

M 522, Coef. : 1ECTS	UEM 5 : Productique, Industrialisation	ISTA Constantine
M. Chorfi Sofiane	LUBRIFICATION, huile de coupe, graissage	Le 14/12/2020

Chapitre 2: Généralité sur les lubrifiants :

Introduction:

Objectif de ce chapitre est de :

- Préciser les différentes fonctions des lubrifiants.
- Indiquer les classifications, les caractéristiques et les propriétés des principales de lubrifiants.
- Définir les différents additifs suivant leurs types ainsi que leurs fonctions.

1. Fonctions des lubrifiants :

Les fonctions principales d'un lubrifiant sont :

➤ **Refroidir** : (l'évacuation des calories).

La circulation de l'huile évacue les calories, et élimine les risques de fusion et de détérioration. Un moteur, surtout aujourd'hui avec les technologies de pointes ou les difficultés de circulation, peut chauffer anormalement jusqu'à 400°

➤ **Equilibre thermique, refroidissement** :

L'huile refroidit les parties essentielles du moteur que le liquide de refroidissement du radiateur ne peut pas atteindre, comme l'arbre à cames, les bielles et les pistons. L'huile assure ainsi jusqu'à 35 % de la fonction de refroidissement.

➤ **Etancher** : (la protection contre l'entrée d'impuretés)

Contribuer à parfaire l'étanchéité du moteur : (L'huile protège constamment les pièces d'agressions comme les poussières aspirées par le moteur, l'eau et l'acide résultant de la combustion...).

➤ **Nettoyer** : (l'évacuation des impuretés).

L'huile maintient en suspension et véhicule les imbrûlés issus de la combustion. (C'est à ce niveau qu'elle a de l'importance car il n'a plus d'étanchéité. Le moteur consomme anormalement ...Il arrive même qu'il ait des grippages. C'est le phénomène d'usure par polissage).

➤ **Lubrifier** : (la réduction des frottements et de l'usure)

- Diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie. (La viscosité d'une huile moteur devrait rester constante malgré des écarts de température. L'huile ne doit pas figer au froid, elle ne doit pas se liquéfier à la chaleur).

- Elles permettent aussi de :

- Protéger les organes lubrifiés contre les diverses formes de **corrosion** et d'usure, donc contribuer à leur longévité ;
- Transmettre de **l'énergie** ou de la chaleur ;
- Assurer **l'isolation** électrique ;
- Améliorer **l'état de surface** des pièces usinées ;
- Augmenter la **durée de vie**.
-etc.

Remarque:

A chaque type de moteur, correspond une huile spécifique répondant a des normes rigoureuses. Dans un moteur, il y a des centaines de pièces en mouvement et sans l'huile, le moteur ou tout autre organe (boîte de vitesses, cardans, etc...) ne peut pas fonctionner.

2. Classification des lubrifiants :

On peut distinguer les lubrifiants selon leur origine, animale, végétale, minérale ou synthétique, ou selon leur présentation, liquide, pâte ou solide.

2.1. Lubrifiants d'origine animale :

Ils sont constitués essentiellement d'esters résultant de la combinaison d'acides gras avec la glycérine. Ce sont souvent des « *ancêtres* » mais certains entrent encore dans diverses compositions :

- **Liquides** : oléines, huiles de lard, de pied de bœuf ou de mouton, etc., très onctueuses, huiles de poisson, de baleine, de phoque, glycérine autrefois utilisée pour son point de congélation très bas.
- **Pâteux** : oléo stéarines, suifs (*qui deviennent très acides par oxydation*), suintines et brais résultant du traitement de la laine, lanoline très utilisée dans les produits antirouille car elle absorbe l'eau ;
- **Solides** : stéarine, dont l'usage est restreint à la formulation de graisses très dures.

2.2. Lubrifiants d'origine végétale :

- Ce sont en général des combinaisons d'acides gras peu ou pas estérifiés. Certains sont encore largement utilisés en addition dans les huiles de pétrole ou dans les graisses :

- **Liquides** : huiles semi siccatives (*s'épaississant par oxydation*) de coton, de colza, huiles non siccatives d'arachide, d'olive, et surtout de ricin intéressante par sa forte viscosité et la possibilité de l'utiliser dans une large gamme de températures.
- **Pâteux** : huiles de palme, de coco et de coprah, liquides aux températures tropicales mais pâteuses dans les régions froides ;
- **Solides** : résines et colophanes tirées du pin, pouvant résister à l'eau.

