

## 8. FROTTEMENT ET LUBRIFICATION

Si un solide A glisse sur un plan horizontal (fig. 32), l'effort normal exercé par A sur B est P et la force qui le fait déplacer est F agissant suivant le sens du mouvement, cette force est destinée à vaincre la résistance au glissement appelée « force de frottement » dirigée en sens inverse du mouvement

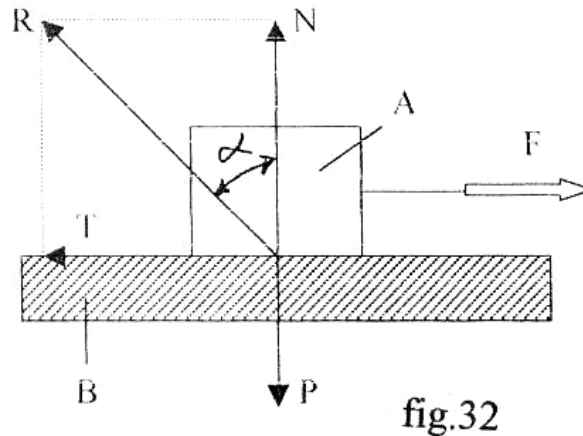


fig.32

T est appelée force de frottement.

Le rapport  $T / N = f$  est appelé coefficient de frottement.

Egalement  $T / N = \operatorname{tg} \alpha = f$  avec  $\alpha$  angle de frottement ou angle que fait R avec la normale.

Nous n'avons envisagé jusqu'ici la résistance au glissement par translation relative de deux surfaces planes ; examinons maintenant le cas d'un déplacement par rotation, exemple : celui d'une surface cylindrique (fig. 33).

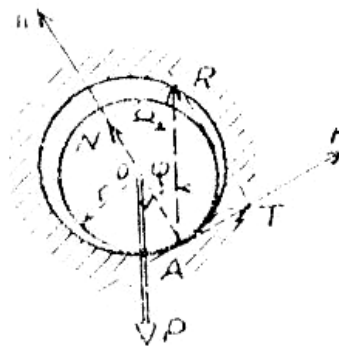


fig.33

Sous l'action du couple C, l'arbre tourne dans l'alésage et le couple ou le moment de frottement qui s'oppose à son déplacement a pour valeur :

$$M = T \cdot r = N \operatorname{tg} \alpha \cdot r = N \cdot f \cdot r$$

$$\text{La réaction normale } N = R \cdot \cos \varphi = P \cdot \cos \varphi$$

Le coefficient de frottement est indépendant de la vitesse de déplacement, de l'étendue des surfaces en contact, donc de la pression. Par contre, il dépend de la nature des matériaux en contact, de l'état des surfaces (rugosités) frottantes.

La valeur du coefficient de frottement est, par exemple : de 0,15 à 0,18 pour les métaux usuels (fontes, aciers, bronzes), de 0,25 à 0,35 pour le frottement cuir sur fonte, de 0,30 à 0,50 pour le frottement des féodos sur acier (ou fonte). Le coefficient de frottement est plus grand au démarrage qu'en marche, ensuite il reste sensiblement constant, puis il diminue quand la vitesse augmente.

Il existe aussi trois plages du coefficient de frottement :

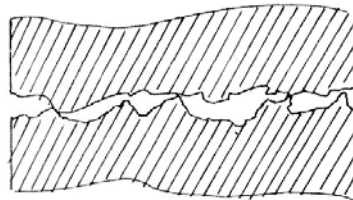
- de glissement de l'ordre de 0,1 à 1
- de roulement de l'ordre de 0,001 à 0,01
- fluide de l'ordre de  $10^{-3}$

Maîtriser la grandeur et l'effet du coefficient de frottement sur le comportement des pièces en contact entraînera une protection contre l'usure adhésive générée de ce contact.

### 8.1. Causes et effet du frottement

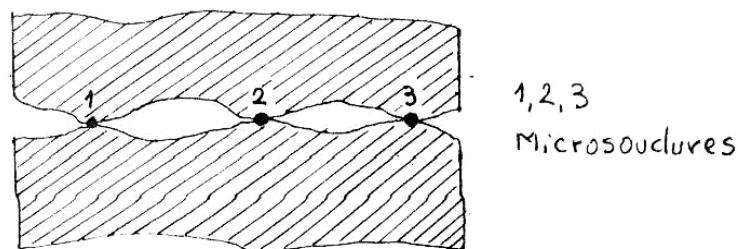
Les causes de la résistance au glissement (frottement) sont dues :

- d'une part aux irrégularités des surfaces en contact, ce qui détermine un enchevêtrement des aspérités; d'où nécessité d'un effort tangentiel pour franchir où creuser ces aspérités (fig. 34).



( fig.34 )

- d'autre part, l'étendue réelle des surfaces en contact étant réduite à quelques zones où la pression est très forte, il en résulte une déformation importante et une véritable soudure à froid dans le cas de deux métaux (fig. 35). La force de traction doit cisailer les zones de jonction qui se sont ainsi formées. Il y a donc arrachement de particule et élévation de température



( fig.35 )

- et enfin lorsque les surfaces de frottement ont subi un polissage très poussé, la résistance au glissement est encore notable; les forces d'attraction moléculaire jouent donc un rôle important.

Donc les forces de frottement procèdent de deux origines distinctes :

a. Lorsque, même à faible charge, deux surfaces rugueuses se déplacent l'une par rapport à l'autre, leurs aspérités s'entrechoquent et il faut développer un effort important pour perpétuer le mouvement (tant que les surfaces ne sont pas rodées).

b. Deux surfaces polies pressées l'une contre l'autre ont tendance à adhérer l'une sur l'autre et à se souder l'une à l'autre lors d'un déplacement faible, même sous l'effet d'une charge faible. Si les surfaces sont parfaitement polies et propres, l'absence d'une couche d'air inter-faciale et conduit à un contact généralisé et à un effort de frottement considérable (cas de deux vitres parfaitement nettoyées avec un solvant volatil). Les attractions intermoléculaires provoquent alors un coefficient de frottement supérieur à 100 et il faut exercer un effort d'une tonne-force pour déplacer une masse de 10 Kg.

Les effets du frottement sont considérables dans les machines et diminuent par conséquent leur rendement car une partie de l'énergie motrice est utilisée pour vaincre les frottements. Le travail utile  $W_u$  est inférieur au travail moteur  $W_m$  d'où :

le rendement :  $W_u / W_m < 1$ .

Les effets du frottement ont des conséquences majeures sur l'échauffement et risque de grippage. L'énergie mécanique dépensée pour vaincre le frottement se transforme en énergie calorifique en provoquant l'échauffement des surfaces en contact et qui peut conduire à la dilatation des pièces, modification du jeu entre pièces (par exemple : le cas d'un alésage et d'un arbre, la dissipation de cette chaleur étant en général plus rapide. Pour l'alésage que pour l'arbre; le jeu fonctionnel subit une réduction si l'échauffement est trop important, il peut se produire un blocage de l'arbre dans l'alésage par grippage (micro-soudure au point de contact).

L'échauffement peut conduire aussi à la modification des propriétés des matériaux. Les effets du frottement peuvent entraîner aussi l'usure des pièces en contact, tels que l'arasement des aspérités des surfaces en contact, l'arrachement des micro-soudures aux points de contact, l'abrasion des surfaces par les particules arrachées etc. Donc il en résulte un enlèvement de matière et une modification du jeu initial, quelques fois de la forme (ovalisation).

