

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 193.-195.
Nombre de volumes	125
Cote	CNAM-BIB P 1329-B et P 1329-C
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Note	La collection comporte des lacunes : n°24; n°58; n°63; n°67; n°76-n°77
Notice complète	<a href="https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&amp;RELTYPE=NT">https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&amp;RELTYPE=NT</a>
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C">https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C</a>
LISTE DES VOLUMES	
	<a href="#">N°25 (1936)</a>
	<a href="#">N°26 (1937)</a>
	<a href="#">N°27 (1937)</a>
	<a href="#">N°28 (1937)</a>
	<a href="#">N°29 (1938)</a>
	<a href="#">N°30 (1939)</a>
	<a href="#">N°31 (1936)</a>
	<a href="#">N°32 (1938)</a>
	<a href="#">N°33 (1938)</a>
	<a href="#">N°34 (1938)</a>
	<a href="#">N°35 (1938)</a>
	<a href="#">N°36 (1938)</a>
	<a href="#">N°37 (1938)</a>
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	<a href="#">N°38 ( 1938)</a>
	<a href="#">N°39 (1938)</a>
	<a href="#">N°40 (1939)</a>
	<a href="#">N°41 (1939)</a>
	<a href="#">N°42 (1939)</a>
	<a href="#">N°43 (1939)</a>
	<a href="#">N°44 (1939)</a>
	<a href="#">N°45 (1938)</a>
	<a href="#">N°46 (1940)</a>
	<a href="#">N°47 (1940)</a>
	<a href="#">N°48 (1940)</a>
	<a href="#">N°49 (1940)</a>
	<a href="#">N°50 (1940)</a>
	<a href="#">N°51 (1941)</a>
	<a href="#">N°52 (1941)</a>
	<a href="#">N°53 (1941)</a>
	<a href="#">N°54 (1941)</a>
	<a href="#">N°55 (1942)</a>
	<a href="#">N°56 (1942)</a>
	<a href="#">N°57 (1942)</a>
	<a href="#">N°59 (1942)</a>

	<a href="#">N°60 (1941)</a>
	<a href="#">N°61 (1942)</a>
	<a href="#">N°62 (1943)</a>
	<a href="#">N°64 (1943)</a>
	<a href="#">N°65 (1943)</a>
	<a href="#">N°66 (1943)</a>
	<a href="#">N°68 (1943)</a>
	<a href="#">N°69 (1943)</a>
	<a href="#">N°70 (1943)</a>
	<a href="#">N°71 (1943)</a>
	<a href="#">N°72 (1944)</a>
	<a href="#">N°73 (1943)</a>
	<a href="#">N°74 (1944)</a>
	<a href="#">N°75 (1944)</a>
	<a href="#">N°78 (1944)</a>
	<a href="#">N°79 (1944)</a>
	<a href="#">N°80 (1944)</a>
	<a href="#">N°81 (1944)</a>
	<a href="#">N°82 (1944)</a>
	<a href="#">N°83 (1944)</a>
	<a href="#">N°84 (1944)</a>
	<a href="#">N°85 (1944)</a>
	<a href="#">N°86 (1945)</a>
	<a href="#">N°87 (1945)</a>
	<a href="#">N°88 (1945)</a>
	<a href="#">N°89 (1945)</a>
	<a href="#">N°90 (1945)</a>
	<a href="#">N°91 (1945)</a>
	<a href="#">N°92 (1945)</a>
	<a href="#">N°93 (1945)</a>
	<a href="#">N°94 (1945)</a>
	<a href="#">N°95 (1946)</a>
	<a href="#">N°96 (1946)</a>
	<a href="#">N°97 (1946)</a>
	<a href="#">N°98 (1944)</a>
	<a href="#">N°99 (1945)</a>
	<a href="#">N°100 (1945)</a>
	<a href="#">N°101 (1946)</a>
	<a href="#">N°102 (1946)</a>
	<a href="#">N°103 (1946)</a>
	<a href="#">N°104 (1946)</a>
	<a href="#">N°105 (1946)</a>
	<a href="#">N°106 (1946)</a>
	<a href="#">N°107 (1947)</a>
	<a href="#">N°108 (1947)</a>
	<a href="#">N°109 (1947)</a>
	<a href="#">N°110 et 111 (1947)</a>
	<a href="#">N° 112 (1947)</a>
	<a href="#">N° 113 (1947)</a>
	<a href="#">N° 114 (1947)</a>
	<a href="#">N° 115 (1947)</a>
	<a href="#">N° 116 (1947)</a>
	<a href="#">N° 117 (1947)</a>
	<a href="#">N° 118 (1948)</a>
	<a href="#">N° 119 (1948)</a>
	<a href="#">N° 120 (1948)</a>
	<a href="#">N° 121 (1948)</a>
	<a href="#">N° 122 (1947)</a>