2.3. Lubrifiants d'origine minérale :

- **Liquides** : huiles de houille (*Charbon utilisé comme combustible*), de schiste (*Roche sédimentaire ou métamorphique qui se débite en feuilletts*), utilisables comme produits de remplacement, et surtout huiles de pétrole.
- **Pâteux** : vaseline.
- **Solides** : soufre utilisé autrefois pour sauver les paliers endommagés, talc, mica, bisulfures de molybdène et de tungstène, graphite, sulfure de plomb, oxyde de zinc.

2.4. Lubrifiants d'origine synthétique :

- **Liquides** : silicones, polyglycols, esters phosphoriques et aliphatiques, polyoléfinés, métaux liquides.
- **Pâteux** : verres, borates et oxyde de bore B₂O₃ (*pâteux à chaud*), graisses silicones.
- **Solides** : polyéthylènes, polytétrafluoroéthylène (*PTFE*), savons (*stéarates de zinc, de calcium, d'aluminium, etc.*), oxyde de plomb (*PbO*), disulfure de tungstène, phtalocyanine, fluorure de graphite, fluorures de calcium, de baryum et de lithium, nitrure de bore.

3. Lubrifiants liquides :

- Pour l'essentiel, l'étude ci-dessous porte sur les huiles de graissage au sens général du terme mais il ne faut pas négliger certains liquides spéciaux utilisés comme lubrifiants et surtout les fluides hydrauliques présents dans de très nombreux équipements (*coupleurs hydrauliques, convertisseurs de couple, directions assistées*) ou machines (*engins de chantier, de manutention*).

- Ces fluides sont utilisés pour leur aptitude à transmettre de l'énergie mais ils doivent être dotés de propriétés lubrifiantes car ce sont forcément eux, et pas d'autres produits, qui assurent la lubrification des pistons ou autres organes qui les mettent en mouvement. De plus, les normes

imposent souvent qu'ils soient ininflammables, ce qui exclut beaucoup de produits courants à base, par exemple, d'huiles de pétrole.

4. COMPOSITION D'UNE HUILE :

- Une huile ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée est constituée : d'une **huile de base** (*minérale, synthétique ...*) et d'un certain nombre d'**additifs**, ajoutant chacun une propriété particulière.

4.1. Les huiles de base :

4.1.1. Les huiles minérales :

- Les huiles minérales proviennent de la distillation du pétrole brut. D'un prix peu élevé, elles présentent des performances « moyennes ».
- Le procédé d'obtention de ces huiles n'est pas parfait : les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (*paraffines, solvants légers...*).
- Les huiles minérales sont, et de très loin, les plus utilisées aussi bien dans les applications automobiles qu'industrielles.

4.1.2. Les huiles de semi synthèse

- Les huiles de semi synthèse s'obtiennent à partir d'un mélange d'huiles minérales et d'huiles de synthèse (*généralement 70 à 80% d'huile minérale et 20 à 30% d'huile de synthèse*).

4.1.3. Les huiles de synthèse ou synthétiques

- Dans le cas de l'huile synthétique, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature.
- On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu. Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles.
- Ces huiles elles offrent des performances supérieures :
 1. *indice de viscosité plus élevé.*
 2. *meilleure tenue thermique.**meilleure résistance à l'oxydation.*

Exemples de familles d'huiles de synthèse	
Polyglycols	- Bonnes propriétés lubrifiantes, haut indice de viscosité : 150 à 200 m ² /s, faible volatilité (vaporisation), bonne stabilité thermique, incompatible avec les huiles minérales. Exemples d'utilisations : - Polyglycol soluble à l'eau : <i>fluide difficilement inflammable, fluide d'usinage ...</i> - Polyglycol insoluble : <i>fluide de frein, lubrifiant moteur, lubrifiant engrenage ...</i>
Esters	- Faible volatilité, bonnes propriétés à froid, bonne tenue thermique, bonne propriété solvante et bonne résistance au cisaillement. Exemples d'utilisation : <i>graisse, turbine à gaz, aviation, utilisé comme additif (pouvoir lubrifiant élevé).</i>
Hydrocarbures synthétiques	- Comportement à froid performant, indice de viscosité élevé. Selon la longueur de la chaîne, bonne propriété thermique. Exemples d'utilisations : <i>(polyalphaoléfines) : lubrifiant d'engrenages, compresseur...</i>
Silicone	- Inerte chimiquement, grande résistance à la chaleur et à l'oxydation, hydrophobe (qui n'absorbe pas de l'eau), indice de viscosité élevée, bonne propriété à froid, incompatibilité chimique avec de nombreux additifs. Exemples d'utilisations : <i>graisse, fluide hydraulique ...</i>

4.2. Les additifs :

- Un **additif** désigne une substance qui est introduite dans un mélange pour apporter une propriété spécifique.

