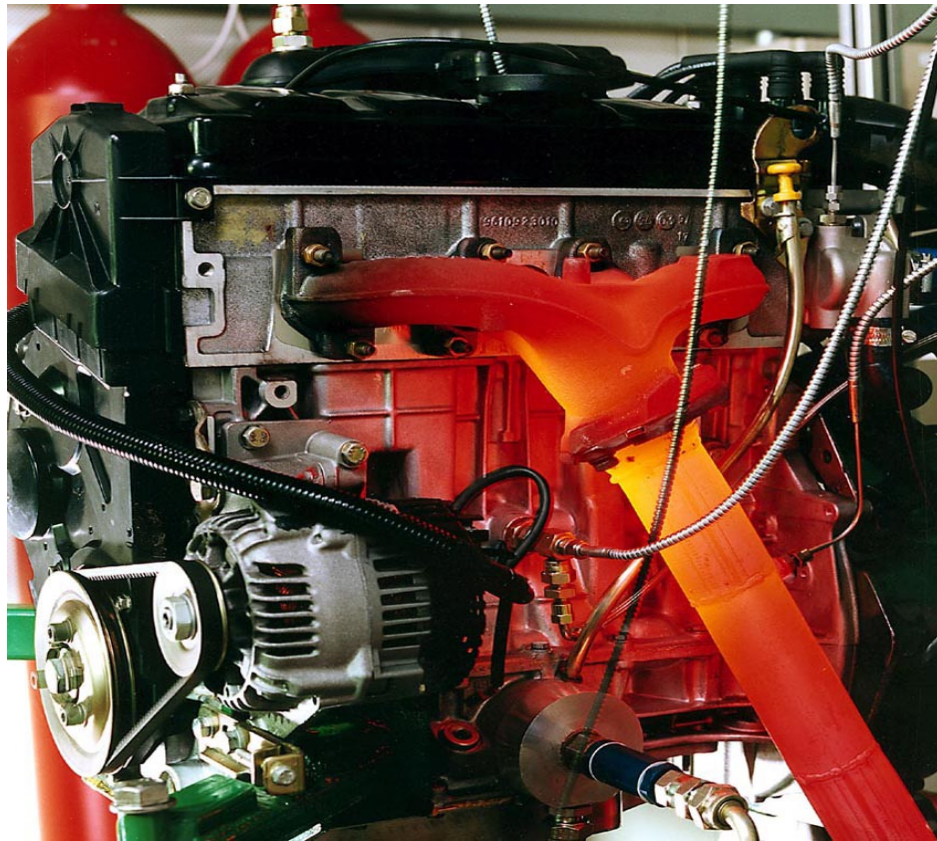




ABC du graissage



**Structure, utilisation
et propriétés
des lubrifiants**

Castrol (Switzerland) AG

Baarerstrasse 139
6302 Zug

Tel. 058 / 456 93 33
Fax 058 / 456 93 39

Avant-propos

On entend parfois cette déclaration : "L'huile n'est que de l'huile". La raison est que, jusqu'à une époque pas très reculée, la qualité de l'huile ne jouait pas un rôle particulièrement déterminant si on regarde les choses de près. Au cours des dernières années, cette situation a cependant radicalement changé. Avec le développement de la technique des moteurs et un changement dans les habitudes d'utilisation des véhicules, les huiles lubrifiantes sont devenues un pôle central d'intérêt. Les époques sont en plein bouleversement : les règlements et spécifications techniques sont modifiés presque tous les jours et de récents développements peuvent être désuets dans des délais très courts. En un laps de temps très court, la qualité des huiles lubrifiantes est donc devenue une question extrêmement importante.

Castrol s'est efforcée de tout temps d'alimenter ses clients (garagistes et consommateurs) avec davantage d'informations sur les huiles. La connaissance des lubrifiants et opérations de lubrification aide à développer un sentiment pour la qualité et contribue ainsi à la sélection du produit. De nos jours, le choix du bon produit est plus important que jamais si l'on veut éviter des problèmes. Le présent "ABC du graissage" devrait être considéré comme une partie des efforts déployés pour continuer de diffuser constamment des informations sur les lubrifiants.

Chez Castrol, nous avons nos bonnes raisons de le faire. D'après les réactions recueillies lors de nos manifestations de formation, nous savons qu'il est important d'attirer l'attention sur l'importance du choix de lubrifiants optimum. Les renseignements au sujet de fiches de formation, que nous avons reçus de constructeurs et d'importateurs automobiles, ainsi que les nombreux exemples précieux d'expériences pratiques de garagistes et de formateurs ont contribué à la réalisation de ce matériel pédagogique et nous sommes très reconnaissants vis-à-vis de chacun pour son aide et son assistance.

Grâce aux nouveaux développements constants dans le secteur technique de l'huile, en particulier dans les spécifications, le "ABC du graissage" sera revu à intervalles réguliers et de ce fait toujours adapté à l'état le plus récent de la technique.

Avec ce document, nous espérons faire mieux comprendre le thème compliqué du "Graissage". En particulier nous espérons approfondir l'information générale que l'huile n'est pas "précisément que de l'huile", quelle qu'elle soit.

Pour Castrol (Switzerland) SA

Henry Cléménçon, Auteur

INDEX

Chapitre	Thème	Page
1	Introduction	4
2	Chimie du pétrole	6
3	Fabrication de liquides de base	12
4	Données caractéristiques des lubrifiants	16
5	Additifs	23
6	Huiles moteurs pour moteurs quatre temps	25
7	Huiles moteurs pour moteurs deux temps	44
8	Huiles à engrenages pour l'automobile	47
9	Liquides de frein	50
10	Fluides hydrauliques	55
11	Huiles à engrenages pour l'industrie	60
12	Réfrigérants lubrifiants	63
13	Graisses	70

1. Introduction

L'expression "Schmierer" (graissage) vient du mot "smer" en moyen haut allemand. Par ce terme, nos ancêtres désignaient une graisse animale brute avec laquelle ils graissaient les paliers de leurs voitures et charrettes pour réduire le frottement et donc la dépense d'énergie nécessaire pour l'homme et l'animal et dans le même temps limiter l'usure des véhicules.

La recherche de lubrifiants efficaces par l'homme est variée et aussi ancienne que l'histoire de l'humanité qui nous a été transmise. Les Chinois tiraient déjà profit en 3500 avant J.C. de l'effet de lubrification de l'eau, les Egyptiens utilisaient en 1400 avant J.C. de la graisse animale ou de l'huile d'olive mélangée à de la chaux pulvérisée pour leurs chars de guerre ; en 780 avant J.C., les Chinois découvrirent les propriétés antifriction d'un mélange fait d'huile végétale et de plomb, et il y a plus de 100 ans, on a mentionné pour la première fois l'aptitude de l'air comme lubrifiant.

Dans la définition moderne, le terme "lubrifiant" comprend des produits qui sont utilisés pour le graissage d'éléments glissants et roulants. Cependant, le terme lubrifiant est attribué également à des produits apparentés qui sont identiques dans la composition, la fabrication et les propriétés, mais servent à la transmission de la force, à la conduction de la chaleur, au refroidissement en tant qu'huiles isolantes, produits anticorrosion ou de produits auxiliaires pour les processus industriels sous le nom de "huiles de procédé".

La fraction des lubrifiants dans la consommation générale d'huile minérale est en moyenne d'environ 0,8% dans le monde et d'environ 1% dans les pays hautement industrialisés. Cependant, l'importance économique des lubrifiants est largement plus grande que le laisse supposer leur part relativement faible sur le marché de l'huile minérale. 30% de l'énergie générée dans le monde sont consommés par le frottement et l'usure entraîne année après année des pertes par milliards.