	<a href="#">N° 123 (1948)</a>
	<a href="#">N° 124 (1948)</a>
	<a href="#">N° 125 (1948)</a>
	<a href="#">N° 126 (1948)</a>
	<a href="#">N° 127 (1948)</a>
	<a href="#">N° 128 (1948)</a>
	<a href="#">N° 129 (1948)</a>
	<a href="#">N° 130 (1949)</a>
	<a href="#">N° 131 (1949)</a>
	<a href="#">N° 132 (1949)</a>
	<a href="#">N° 133 (1948)</a>
	<a href="#">N° 134 (1949)</a>
	<a href="#">N° 135 (1948)</a>
	<a href="#">N° 136 (1949)</a>
	<a href="#">N° 137 (1950)</a>
	<a href="#">N° 138 (1950)</a>
	<a href="#">N° 139 (1950)</a>
	<a href="#">N° 140 (1950)</a>
	<a href="#">N° 141 (1950)</a>
	<a href="#">N° 142 (1948)</a>
	<a href="#">N° 143 (1950)</a>
	<a href="#">N° 144 (1950)</a>
	<a href="#">N° 145 (1951)</a>
	<a href="#">N° 146 (1951)</a>
	<a href="#">N° 147 (1951)</a>
	<a href="#">N° 148 (1951)</a>
	<a href="#">N° 149 (1951)</a>
	<a href="#">N° 150 (1951)</a>
	<a href="#">N° 151 (1951)</a>
	<a href="#">N° 152 (1951)</a>
	<a href="#">N° 153 (1952)</a>
	<a href="#">N° 154 (1952)</a>
	<a href="#">N° 155 (1952)</a>

<b>NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Volume	<a href="#">N°38 ( 1938)</a>
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1938
Collation	1 vol. (3 p.) : ill. ; 32 cm
Nombre de vues	8
Cote	CNAM-BIB P 1329-B (14)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Anglais Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	<a href="https://www.sudoc.fr/039014541">https://www.sudoc.fr/039014541</a>
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B.14">https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B.14</a>

...

P1329-B

8° 107 (15)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
LABORATOIRE D'ESSAIS



TRAVAUX RÉCENTS SUR  
LE FROTTEMENT MÉDIAT

*par J. Prévost*

PUBLICATION N° 38

(Extrait de « La Technique  
Moderne » 15 Septembre 1938)



# LUBRIFICATION

## TRAVAUX RÉCENTS SUR LE FROTTEMENT MÉDIAT

### QUELQUES CONSÉQUENCES PRATIQUES

Le graissage des organes mécaniques, question de plus en plus importante à mesure que croissent les puissances des machines employées dans l'industrie, devient de plus en plus difficile à assurer en raison des conditions de service de plus en plus sévères : taux de charge très élevés combinés avec de faibles vitesses — ou, au contraire, vitesses de régime très élevées —, influence de la chaleur, etc.

Les nombreux travaux scientifiques, effectués sur cette question au cours des dernières années, ne fournissent pas la solution complète du problème; la plupart d'entre eux n'ont envisagé que le lubrifiant seul, sans se préoccuper des autres éléments, constituant l'organe à lubrifier. L'étude pratique du coefficient de frottement, entreprise dans des conditions correctes, peut fournir des renseignements précieux pour l'application pratique. Encore faut-il que les résultats soient présentés sous une forme simple et facilement interprétable. Les travaux dont il est rendu compte ci-après constituent une étape intéressante dans cette voie.