Exemples d'additifs	
Anti-oxydant.	- Supprimer, ou tout au moins ralentir les phénomènes d'oxydation du lubrifiant. Contribuer à l'espacement des vidanges par une meilleure tenue aux hautes températures.
Anti-corrosion	- Empêcher l'attaque des métaux ferreux, attaque due à l'action conjuguée de l'eau, de l'oxygène de l'air et de certains oxydes formés lors de la combustion.
Anti-friction (usure).	- Renforcer l'action anti-usure qu'exerce un lubrifiant vis-à-vis des organes qu'il lubrifie.
Anti-congelant (usant à 0,5 %)	- Permettre au lubrifiant de garder une bonne fluidité à basse température (de -15°C à -45°C).
Anti-mousse	Le moussage de l'huile peut être dû : 1. A la présence d'autres additifs. Les additifs détergents agissent dans l'huile comme du savon dans l'eau : ils nettoient le moteur mais ont tendance à mousser. 2. Au dessin du circuit de graissage qui provoque des turbulences lors de l'écoulement du lubrifiant, facilitant ainsi le brassage air-huile et la formation des bulles.
Anti-émulsion	- Evite le mélange de fluides étrangers (de l'eau par exemple) avec l'huile et favorise la décantation (séparation) de l'ensemble.
Détergent (utilisés à raison de 3 à 15 %)	- Eviter la formation de dépôts ou de vernis sur les parties les plus chaudes du moteur telles que les gorges des pistons.
Dispersants (utilisés à raison de 3 à 15 %)	- Contrairement aux précédents, ils agissent essentiellement à basse température en retardant la formation de dépôts ou de boues. - Son rôle est de maintenir en suspension toutes les impuretés solides formées au cours de fonctionnement du moteur : imbrûlés, gomme, boues, suies diesel, dépôts nettoyés par les détergents.
Désaérant	- Favorise la séparation des gaz de l'huile.
Amélioration d'indice de viscosité. (utilisés à raison de 5 à 10 %)	- Permettre à l'huile d'être : 1. Suffisamment fluide à froid (faciliter le démarrage en abaissant le point d'écoulement entre -15 et -45°C suivant les huiles). 2. Visqueuse à chaud (éviter le contact des pièces en mouvement).
Additif extrême pression.	- Permettre à l'huile de : 1. Réduire les couples de frottement et par conséquent économiser l'énergie. 2. Protéger les surfaces des fortes charges.
De basicité	- Neutraliser les résidus acides de combustion des carburants, principalement sur moteur diesel.

5. Propriétés des huiles :

5.1. Propriétés physiques :

5.1.1. Densité :

Elle se mesure à 15 °C par rapport à l'eau à 4 °C, à l'aide d'un densimètre plongeant dans un tube à essais. Les valeurs courantes pour les huiles de pétrole varient de 0,85 à 0,95 et dépendent de l'origine des produits. La densité diminue avec la température selon des lois complexes, mais en première approximation on peut la diminuer de 0,00062 par kelvin. Certains lubrifiants synthétiques ont des densités bien plus élevées, jusqu'à 1,5. La comparaison de la densité d'une huile usagée avec celle de l'huile neuve permet de détecter d'éventuelles pollutions.

5.1.2. Couleur :

Pour les huiles de pétrole, elle varie généralement du blanc pur au rouge foncé en passant par le jaune citron et le jaune orange, on l'évalue par comparaison avec des verres étalons numérotés en colorations NPA (National Petroleum Association). La couleur foncée d'un lubrifiant usagé peut être un assez bon moyen d'apprécier son altération, de même qu'un aspect laiteux peut indiquer la présence d'eau. La présence d'additifs oblige à la prudence et cette propriété a beaucoup perdu de son intérêt aujourd'hui.

5.1.3. Chaleur massique :

Elle s'exprime en Joules par kilogramme x kelvin (J/kg.K). Elle augmente avec la température, d'environ 20 % pour 100 °C, et diminue avec la densité. Aux environs de 100 °C, on peut prendre comme base 2 kJ/kg.K.