L'usure dépend de plusieurs facteurs tels que : propriétés mécaniques des matériaux, pression de contact, état de surfaces, température de fonctionnement etc. L'usure peut être limitée par des dispositifs de rattrapage de jeu où on réduit les frais en reportant l'usure sur l'une des pièces, moins chère ou plus facilement remplaçable que l'autre. Il est donc nécessaire de réduire le frottement pour tous les mécanismes de transformation de mouvement. Par contre le frottement est nécessaire pour les systèmes de freins et d'embrayages.

### **8.1.1. Réduction du frottement et de l'usure**

Maîtriser la grandeur et l'effet du frottement sur le comportement des pièces en contact entraînera une protection contre l'usure adhésive générée de ce contact. Pour réduire le frottement on peut ainsi agir soit :

#### **8.1.1.1. Sur la conception technologique et géométrique**

Elle consiste à diminuer les échauffements inter-faciaux et à veiller sur les concepts technologiques suivants :

##### **a. Réduction du risque de grippage :**

Elle est obtenue indépendamment du refroidissement, par le choix des deux matériaux en contact, ne pouvant pas se soucier

La réduction de l'usure est obtenue par l'emploi de métaux durs, compacts, à structure fine, par certains traitements de surface tels que cémentation et trempe, nitruration, sulfinitation ainsi que l'amélioration des états de surfaces (rectification, rodage, polissage etc.).

Les matériaux utilisés sont généralement les fontes et les aciers alliés et non alliés. Les fontes donnent de bonnes surfaces frottantes grâce à leur structure (carbone sous forme de lamelles de graphite), et à leur propriété de retenir le lubrifiant. Les plus utilisées sont la fonte grise et la fonte à graphite sphéroïdal (coulisseaux cylindres de moteurs, pistons, segments etc.). Les aciers sont utilisés pur la fabrication des arbres; leurs qualités frottante et leur dureté peuvent être améliorés par traitement de surface (cémentation, nitruration, sulfinitation, etc.) ou par un dépôt électrolytique (chrome, nickel). Les types d'acier les plus utilisés sont XC 18, XC 38, 100 C6, 35 CD4, etc.

Outre la fonte et l'acier, d'autres matériaux peuvent remplir aussi les conditions exigées, ce sont les alliages de cuivres (bronze ou plomb, cuivre au plomb, bronze d'aluminium). Les antifrictions (ou régules); ce sont des alliages complexes contenant des métaux durs (cuivre, antimoine), résistants à l'usure et pouvant supporter des charges élevées, et des métaux mous (plomb, étain) permettant d'obtenir une surface de contact maximale. Les alliages divers tels que alliages de zinc, alliages d'aluminium, alliages de cadmium.

##### **b. Réduction des pressions de contact et de vitesse :**

La pression de contact entre les pièces ainsi que leur vitesse de fonctionnement influent beaucoup sur l'usure, il croît avec ces deux paramètres.

##### **c. Refroidissement convenable des surfaces :**

Il peut s'effectuer soit par :

- Le choix des matériaux thermoconducteurs.
- Le choix des pièces favorisant la dissipation de la chaleur (l'augmentation du volume, donc de la masse, permet de diminuer l'échauffement).

- L'emploi d'un fluide réfrigérant qui peut être le lubrifiant (graissage par circuit d'huile avec refroidissement de celle-ci).

#### **d. Amélioration de l'état de surface :**

Soit par des procédés mécaniques (rectification, rodage, polissage etc. ) ou par des procédés chimiques et thermiques (revêtement de surface, durcissement etc.).

#### **8.1.1.2. Interposition d'un film lubrifiant**

La deuxième possibilité de protéger les deux surfaces antagonistes contre l'usure adhésive est l'interposition entre les deux surfaces d'un film lubrifiant ou autolubrifiant à faible résistance au cisaillement. Le film peut être (dépôts superficiels) :

- un métal mou (PH, Sn, Cu, In) déposé en faible épaisseur sur un substrat très dur (coussinets minces, garnitures d'antifricion etc. ),
- des sels métalliques autolubrifiants tels que les sulfures, les chlorures, les phosphates apportés soit par traitement de surface (sulfuration) soit par formation in situ, par action d'additifs extrême pression incorporés dans le lubrifiant (additifs soufrés, chlorés et phosphorés essentiellement),
- des composés possédant une structure favorables, se cisillant facilement par clivage tels que graphite, bisulfure de molybdène ( $\text{MoS}_2$ ),
- des matières plastiques, tels que les matériaux stratifiés (permaloy, céleron, textolite), ce sont des matériaux constitués de couches de papier, tissu, bois, etc., imprégnés de résine synthétique, fortement comprimés et agglomérés par polymérisation ou polycondensation de la résine. Le nylon et le rilsan sont des résines synthétiques possédant une grande résistance mécanique, une grande résistance à l'usure, un faible coefficient de frottement, une marche silencieuse. Le téflon (polytétrafluoréthylène) possède un faible coefficient de frottement, une grande résistance à l'usure, une grande inertie chimique et une résistance à la chaleur et au froid.

### **8.2. La lubrification**

Il résulte de tout ce qui précède concernant les lois du frottement sec et les inconvénients du frottement entre les corps mobiles d'une machine, qu'il s'avère très nécessaire de substituer au cisaillement de la matière solide superficielle, le cisaillement d'un fluide visqueux que l'on introduit dans l'interface séparant les deux solides, c'est à dire l'interposition d'une couche fluide entre les surfaces frottantes permet de diminuer considérablement la résistance au glissement donc de protéger contre l'usure adhésive les pièces en contact. Donc la lubrification est la troisième solution de protéger les pièces frottantes contre l'usure.

En plus, il est nécessaire que le milieu résistant inter-facial possède une épaisseur suffisante pour éviter tout contact entre les aspérités des surfaces frottantes quelles que soient les valeurs des charges appliquées. Dans ce cas lorsque la vitesse relative des surfaces est

faible et que la viscosité du fluide inter-facial est insuffisante, il faut, pour éviter tout contact désastreux que :

- les déformations subies par les surfaces en regard sous l'effet de la charge appliqués soient aussi faibles que possible,
- la rugosité des surfaces en regard soit aussi faible que possible,

Le lubrifiant doit remplir certaines conditions tels que :

- la température d'ébullition soit assez élevée,
- la température de solidification soit relativement basse,
- la faible affinité pour l'oxygène de l'air,
- être passif vis à vis des surfaces frottantes de façon à assurer un long usage sans modification notable des propriétés,
- adhérer aux surfaces de frottements (pouvoir mouillant).

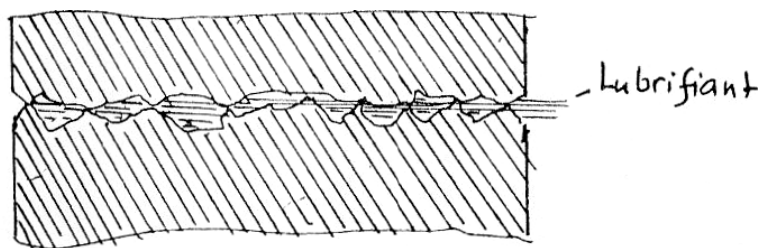
Pratiquement, seules les huiles et graisses d'origine minérale remplissent suffisamment ces conditions pour pouvoir être utilisées comme lubrifiants.