Dans tous les paliers et autres organes mécaniques lubrifiés,

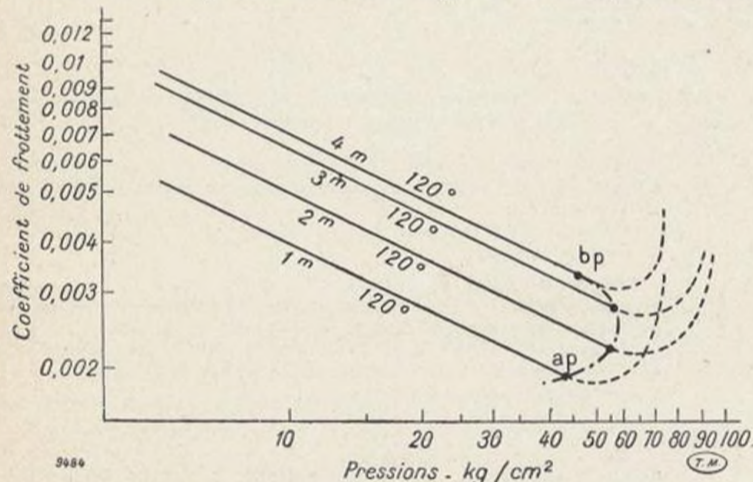


FIG. 1. — Représentation graphique de l'équation :  $\log \varphi + a \log p = bT + \log (1m, 2m, 3m, 4m)$ .

Expériences faites à température et vitesse constantes. La courbe  $ap-bp$  est la limite du graissage parfait, faisant connaître les pressions limites de sécurité.

le coefficient de frottement varie avec les facteurs essentiels de toute réalisation mécanique : vitesse, température, pression.

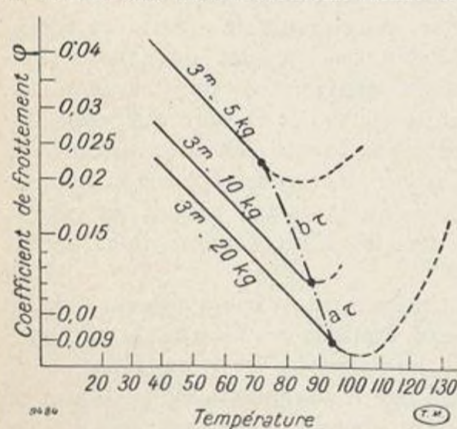


FIG. 2. — Représentation graphique de l'équation :  $\log \varphi - bT = \log Vn - a \log pn$ .

Expériences faites à pression et vitesse constantes. La courbe  $a\tau-b\tau$  est la limite du graissage parfait, faisant connaître les températures limites de sécurité.

lesquelles on a, jusqu'ici, adopté les dispositions les plus variées.

Nous avons exposé ailleurs <sup>(1)</sup> les raisons pour lesquelles, à notre avis, le problème ne peut être résolu correctement qu'à l'aide de machines d'essai dans lesquelles les surfaces de glissement sont des surfaces planes rigoureusement parallèles.

C'est sur cette conception que repose la machine Vollet <sup>(2)</sup>, au

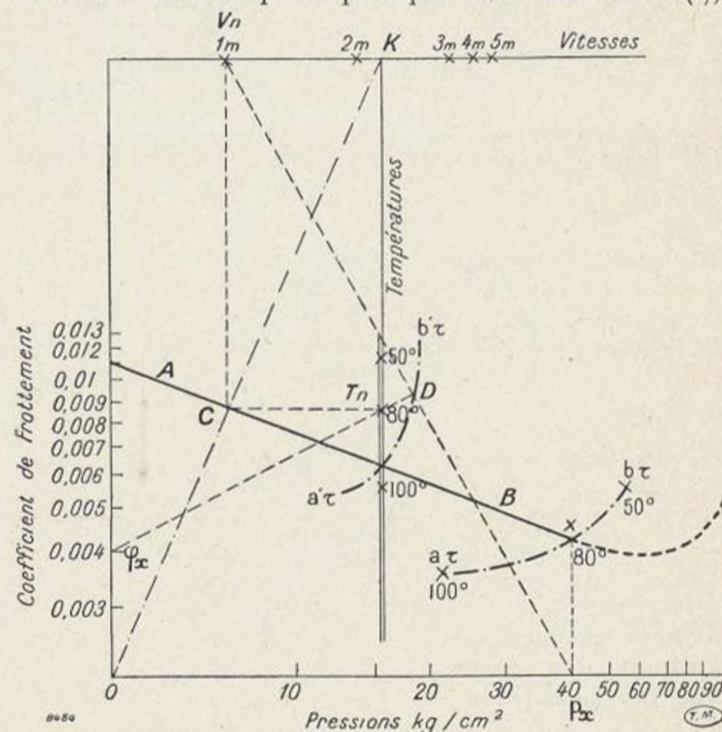


FIG. 3. — Établissement des nomogrammes et utilisation.

