

AU SUJET DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT

par

CH. HANOCQ

Ingénieur A. I. Lg.

Professeur à l'Université de Liège

et

J. TILMAN

Ingénieur A. I. Lg.

Afin de terminer toute discussion au sujet du frottement, étudié dans les articles du 1^{er} août, 1^{er} et 15 septembre 1929 par M. Hanocq, puis dans les articles du 15 janvier 1930 par M. Tilman, et du 15 juillet 1930 par M. Hanocq, nous avons jugé opportun de publier en commun une note destinée à préciser nettement comment dans l'état actuel des connaissances sur le frottement, on peut résumer la question.

Les expériences sur le frottement fluide ou frottement hydrodynamique réalisé dans les paliers de transmission ont montré sans discussion possible que le coefficient de frottement était une fonction de $\frac{\mu N}{p} \left(\frac{r}{a}\right)$ et que pour des jeux supérieurs à 1/500

du diamètre $\left(\frac{r}{a} = 500\right)$, les lois fournies par la théorie hydrodynamique étaient remarquablement vérifiées. Ces conclusions résultent des expériences de M. Hanocq sur les paliers à graissage par bague et des expériences américaines sur des buselures, rappelées dans l'article du 15 septembre 1929.

Non seulement pour cette période du graissage, le coefficient de frottement ne dépend pas du mode de graissage, pour autant que la quantité d'huile apportée au coussinet soit suffisante pour assurer la formation du film complet, mais la nature chimique du lubrifiant n'intervient pas; c'est-à-dire que pour deux huiles présentant à la température de régime du palier une même viscosité, les coefficients de frottement sont les mêmes, cette conclusion restant vraie pour des huiles de nature spéciale (Volto).

Lorsque les jeux radiaux sont inférieurs à 1/500 du rayon, les expériences américaines montrent que f est augmenté d'une quantité non négligeable qui peut devenir très importante avec des jeux de 1/2000 et qui paraît être constante c'est-à-dire indépendante de μ , de p et de v . Cet accroissement serait dû à des phénomènes de surface dont le mécanisme a été indiqué dans l'article de M. Tilman du 15 janvier 1930.

Ceci est essentiel parce que dans les organes à mouvement alternatif où l'on est obligé de maintenir des jeux très faibles, le coefficient de frottement est plus élevé que ne l'indique la théorie et l'accroissement non seulement peut être considérable mais dépendra de la nature chimique du lubrifiant. Les expériences américaines n'ont toutefois pas mis ce fait en évidence, mais la pratique journalière montre que pour des applications comportant des chan-

gements brusques de pression, les huiles compoundées ou purement végétales ou animales, qui jouissent précisément de ces propriétés d'adhérence à un plus haut degré, donnent des résultats meilleurs, surtout dans les cas défavorables.

Les expériences de M. Brillié sur les coussinets munis d'augets signifient que le frottement fluide peut subsister entre des surfaces parallèles lorsqu'on prévoit des bords chanfreinés aux augets qui permettent la formation de coins d'huile au sortir de ceux-ci. Le fait que la pression se maintiendrait supérieure à la pression atmosphérique au sortir de la surface inclinée n'implique pas que la théorie est en défaut puisqu'il suffit d'admettre que la pression se maintient entre deux augets lorsqu'on passe du premier auget au second et du second au troisième dans le sens de la rotation, les limites d'intégration pour l'application des formules théoriques aux surfaces inclinées du chanfrein, devant alors simplement être modifiées.

S'il se confirmait que la pression va croissant dans l'intervalle de deux augets, au-delà du chanfrein, il faudrait admettre que la largeur du film va se rétrécissant, et cette fois il y aurait discordance entre ce que peut prévoir la théorie et ce que donne la pratique.

Aucun document fourni par les expériences sur les paliers (expériences de Stribeck, Lasche, Hanocq) n'a montré qu'il existait au delà d'une certaine valeur de $\frac{\mu N}{p}$, un régime différent conduisant à des coefficients de frottement plus élevés que ne l'indique la théorie.

Le fait que le coefficient de frottement tend à se montrer plus faible que ne l'indiquait la théorie dans les expériences de Stribeck et de Hanocq a été expliqué par ce dernier en admettant que quand on opère hors régime, les valeurs de la température lues au thermomètre plongé dans l'huile du palier, sont inférieures à la température du film et que le μ introduit pour le calcul de $\frac{\mu N}{p}$ est trop élevé.

