

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 60 (1934)
Heft: 2

Artikel: De l'importance de l'épaisseur minimum du film d'huile pour le graissage rationnel des paliers
Autor: Waetjen, C.-H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-46357>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Indications du commettant (suivant lettre de l'entreprise du 26 septembre) :

Cubes 89, 90, 91, prisme 92, confectionnés le 5 septembre 1933 pendant le bétonnage de l'arc du pont à la naissance rive gauche.

Dosage 400 kg de C. P. Vernier. Sable : gravier = 4 : 10. Eau de gâchage environ 7 %. Béton vibré.

Cubes 101, 102, 103 et prisme 104. Confectionnés le 8 septembre 1933 pendant le bétonnage de l'arc à environ 13 m de la naissance rive droite.

Dosage 350 kg de C. P. Vernier. Sable : gravier = 3 : 7. Eau de gâchage environ 7 %. Béton vibré.

Age à l'essai : 28 jours, soit les 3 et 6 octobre 1933.

I. Module d'élasticité des prismes 92 et 104. (Voir graphiques ci-annexés.)

II. Résistance à la flexion. Distance entre appuis 50 cm. Section 20 × 20 cm, $W = 1330 \text{ cm}^3$, $M = 12,5$. P

	Charge de rupture	Résistance à la flexion
Prisme 92	6,05 t.	56,9 kg/cm ²
Prisme 104	5,65 t.	53,1 kg/cm ²

III. Résistance à la compression. Déterminée sur cubes de 20 cm de côté et sur les coupons de prismes tombés de l'essai à la flexion.

Surface des plateaux compresseurs 172 cm².

	Densité	Résistance à la compression
		kg/cm ²
Cube	89	2,54 430
	90	2,49 450
	91	2,49 445
Prisme	92 a	2,47 413
	92 b	2,47 404
Cube	101	2,50 412
	102	2,51 400
	103	2,50 450
Prisme	104 a	2,49 467
	104 b	2,49 454

ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE LAUSANNE, Laboratoire d'essais de matériaux.

Le chef de la division des matériaux pierreux :

J. BOLOMEY.

De l'importance de l'épaisseur minimum du film d'huile pour le graissage rationnel des paliers,

par C.-H. WAETJEN, ingénieur-conseil, à Bâle.

Dans tout système de palier, les surfaces métalliques ne sont séparées et protégées que par la mince pellicule formée par le lubrifiant.

Cette pellicule, ou « film », a pour but de réduire la résistance passive de la machine, en remplaçant pendant la marche, l'état de frottement « sec », par le frottement « liquide ».

Lors de l'arrêt de la machine, le lubrifiant interposé entre l'organe tournant et l'organe fixe est progressivement expulsé de la zone de pression, la sécurité et la facilité du démarrage dépendent du temps nécessaire au rétablissement du « film ». Ce temps est fonction de la construction du palier, de la nature des métaux et des qualités du lubrifiant.

Entre l'état de frottement « sec », et

l'état recherché du frottement « liquide » (caractérisé par l'absence de tout contact métallique), existe l'état, dit de frottement « semi-liquide », caractérisé par une épaisseur de « film » inférieure à la somme des hauteurs des irrégularités mécaniques, ou aspérités périphériques des surfaces en contact. La valeur du coefficient de frottement μ varie selon ces états.

D'après les résultats publiés par la Commission britannique de recherches (Lubricants and lubrication Enquiry Committee of Great Britain), la valeur de μ varie comme suit :

Etat de frottement.	Coeff. μ
sec	0,10 à 0,40
semi-liquide	0,01 à 0,10
liquide	0,001 à 0,01

Les valeurs de μ pour un même état de frottement, dépendent de l'état mécanique des surfaces et, surtout, du frottement interne du lubrifiant lui-même (viscosité, résistance au cisaillement de la pellicule), ainsi que de son adhérence.

