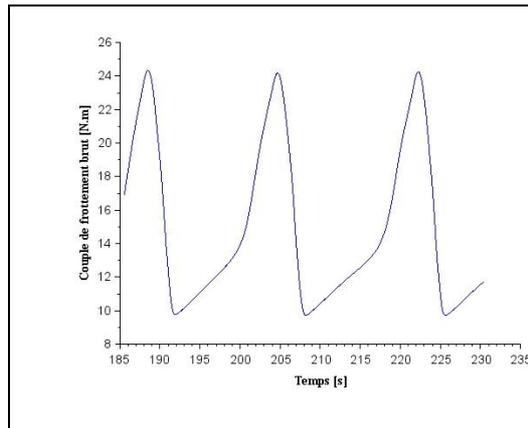


Figure 2 : Couple de frottement brut mesuré
 $\Omega=1000\text{tr/min}$, $p=6\text{bar}$, $T=20^\circ\text{C}$

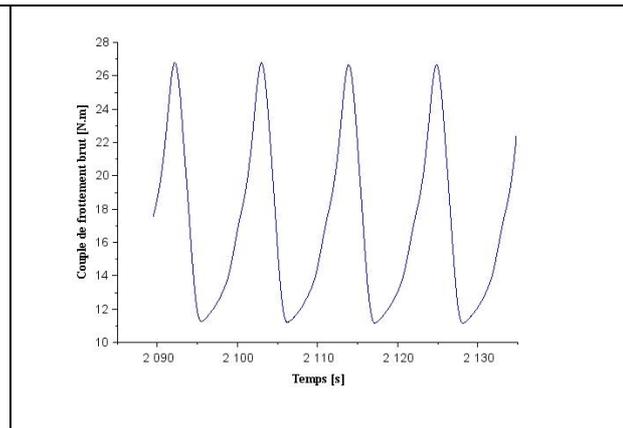


Figure 3 : Couple de frottement brut mesuré
 $\Omega=1000\text{tr/min}$, $p=6\text{bar}$, $T=40^\circ\text{C}$

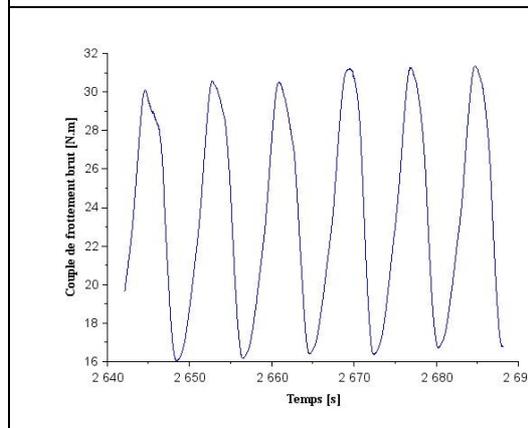


Figure 4 : Couple de frottement brut mesuré
 $\Omega=1000\text{tr/min}$, $p=6\text{bar}$, $T=60^\circ\text{C}$

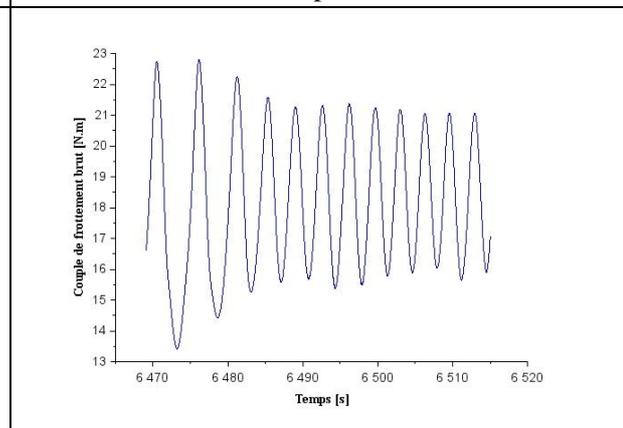


Figure 5 : Couple de frottement brut mesuré
 $\Omega=1000\text{tr/min}$, $p=6\text{bar}$, $T=80^\circ\text{C}$

Les figures précédentes montrent que les conditions de fonctionnement ont une influence sur l'amplitude et la période d'oscillation. L'augmentation de la température d'alimentation réduit la période des oscillations. La vitesse de rotation du moteur ainsi que la pression d'alimentation du fluide influencent également leur apparition. D'une manière générale, il a été observé qu'une augmentation de la vitesse réduit la période d'oscillations. D'autre part, les oscillations disparaissent quand la vitesse augmente et la température du fluide diminue. Les essais ont fait l'objet de trois campagnes distinctes, et montrent des résultats reproductibles.