Pour connaître le coefficient de frottement à une vitesse de 1 m/sec, pression 40 kg/cm² et une température de 80° C, on joint  $V = 1$  à  $p_x = 40$  et, par le point 80 de l'échelle des températures, on mène une perpendiculaire à  $Vn-p_x$  qui coupe l'échelle des coefficients de frottement au point  $\varphi_x = 0,004$ .

Les coordonnées  $\varphi_x = 0,004$  et  $p_x = 40$  kg/cm² sont celles d'un point  $x$  de la droite  $AB$  correspondant à l'expérience faite à une vitesse de 1 m/sec et à une température de 80°. Si ce point  $x$  est sur la courbe  $a\tau-b\tau$ , le point  $D$ , intersection de  $Vnpn$  et  $Tn-\varphi_x$ , sera un point de la transformée  $a'\tau-b'\tau$ .

moyen de laquelle nous avons poursuivi nos essais au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

(1) Recherches et Inventions, février 1937.

(2) Voir Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, mai-juin 1937.

## Principe de la méthode.

Toutes choses égales par ailleurs, les principales variables intervenant dans le problème du graissage sont :

$p$ , la pression unitaire d'application;  
 $\mu$ , la viscosité du lubrifiant;  
 $T$ , la température du lubrifiant;  
 $V$ , la vitesse de déplacement;  
 $\phi$ , le coefficient de frottement de l'ensemble;  
 $\varepsilon$ , l'épaisseur du film lubrifiant.

Le coefficient de frottement et la viscosité sont, par définition, liés par la relation :

$$\phi = \frac{\mu V}{p \varepsilon}$$

Les expériences que nous avons exécutées à l'aide de la machine Vollet montrent que, dans le cas des surfaces parallèles, on a, pour la phase du graissage parfait :

$$\varepsilon = \frac{A}{p^n}$$

et que  $\mu$  peut s'exprimer avec une précision satisfaisante par une relation de la forme (1) :

$$\mu = e^{(a + bT)}$$

On peut donc écrire :

$$\phi = \frac{e^{(a + bT)} V}{A p^{1 - \frac{1}{n}}}$$

Si nous prenons les logarithmes des deux termes, et si nous posons

$$1 - \frac{1}{n} = m, \text{ nous trouvons finalement :}$$

$$\text{Log } \phi = \text{Cte} + \text{Log } V + bT - m \text{Log } p \quad (1)$$

En adoptant des échelles logarithmiques pour  $\phi$ ,  $P$ ,  $\nu$ , et une échelle linéaire pour  $T$ , la surface qui représente  $\phi$  en fonction

de deux quelconques des autres variables sera un plan, étant entendu que ceci ne s'applique qu'à la phase du graissage parfait. En d'autres termes, ce plan n'est qu'une partie de la surface en question. A titre d'exemple, la figure 1 montre la surface complète  $\phi = f(p, V)$  pour une huile donnée. En coupant la partie plane par des plans isothermes ( $T_n = \text{Cte}$ ), et isobares ( $P_n = \text{Cte}$ ) comme on le voit