Les ingénieurs d'études savent aujourd'hui que le lubrifiant n'est pas qu'un produit consommable indispensable, mais un élément de conception. Des conceptions mûres au plan de la lubrification et un bon graissage aident à faire des économies d'énergie, à réduire des pertes par immobilisation et des dépenses pour les pièces détachées et l'entretien, et à conserver la valeur du parc de machines et d'appareils. Les lubrifiants sont constamment perfectionnés grâce à une recherche intensive.

Les lubrifiants les plus importants au niveau de la quantité sont les lubrifiants qui proviennent tous du pétrole. Il existe également des graisses lubrifiantes pour des applications très précises. Les lubrifiants sont classés par catégories. Les plus importants sont cités ci-dessous :

■ Lubrifiants automoteurs

- Huiles moteurs
- Huiles à engrenages
- Liquides de frein

■ Lubrifiants industriels

- Fluides hydrauliques
- Huiles à engrenages
- Huiles pour compresseurs
- Huiles pour turbines
- Produits anticorrosion
- Réfrigérants lubrifiants
- Huiles isolantes et huiles blanches
- Graisses lubrifiantes

2. Chimie du pétrole

2.1 Introduction

Dès l'antiquité, le pétrole était connu sous la forme de bitume, d'asphalte et de produits bitumineux et se trouvait à la surface de la terre dans des creux de goudron. Les premiers forages pétroliers effectués en 1857 en Roumanie, en 1858 aux Etats-Unis et la même année également en Allemagne ont permis de découvrir des gisements exploitables déjà à des profondeurs de moins de 50 mètres. Aujourd'hui, on doit forer à des profondeurs de quelques milliers de mètres pour rencontrer de l'huile dans des zones pétrolifères et on atteint dans certains cas des profondeurs de forage supérieures à 6000 mètres. Dans le cadre de la recherche de pétrole, on découvre un gisement exploitable pour presque un sondage de forage sur deux sur la base des travaux préliminaires effectués au plan scientifique.

2.2 Composants du pétrole

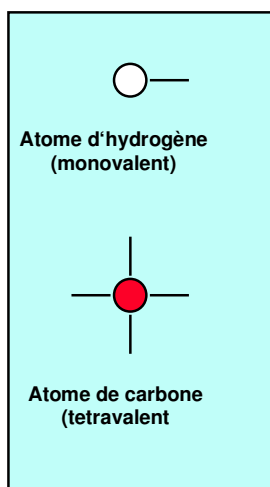


Figure 1

Dans aucun des nombreux champs pétrolifères de la terre, on ne trouve le même type de pétrole. Son aspect extérieur déjà est différent ; parfois il est fluide et de couleur claire, parfois visqueux, presque déjà solide, et de couleur noir profond. De la même façon, les types de pétrole se différencient dans leur densité. Malgré tout, ils ont tous des points communs : ils se composent presque exclusivement de carbone et d'hydrogène en liaison chimique. Si l'on décompose le pétrole en ses éléments, on obtient 83 à 87% de masse de carbone, 11 à 15% d'hydrogène, 0 à 6% de masse de soufre ainsi que des traces d'oxygène, d'azote et de métaux.

Le pétrole est donc un mélange de nombreux composés, en particulier de composés d'hydrocarbures. Le carbone a 4 bras de capture, ce qui veut dire qu'il peut intervenir dans quatre liaisons. En revanche, l'hydrogène a un seul bras de capture, et n'a donc qu'une possibilité de liaison. Le chimiste appelle ces bras de capture "valence" (figure 1).

La possibilité d'aligner des chaînes d'atomes de carbone et d'oxygène permet de former des composés d'hydrocarbures, appelés molécules, de taille différente et très différents au niveau de la figure géométrique. Le nombre des molécules d'hydrocarbures possibles est pratiquement illimité, parce que le carbone tétravalent peut former des chaînes droites et ramifiées ainsi que des systèmes de forme annulaire (cycliques). Selon leur construction, les hydrocarbures sont classés en quatre groupes et désignés différemment (tableau 1).

Langage courant	Désignation selon IUPAC (*)
Paraffines <ul style="list-style-type: none"> ■ Paraffines normales ■ Isoparaffines ■ Naphtènes (Cycloparaffines) 	Alcanes <ul style="list-style-type: none"> ■ Alcanes normaux ■ Iso-alcanes ■ Cyclo-alcanes
Oléfines <ul style="list-style-type: none"> ■ Dioléfines 	Alcènes Alcadiènes
Acétylènes	Alcynes
Aromates	Aromates
(*) International Union of Pure and Applied Chemistry	

Tableau 1 : appellations pour les structures de molécules

2.2.1 Paraffines (alcanes)

Les paraffines avec leurs chaînes droites (figure 1) ou ramifiées (figure 3) d'atomes de carbone ne contiennent que des liaisons simples et donc le plus grand nombre possible d'atomes d'hydrogène. Comme elles ne peuvent pas absorber d'autres atomes d'hydrogène, on les appelle "saturées". Elles ne réagissent pas chimiquement dans la plupart des conditions. Les iso-paraffines disposent d'un comportement au froid sensiblement meilleur que les paraffines normales.

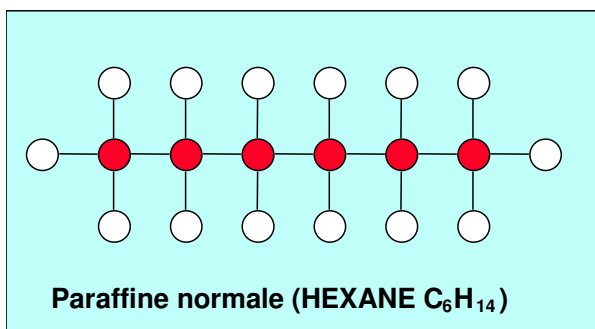


Figure 2

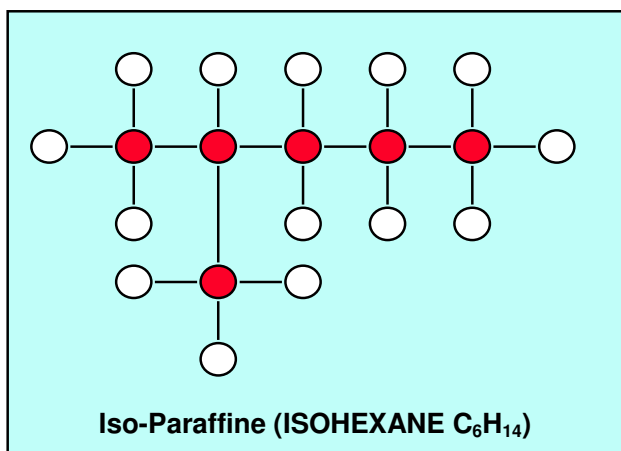


Figure 3

Pour les lubrifiants, en particulier ceux pour les moteurs, il est souhaitable d'avoir des composés saturés et peu réactifs, étant donné qu'ils sont les seuls à avoir la stabilité au vieillissement nécessaire et permettent ainsi également les longs intervalles de vidange qu'on rencontre actuellement sans modifications importantes de l'huile.

2.2.2 Oléfines (alcènes)

Sur les oléfines, les atomes de carbone forment également des chaînes, mais avec une différence importante par rapport aux paraffines : on a des doubles liaisons entre certains atomes de carbone. Sur les atomes de carbone, qui sont voisins de ces doubles liaisons, il manque à chaque fois un atome d'hydrogène. Comme elles peuvent recevoir d'autres atomes d'hydrogène dans ces endroits, on qualifie ces oléfines de "non saturées". Elles réagissent facilement avec d'autres substances et sont donc des matières premières bienvenues pour la pétrochimie. Les mono-oléfines présentent seulement une double liaison (figure 4), alors que les dioléfines contiennent plusieurs doubles liaisons et sont donc particulièrement réactives (figure 5).