### 8.2.1. Modes d'action d'un lubrifiant

On distingue essentiellement deux régimes de lubrifiant :

#### 8.2.1.1. Le régime onctueux

Dans ce cas l'épaisseur de la couche lubrifiante est inférieure à la hauteur des aspérités des surfaces frottantes. Les surfaces restent en contact par leurs aspérités auxquelles adhère une faible couche de lubrifiant offrant une résistance mécanique non négligeable à l'écrasement et l'arrachement et c'est cette résistance qui définit l'onctuosité du lubrifiant ou le pouvoir graissant en couche mince (l'onctuosité ne se chiffre pas) (fig. 36 ). La couche du lubrifiant est discontinue et le coefficient de frottement  $f$  est de l'ordre de 0,008: à 0,12.

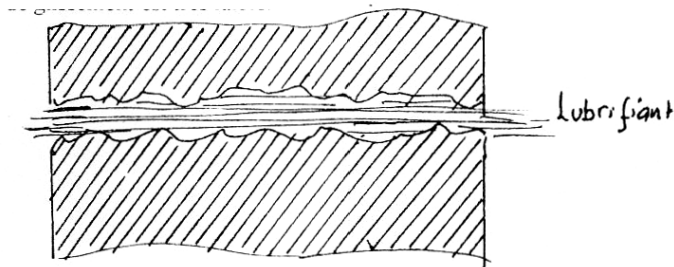


( fig.36 )

#### 8.2.1.2. Le régime hydrodynamique

Le régime hydrodynamique apparaît lorsque le déplacement relatif d'une surface par rapport à l'autre engendre, au sein de cette huile inter-faciale, une contraction telle que la pression induite équilibre la charge exercée entre les deux surfaces.

Dans ce cas la couche d'huile est suffisamment grande pour que les aspérités de pièces ne puissent venir en contact (fig. 37), l'épaisseur du film d'huile est alors 1000 fois plus élevée que dans le régime onctueux et la résistance de glissement est très faible.

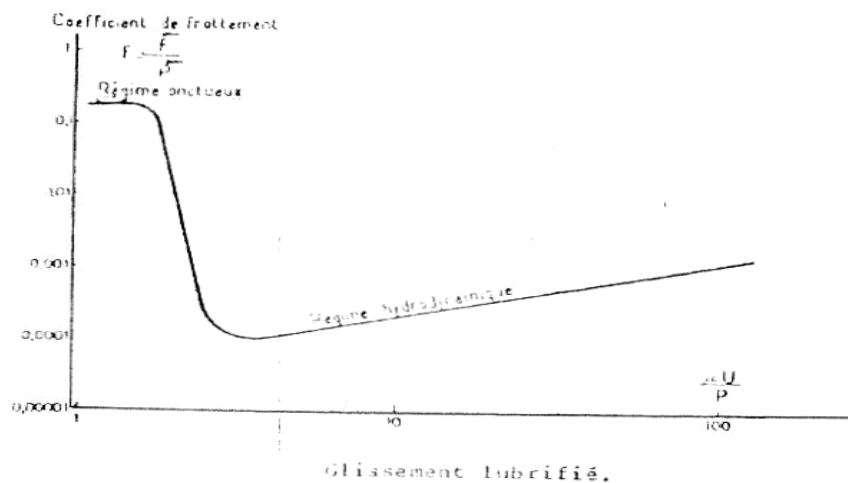


( fig.37 )

Le coefficient de frottement et l'épaisseur du film d'huile varient :

- avec la viscosité  $\mu$  du fluide,
- avec la vitesse du glissement relatif des surfaces :  $U$ ,
- et en raison inverse de la pression moyenne  $P$  équilibrant la charge.

$$f = F / P = \mu \cdot U / P = 0,001 \text{ à } 0,0001$$



( fig.38 )

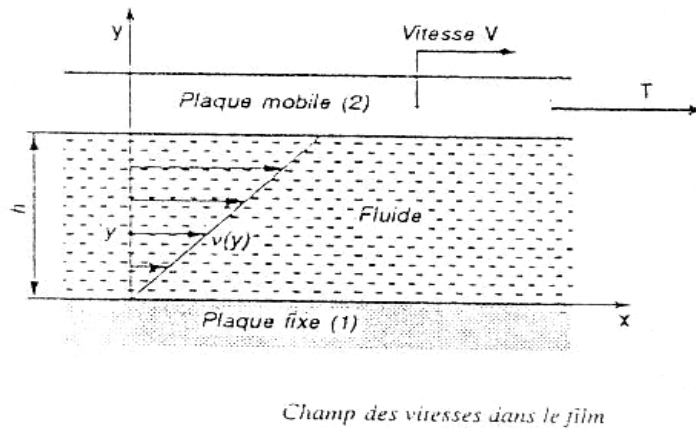
En régime hydrodynamique, l'énergie de frottement est développée au sein même de l'huile et est évacuée grâce à la circulation d'huile. La lubrification peut être aussi hydrostatique, c'est à dire, effectuée par une source de pression extérieure au mécanisme.

Quelque soit le phénomène mis en jeu, l'épaisseur minimale du film doit être plus grande que la hauteur des aspérités des surfaces, sinon on est en présence de lubrification hydrodynamique où le film d'huile a une épaisseur relativement importante (6 à 8  $\mu\text{m}$  lorsque les surfaces sont rectifiées).

## 8.2.2. Caractéristiques d'un lubrifiant

### 8.2.2.1. La viscosité

Si on considère deux plaques parallèles horizontales distantes de  $h$  (fig. 39),



(fig. 39)

Un fluide sépare ces deux plaques. L'épaisseur  $h$  est très faible par rapport aux dimensions des plaques, donc on parle de film d'huile. On constate qu'il est nécessaire d'exercer une force tangentielle  $T$  parallèle à la direction du filet pour déplacer tangentiellement la plaque (2) à la vitesse  $V$ , par rapport à la plaque (1) supposée immobile.

Si l'écoulement est linéaire : le champ des vitesses admet l'allure représentée sur la figure 39, il y a donc glissement des couches de fluide les une par rapport aux autres, et l'on peut définir un gradient de vitesse :

$$dV(y) / dy$$

La résistance au glissement est caractérisée par une contrainte de cisaillement  $\tau(y)$ . Le modèle Newtonien suppose qu'il existe une relation de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et le gradient de vitesse comme suit :

$$\tau(y) = \mu \cdot dV(y) / dy$$

$\mu$  est le coefficient de viscosité dynamique qui caractérise donc la résistance au glissement fluide sur fluide.

Dans le système SI est exprimée en  $\text{Kg/m.s}$  ou  $\text{N s/m}^2$  et porte le nom de pascal-seconde (Pa.s). Dans le système CGS, l'unité de viscosité dynamique est  $\text{g/cm.s}$  et s'appelle le poise (Po). Généralement on utilise le centipoise (cPo).

$$1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ Po} = 10^3 \text{ cPo.}$$

On utilise également la viscosité cinématique  $\nu$  qui est le quotient de la viscosité



dynamique par la masse volumique :  $\nu = \mu / \rho$

L'unité de mesure de  $\nu$  dans le système SI est  $\text{m}^2/\text{s}$ . Dans le système CGS elle est le  $\text{cm}^2/\text{s}$  qui s'appelle aussi le Stokes (St) il existe aussi le centistokes (cSt) :

$$1 \text{ m}^2/\text{s} == 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt.}$$

La propriété inverse de la viscosité est la fluidité.