Dans le cas d'un coussinet lisse lubrifié à l'huile et parfaitement ajusté, les zones de frottement liquide tendent à engendrer un « film » continu, la valeur de μ décroissant dans le voisinage de l'origine de ces zones, pour atteindre un minimum aux points A et B du diagramme (fig. 1) déduit des essais pratiques de Lubh et Rosen, sur un coussinet complet, parfaitement ajusté, à vitesse de rotation et à épaisseur de film variables.

L'épaisseur du « film » influe sur la valeur de μ . Elle diminue avec la viscosité du lubrifiant lorsque la température augmente, elle diminue aussi, lorsque des poussières ou des impuretés s'introduisent dans le coussinet, ou lorsque celui-ci subit des chocs brusques.

L'état de frottement peut donc, pour un lubrifiant donné, passer, pendant la marche, de « liquide » à « semi-liquide », suivant l'épaisseur du « film » qu'il constitue.

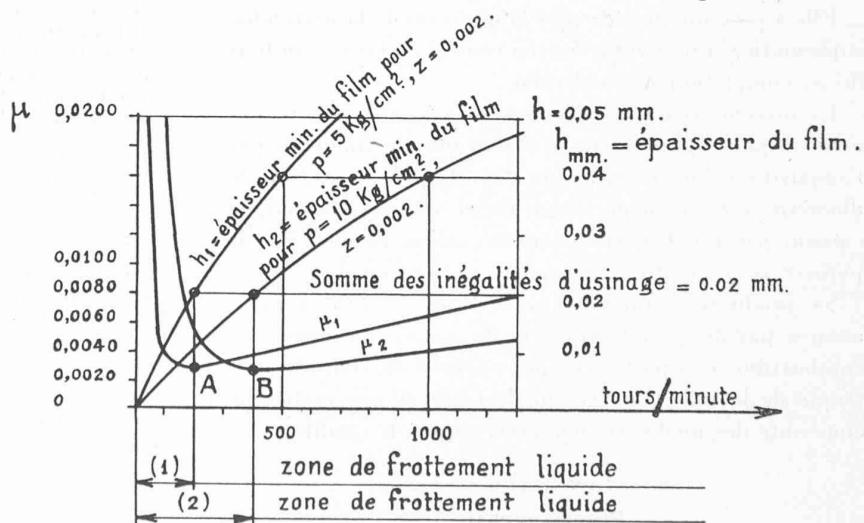


Fig. 1.
Diamètre du tourillon 100 mm.
Diamètre du coussinet 100,16 mm.
Longueur de la portée 150 mm.
Somme des inégalités d'usinage et des déformations mécaniques 0,02 mm.

D'autre part, la résistance de frottement intérieur d'un lubrifiant trop visqueux, utilisé dans un coussinet remplissant toutes les conditions mécaniques requises pour assurer le frottement « liquide », peut faire augmenter la valeur de μ jusqu'à atteindre celle du frottement « semi-liquide ».

Des recherches très intéressantes, faites à ce sujet en 1928 à Baltimore (U.S.A.), par le Dr W. B. D. Peniman, sur le réseau des « United Railways and Electric Co », ont abouti à des résultats présentés à l'assemblée de l'« American Electric Railway Engineering Association ». D'après ces résultats, le Dr Peniman conclut en principe en faveur de l'utilisation de lubrifiants très fluides, étant donné que, dans un coussinet parfait, suffisamment alimenté en huile, la résistance due au frottement « est presque indépendante de la pression, augmente avec la vitesse des surfaces (variation de 300 % de la vitesse pour 21 % de la pression), augmente avec les surfaces, est presque indépendante de leur nature et dépend presque exclusivement de la viscosité du lubrifiant »¹.

D'après nos expériences, il faut cependant dans la pratique être très prudent dans la recherche du coefficient de frottement minimum par l'emploi de lubrifiants très fluides. Nous voyons en effet, qu'aux environs des points *A* et *B* du diagramme de la figure 1, qui sont des points critiques, la valeur minimum de μ peut croître très subitement si l'épaisseur du film vient à diminuer.