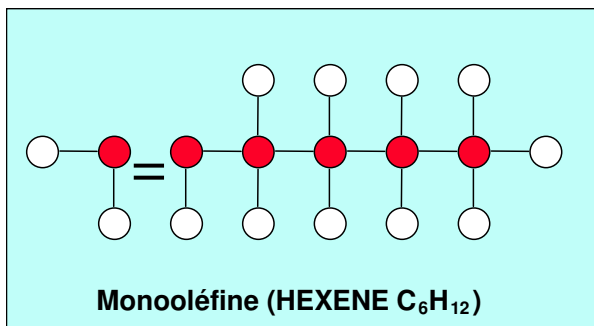


Figure 4

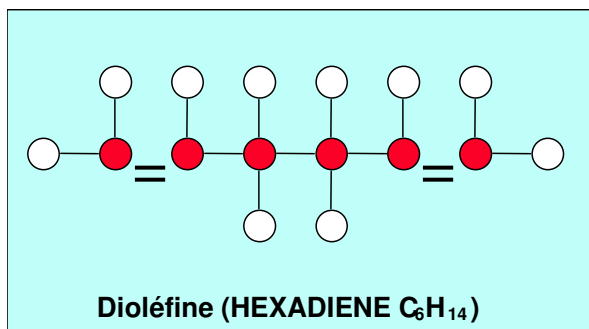


Figure 5

Les oléfines et les dioléfines n'existent pratiquement pas dans le pétrole ; elles sont contenues principalement dans des produits de craquage et se caractérisent par un indice d'octane élevé. Leur proportion est faible dans les distillats sous vide. Leur formation repose sur des surchauffements locaux dans les installations de distillation.

Dans les huiles lubrifiantes, les oléfines et les dioléfines sont des composants non désirés. Les doubles liaisons peuvent se rompre relativement rapidement dans des conditions motrices. On arrive alors immédiatement à l'addition d'oxygène et ceci entraîne la formation de produits de vieillissement.

2.2.3 Naphtènes (cyclohexanes)

Les naphtènes contiennent des atomes de carbone dans une disposition annulaire et dans une liaison simple (figure 6). Ils sont également "saturés". Dans leurs propriétés, ils ressemblent beaucoup aux paraffines, mais disposent d'un comportement au froid sensiblement meilleur, étant donné qu'ils ne présentent pas de dépôts de paraffine et ont ainsi tendance à se solidifier. Les naphtènes peuvent se transformer par séparation d'atomes d'hydrogène, c'est-à-dire par production de doubles liaisons, en oléfines annulaires, qui ressemblent dans leur comportement chimique aux oléfines construites en forme de chaînes.

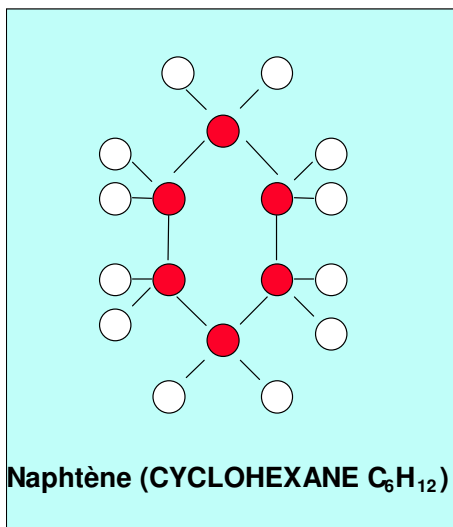


Figure 6

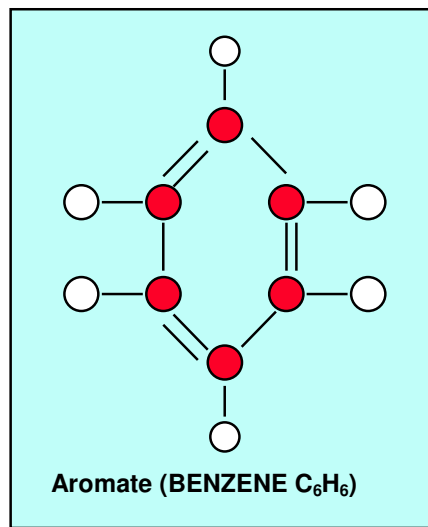


Figure 7

2.2.4 Aromates

Sur les aromates, les six atomes de carbone forment également des anneaux, qui présentent trois doubles liaisons disposées de façon symétrique à la différence des naphènes. Les aromates ne contiennent donc pas autant d'atomes d'oxygène que ce qu'on peut avoir dans le cas de liaisons simples (figure 7). Ces composés "aromatiques", qui ont une odeur agréable, se différencient des groupes cités plus haut à plusieurs égards. Les aromates sont des composants précieux de l'essence de moteur en raison de leur indice d'octane élevé. Leur prédisposition à s'associer avec d'autres produits en fait, de même que les oléfines, des matériaux de base importants pour la fabrication de produits de synthèse.

2.2.5 Acétylènes

Ce sont des chaînes avec une triple liaison entre les atomes de carbone. Ces composés ne sont pas présents dans les carburants et les lubrifiants.

2.3 Grandeurs de molécule des hydrocarbures

La grandeur de molécule est en particulier déterminante pour le comportement à l'évaporation des hydrocarbures. D'une façon générale, on peut dire que plus la molécule est petite et plus la température d'ébullition est basse. Cependant, la structure de la molécule et la masse moléculaire influent également sur leur comportement chimique et physique. Ce sont surtout les grandeurs caractéristiques suivantes qui en dépendent :

- Viscosité et tenue viscosité-température
- Etat d'agrégation, surtout la plage de liquide (Tableau 2)
- Stabilité à l'oxydation et stabilité thermique

Nombre d'atomes de carbone	Etat d'agrégation	Produit
C ₁ à C ₄	gazeux	Gaz (méthane, éthane, propane, butane)
Environ C ₅ à C ₁₂	très fluide	Essences
Environ C ₁₀ à C ₂₂	fluide	Fuel EL / Diesel
Environ C ₂₀ à C ₃₅	liquide - visqueux	Huiles lubrifiantes
Au-dessus d'env. C ₃₅	visqueux - solide	Résidu de la distillation sous-vide / bitume
Au-dessus d'env. C ₁₀₀	solide	Paraffines

Tableau 2 : Etat d'agrégation en fonction du nombre d'atomes de carbone

Le tableau 3 donne une vue d'ensemble des différentes grandeurs caractéristiques en fonction de la grandeur de molécule.

Produits	Grandeur de molécule	Masse moléculaire	Plage d'ébullition (°C)	Point d'inflammation (°C)	Densité (kg/m ³)
Essences	C ₅ à C ₁₂	72 - 170	30 - 200	bis -50	715 - 790
Fuel EL/Diesel	C ₁₀ à C ₂₂	142 - 310	180 - 360	58 - 65	810 - 860
Lubrifiants	C ₂₀ à C ₃₅	280 - 460	210 - 600	100 - 300	840 - 920

Tableau 3 : grandeurs caractéristiques de différents hydrocarbures (valeurs approximatives)

2.4 Classement des hydrocarbures sur la base de leur structure moléculaire

Le pétrole n'est pas un produit de composition homogène. Il contient des composés très volatils et des composés peu volatils, qui peuvent être séparés par distillation. Du point de vue chimique, on trouve des combinaisons de composés d'hydrocarbures en forme de chaînes et d'anneaux, saturés et non saturés. Ils sont appelés alors à base paraffinique, à base de naphène ou aromatiques selon le type d'hydrocarbure qui détermine les propriétés physico-chimiques de l'ensemble du composé. De façon très simplifiée, on applique la relation mentionnée dans le tableau 4 pour le classement d'une huile minérale.