5.1.4. Conductivité thermique :

Elle définit le flux thermique passant à travers un corps sous l'effet d'un gradient thermique (*en watts par mètre par kelvin*). On peut prendre comme valeur moyenne pour les huiles minérales $0,14 \text{ W/m.K}$

V.1.5. Viscosité :

C'est une des propriétés capitales des huiles de graissage, qui conditionne leur emploi dans la majorité des cas. Plus grande est la viscosité d'un liquide, plus grande est la durée de son écoulement, par exemple. La notion de viscosité implique donc celle de mouvement. En fait, on peut dire que la viscosité est **la résistance qu'oppose un fluide au glissement de ses molécules les unes sur les autres**, autrement dit, sa résistance à la déformation.

Considérons deux surfaces planes parallèles d'aire S , l'une fixe, l'autre se déplaçant à la vitesse V , sous l'effet d'une force F , à la distance constante h de la première. Les deux plaques sont séparées par une lame liquide qui oppose une résistance au déplacement de ses molécules. La relation entre F et S n'est pas autre chose qu'une **contrainte de cisaillement** : $\tau = F/S$

⚡ Viscosité dynamique :

La notion de viscosité fait également appel à celle d'écoulement laminaire. Tout se passe comme si le fluide s'écoulait comme le feraient les cartes d'un jeu ou les feuilles d'une ramette de papier. Dans ces conditions, on s'aperçoit que la répartition des vitesses dans la veine fluide suit une loi linéaire. Si deux couches de fluide distantes de la quantité dh ont pour vitesses respectivement v et $(v + dv)$, il existe entre elles un gradient de vitesse dv/dh . Pour les liquides dits newtoniens, la contrainte de cisaillement est proportionnelle au gradient de vitesse, ce qui est le cas de la grande majorité des huiles de graissage, sauf au voisinage de leur point d'écoulement.

$F/S = p \cdot dv/dh$; p est, à une température et une pression donnée, une constante que l'on appelle **coefficient ou module de viscosité dynamique**, ou plus simplement **viscosité dynamique**. Cette grandeur a pour dimension $M.L^{-1}.T^{-1}$. L'unité de mesure correspondante est le **Pascal × seconde [Pa.s]**, défini comme la viscosité dynamique d'un fluide dans lequel le mouvement rectiligne et uniforme, dans son plan, d'une surface plane, solide, indéfinie, donne lieu à une **force retardatrice de 1 newton par mètre carré** de la surface en contact avec le fluide homogène et isotherme en écoulement permanent. (*Le gradient de la vitesse du fluide, à la surface du solide et par mètre d'écartement normal à ladite surface, est de 1 mètre par seconde*).

- Le pascal × seconde s'appelait auparavant poiseuille [PI], du nom du médecin *Jean-Louis-Marie Poiseuille*.

- La viscosité dynamique ne tient pas compte de la masse volumique des fluides. Ainsi, de deux fluides de même viscosité dynamique s'écoulant dans les mêmes conditions sous l'effet de leur poids, le plus dense s'écoulera plus rapidement.

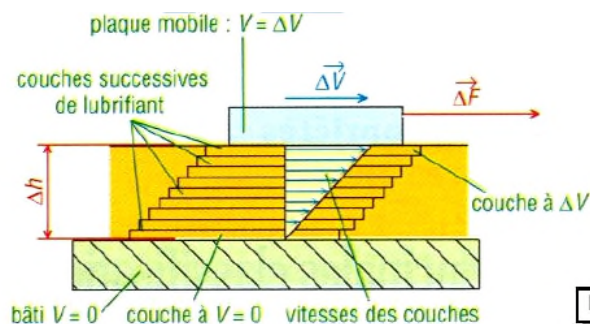


Fig 10

$$\tau = \mu \left(\frac{\Delta V}{\Delta h} \right) = \left(\frac{\Delta F}{\Delta S} \right)$$

- τ : Contrainte de cisaillement entre couches limites.
- ΔS : Aire de contact entre les couches.
- ΔV : Accroissement de la vitesse entre couches successives (ou gradient de vitesse).
- ΔF : Accroissement de l'effort entre couches successives (ou gradient de force).
- Δh : Epaisseur du film lubrifiant.