Le maintien du « film » ne dépend pas seulement du lubrifiant, mais aussi dans une certaine mesure, de la nature des surfaces. Il y a, toutes choses égales d'ailleurs, des différences sensibles au point de vue de l'adhérence des huiles, entre le bronze, la fonte, l'antifriction, etc. (Voir les publications du Dr Hans Stæger dans « Wärme wirtschaft »). Une expérience intéressante faite par Streibeck sur un palier de 70 mm de diamètre, avec coussinets en métal blanc et en bronze, a montré par exemple que si l'antifriction donne un coefficient de frottement μ légèrement plus élevé que celui du bronze, dans la zone du frottement « liquide », il permet de rapprocher le point critique de l'origine *O* (fig. 2).

La recherche de μ minimum par l'emploi d'un lubrifiant à coefficient de frottement interne minimum et par conséquent de très faible viscosité, exige un usinage parfait du coussinet, avec des irrégularités de moins de $1/50$ mm, et conduit, même dans ce cas, au régime voisin du point critique défini plus haut. L'avantage réalisé aux dépens de la sécurité de marche, n'a de valeur qu'entre des limites bien déterminées, car la perte de puissance par frottement dans un coussinet parfait, n'est pas uniquement fonction de la viscosité du lubrifiant, elle est en réalité, proportionnelle à la racine carrée de la charge et à la puissance $\frac{3}{2}$ de la vitesse. En effet, si

F = perte de puissance par frottement.

μ = coefficient de frottement.

$$\begin{aligned} P &= \text{charge sur le palier.} \\ p &= \text{pression spécifique (kg/cm}^2\text{).} \\ \nu &= \text{vitesse périphérique.} \\ \omega &= \text{vitesse angulaire.} \\ z &= \text{viscosité absolue du lubrifiant en } \frac{\text{kg/sec.}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

en admettant approximativement $G = 10 \text{ m/sec}^2$, la viscosité absolue en $\frac{\text{dynes/sec.}}{\text{cm}^2}$ devient à peu près $= \frac{100 \text{ kg/sec.}}{\text{m}^2}$

Nous avons : $F = \mu \cdot P \cdot \nu$,
or, d'après Gumbel :

$$\mu = 3,8 \cdot \sqrt{\frac{z \cdot \omega}{p}}$$

et pour un lubrifiant déterminé :

$$\mu = 3,8 \cdot \sqrt{z \cdot \sqrt{\frac{\omega}{p}}} = C_1 \sqrt{\frac{\omega}{p}} = C_2 \sqrt{\frac{\nu}{P}},$$

d'où : $F = C_2 \cdot \sqrt{\frac{\nu}{P}} \cdot P \cdot \nu = C_2 \cdot P^{\frac{1}{2}} \cdot \nu^{\frac{3}{2}}$.

C. q. f. d.

Conclusion. — Il faut chercher, dans tout palier, à réduire la perte de puissance par frottement, en réalisant et en maintenant pendant toute la durée de la marche, les conditions du frottement « liquide ».

Toutefois, la réduction de la valeur du coefficient de frottement μ , résultant de la diminution de la résistance

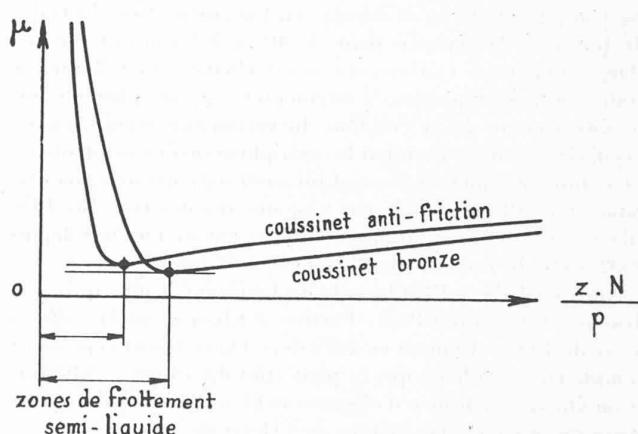


Fig. 2.