Structure	Fraction principale	Caractéristiques
A base de paraffine, chaînes rectilignes ou ramifiées	plus de 75% de paraffines	Densité < 900 kg/m ³ Indice de viscosité 93-105
A base de naphène	plus de 70% de naphènes	Densité 900 - 940 kg/m ³ Indice de viscosité 30-80
Aromatique	plus de 50% d'aromates	Densité > 940 kg/m ³ / Indice de viscosité 0-40

Tableau 4 : classification d'une huile minérale sur la base de la structure moléculaire.

De même les propriétés des produits raffinés à base d'huile minérale qui ont déjà été mentionnées plus haut dépendent très fortement de la structure moléculaire. La stabilité oxydative et la stabilité thermique, que l'on peut différencier nettement l'une de l'autre, en sont des exemples très caractéristiques. Alors qu'on entend par stabilité oxydative la résistance à une réaction avec de l'oxygène, la stabilité thermique est la résistance d'une molécule à une décomposition par effet thermique.

Les relations suivantes sont considérées comme ayant un effet légèrement simplifiant. Comme des composés ayant des doubles liaisons ont tendance à réagir plus fortement avec l'oxygène que des molécules avec des liaisons simples, les paraffines et un peu moins également les naphthènes sont plus stables à l'oxydation que les oléfines et les aromates. D'autres part, des composés en forme de chaînes peuvent être mis en vibration davantage sous l'effet de la chaleur, moyennant quoi il intervient une décomposition de la molécule (lorsqu'une valeur seuil déterminée est dépassée). En revanche, les composés annulaires peuvent stocker davantage d'énergie de chaleur avant qu'on arrive à la désintégration de la molécule. Les naphthènes et aromates sont donc plus stables que les paraffines à la chaleur.

Le tableau 5 donne une idée d'ensemble sommaire des propriétés des produits raffinés classiques à base d'huile minérale en fonction de la structure moléculaire.

Propriété	A base de paraffine	A base de naphène	Aromatique
Densité	faible	moyen	élevé
Tenue viscosité-température	bon	moyen	médiocre
Comportement au froid	médiocre	très bon	bon
Comportement à l'évaporation	bon	moyen	médiocre
Point d'inflammation	élevé	moyen	faible
Tendance à la cokéfaction	moyen	faible	élevé
Stabilité à l'oxydation	bon	moyen	médiocre
Stabilité thermique	moyen	bon	très bon
Compatibilité avec les élastomères	bon	bon	médiocre
Toxicité	faible	moyen	médiocre
Solubilité dans additif	moyen	bon	bon

Tableau 5 : propriétés des produits raffinés classiques à base d'huile minérale en fonction de la structure de molécule.

3. Fabrication de liquides de base

Le pétrole brut est le produit de base pour tout lubrifiant, indépendamment du fait qu'il soit à base d'huile minérale ou synthétique. La figure 8 montre un schéma très simplifié des différentes méthodes de fabrication.

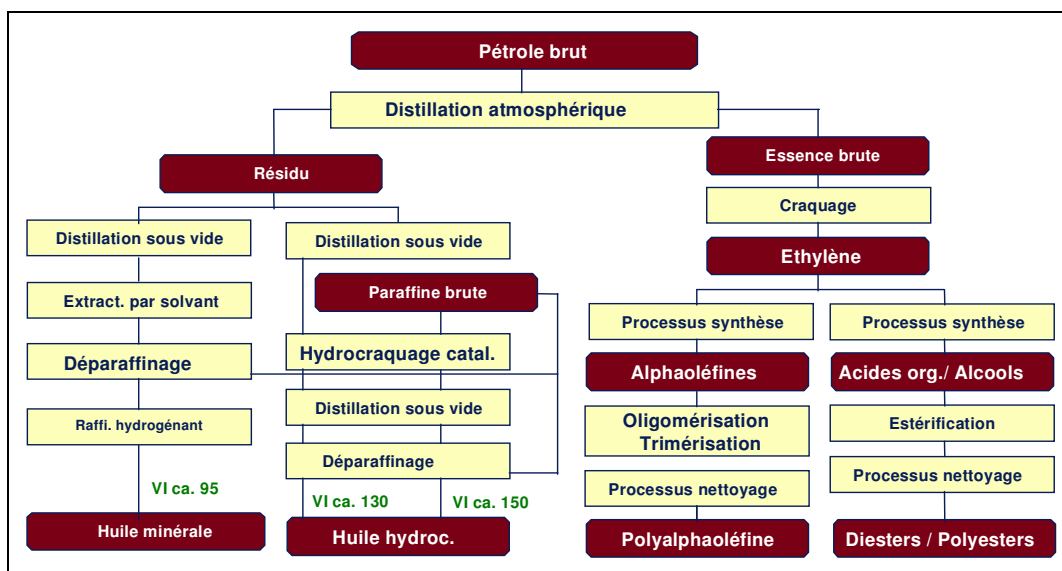


Figure 8 : fabrication de liquides de base (schéma très simplifié)

Le pétrole brut est séparé d'abord dans la distillation atmosphérique en différents produits (figure 9) et débarrassé ensuite en plusieurs étapes des produits d'accompagnement indésirables. Selon le procédé de traitement, on obtient différents liquides de base : l'huile minérale classique ou huile minérale d'hydrocraquage. La qualité de ces deux huiles de base est largement dépendante de la qualité du pétrole brut, raison pour laquelle elles présentent toujours dans leur composition des différences petites, mais en partie importantes.

3.1 Produits raffinés de l'huile minérale

La plupart des huiles minérales fabriquées aujourd'hui sont toujours les produits raffinés d'huile minérale dits classiques. La production s'effectue par distillation sous vide du résidu provenant de la distillation atmosphérique suivie d'extraction par solvant, déparaffinage et raffinage hydrogénant (figure 3). La technologie des procédés a été constamment améliorée au cours des années. Ces huiles de base minérales ont différentes viscosités : de façon approximative on distingue des huiles épaisses, moyennement visqueuses et allégées, elles ont un indice de viscosité compris entre 90 et 100, et le comportement à basses températures est médiocre (point d'écoulement compris entre -6 et -15°C).