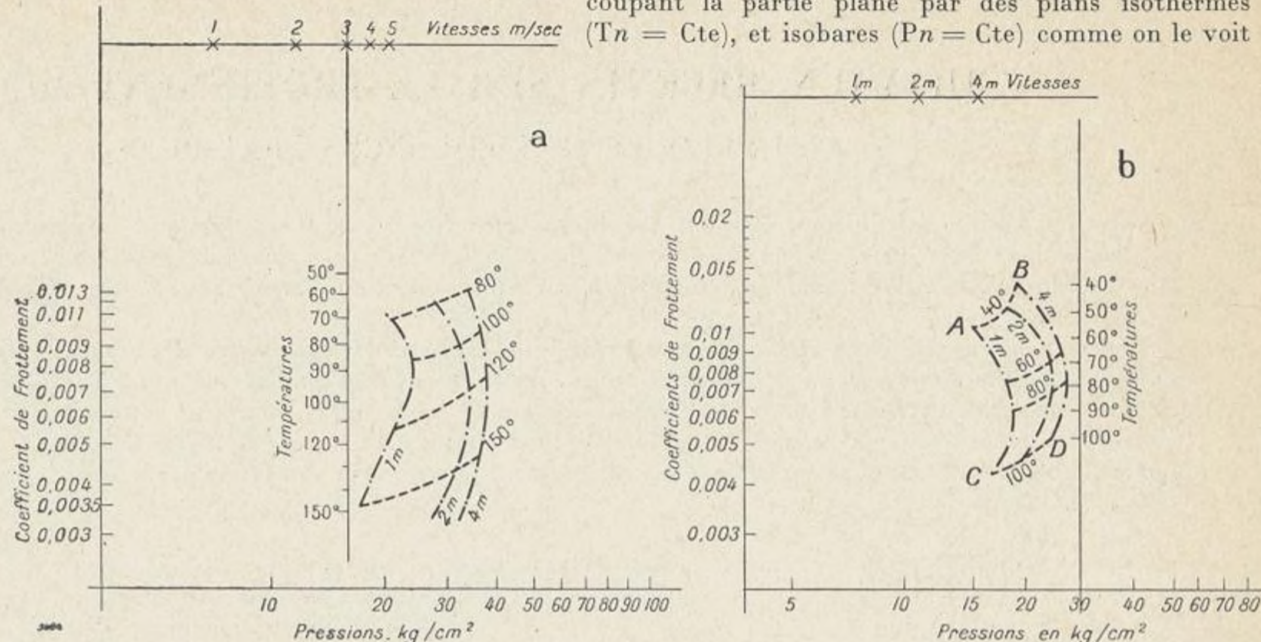


FIG. 4. — Nomogrammes donnant le coefficient de frottement dans la phase du graissage parfait.

a, Huile B pour automobile; pistes en acier nitruré et bronze au plomb; — b, Huile russe n° 1; pistes en acier nitruré et bronze au plomb; — c, Huile russe n° 1; pistes en fonte.

Les réseaux ABCD indiquent, pour chaque température ou vitesse, les limites du graissage parfait.

Exemple : Une droite passant par  $V = 1$  et s'appuyant sur AC fera connaître, pour chaque point de AC, la température limite; l'intersection de cette droite et de l'échelle des pressions indiquera la pression limite correspondante.

Le maximum de pression possible avec cette vitesse est obtenu en menant de  $V = 1$  la tangente à AC. Cette tangente indique la limite des possibilités de graissage parfait pour la vitesse considérée.

dans la figure 2, on obtient deux réseaux composés chacun de droites parallèles.

On représenterait de même les variations de  $\phi$  en fonction de  $(p, \nu)$  et de  $(t, \nu)$ . On obtient ainsi, pour une certaine huile, des graphiques simples, permettant d'obtenir immédiatement la valeur du coefficient de frottement connaissant les autres variables.

Un tel graphique, plus maniable que la représentation à trois coordonnées, permet de savoir rapidement si une huile convient à une combinaison donnée des variables  $(p, \nu, t)$  : il faut que, dans les divers graphiques, le point représentatif, résultant des valeurs données des variables, se trouve sur la branche rectiligne (sinon, l'on est hors du graissage parfait) et que sa valeur ne soit pas excessive (les limites admissibles seront connues par expérience).

La représentation la plus intéressante varie d'ailleurs suivant la nature de l'organe envisagé. Dans le cas d'un moteur Diesel, par exemple, c'est surtout la variation de  $\phi$  en fonction de  $V$  et  $t$  qui est intéressante pour les segments de piston et le cylindre (températures élevées, charges modérées), tandis que, pour les paliers de vilebrequin (températures moins élevées, mais fortes charges), la considération des variations de  $\phi$  en fonction de  $\nu$  et  $P$  offre plus d'intérêt.

En pratique, le but à atteindre est de comparer plusieurs huiles, de manière à pouvoir choisir parmi elles celle qui convient à un cas considéré. Or, de nombreuses expériences effectuées au laboratoire, avec des huiles du commerce, pour

(1) Entre les températures 40 et 120°, et avec les huiles du commerce expérimentées, nous avons trouvé une loi de variation de la température avec les logarithmes des autres variables sensiblement linéaire, ce qui correspond vraisemblablement à confondre la courbe exponentielle de variation de la viscosité avec sa tangente, approximation suffisante pour les études graphiques de frottement lubrifié. Rien d'essentiel ne serait modifié dans ce qui va suivre si l'échelle où l'on porte les températures était exponentielle ou même log-log.

des températures  $T$  comprises entre 15 et 120° C et des vitesses  $V$  de 0,5 à 5 m/sec, ont montré que les plans figuratifs, correspondant à chaque huile étudiée, sont parallèles.