Les raffineurs caractérisent les huiles livrées aux mécanismes par leur viscosité cinématique  $\nu$  qui dépend des qualités d'écoulement de l'huile dans un tube capillaire de  $200 \text{ cm}^3$ . La viscosité est mesurée par le quotient de la durée d'écoulement à travers ce tube à  $20^\circ\text{C}$  d'un fluide par la durée d'écoulement du même volume d'eau distillée. Il s'agit de la vitesse relative par rapport à l'eau, elle s'exprime en degrés Engler (E:) et elles varient suivant la qualité d'huile de 2E à 15 pour les huiles courantes à  $50^\circ\text{C}$ . L'eau à  $20^\circ\text{C}$  possède une viscosité de 1 cSt.

A titre indicatif, la viscosité cinématique d'une huile fluide pour moteur est voisine de celle de l'air, aux températures ordinaires. Or on ne lubrifie pas les moteurs avec l'air.

### 8.2.2.2. Influence de la température et de la pression sur la viscosité

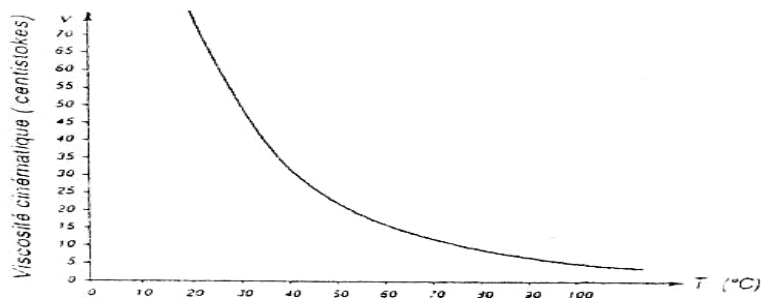
Les paramètres les plus influents sur la viscosité d'un fluide sont la température et la pression.

#### a. Influence de la pression :

La viscosité des huiles minérales croît avec la pression de façon quasi exponentielle. Une viscosité d'huile peut atteindre le double de sa valeur pour une pression croissant de 0 à 300 MPA. Il en est de même pour les pompes à haute pression.

#### b. Influence de la température :

La viscosité des huiles minérales décroît de façon quasi exponentielle avec la température (fig. 40).



Variation de la viscosité avec la température pour une huile paraffinique (Huile Total Preslia 32)

( fig.40 )

On peut approcher localement la variation de la viscosité dynamique par une relation de la forme :

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{[\alpha \cdot (p - p_0) - \beta (T - T_0)]}$$

avec :

- $\alpha$  : coefficient de piézo-viscosité.
- $\beta$  : coefficient de thermo-viscosité.
- $\mu_0$  : viscosité dynamique pour la pression  $P_0$  et la température  $T_0$ .

La viscosité en poiseilles (Pos) de quelques fluides à 20°C et à pression atmosphérique :

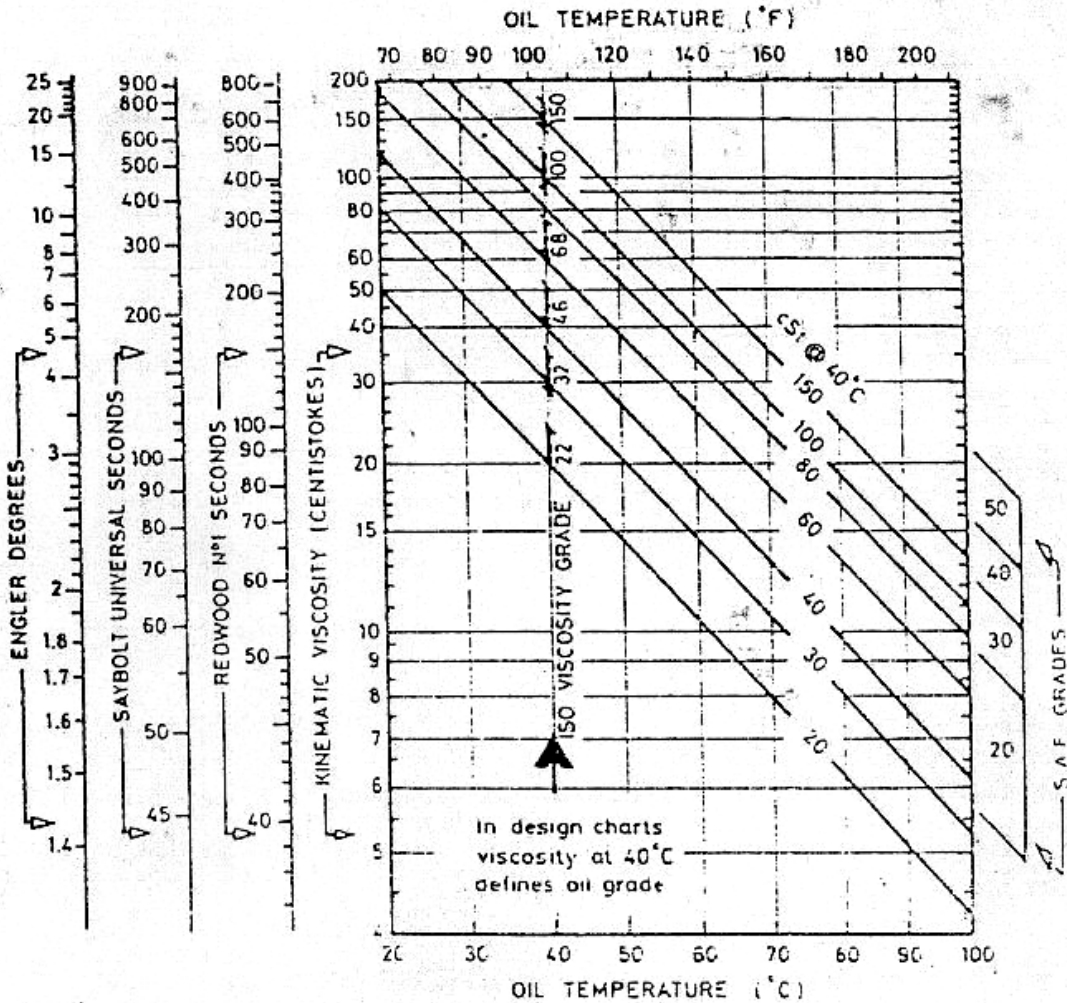
- Air :  $1,8 \cdot 10^{-5}$
- Eau :  $10^{-3}$
- Huiles minérales :  $10^{-2}$  à 12,5
- Glycérine : 0,87
- Huile de ricin : 0,725

Le tableau ci-dessous donne la classification des huiles industrielles en fonction de leur viscosité.

Classe ISO de viscosité	Viscosité cinématique cSt à 40° c	Limites de la viscosité cinématique à 40° c	
		Mini	Maxi
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,00
ISO VG 15	15	13,50	16,50
ISO VG 22	22	19,80	24,20
ISO VG 32	32	28,80	35,20
ISO VG 46	46	41,40	50,6
ISO VG 68	68	61,20	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Dans cette classification, la viscosité cinématique médiane de chaque classe doit être environ 50% plus élevée que celle de la classe précédente.

Les viscosités à d'autres températures sont généralement données sous formes de courbes de viscosité-températures ou exprimées en termes d'indice de viscosité. L'abaque (fig. 41) permet une conversion rapide d'unités et fournit le loi viscosité températures d'un certain nombre d'huiles normalisées.