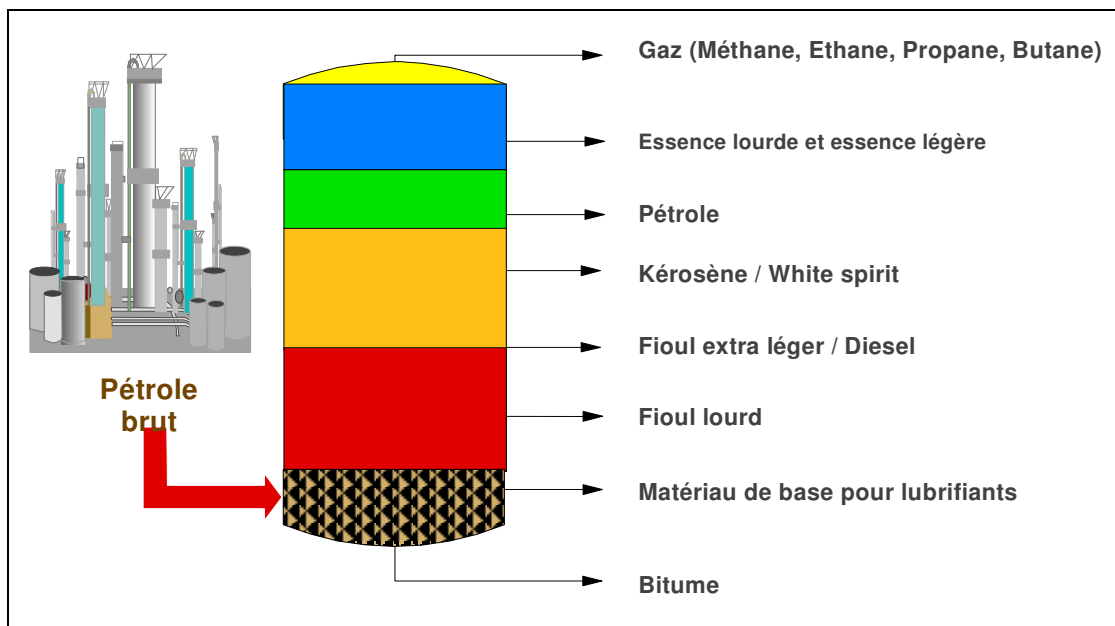


Figure 9: Distillation atmosphérique du pétrole brut

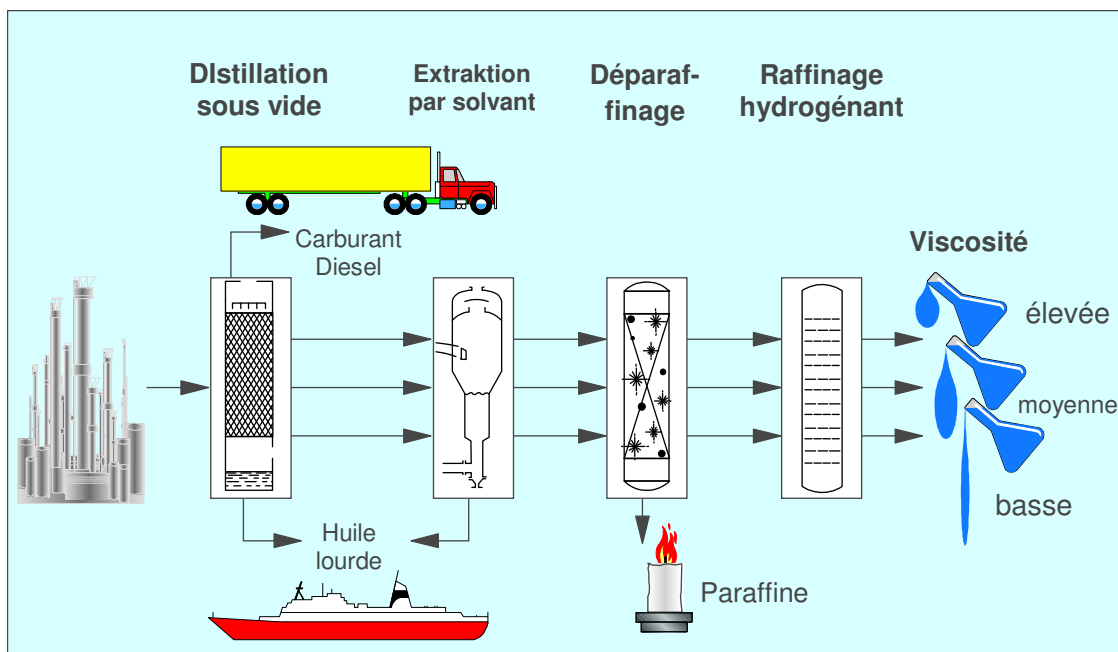


Figure 10 : Fabrication de produits raffinés classiques d'huile minérale

3.2 Huiles d'hydrocraquage

Les huiles d'hydrocraquage, dont le produit de base est soit de la paraffine brute provenant du déparaffinage des produits raffinés de l'huile minérale soit du gazole obtenu par distillation dans le vide, représentent un deuxième groupe. On les appelle également huiles de synthèse HC, bien que le terme de synthèse ne soit pas à sa place au sens strict avec ce procédé de fabrication. Les huiles d'hydrocraquage se caractérisent par rapport à des produits raffinés d'huile minérale par un indice de viscosité sensiblement supérieur (120 à 150, selon le processus de fabrication) et un comportement au froid optimisé (point d'écoulement jusqu'à -21°C).

3.3 Liquides de base synthétiques (polyalphaoléfines, esters)

Les huiles synthétiques sont fabriquées par voie chimique par l'enchevêtrement de molécules spéciales d'hydrocarbures dans le cadre d'un processus à plusieurs étapes. A partir de là, on peut composer un produit de structure moléculaire et de longueur de chaîne quelconques avec des propriétés remarquables et toujours uniformes. Dans le cas d'huiles de synthèse, on utilise principalement des polyalphaoléfines (PAO), appelés souvent également hydrocarbures synthétiques, ou des esters.

3.3.1 Polyalphaoléfines

Dans cette classe de composés, on trouve des substances liquides et identiques à la paraffine, qui se composent seulement de carbone et d'hydrogène et présentent une certaine viscosité, un indice de viscosité élevé et un point d'écoulement bas en raison de la longueur de chaîne, du degré de ramification et de la position des ramifications.

3.3.2 Esters

Contrairement aux polyalphaoléfines, les esters contiennent également de l'oxygène et sont obtenus par la réaction d'un alcool avec un acide organique. Pour fabriquer des lubrifiants, on utilise surtout des esters d'acide carboxylique, que l'on peut subdiviser à leur tour en diesters et polyesters sur la base de leur structure chimique. Les propriétés de ces esters sont donc également différentes, mais en général, les deux types présentent une bonne tenue viscosité-température, un faible point d'écoulement et une excellente résistance au vieillissement.

Dans la pratique, les liquides synthétiques présentent une série d'avantages importants par rapport aux huiles minérales (tableau 1). Le seul inconvénient est uniquement le prix plus élevé, qui est dû à la fabrication plus coûteuse des liquides synthétiques de base.

Ces quatre produits de base sont utilisés aussi bien sous une forme pure que dans différents mélanges entre eux comme liquides de base pour la fabrication des lubrifiants.

Propriétés	Conséquences
Epaisseur de film supérieure (viscosité élevée avec de hautes températures)	Meilleure protection contre l'usure (paliers, segments de pistons, commande de soupape)
Ne contient pas de composants instables	Meilleure stabilité à l'oxydation et thermique
Nécessite moins d'optimisateur d'indice de viscosité	Stabilité au cisaillement optimisée
Faible volatilité et faible perte par évaporation	Consommation d'huile inférieure
Très bon comportement aux basses températures	Démarrage à froid optimisé et huilage rapide des moteurs = moins d'usure
Abaissment de la consommation de carburant sans consommation d'huile supérieure	Les huiles à faible viscosité (surtout OW & 5W) entraînent un frottement nettement plus faible dans le moteur
Résistance thermique supérieure, d'où réduction des dépôts de poussière	Meilleure propreté des moteurs et intervalles de vidange allongés

Tableau 6 : avantages des liquides de base synthétiques

4. Caractéristiques des lubrifiants

4.1 Viscosité

La viscosité est la propriété la plus connue des huiles lubrifiantes. Elle est la référence pour le frottement interne d'une huile lors de l'écoulement. La viscosité est une grandeur dépendante de la température. Lorsque la température est faible et que l'huile est donc froide, le frottement intérieur est important et la viscosité élevée. Plus l'huile est chaude, plus le frottement interne est réduit et la viscosité faible.