#### Établissement des nomogrammes.

Si l'on veut établir de tels diagrammes pour des vitesses variables, on obtient des faisceaux de droites peu lisibles, difficilement comparables avec les nouvelles lignes obtenues dans un essai de comparaison. Pour cette raison, nous nous sommes proposés de transformer ces faisceaux de droites en nomogrammes simples, permettant des lectures directes faciles.

La transformation peut se faire en partant de la théorie des faisceaux harmoniques ou des abaques hexagonaux.

Nous ne rappellerons ici que les résultats, la transformation elle-même ayant fait l'objet d'un exposé complet au II<sup>e</sup> Congrès du Pétrole :

A toute droite telle que  $AB$  (fig. 3) correspondent un point  $V_n$  et un point  $T_n$  tel que,  $x$  étant un point quelconque de  $AB$ ,  $px$  et  $qx$  ses projections sur les axes  $p$  et  $q$ , les lignes  $V_n p_x$  et  $T_n q_x$  soient perpendiculaires.

Les nomogrammes reproduits à titre d'exemple sur la figure 4 ont été obtenus en transformant par ce procédé les courbes  $a\tau$ - $b\tau$ , qui sont les lieux des points de « fin de graissage parfait » (autrement dit, des extrémités des branches rectilignes précitées).

En possession du nomogramme d'une huile donnée, il suffit, pour obtenir la valeur du coefficient de frottement lubrifié, de joindre les points représentant la vitesse et la pression données, et, par le point représentatif de la température, de mener une perpendiculaire, qui coupera l'échelle des coefficients  $\varphi$  au point cherché.

#### Exemples d'applications industrielles.

L'interprétation industrielle et pratique de ces nomogrammes est facile; elle permet la comparaison d'huiles ou de métaux antifricition aux deux points de vue suivants :

Économie d'utilisation dans la phase du graissage parfait; limites de sécurité en fonction des variables : pression, température, vitesse.

Une huile effectivement équivisquieuse aura son échelle des températures réduite à un point; au contraire, une huile dont le coefficient de frottement varie beaucoup avec la température aura une échelle de température très étendue.

Il en est de même pour les vitesses : une huile pour moteur automobile tournant à grande vitesse devra avoir une échelle de vitesse où le module logarithmique groupe autour des points 4 et 5 m les vitesses supérieures, en sorte que les plus grandes vitesses et les vitesses d'emballement ne présentent pas de variations dangereuses du coefficient de frottement.

Dans les exemples donnés ici, nous avons mis en évidence :

La différenciation de deux huiles différentes en employant les mêmes métaux de frottement (nomogrammes  $a$  et  $b$ );

La différenciation de différents métaux de frottement en employant la même huile (nomogrammes  $b$  et  $c$ ).

L'huile du commerce du nomogramme  $a$  est moins économique aux basses températures que l'huile russe n° 1 du nomogramme  $b$ . La différence est moins sensible au delà de 100°. Le réseau de sécurité des courbes transformées est beaucoup plus favorable pour l'huile du commerce que pour l'huile russe.

Le nomogramme  $c$  est relatif au frottement lubrifié de pistes en fonte avec la même huile russe.

Dans la phase du graissage parfait, le frottement fonte sur fonte est excellent. Pour les mêmes vitesses, températures et pressions, il donne des coefficients de frottement plus bas que le bronze. Mais par contre, avec la fonte, les réseaux de courbes limitant les zones de sécurité sont très bas. En résumé, le frottement fonte sur fonte est économique, mais dangereux.

La même méthode, appliquée aux antifricitions, permet de les classer utilement au point de vue frottement et sécurité par rapport aux vitesses, températures d'échauffement et résistance à la pression.

La transformation des nomogrammes et le déplacement des courbes de sécurité permet également de suivre les altérations des huiles par l'usage.

J. PRÉVOST,

*Ingénieur des Arts et Manufactures,  
Physicien au Laboratoire d'essais  
du Conservatoire national  
des Arts et Métiers.*