μ = coeff. de frottement.
 z = viscosité absolue du lubrifiant en centipoises.
 N = vitesse moyenne en tours/minute.
 p = pression moyenne sur le coussinet en kg/cm^2 .

interne du lubrifiant lui-même, peut changer la nature du frottement de « liquide » à « semi-liquide », et même compromettre quelquefois la sécurité de marche, si, en raison de l'abaissement de la viscosité du lubrifiant, l'épaisseur du film cesse d'être supérieure à la somme des hauteurs des irrégularités mécaniques des surfaces en contact.

¹ Voir Lubrication by Dr. W. B. D. Peniman.

L'étude de la courbe de viscosité du lubrifiant en fonction de la température entre les limites des températures de fonctionnement du palier d'une machine est un des éléments importants pour l'appréciation du maintien du film.

Le lubrifiant dont la viscosité présentera le moins de variations entre ces limites de température assurera, toutes choses égales d'ailleurs, le maximum de sécurité.

URBANISME

La question du Grand-Pont, à Lausanne.

La réfection du Grand-Pont que d'aucuns ont appelée, non sans quelque ironie « rélargissement » va toucher à sa fin. Ce pont presque séculaire va reprendre son intense trafic. Il a en effet été construit de 1839 à 1844 par les ingénieurs A. Pichard et W. Fraisse.

Or à l'époque où il a été construit, le Grand-Pont mesurait 10 m de large environ, largeur bien suffisante alors, puisque, de tous les véhicules actuels, on ne connaissait que celui trainé par le cheval, et que Lausanne, à l'inauguration de son « Grand-Pont », n'était qu'une toute petite ville. Le recensement de 1850, soit six ans plus tard, ne donne en effet qu'un chiffre total de 17 108 habitants. Lausanne était, à juste titre, fière de cette imposante et très belle œuvre, car il ne faut pas oublier que le pont fut plus tard à moitié enterré par le comblement de la vallée du Flon.

Mais Lausanne grandit très vite ; le Grand-Pont devint très rapidement l'artère la plus passante de la capitale vaudoise, et contribua pour beaucoup au développement de cette dernière. En 1888, la population de la ville avait atteint 33 340 habitants. Elle avait donc déjà doublé depuis l'inauguration du pont. En 1892 on se décida, vu l'augmentation du trafic, de porter la largeur du pont de 10 m à 13 m environ par élargissement des trottoirs sur encorbellement métallique. Le trafic continua cependant à augmenter toujours plus, en particulier ensuite de la création du réseau des tramways, et, depuis la guerre surtout, par la multiplication des automobiles. Le nombre des piétons devient lui aussi toujours plus considérable. La ville se développe toujours rapidement. En 1930 elle atteint 75 915 habitants, doublant encore une fois depuis 1892, date du premier élargissement du Grand-Pont.

Ainsi de 1844 à 1930 la ville de Lausanne a plus que quadruplé, et le Grand-Pont, l'artère cardiaque de la ville, a passé de 10 m à 13 m, et en 1892 déjà. On se rendit cependant compte en hauts lieux que ce pont était désormais insuffisant, et on établit un projet d'élargissement à 20 m, projet qu'on laissa dormir dans les cartons de l'Hôtel de Ville.

En 1933, les voies de tramways, datant de 1904, sont usées jusqu'à la corde, on doit les changer d'urgence. Mais ces voies, âgées de 29 ans, n'ont pas vieilli du jour au lendemain, ni les trottoirs métalliques âgés de 41 ans. On s'est laissé surprendre par l'usure : les expropriations pour élargir le pont à 20 m ne sont pas prêtes... et Lausanne a pourtant dépassé le chiffre de 80 000 habitants.