On fait une distinction entre la viscosité cinématique et la viscosité dynamique. La conversion s'effectue au moyen de la densité de l'huile et selon la formule indiquée ci-dessous :

$$\text{Viscosité cinématique} = \text{viscosité dynamique/densité}$$

La dimension (unité) pour la viscosité cinématique est mm^2/s , autrefois cSt (centi Stoke) ; celle de la viscosité dynamique est mPa s , autrefois cP (centi Poise).

La viscosité cinématique est mesurée dans des viscosimètres à tube capillaire, tandis que la viscosité dynamique est mesurée généralement dans des viscosimètres à rotation (notamment pour la viscosité des basses températures).

4.1.1 Classes de viscosité SAE

Les lubrifiants pour les véhicules (huiles moteurs et huiles à engrenages), sont décrits avec des classes SAE (SAE = Society of Automotive Engineers). On y définit les éléments suivants :

- Températures pour les mesures de viscosité
- Valeurs seuil de viscosité
- Attributions à des classes

Dans la plage de régime chaude, la viscosité est déterminée, pour les huiles moteurs et les huiles à engrenages, de façon homogène pour toutes les classes SAE à 100° . Ceci n'est pas suffisamment pratique pour les huiles moteurs. Pour cette raison, on définit dans le cas présent en supplément la viscosité HTHS (High Temperature High Shear) pour 150° et un gradient de cisaillement de 10^6 s^{-1} .

Dans la plage de régime froide, on prescrit différentes températures de mesure en fonction de la classe SAE. Les huiles, pour lesquelles on a des valeurs seuil de viscosité à l'état froid, présentent la lettre "W" en supplément de la valeur numérique de la classe SAE respective.

Dans les tableaux 7 et 8, on regroupe les classes de viscosité SAE respectivement pour les huiles moteurs et pour les huiles à engrenages.

■ Huile monograde / Huile multigrade

Lorsqu'une huile ne répond qu'à l'exigence d'une classe SAE, c'est une huile monograde (en anglais Monograde), par exemple SAE 10W ou SAE 30 pour des huiles moteurs, SAE 80W ou SAE 140 pour des huiles à engrenages (figure 11).

Lorsque les exigences d'une classe W sont satisfaites à l'état froid et celles d'une classe sans "W" sont satisfaites à 100°C ou 150°C, il s'agit d'une huile multigrade (en anglais Multigrade), par exemple SAE 0W-30 ou SAE 5W-40 pour des huiles moteurs, SAE 75W-90 ou SAE 80W-140 pour des huiles à engrenages.

Classe de viscosité SAE	Viscosité maximale en mPa s pour une température de ... °C		Viscosité à 100 °C en mm ² /s		Viscosité à haute température (150 °C) pour un taux de cisaillement de 10 ⁶ s ⁻¹ en mPa s
	Mise en marche / Démarrage	Pompabilité	min.	max.	
W	6200 à -35	60'000 à -40	3,8		
5W	6600 à -30	60'000 à -35	3,8		
10W	7000 à -25	60'000 à -30	4,1		
15W	7000 à -20	60'000 à -25	5,6		
20W	9500 à -15	60'000 à -20	5,6		
25W	13000 à -10	60'000 à -15	9,3		
20			5,6	≤ à 9,3	2,6
30			9,3	≤ à 12,5	2,9
40			12,5	≤ à 16,3	2,9 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40			12,5	≤ à 16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)
50			16,3	≤ à 21,9	3,7
60			21,9	≤ à 26,1	3,7

Tableau 7 : classification SAE des huiles moteurs (décembre 99)

Classe de viscosité SAE	Température maximale pour une viscosité apparente de 150'000 mPa s à °C	Viscosité cinématique à 100 °C en mm ² /s	
		min. après 20 h de test de cisaillement	max.
70W	-55	4,1	--
75W	-40	4,1	--
80W	-26	7,0	--
85W	-12	11,0	--
80	--	7,0	< 11,0
85	--	11,0	< 13,5
90	--	13,5	< 18,5
110	--	18,5	< 24,0
140	--	24,0	< 32,5
190	--	32,5	< 41,0
250	--	41,0	--

Tableau 8 : Classification SAE des huiles à engrenages automobiles (2005)