🚧 Viscosité cinématique :

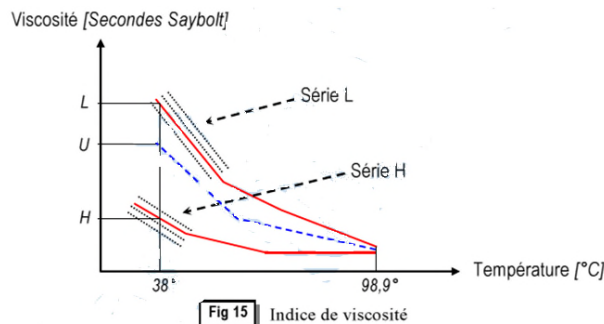
L'unité de mesure de la **viscosité cinématique**, le mètre carré par seconde [m^2/s], est définie comme étant celle d'un fluide dont la viscosité dynamique est 1 pascal x seconde et la masse volumique 1 kilogramme par mètre cube. Il s'ensuit que la viscosité cinématique est égale au rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique, toutes deux définies à la même température :

$$\boxed{v = \mu / \rho} \quad \begin{cases} \mu : \text{viscosité dynamique } [Pa.s]. \\ v : \text{viscosité cinématique } [m^2/s]. \\ \rho : \text{masse volumique } [Kg/m^3]. \end{cases}$$

- L'unité de mesure **CGS** était le stokes [St] ou [cm^2/s]. On utilisait plus fréquemment le centistokes [cSt] qui n'est autre que le [mm^2/s]. ($1cSt = 10^{-6} m^2/s = 1 mm^2/s$).

5.1.6. Index (ou indice) de viscosité :

L'« **indice de viscosité** » donne une idée de la variation de la viscosité de l'huile avec la température. La notion d'indice de viscosité ($VI = \text{viscosity index}$) a été conçue en 1929 par *Dean et Davis*. Ceux-ci retiennent deux séries extrêmes d'huiles de référence, les unes donnant les plus grandes variations de la viscosité avec la température (**indice 0**), les autres les plus faibles (**indice 100**). L'indice de viscosité d'une huile donnée est obtenu par comparaison avec ces deux séries d'huiles de référence, notées **L** et **H** pour les indices **0** et **100** respectivement. (Figure suivante).



- Soit une huile quelconque dont la viscosité varie comme l'indique la courbe tracée en pointillé sur la *figure 15*, l'indice de viscosité se calcule par la formule suivante :

$$VI = 100 \times \frac{L - U}{L - H}$$

- Ce procédé permet de situer une huile quelconque par rapport aux deux séries d'huile de référence. Plus l'indice **VI** est grand, plus la courbe est voisine de la série **H** (*caractère paraffinique accentué*), par conséquent moins grande est la variation de la viscosité avec la température.

5.1.7. Compressibilité :

- Le module de compressibilité est de l'ordre de 6.10^5 en régime isotherme, par conséquent la diminution de volume est d'environ 2 % à 350 bar et 4 % à 700 bars. Les huiles sont d'autant moins compressibles que la pression est plus forte, la viscosité plus faible et la température plus basse.

5.1.8. Coefficient de viscosité-pression :

- Si la pression croît, la mobilité des molécules diminue et la viscosité augmente selon une loi exponentielle. Pour une huile minérale classique, la viscosité à 350 bars est environ deux fois plus forte qu'à la pression atmosphérique, ce qui équivaut à une baisse de température de 10 à 15 °C.

Le tableau ci-dessous donne une idée des variations relatives de viscosité de l'eau et d'une huile courante à 20 °C :

Viscosité de l'eau et de l'huile

Pression [bar]	Viscosité de l'eau	Viscosité de l'huile
1	1	1
1 000	1, 08	4,3
2 000	1, 16	15
4 000	1, 36	110

Dans le cas de contacts localisés en mouvement sous très fortes charges, comme dans les engrenages, il faut tenir compte d'une part de l'accroissement de la viscosité sous l'effet de la pression, d'autre part de la déformation élastique des pièces dans la zone chargée. Ce calcul, possible grâce à la théorie de la lubrification élasto-hydrodynamique de *Grubin*, sort du cadre de ce cours.

5.1.9. Point d'écoulement :

- Suffisamment refroidies, toutes les huiles minérales s'épaississent jusqu'à prendre l'apparence de solides plus ou moins rigides. Il ne s'agit pas d'une congélation, laquelle n'a de sens que pour un corps pur passant de l'état liquide à l'état solide à température constante : on le sait, les huiles de graissage sont des mélanges.
- En fait, les hydrocarbures paraffiniques les plus lourds flocculent les premiers en donnant à l'huile un aspect trouble. La multiplication des cristaux se poursuivant, ces derniers finissent par s'agglomérer en un réseau enfermant les fractions encore liquides.
- Une norme précise la procédure complexe qui permet de déterminer la température à laquelle une huile cesse de couler et de se laisser pomper dans un circuit de graissage. Il est difficile d'obtenir une grande précision et la norme admet un écart de reproductibilité de 6 °C. En pratique, la notion de point d'écoulement est très insuffisante pour évaluer les performances d'une huile à froid, il vaut mieux définir et mesurer la viscosité au-delà de laquelle le pompage est impossible. Le viscosimètre Brookfield mesure à cet effet le couple résistant d'une palette tournant dans l'huile.