Viscosité : diagramme de conversion et loi viscosité-température

( fig.41 )

### 8.2.2.3. L'onctuosité

Elle exprime la possibilité, pour un lubrifiant, d'adhérer aux surfaces frottantes et de former une couche permanente entre ces surfaces. Donc c'est la résistance qu'oppose le lubrifiant à son arrachement de la surface frottante sur laquelle il est établi. L'onctuosité varie dans le même sens que la viscosité et elle ne se chiffre pas.

#### **8.2.2.4. L'oxydabilité**

Elle caractérise la résistance d'une huile à une éventuelle oxydation. Une huile qui s'oxyde se détériore.

#### **8.2.2.5. La corrosivité**

Certaines huiles contiennent des additifs ou minéraux qui ont un caractère acide, pouvant attaquer les surfaces des pièces par le phénomène de corrosion. Donc la corrosivité est la détérioration des pièces par les acides.

#### **8.2.2.6. L'inflammabilité**

Elle est mesurée par le point d'éclair qui est la température pour laquelle les vapeurs émises s'enflamment au contact d'une flamme.

#### **8.2.2.7. La résistance au froid**

Une huile figée ou gelée peut empêcher toute lubrification.

#### **8.2.2.8. Caractéristiques diverses**

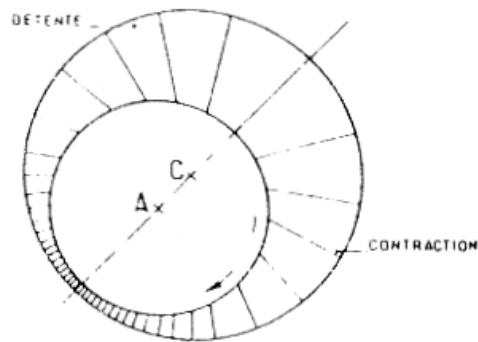
Densité, couleur, volatilité, solubilité, point de fusion, point d'ébullition, acidité, tension superficielle etc.

### **8.2.3. Formation du film d'huile**

On considère le cas de déplacement de deux surfaces cylindriques par exemple l'arbre et le coussinet. L'apparition d'une pression interne exige simplement la création d'une contraction géométrique entre l'entrée et la sortie de la veine d'huile, se traduisant par une vitesse moyenne de sortie supérieure à la vitesse moyenne d'entrée. L'obtention de cette contraction exige que :

- a. Le diamètre de l'arbre et le diamètre du logement soient différents, ce qui se traduit par un jeu diamétral. Ce jeu donne lieu à un coin d'huile déterminant la formation d'un film continu.
- b. Les centres des sections droites circulaires de l'arbre et du logement soient distincts ; la mise en position de l'arbre au sein du logement s'effectue sans contrainte, pouvant tourner librement autour d'un axe.

Une zone de détente (fig. 42) fait suite à une zone de contraction, et inversement par la suite, la limite entre les zones étant sur la lime des centres des cercles.



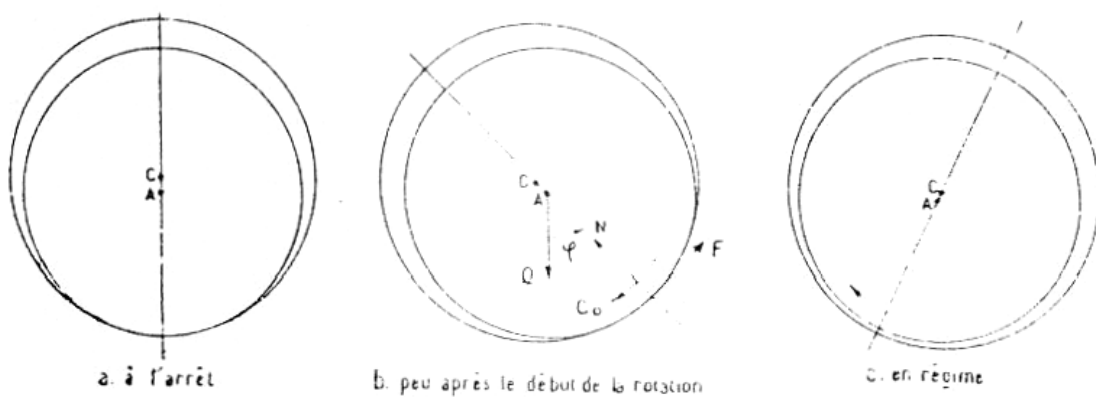
25. Zones de contraction et de détente

( fig.42 )

A l'arrêt ou au repos (fig. 343 a), l'arbre A repose sur le coussinet par sa génératrice inférieure et l'épaisseur de la couche d'huile est négligeable au point de contact.

Au départ ou début du mouvement rotationnel (fig. 343 b), l'arbre remonte dans le logement (comme sur une crémaillère) provoquant une contraction par unité de temps proportionnelle à la vitesse de rotation. On a un graissage onctueux.

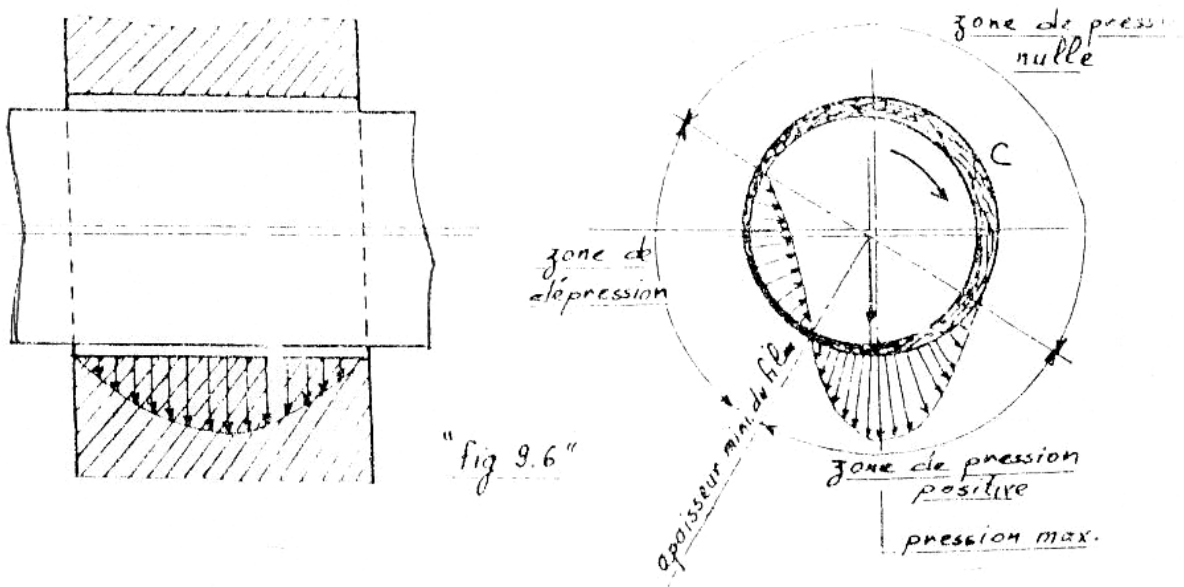
A partir d'une certaine vitesse de rotation (fig. 43 c) l'arbre, tournant peut flotter librement dans le logement, supporté par un coin d'huile qui s'est formé, sous l'effet de la rotation de l'arbre, grâce à la différence des courbures de l'arbre et du logement et de la non concordance de leurs centres.