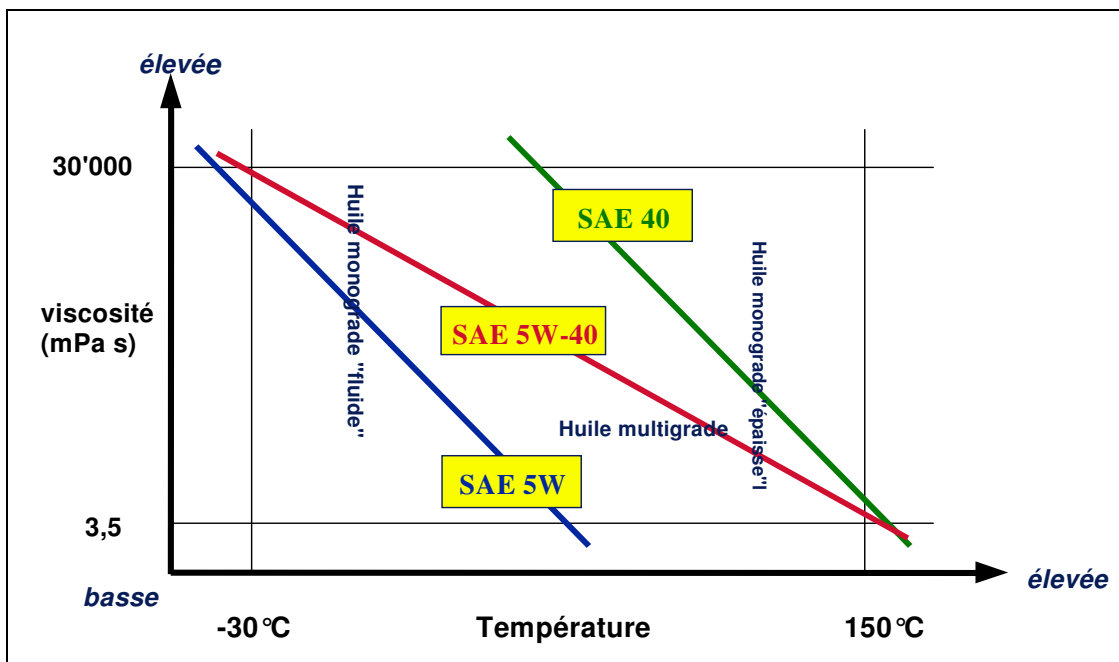


Figure 11: Comparaison entre l'huile monograde et l'huile multigrade

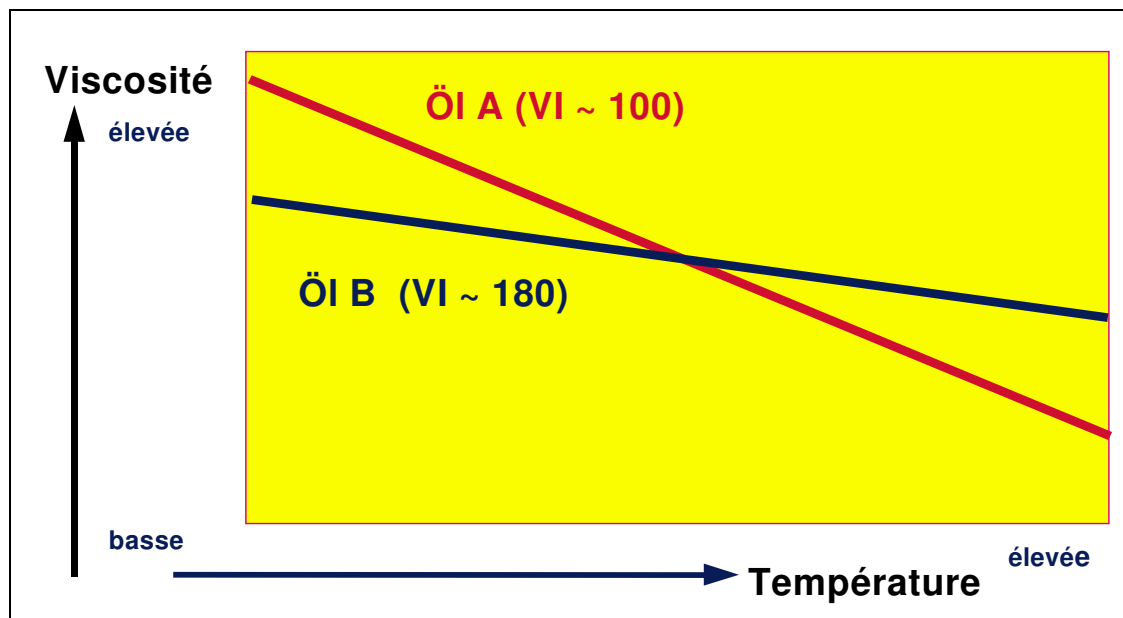


Figure 12 : Tenue viscosité-température

4.1.2 Classification de la viscosité selon ISO-3448

A l'exception des huiles moteurs et huiles à engrenages automobiles, qui sont décrites dans des classes SAE, toutes les autres huiles lubrifiantes sont classées selon la classification de viscosité ISO. Dans cette ISO-VG (International Organisation for Standardization – Viscosity Grade), 18 classes de viscosité de 2 mm²/s jusqu'à 1500 mm²/s sont normalisées. On prescrit uniquement une "viscosité du centre" à 40 °C, qui peut s'écarter de 10% vers le haut et vers le bas dans une classe de viscosité. Une huile hydraulique de ISO VG 46 peut donc se situer entre 41,4 mm²/s (limite inférieure) et 50,6 mm²/s (limite supérieure).

Classe de viscosité ISO	Viscosité du centre à 40,0 °C mm ² /s (cSt)	Limites de la viscosité cinématique à 40,0 °C mm ² /s (cSt)	
		min.	max.
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	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	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

Tableau 9 : Classification de la viscosité selon ISO-3448

4.2 Tenue viscosité-température (indices de viscosité)

La variation de la viscosité due à l'augmentation ou à la baisse de la température peut être différente d'une huile à l'autre. Une huile, dont la viscosité varie le moins possible en cas de fluctuations de la température (huile B, figure 12), est appropriée pour la pratique. De ce fait, on garantit un parfait démarrage à froid et une force portante suffisante pour le film lubrifiant à température élevée. Pour la tenue viscosité-température, il existe un indice sans dimension, l'indice de viscosité (VI). Plus l'indice de viscosité est élevé, plus la baisse de viscosité est faible en cas d'augmentation de la température. Les huiles monogrades ont un indice de viscosité proche de 100, et il peut aller jusqu'à 180 pour les huiles moteurs multigrades.

4.3 Tenue viscosité-pressure

La viscosité d'une huile varie non seulement avec la température, mais également avec la pression exercée sur le film lubrifiant. Cette propriété est souvent très importante pour les calculs tribotechniques, lorsqu'on dispose d'huiles de différents liquides de base.

4.4 Viscosité et gradient de cisaillement

Pour les huiles multigrades, qui contiennent un optimisateur d'indice de viscosité, la viscosité est dépendante également du gradient de cisaillement en plus de la température et de la pression.

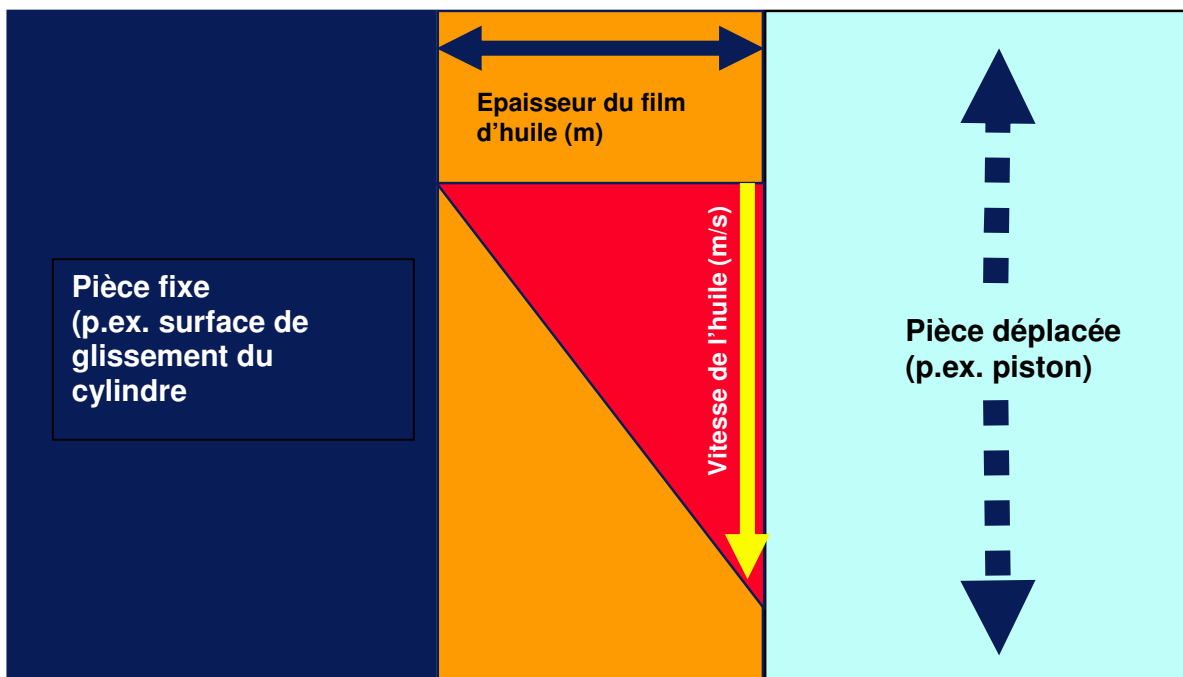


Figure 13: Gradient de cisaillement dans la fente de graissage (agrandie plusieurs milliers de fois)

Dans la fente de graissage, l'huile est exposée à différentes contraintes de cisaillement. Si l'on se représente la fente de lubrification et donc également le film lubrifiant agrandis plusieurs milliers de fois, les particules d'huile qui se trouvent directement sur la pièce non déplacée (par exemple coussinet de palier ou surface de glissement du cylindre) auront la vitesse 0. En revanche, les particules d'huile adhérant à la partie déplacée prendront la vitesse de ce composant (par exemple la vitesse périphérique du tourillon du vilebrequin ou la vitesse du piston). Ce processus peut être représenté théoriquement par le triangle de vitesse représenté sur la figure 13.

Le présent gradient de cisaillement se calcule alors selon la formule suivante :

$$\text{Vitesse sur la pièce déplacée (m/s)} / \text{Epaisseur du film lubrifiant}$$

Ceci aboutit à l'unité de s^{-1} pour le gradient de cisaillement. Sur les moteurs à combustion dans la zone palier principal ainsi que piston et surface de glissement de cylindre, il se situe aux environs de $10^5 s^{-1}$ au régime de ralenti et jusqu'à environ $10^6 s^{-1}$ au régime maximum.