Dans les expériences américaines où la température des films était évaluée directement, l'anomalie trouvée et expliquée par M. Hanocq ne s'est pas rencontrée.

Les expériences du Dr Eug. Schneider ont montré d'ailleurs que la différence entre la température de l'arbre ou du coussinet, et celle de l'huile n'atteignait que quelques dixièmes de degré, lorsque le palier était en régime.

En ce qui concerne la limite inférieure de $\frac{\mu N}{p}$ il semble d'après les expériences américaines qu'elle est aux environs de

$$10^8 \frac{\mu N}{p} = 7 \text{ à } 20$$

quel que soit $\frac{r}{a}$.

Que se produit-il au moment où $\left(\frac{\mu N}{p}\right)$ tombe en dessous de cette valeur? Le film se rompt, l'équilibre hydrodynamique n'est plus possible: l'arbre ne conserve pas la position que lui assignait la théorie. Pourquoi? La question n'est pas résolue.

Ce qui est certain, c'est qu'en dessous de cette valeur de $\frac{\mu N}{p}$, il s'établit un régime distinct et que les lois sont nettement différentes.

L'étude de cette période qui ne peut plus se faire avec le concours de la théorie mathématique est plus ardue et il est certain que la nature chimique du lubrifiant intervient alors.

C'est dans cette période que l'on rencontre le frottement onctueux que M. Tilman a étudié plus particulièrement et qui a fait l'objet de très nombreuses recherches dans les laboratoires de chimie et de physico-chimie.

Ce frottement onctueux peut encore se rencontrer lorsque l'épaisseur du film tombe à une valeur inférieure au $\frac{1}{1000}$ mm pour fixer les idées. C'est ainsi

que les expériences sur les vis sans fin dans lesquelles les surfaces en contact sont nécessairement des surfaces parallèles ont montré que le coefficient de frottement était dans ce cas indépendant de μ entre deux limites tout au moins, et que ce coefficient de frottement était essentiellement variable avec la nature chimique du lubrifiant.

Les exemples de graissage entre surfaces strictement parallèles sont nombreux, c'est le cas pour le frottement des tiges dans les bourrages métalliques, des cercles des pistons dans les cylindres.

L'étude de cette période n'a été abordée que par M. Tilman en s'appuyant sur des documents de laboratoires de recherches (expériences de Woog et de Southumb).

Les expériences sur les vis sans fin n'ont malheureusement pas mis en relief l'influence de la pression et de la vitesse.

Nous devons ajouter que les expériences que nous avons effectuées sur les paliers au Laboratoire de Construction des Machines de Liège, n'ont pas été faites avec des pressions dépassant 25 kg et des températures dépassant 55°.

Lorsque les pressions sont plus élevées, les déformations peuvent prendre plus de place et l'amincissement de la couche d'huile peut amener à certains endroits une épaisseur de film d'huile très inférieure aux épaisseurs normales.

Cette tendance à la diminution d'épaisseur est encore accentuée si la température est élevée, puisque la viscosité devient très faible. Il semble en outre que l'élévation de température contribue à disloquer la couche du lubrifiant solidaire du métal, d'après les théories de Langmuir.

La nature chimique du lubrifiant peut alors intervenir pour maintenir par des actions de surface une épaisseur d'huile suffisante aux endroits dangereux et éviter le grippage.

Telles sont les conclusions qui résultent des documents que nous possédons.

En vue de permettre aux techniciens de vérifier le bon fonctionnement de leurs paliers, nous résumons ci-dessous les formules permettant de calculer le coefficient de frottement dans des conditions déterminées de fonctionnement.

Pour $\frac{r}{a}$ compris entre 100 et 500

$$f = 0,3 + 18,5 \frac{\mu N}{p} \left(\frac{r}{a}\right)^2 + 0,0042 \left[\frac{\mu N}{p} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^{-1,16} + 0,2585 \left[\frac{\mu N}{p} \left(\frac{r}{a}\right)^2\right]^{-0,16}$$

Lorsque $\frac{r}{a}$ dépasse 500, il faut ajouter à f une valeur Δf donnée par la relation

$$\Delta f = 0,000266 \cdot 10^{-9} \left(\frac{r}{a}\right)^3$$

Lorsque le rapport $\frac{l}{d}$ descend en dessous d'une valeur inférieure à 0,8 il faut ajouter à f , une valeur $\Delta' f$.

$$\Delta' f = 0,0153 - 0,0232 \frac{l}{d}$$

Dans ces relations, nous désignons la valeur du coefficient de viscosité absolu dans le même système d'unités que toutes les autres dimensions, c'est-à-dire dans le système kg m. sec.