( fig.43 )

#### 8.2.4. Répartition des pressions au sein du film d'huile

Les pressions existantes entre différents points du film d'huile se répartissent selon la figure 44 par exemple le cas d'un palier lisse qui est constitué généralement d'un arbre qui tourne à l'intérieur d'un coussinet complet. Ces deux éléments sont totalement séparés par un film de lubrifiant. Si l'on applique une charge à l'arbre, les axes de l'arbre et du coussinet ne coïncident plus.



( fig.44 )

Cette géométrie entraîne la création d'un espace convergent-divergent qui compte tenu d'une part de l'adhérence du fluide de l'arbre et d'autre part de la vitesse de rotation de celui-ci, crée un champ de pression qui s'oppose à la charge extérieure. L'existence d'un espace divergent entraîne la rupture du film pour une zone située légèrement en aval de la zone d'épaisseur minimale du film.

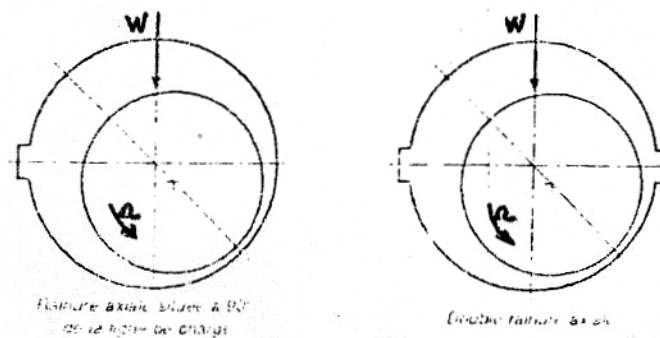
On distingue donc la zone où la pression est positive et le film est complet et une région ou zone de dépression où la pression est négatives et enfin une région inactive à pression nulle dans laquelle peut apparaître la cavitation. Pour que le film d'huile s'amorce et soit continu, il faut que la vitesse de l'arbre soit suffisante, la viscosité de l'huile soit suffisante et que l'alimentation soit abondante et qu'elle s'effectue dans une zone de pression faible ou nulle.

Une alimentation abondante peut être obtenue sous pression en permanence en exécutant une rainure d'alimentation qui a pour but de répartir l'huile sur toute la largeur du palier et de faciliter la formation du film d'huile et en particulier d'irriguer la zone inactive du film, on évite ainsi le phénomène de cavitation et d'augmenter le débit afin de limiter l'échauffement du fluide

Il existe deux types de rainures :

**a. Les rainures axiales :**

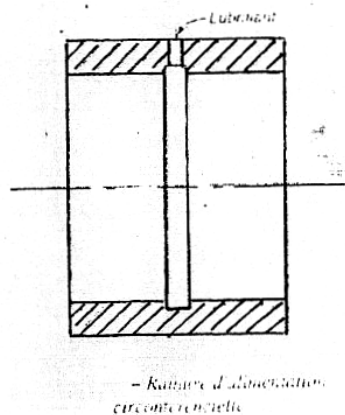
Les rainures axiales (fig. 45) sont utilisées pour les charges fixes. La rainure axiale qui donne le meilleur remplissage du palier est une rainure située dans la zone d'épaisseur maximale du film. Cependant comme cette zone change de position par rapport au bâti en fonction des conditions de fonctionnement (charge, vitesse, viscosité), on place en général la rainure axiale à  $90^\circ$  en amont de la charge. Si l'arbre peut tourner dans les deux sens, on place une deuxième rainure à  $180^\circ$  de la première (fig. 45). Cette rainure ne doit en aucun cas être située dans la zone des pressions maximales car la portance du palier serait considérablement amputée.



( fig.45 )

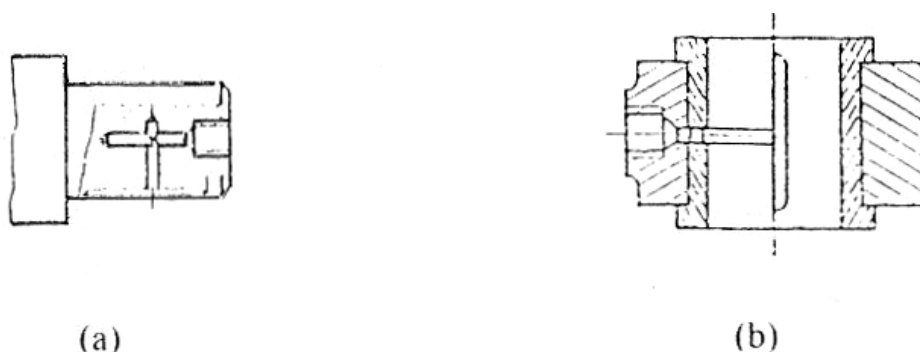
**b. Les rainures circconférencielles :**

Les rainures circconférencielles (fig. 46) sont utilisées lorsque la charge est tournante. Dans ce cas en effet, avec une rainure axiale, on se trouverait à chaque tour dans la situation évoquée dans le paragraphe précédent (rainure située dans la zone des pressions maximales). Ce type de rainure diminue la capacité de charge du palier car elle substitue au palier de longueur L, deux paliers de longueurs inférieures à  $L/2$  (fig. 46). On peut dans certains cas combiner les deux types de rainures.



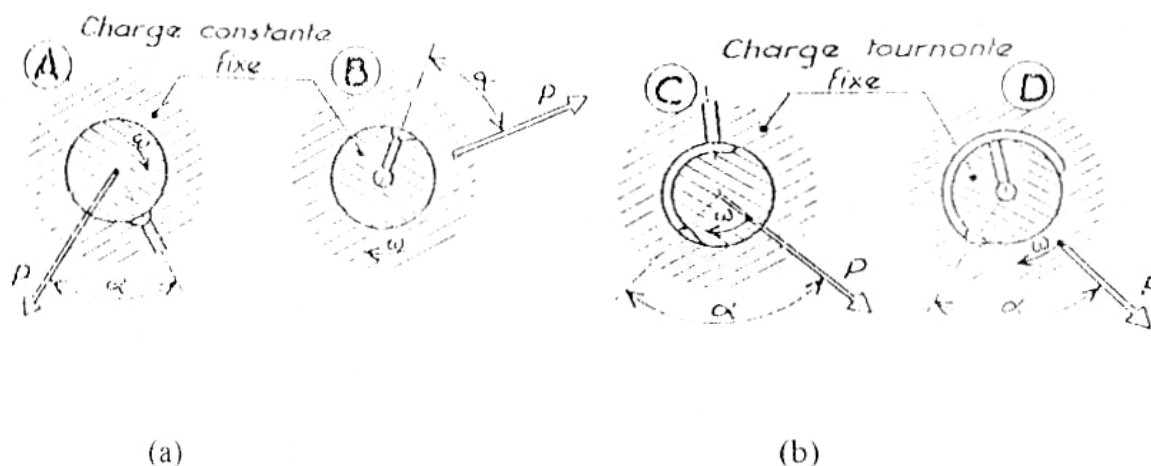
( fig.46 )

Quel que soit le mode d'alimentation, l'arrivée et la répartition du lubrifiant sont assurées par des trous et rainures ménagés soit sur le coussinet, soit sur l'arbre (fig. 47 a et b).



( fig.47 )

Si la charge est de direction constante, la rainure est creusée dans la pièce fixe en arrière de la charge ( $\alpha = 45^\circ \times 135^\circ$ ) (fig.48 a), et si la charge est tournante, la rainure est creusée sur la puce mobile, en avant de la charge (fig. 48 b).