5.2. Propriétés chimiques :

V.2.1. Combustibilité, point d'éclair, point de feu :

- À partir d'une certaine température, les constituants volatils de l'huile peuvent brûler au contact d'une flamme : *c'est le point éclair*.
- Si on chauffe davantage, il arrive un moment où la combustion devient permanente : *c'est le point de feu*.
- Ces deux températures sont très variables avec les paramètres locaux et en particulier avec la présence d'eau en suspension dans l'huile. Leur mesure fait l'objet de normes. À partir du point d'éclair Cleveland, il est possible de déduire le point de feu Cleveland avec une assez bonne précision. Quand une huile est portée à son point d'éclair, sa tension de vapeur est de l'ordre de 13 mbar.

□ **Point d'éclair (appareil Cleveland) :** Température à laquelle il faut chauffer un liquide combustible pour qu'il émane suffisamment de gaz pour former, avec l'air, un mélange momentanément inflammable pour qu'il prenne feu quand on en approche une petite flamme dans des conditions données (*méthode D 92 de l'ASTM*).

5.2.2. Température d'auto-inflammation :

- C'est la température à partir de laquelle se produit une oxydation spontanée dans l'air (*environ 400 °C*). Cette température est nettement supérieure à celle du point d'éclair.

5.2.3. Détergence, dispersivité :

- Cela concerne surtout les huiles pour moteurs. Il faut éliminer les résidus de combustion qui se condensent à basse température et les produits de la dégradation de l'huile à haute température. La

détergence et la dispersivité constituent en fait un ensemble de propriétés physicochimiques particulièrement difficiles à évaluer.

5.2.4. Teneur en cendres :

On compare le résidu de la calcination de l'huile à la masse initiale. Pour une bonne huile minérale pure, on trouve en général une teneur en cendres variant de 0,001 à 0,05 %. Cette teneur peut être beaucoup plus élevée, et sa mesure devient alors compliquée, si l'huile contient des additifs organométalliques ou autres.

Une teneur en cendres élevée pose des problèmes dans les moteurs thermiques modernes car les résidus de combustion de l'huile tendent à se déposer dans les filtres à particules.

5.2.5. Teneur en soufre :

- Il n'y a normalement plus de soufre libre dans les lubrifiants après le raffinage, mais on en trouve souvent à l'état combiné dans des composés tels les mercaptans. On ajoute parfois du « *soufre actif* » sous forme d'additifs améliorant les propriétés anti-soudure ou anti-grippage. Si l'huile se décompose, et selon que l'on se trouve en milieu réducteur ou oxydant, on peut assister à un dégagement toujours malvenu de sulfure d'hydrogène ou de dioxyde de soufre.

5.2.6. Teneur en eau :

- *L'eau est l'un des principaux ennemis des lubrifiants.* Dans les environnements humides, lorsqu'un lubrifiant reçoit de l'eau directement ou par condensation de vapeur, ses performances sont en général fortement diminuées. La sensibilité à l'eau est très variable selon le produit utilisé, relativement faible pour les glycols, beaucoup plus élevée pour les oléfines. Une teneur en eau trop élevée est un sérieux signal d'alerte avant une prochaine défaillance du mécanisme concerné.

5.2.7. Capacité de rétention d'impuretés et résistance à l'oxydation :

- Beaucoup de lubrifiants modernes ont la double réputation : *de produire facilement des boues ou des vernis et de posséder en même temps une haute résistance à l'oxydation.* Pour comprendre ce paradoxe, on a introduit la notion d'*Impurity-holding Capacity (IHC)*, que l'on peut traduire par capacité de rétention d'impuretés. Cette propriété fait référence au fait que de très petites particules, de dimension inférieure au μm , provenant de la dégradation des produits ou de la mise en émulsion d'autres liquides, peuvent rester jusqu'à un certain point (*dumping point*) en suspension dans le liquide, comme si elles étaient dissoutes. Au-delà de ce point, donc si leur concentration est trop forte, tout ce passe comme si elles devenaient insolubles et elles précipitent alors pour former des boues et des vernis. En fait cette précipitation sous forme de dépôts ne concerne que la quantité d'impuretés qui va au-delà de ce que peut supporter le lubrifiant. Elle peut se produire lorsque la capacité de rétention du lubrifiant est faible ou affaiblie, par exemple par le froid, ou encore si la production d'impuretés est trop importante.