3 Analyse des instabilités de frottement

Afin de démontrer l'origine thermique des oscillations, nous allons chercher à comparer la période d'oscillations mesurée au temps de réponse thermique des anneaux de la garniture. Le temps caractéristique de réponse thermique noté t_c est le temps nécessaire au matériau pour atteindre une température stabilisée suite à un échelon de flux. En assimilant la garniture mécanique à une ailette, il est possible d'exprimer ce temps caractéristique [1] :

$$t_c = \frac{(R_e^2 - R_i^2)\rho C}{2R_e H}$$

Ce temps caractéristique dépend des dimensions des anneaux (R_e et R_i), des caractéristiques thermiques du matériau (ρ , C) et du coefficient d'échange thermique H . Ce dernier caractérise

l'intensité des échanges thermiques entre le fluide à étancher et les solides. L'approche de Becker [6] a été utilisée, où le coefficient d'échange thermique dépend de la vitesse de rotation ω de la GM, de son diamètre D , de la viscosité dynamique du fluide μ , de la chaleur spécifique C_p du fluide à pression constante, ainsi que de la conductivité thermique du fluide k .

$$H = 0,133 \frac{k}{D} \left(\frac{\rho \omega D^2}{2\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu C_p}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$$

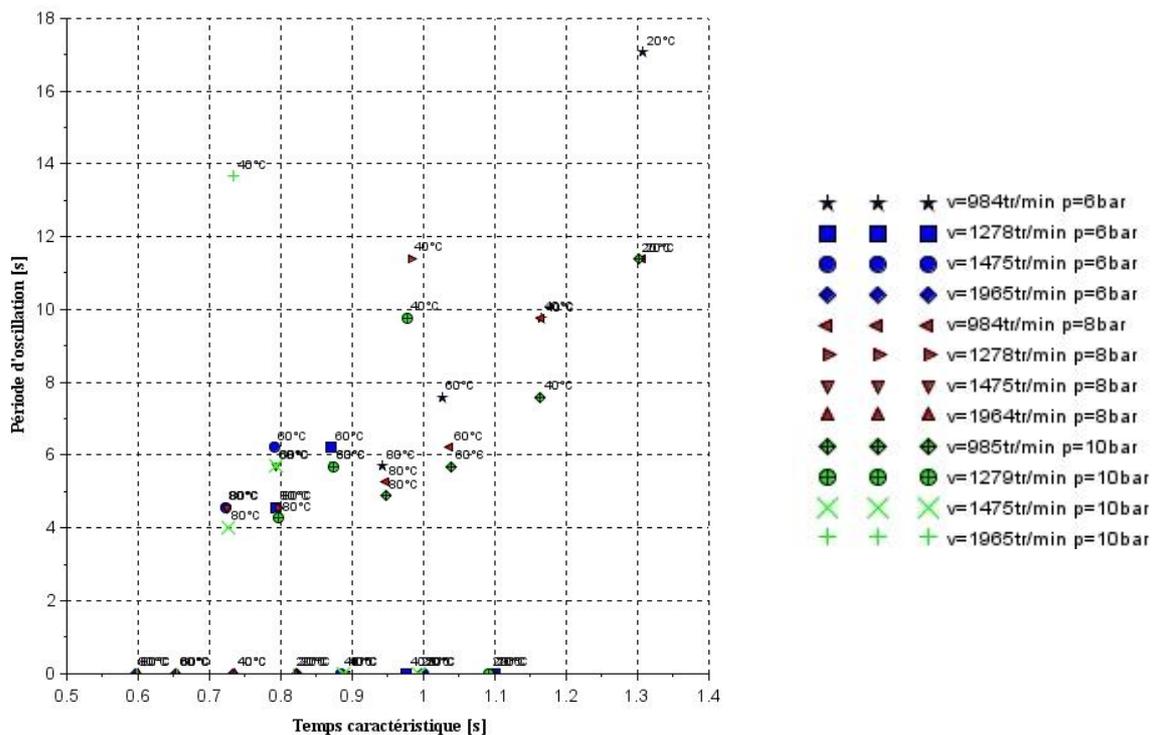


Figure 6 : Temps caractéristique de réponse thermique en fonction de la période d'oscillation

D'après la figure 6, plus le temps caractéristique de réponse thermique augmente, plus la période d'oscillation augmente. Les points dont la période d'oscillation est nulle correspondent à des conditions de fonctionnement stables où le couple mesuré n'oscille pas. On observe une certaine corrélation entre la période d'oscillation et t_c ce qui indiquerait que les oscillations sont pilotées par le comportement thermique du système. Dans notre cas, t_c varie en fonction de H . Le coefficient d'échange thermique augmente avec la vitesse de rotation et évolue inversement à la viscosité (et donc la température) du fluide. Ceci permet d'expliquer le rôle de la température du fluide et de la vitesse de rotation dans le contrôle de la période des oscillations.

Les gradients de température dans les solides conduisent à l'apparition d'un cône sur les faces qui permet de former un film lorsque celui-ci est convergent dans le sens de l'écoulement. L'angle β de ce cône (fig. 7) est piloté par le nombre d'étanchéité Se qui caractérise le chargement thermique d'une GM [7].