Pour le calcul de la température de régime il est nécessaire de connaître la loi de rayonnement en fonction de la différence de température ($t_r - t_a$) entre le bain d'huile et l'air ambiant.

La quantité d'énergie exprimée en kg m. rayonnée par cm² de surface projetée du coussinet, qui est représentée par

$$p v f$$

varie forcément avec le tracé du palier, l'épaisseur du coussinet, le mode de graissage, la conductibilité de l'huile; à défaut de renseignements plus précis, nous proposons d'adopter la courbe indiquée fig. 6 de l'article du 15 juillet 1930 qui fera connaître, connaissant $p v f$, la valeur de $(t_r - t_a)$ et partant la valeur de t_r température du palier en régime, par approximations successives.

REVUE UNIVERSELLE

DES

MINES, DE LA MÉTALLURGIE = DES TRAVAUX PUBLICS =

DES SCIENCES ET DES ARTS APPLIQUÉS A L'INDUSTRIE

paraissant le 1^{er} et le 15 de chaque mois

ORGANE DE L'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÈGE (A.I.L.G.)

AFFILIÉ A L'UNION DE LA PRESSE PÉRIODIQUE BELGE, UNION PROFESSIONNELLE RECONNUE

publié sous la direction du Comité Scientifique de l'A.I.L.G.

*Le complément indispensable du chargement mécanique dans les Mines
et les Carrières :*

Les Gros Concasseurs « ARBED »

Modèles à mâchoires

giratoires

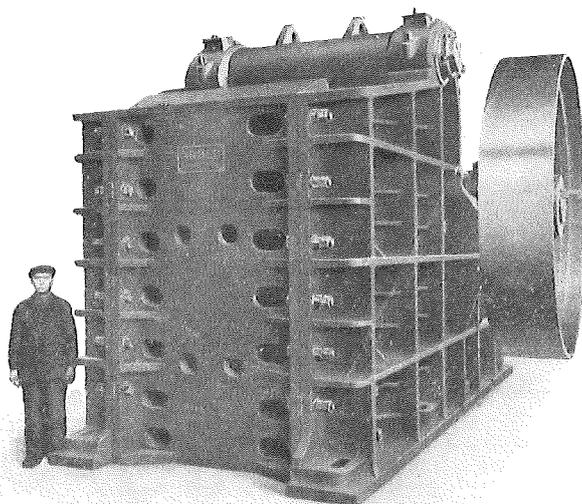
à cylindres

et à marteaux

Catalogues et

Projets

sur demande



*Construction
en toutes tailles
jusqu'à 1 m 50
(60 pouces)
d'ouverture*

*Nombreuses
références*

ACIÉRIES RÉUNIES DE BURBACH-EICH-DUDELANGE, S. A.

USINES DE DOMMELDANGE (G.-D. DE LUXEMBOURG)

8

414 R 24

SOMMAIRE : *Mémoires* : BIQUET, M., Où en est actuellement le procédé de fonçage de puits par congélation, p. 185. — HANOCQ, Ch., et TILMAN, J., Au sujet du coefficient de frottement, p. 194. — DENIS, J., Étude sur la décantation des eaux de remblayage hydraulique, p. 196. — *Bulletin* : KATHNER, A. T. et DAMIRON, P., La fabrication et le traitement thermique de la tôle pour l'industrie automobile, p. 202. — *Revue des périodiques techniques* : p. 205 à 212. — *Voir sommaire détaillé*, p. 212. — *Répertoire des annonces*, p. A. C. D. du premier carnet.

DÉPOSITAIRE POUR LA FRANCE ET SES COLONIES
LIBRAIRIE H. LE SOUDIER
174-176, BOULEVARD SAINT-GERMAIN
PARIS (6^e)



RÉDACTION ET ADMINISTRATION
16, QUAI DES ÉTATS-UNIS, 16, LIÈGE
TÉLÉPHONE : 117.70
COMPTE CHÈQUE POSTAL N^o 24.260