C'est alors que la majorité du Conseil communal se décide enfin à voter l'insuffisant élargissement à 15 m. Or, en 1844, Lausanne, avec 17 000 habitants — et l'aide du canton, il est vrai — avait construit magnifiquement le premier Grand-Pont à 10 m de large.

Nous pouvons poser ici une des plus douloureuses questions des temps modernes : Les progrès de la technique ne doivent-ils servir qu'à précipiter le maximum d'êtres humains

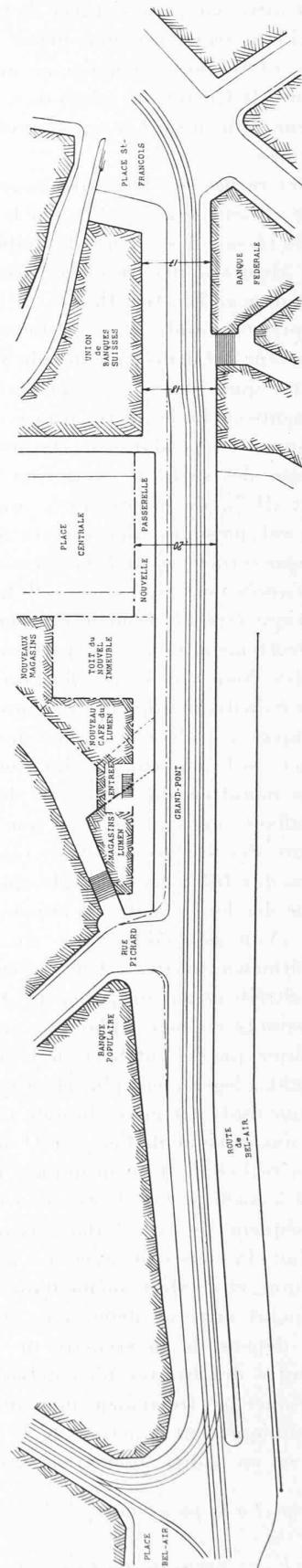
dans le dénuement ? Ne devraient-ils pas contribuer à voir au moins aussi grand que par le passé ?

L'histoire du Grand-Pont n'illustre-t-elle pas un peu ce tragique problème, celui d'oser entreprendre une tâche à la hauteur de ses forces. C'est la volonté d'agir qui manque le plus ; on n'ose entreprendre que des œuvres qui rapportent. Or, on oublie les impondérables : qui pourrait prétendre que le Bel-Air Métropole, par exemple, contribuera plus à développer Lausanne que ne l'a fait le Grand-Pont ? L'un rapporte, et l'autre semble pourtant ne rien rapporter.

On nous répondra peut-être que si la critique est facile, l'art est difficile.

Il est certain que la réfection « provisoire » qui est en train de s'effectuer complique le problème. En effet, elle permettrait — quant à l'usure — de faire durer les conditions provisoires ainsi créées une vingtaine d'années pour la chaussée, et le double au moins pour les trottoirs.

Or les 15 m de largeur obtenus en plein pont par la réfection se répartiront de la façon suivante : 8 m pour la chaussée, 3 m pour le trottoir sud, 4 m pour le trottoir nord (côté de la cathédrale). La chaussée et le trottoir sud auront sur toute la longueur du pont une largeur uniforme, celle qui existait déjà entre les immeubles de l'Union de Banques Suisses et de la Banque Fédérale, à l'entrée de Saint-François-Bel-Air. Les véhicules n'auront donc voie libre à côté des tramways que dans le sens Saint-François-Bel-Air. Pour les piétons, la circulation sur le pont « élargi » sera malheureusement bien moins favorable que sur la passerelle en bois, utilisée au cours des travaux. En effet le trottoir sud



Traits pleins : Etat des lieux après la réfection de 1934. — Traits mixtes : Modifications proposées.