- Il se trouve que la capacité de rétention d'impuretés baisse en général lorsque la résistance à l'oxydation augmente, et inversement. Ces deux qualités sont donc fondamentalement incompatibles. Par ailleurs, la formation de vernis est souvent due à des décharges électrostatiques qui se produisent au sein même du fluide, surtout lorsque celui-ci est très propre et très sec, parce qu'il a justement une très basse capacité à retenir les impuretés.

- La quantité totale d'impuretés dans un lubrifiant comprend celles qui sont en solution et celles qui sont déposées. Il faut généralement y inclure une partie des additifs, que l'on ne regarde pas habituellement comme des impuretés, mais qui altèrent malgré tout la pureté de l'huile de base. Eux aussi sont maintenus en solution dans l'huile, au même titre que de l'eau ou des produits de dégradation, par exemple. Ils interviennent donc dans le bilan global des produits dissous.

- Pour l'eau, une comparaison peut être faite avec le taux d'humidité relative qui exprime la quantité d'eau présente dans une atmosphère en pourcentage de la quantité maximale que cette atmosphère peut contenir avant que la condensation se produise. Les huiles peuvent dissoudre une certaine quantité d'eau, mais celle-ci est d'autant plus grande que la température est plus élevée, comme dans le cas des gaz.

On peut quantifier par des méthodes gravimétriques la capacité de rétention d'impuretés. Elle peut s'exprimer en particules par million [ppm], en [mg/kg] ou encore en [mg/litre] de produit. Comme pour la viscosité, il faut opérer dans des conditions standardisées de température, par exemple 20 ou 40 °C. Il est même possible de déterminer un indice de variation, analogue à l'indice de viscosité des huiles, montrant comment la capacité de rétention varie en fonction de la température.

D'une part, les additifs consomment en quelque sorte une partie de la tolérance des lubrifiants aux impuretés, mais d'autre part certains d'entre eux, comme les dispersants, augmentent cette tolérance. Par ailleurs, certains additifs sont consommés pendant le service et restituent donc au fur et à mesure une partie de la « place » qu'ils occupaient.

- Comme on le voit, le problème n'est pas simple. Il manque actuellement des tests standardisés qui permettraient d'obtenir des valeurs fiables et permettant les comparaisons. La capacité de rétention d'impuretés est pourtant très importante en pratique car elle conditionne la présence ou l'absence de dépôts et de vernis, surtout lorsque le lubrifiant est susceptible d'être porté à des températures très basses, auquel cas elle joue le rôle d'une véritable bouée de sauvetage.

6. Les graisses :

6.1. Définition :

Une graisse est une huile à laquelle on a ajouté un épaississant (*savons*) dans une proportion de 10 à 20 % pour lui donner une consistance pâteuse de semi-liquide à solide. Le tableau (Fig16) donne une liste de quelques épaississants avec leurs propriétés lorsqu'ils sont incorporés à une huile pour former une graisse. Parmi ceux-ci, le plus utilisé est le savon de lithium simple ou complexe dans une proportion de plus de 60 %, suivi du savon d'aluminium.

Propriété	Graisse à savon simple				Graisse à savon complexe			Polyuré a	Bentonite
	Al	So	Ca	Li	Al	Ca	Li		
Point de goutte, °C	110	170	100	200	260+			245	260+
Temp. max en opération, °C	80	120	95	135	180				
Résistance à l'eau	Bon-Ex	Mé-Moy	Bon-Ex	Bon	Bon-Ex	Moy-Ex	Bon-Ex	Bon-Ex	Moy-Ex
Stabilité au cisaillement	Mé	Moy	Moy-Bon	Bon-Ex	Bon-Ex	Moy-Bon	Bon-Ex	Mé-Bon	Moy-Ex
Stabilité à l'oxydation	Ex	Mé-Bon	Mé-Ex	Moy-Ex	Moy-Ex	Mé-Bon	Moy-Ex	Bon-Ex	Bon
Protection contre la rouille	Bon-Ex	Bon-Ex	Mé-Ex	Mé-Ex	Bon-Ex	Moy-Ex	Moy-Ex	Moy-Ex	Mé-E
Application (système de pompage central)	Mé	Mé-Moy	Bon-Ex	Moy-Ex	Moy-Ex	Mé-Moy	Bon-Ex	Bon-Ex	Bon
Rétention de l'huile	Bon	Moy-Bon	Mé-Bon	Bon-Ex	Bon-Ex	Bon-Ex	Bon-Ex	Bon-Ex	Bon-Ex
Apparence	Mou-Clair	Mou-Fibreux	Mou-Crémeux						