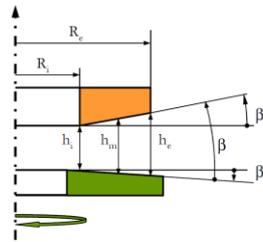


Figure 7 : Modèle géométrique de la garniture mécanique

Ce nombre sans dimension dépend de la viscosité dynamique du fluide, de la vitesse de rotation du rotor, la pression du fluide exercée ainsi que la force de rappel des ressorts par l'intermédiaire d'un coefficient de compensation, mais aussi de caractéristiques thermiques des faces. C'est, plus généralement, le rapport entre la production de chaleur à l'interface fluide/solide et le transfert de chaleur au sein du solide considéré (fig. 8).

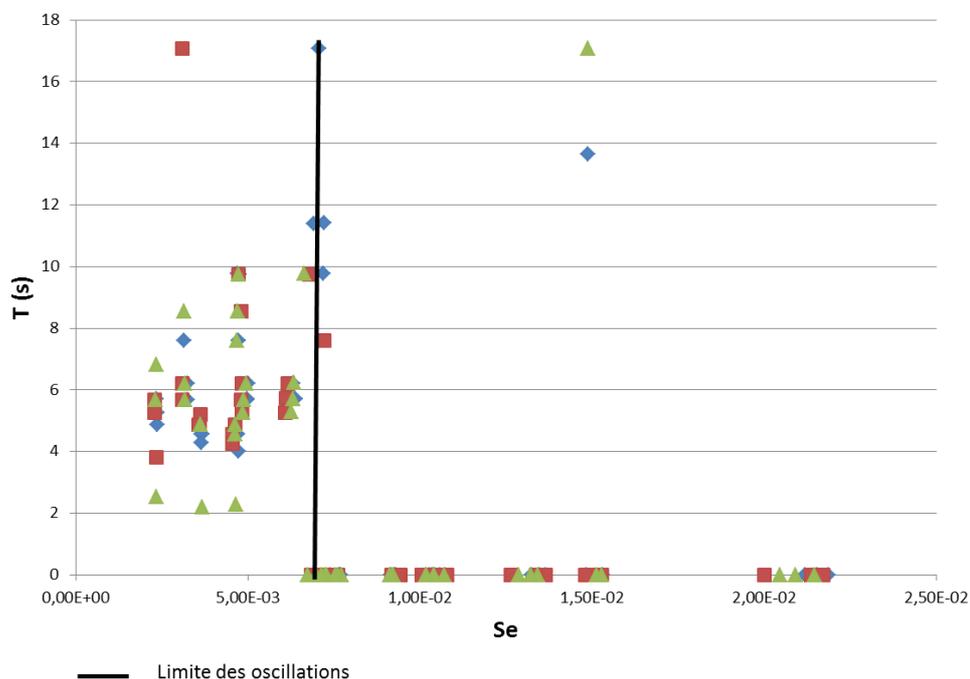


Figure 8 : Période d'oscillation du couple de frottement en fonction du nombre d'étanchéité

Les résultats obtenus sur la figure 8 montrent qu'il existe une limite du nombre d'étanchéité, à partir de laquelle les oscillations sur le couple de frottement disparaissent. Seules deux expériences particulières ne respectent pas cette condition. Plus le nombre Se est élevé, plus l'angle du cône formé par les surfaces augmente ce qui favorise la formation du film et un comportement stable. Ces oscillations seraient donc en majeure partie dues à des instabilités thermomécaniques. La pression du fluide qui n'est pas directement considérée dans cette analyse modifie les déformations des faces ce qui explique son impact sur les instabilités.

4 Conclusion

Cette étude montre que les oscillations mesurées sur le couple de frottement sont déclenchées en dessous d'une certaine valeur de $Se = 0,007$. La pression d'alimentation, la température du fluide tout comme la vitesse de rotation de la broche jouent un rôle dans la valeur de la période d'oscillation,

mais également dans l'amplitude du couple de frottement. Cependant, la période d'oscillation est globalement pilotée par le temps de réponse thermique des solides ce qui semble confirmer l'origine thermomécanique des instabilités.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Cnes et Snecma moteurs pour leur soutien sur ce projet.

Références

- [1] T.G. Doust, A. Parmar, Transient thermoelastic effects in a mechanical face seal, 11th International Conference on Fluid Sealing, Paper F4, BHRA, UK, 1987.
- [2] R.F. Salant, S.E. Hassan, Large-scale thermoelastic instability in hydrostatic mechanical seals, 12th International Conference on Fluid Sealing, Brighton, 1989.
- [3] B.N. Banerjee, The influence of thermoelastic deformations on the operation of face seals, *Wear*, 59: 89-110, 1979.
- [4] J.P. Netzel, Observations of thermoelastic instability in mechanical face seals, *Wear*, 59: 135-148, 1979.
- [5] A. Parmar, Thermal cycling in mechanical seals – causes, prediction, prevention, 13th International Conference on Fluid Sealing, BHR Group, 1992.
- [6] K.M. Becker. Measurement of convective heat transfer from a horizontal cylinder rotating in a tank of water, *International Journal of Heat and mass Transfer*, 6: 1053–1062, 1963.
- [7] N. Brunetière, A. Apostolescu, A simple approach to the thermoelastohydrodynamic behavior of mechanical face seals, *Tribology Transactions*, 52(2) :243–255, 2009.