(fig. 48)

### 8.2.5. La lubrification à la graisse

L'utilisation croissante de pièces lubrifiées à la graisse, associée au développement du concept de graissage à vie, fait de la graisse un composant à part entière de la pièce à lubrifier.

Compte tenu des conditions de travail imposées au lubrifiant (laminage, malaxage), des graisses spéciales doivent être utilisées et qui ne peuvent être sélectionnées à la simple analyse de leurs caractéristiques physico-chimiques



### 8.2.5.1. Choix de la graisse

Le choix de la graisse repose sur la connaissance des conditions de fonctionnement qui doivent être définies de la manière la plus précise possible :

- Température.
- Charge.
- Ambiance.
- Vibration.

Les constructeurs d'équipements en relation avec les fabricants de produits pétroliers testent les performances des graisses pour chaque condition particulière de fonctionnement au niveau des laboratoires de recherche.

### 8.2.5.2. Mise en oeuvre

La quantité de graisse nécessaire au bon fonctionnement doit occuper un volume optimum selon des pondérations empiriques, lesquelles seront adoptées et ensuite normalisées. Prenons l'exemple de graissage d'un roulement. La graisse doit occuper un volume égale à environ 20 à 30 % du volume libre interne de celui-ci, d'où la formule pratique :

$$G = 0,005 \cdot D_e \cdot B$$

- G : la quantité de graisse en grammes ou en cm<sup>3</sup>.
- D<sub>e</sub> : le diamètre extérieur du roulement en mm.
- B : la largeur du roulement en mm.

Un excès de graisse est préjudiciable au bon fonctionnement du roulement, toutefois la quantité peut être augmentée de 20 % pour les paliers munis d'un orifice d'évacuation de la graisse usée.

Par ailleurs, un roulement tournant à très faible vitesse tolère un plein ou remplissage complet, ce qui est favorable à sa protection en ambiance très polluée (galets de manutention,...).

### 8.2.5.3. Périodicité de graissage

Dans des conditions normales de fonctionnement, sans pollution extérieure et avec une retenue efficace, la durée de vie de la graisse est liée aux paramètres :

- de vitesse,
- de charge,
- de température.

Particulièrement au delà de 80°C en fonctionnement continu, la durée de vie calculée de la pièce est souvent limitée par celle de la vitesse. A titre indicatif, on peut dire que la durée de vie d'une graisse d'usage général est divisée par deux par tranche de 15°C au dessus de 80°C.

La détermination de la périodicité de graissage est essentiellement basée sur l'expérience de l'utilisateur et sur les moyens de surveillance qu'il peut mettre en oeuvre avec l'aide de diagrammes mis à jour.

### 8.2.6. Lubrifiants d'emploi courant

- a. **Huiles végétales et animales :** (dites huiles grasses), très onctueuses, mais plus souvent acides.
- b. **Huiles de pétrole :** extraites par distillation du pétrole brut.
- c. **Huiles de pétrole avec additifs :** (dites aussi « dopées » ) ; les additifs sont des produits qu'on ajoute aux huiles minérales pour en améliorer certaines propriétés. Il en existe ceux qui augmentent l'onctuosité, d'autres qui empêchent le grippage, qui s'opposent à la corrosion des surfaces, etc.).

En automobile, on utilise très couramment des huiles détergentes dont l'additif empêche le dépôt adhérent de calamine, et parfois des huiles équivisquieuses ou multigrades dont la viscosité est peu influencée par la température.

- d. **Huiles composées (compound) :** mélanges d'huiles animales ou végétales et d'huiles de pétrole obtenus par dissolution de l'une dans l'autre ou par l'emploi d'un solvant commun.
- e. **Graisses :** la saponification partielle d'une huile suivie de l'émulsion du savon dans l'huile restante donne une graisse. Une graisse est définie par sa consistance (dureté).
- f. **Lubrifiants divers :** le bisulfure de molybdène et le téflon réduits en poudre, le graphite sont souvent employés. La paraffine, le talc et certains sous-produits de distillation de la houille sont utilisés dans des cas particuliers.

### 8.2.7. Dispositifs de graissage

Le choix du mode de graissage et de leurs dispositifs dépend essentiellement de la puissance absorbée par le frottement :

$$P = p.v.f$$

- p : pression de contact (bars)  
v : vitesse de glissement (m/s)  
f : coefficient de frottement

Plus le produit p.v est important, plus la lubrification doit être efficace. Dans une lubrification, les qualités recherchées sont l'efficacité, la sûreté de fonctionnement, la continuité, l'automatisme et l'économie. Pour cela il faut :

- a. constituer une réserve de lubrifiant avec remplissage et vidanges faciles,
- b. assurer l'arrivée et répartition du lubrifiant sur les surfaces frottantes,

- c. assurer la mise en marche du graissage au démarrage, le réglage et le contrôle du débit d'huile en marche, l'interruption à l'arrêt,
- d. assurer si possible la récupération d'huile,
- e. éviter les fuites, donc assurer l'étanchéité.

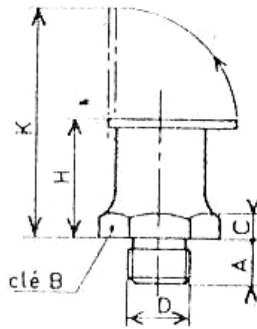
Selon l'importance de la lubrification ou du produit p.v on distingue deux types de dispositifs :

- Les dispositifs à lubrification perdue.
- Les dispositifs à récupération d'huile.

### 8.2.7.1. Dispositifs à lubrification perdue

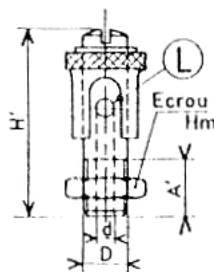
Ils sont utilisés pour une alimentation continue avec un débit faible, donc pour un graissage onctueux destiné uniquement pour les mouvements à faible vitesse et amplitude. Dans le cas d'une alimentation discontinue le lubrifiant est contenu dans un graisseur à l'huile ou à graisse tels que :

#### a. Graisseur à couvercle (fig. 49).



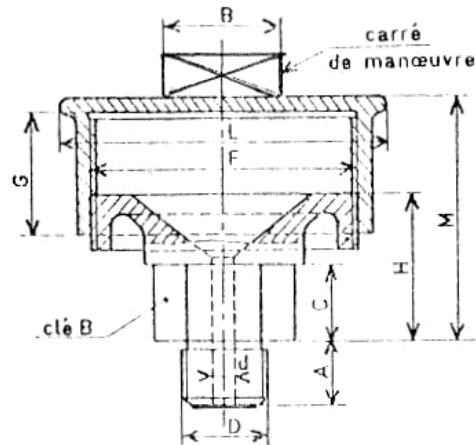
( fig.49 )

#### b. Graisseur à chapeau tournant (fig. 50).



( fig.50 )

c. Graisseur Stauffer (à graisse) (fig. 51).