6.2. Fonction :

Les fonctions des graisses se résument comme suit :

- Empêcher les agents extérieurs tels que l'eau et la poussière de pénétrer entre les surfaces à lubrifier.
- Adhérer aux surfaces et aux pièces à lubrifier et à protéger.
- Demeurer stable même après avoir absorbé une certaine quantité d'agents contaminants.

6.2. Propriétés des graisses :

6.2.1. Consistance :

C'est la propriété principale. Elle exprime la résistance à la déformation de la graisse. Etroitement liée à l'adhérence et à l'onctuosité, elle diminue lorsque la température augmente.

Selon le test ou la norme *ASTM D 217 (1996)*, la consistance des graisses est divisée en neuf classes de **000** à **6** par la *National Lubricating Grease Association (NLGI)*. Le tableau (Fig17) résume les neuf classes considérées selon leurs applications génériques.

Grade NLGI	000	00	0	1	2	3	4	5	6
consistance	très fluide	fluide	semi-fluide	très molle	molle	moyenne	dure	très dure	extra dure
enfonce- ment cône pesant (en 0,1 mm)	445 à 475	400 à 440	355 à 385	310 à 340	265 à 295	220 à 250	175 à 205	130 à 160	85 à 115
utilisation	—	A	A-B	B-C	B-C-D-E	E	—	—	—

A = engrenages sous carter ; B = engrenages apparents, chaînes, câbles... ; C = articulations, cardans, chaînes ;
D = graisses tous usages ; E = roulements, galets, axe vertical ; graissage centralisé : grades 0 et 1.

6.2.2. Point de goutte :

- Il caractérise la tenue de la graisse à la chaleur en précisant la température de début de liquéfaction.

6.2.3. Point de solidification :

- Il indique la température de début de solidification de la graisse.

6.2.4. Autres propriétés :

- Résistance au cisaillement, qualité extrême pression, acidité...

VI.2.5. Remarque :

L'épaississant que l'on ajoute à l'huile sous la forme d'un savon, d'une chaîne polymère, de gains de silice microscopiques ou de glaise traitée en surface pour avoir une affinité particulière avec l'huile de base, retiennent l'huile par un mécanisme d'attraction ionique à 20 % et par capillarité à 80 %.

Avec le temps, il est normal qu'au repos une partie de l'huile se sépare de la graisse par effet capillaire.

Ce phénomène a conduit à introduire la notion de capacité de rétention d'une huile. Quand la température augmente, la viscosité de l'huile diminue et la rétention par capillarité devient moins bonne. Le mécanisme de rétention par attraction ionique perd aussi de son efficacité à cause de l'agitation accrue des molécules.

La température, au-delà de laquelle un épaississant particulier ne peut plus retenir l'huile, se nomme le *point de goutte* d'une huile (*ASTM D 566*).

6.3. Application usuelles des graisses :

Propriétés des graisses usuelles (bases : huiles minérales)									
type de la graisse	nature du savon	aspect (point de goutte)	température d'utilisation	résistance					observations
				chaleur	eau	charges	vitesse	adhésivité	
au lithium**	lithium (Li)	butyreux (*) lisse (170/190°)	- 30 à 130 °C	*****	*****	*****	*****	***	Les plus utilisées, tous usages, multiservices. Allie les propriétés des autres graisses
calcique (à la chaux)	calcium (Ca)	butyreux (*) lisse (« rose ») (80/90°)	- 20 à 70 °C	*	*****	***	***	*	Insolubles dans l'eau prix faible, graissages courants peu sévères. Apte à l'étanchéité
sodique (à la soude)	sodium (Na)	fibreuse (150/180°)	- 20 à 130 °C	****	*	****	****	****	pour roulements, sensible à l'eau, supporte vibrations et chaleur
à l'aluminium	à l'aluminium (Al)	butyreux (*) lisse (70/100°)	- 10 à 80 °C	*	*****	*	*	*****	faible résistance mécanique. Assez adhésives (chaînes...)

(*) butyreux : qui à l'apparence ou les caractères du beurre ; ** variantes avec huiles de synthèse (- 50 à 160 °C).