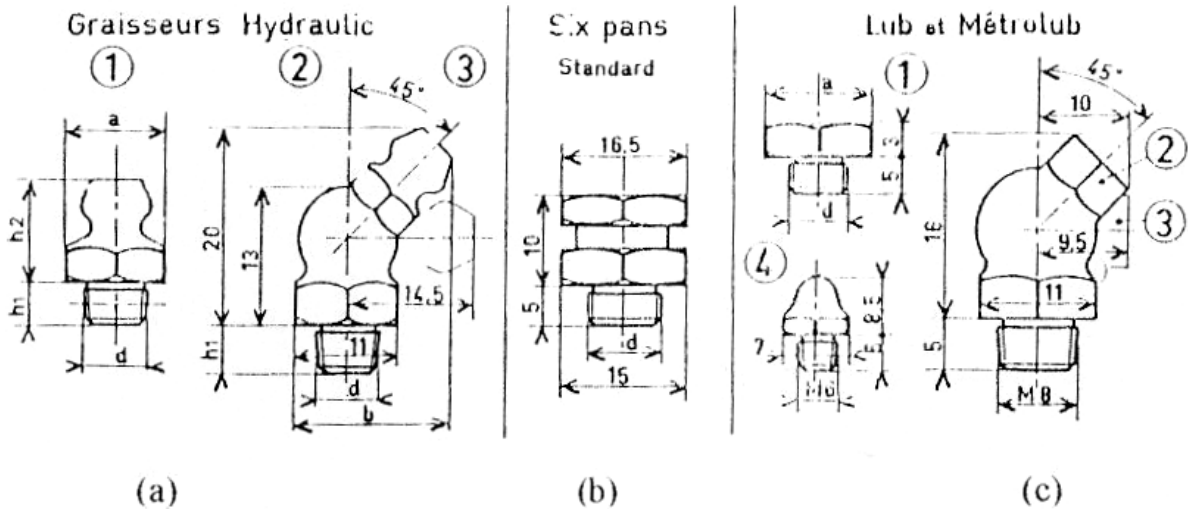


( fig.51 )

Le vissage du couvercle provoque une pression qui chasse le graisse vers les surfaces à lubrifier.

d. Graisseurs técalémit. Il existe trois types tels que :

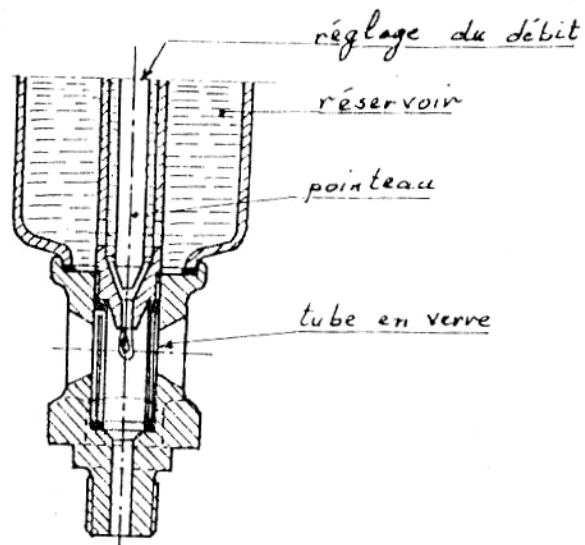
- Graisseurs « hydraulic » (fig. 52 a) pour le graissage haute pression, à la graisse, au moyen d'une pompe s'accrochant sur la tête du graisseur
- Graisseur « six pans » (fig. 52 b) pour le graissage moyenne pression.
- Graisseurs « Lub » ou « Metrolub » (fig. 52 c) pour le graissage basse pression. à l'huile ou a la graisse légère.



( fig.52 )

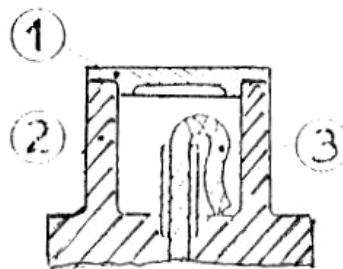
Dans le cas d'une alimentation continue, l'huile peut être amenée :

- par gravité c'est le cas d'un graisseur compte-gouttes par exemple (fig. 53) :



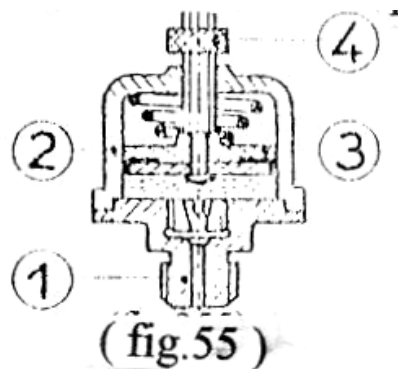
( fig.53 )

- par capillarité (graisseur à mèche). (fig. 54) :



( fig.54 )

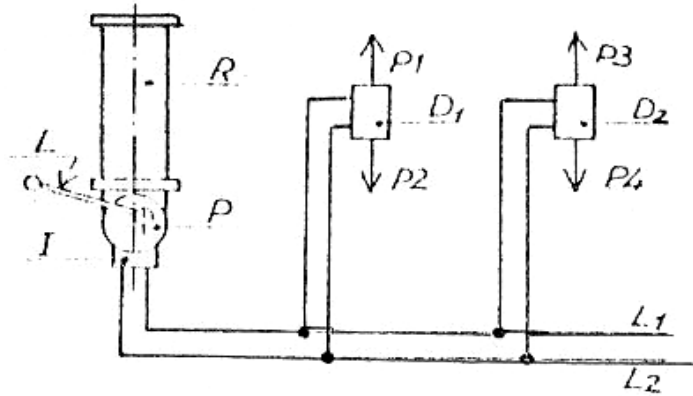
- par ressorts (graisseur Staufer à ressort). (fig. 55) :



( fig.55 )

- par commande mécanique (fig. 56) :

Une pompe P, à commande manuelle ou mécanique, envoie le lubrifiant par l'une des deux canalisations  $L_1$  et  $L_2$  vers les distributeurs D placés au voisinage des points  $P_1$  et  $P_2$  à lubrifier. Un robinet inverseur permet de faire débiter la pompe alternativement dans  $L_1$  et  $L_2$ . Chaque distributeur est donc alimenté alternativement par  $L_1$  et  $L_2$ .

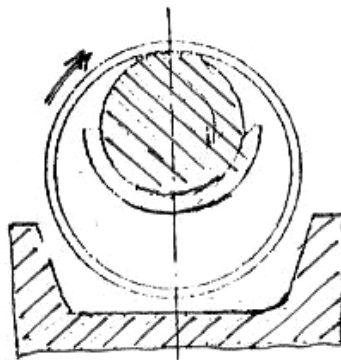


( fig.56 )

### 8.2.7.2. Dispositifs à récupération d'huile

a. Graissage par barbotage, (fig. 57) :

L'huile est entraînée vers les surfaces à lubrifier par l'organe mobile lui même qui baigne dans une réserve d'huile (engrenages de boîte à vitesses par exemple), soit par un organe auxiliaire (graisseur à bague). On doit prévoir un renouvellement périodique de l'huile, pour cela il faut un réservoir avec trou de remplissage et de vidange et éventuellement un indicateur du niveau d'huile.



( fig.57 )

**b. Par circulation d'huile (graissage sous pression) :**

L'huile est envoyée sous pression vers les différents points à lubrifier, puis elle est ramenée au réservoir après sa réfrigération (fig. 58), l'installation comprend :

- un groupe de commande (réservoir, pompe, refroidisseur, filtres, etc.),
- des organes de distribution (canalisations, distributeur, appareil de contrôle de débit et du niveau en chaque point),
- Des organes de contrôle (manomètre, thermomètre, débitmètre, etc.).

Ce type de graissage est employé sur les machines importantes où le débit est de 2 à 24 m<sup>3</sup>/24 h (laminoir, turbines à vapeur, gros réducteurs etc.).