4.5 Stabilité au cisaillement

Pour les huiles sans optimisateur d'indice de viscosité (huiles monogrades), le gradient de cisaillement n'a pas d'incidence sur la viscosité. On les appelle liquides newtoniens (figure 14, huile X). Si l'huile lubrifiante contient un optimisateur VI (c'est le cas pour de nombreuses huiles multigrades), la viscosité augmente plus ou moins fortement pour une température identique, mais pour un gradient de cisaillement qui augmente (régime croissant) selon le type (chimique) et la quantité de l'optimisateur VI. Dans ce cas, ce ne sont pas des liquides newtoniens (figure 7, huile Y). Plus la baisse de viscosité est faible, meilleur est le gradient de cisaillement. Les huiles moteurs, qui restent toujours dans la même classe SAE même dans des conditions de service les plus dures et sont donc très stables au cisaillement, sont appelées "huiles Stay-in-grade".

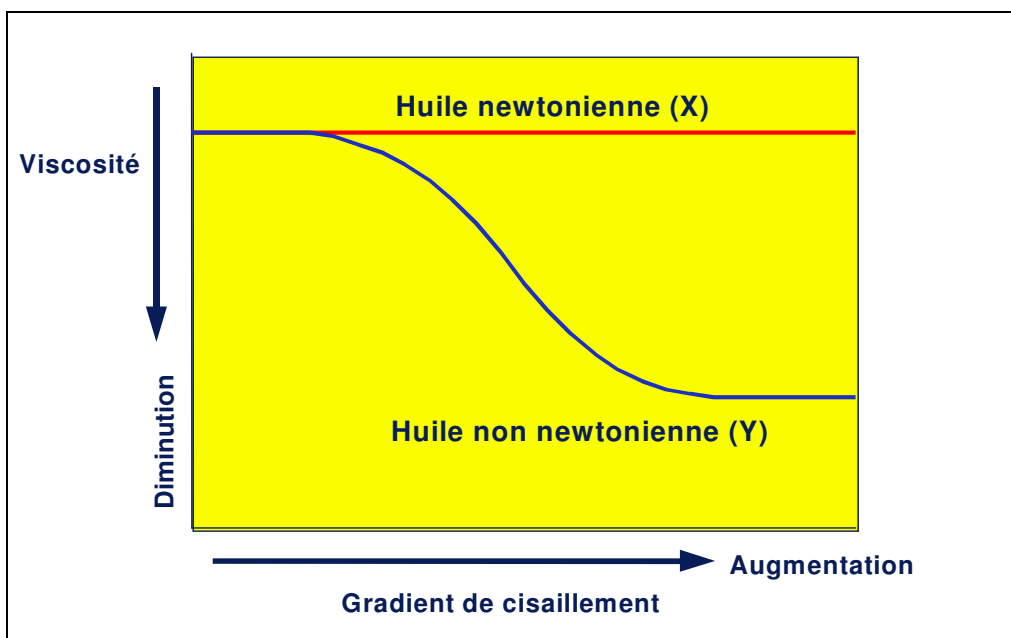


Figure 14: Tenue de viscosité en cas de cisaillement

4.6 Pompabilité à de basses températures (Pompabilité limite)

De cette façon, on décrit les limites d'utilisation pour le comportement à l'huilage complet des huiles moteurs après un démarrage à froid. Jusqu'à la pompabilité limite, l'huile coule suffisamment vers le tamis à huile et la pompe à huile, mais au-dessous de cette limite, l'alimentation suffisante en huile du système de lubrification n'est plus garantie, et l'on arrive à l'aspiration d'air et donc à des dégâts provoqués par l'usure. Les valeurs limites pour la pompabilité à différentes températures sont mentionnées dans le tableau 7.

4.7 Point d'écoulement

Autrefois, le comportement à froid d'une huile lubrifiante était défini par le point de figeage, c'est-à-dire la température à laquelle l'huile se solidifie. Aujourd'hui, on indique la limite de liquidité, exprimée par le point d'écoulement. Pour le calcul du point d'écoulement, on calcule toujours ce point de figeage et on ajoute 3 °C. Pour un point de figeage de -36 °C, le point d'écoulement est donc de -33 °C.

4.8 Perte par évaporation

La perte par évaporation est fonction de la viscosité et du degré de raffinage pour les huiles minérales. Les huiles d'hydrocraquage présentent une perte par évaporation plus faible que les huiles minérales classiques. De fortes pertes par évaporation peuvent entraîner dans la pratique une consommation d'huile élevée et un calaminage accru sur le piston et les soupapes d'entrée. La perte par évaporation selon Noack est calculée à 250 ° et indiquée en pourcentage de masse.

5. Additifs

Les exigences élevées imposées aux lubrifiants ne peuvent être satisfaites que par des huiles ou des graisses avec des additifs spéciaux. Des additifs sont ajoutés aux lubrifiants afin de modifier ou d'améliorer leurs propriétés naturelles et de leur conférer des propriétés qu'ils n'ont pas de façon naturelle. La nature et la quantité des additifs concernés peuvent être adaptées exactement à l'application respective. La fraction d'additifs peut être inférieure à 1% et aller jusqu'à 30%

Les principaux additifs sont décrits brièvement ci-dessous. Si l'on considère leur mode d'action, on peut classer ces additifs en trois groupes.

- Additifs protégeant la surface (5.1 - 5.5)
- Additifs améliorant l'huile (5.6 et 5.7)
- Additifs protégeant l'huile (5.8 et 5.9)

5.1 Détergents

Ils libèrent très largement les surfaces chaudes des dépôts (par exemple sur les pistons). Les particules de poussière solides ont une enveloppe microscopique, sont maintenues en suspension dans l'huile et ne peuvent guère se déposer de cette façon. Les dépôts souples sont nettoyés à nouveau par lavage. Grâce à leur alcalinité, ils peuvent neutraliser également des produits acides, qui se forment du fait de la combustion du carburant.

5.2 Dispersants

Ils maintiennent en suspension dans l'huile des impuretés liquides et insolubles dans l'huile, qui se forment principalement pendant la phase d'échauffement dans le moteur. Les additifs empêchent l'agglutinement (agglomération) des particules de poussière et donc la formation de boue.

5.3 Additifs à haute pression et additifs pour la protection contre l'usure

Ces additifs sont appelés en anglais additifs Extreme Pressure (EP) et additifs Anti Wear (AW). Ils réduisent le frottement et l'usure et protègent contre un contact métallique (par exemple cames/arbre à cames, segments de pistons/cylindres, flancs de dents). Par une réaction chimique avec respectivement une adhésion sur la surface de métal, on constitue des surfaces de glissement qui empêchent le contact métal-métal.

5.4 Additifs anticorrosion / antirouille

Protègent les parties métalliques nues, qui sont en contact avec des lubrifiants, de la corrosion et de la rouille. Des additifs polaires constituent des films protecteurs de type peau sur les surfaces de métal, et en supplément ils neutralisent les acides qui ont un effet corrosif.

5.5 Modificateur du coefficient de frottement (anglais : Friction Modifier)

Ces additifs tensioactifs réduisent le frottement sur les surfaces de métal lubrifiées par absorption.

5.6 Optimisateur d'indice de viscosité

Ils optimisent la tenue viscosité-température d'une huile par réduction de la baisse de viscosité en cas d'augmentation de la température. A de basses températures, ils n'ont

guère d'effet et à de hautes températures, la baisse de viscosité est plus faible en raison de leur effet épaississant. Les huiles, qui contiennent un optimisateur VI, disposent d'un indice de viscosité supérieur aux liquides de base utilisés.

5.7 Optimisateurs du point d'écoulement

Ils permettent l'écoulement de l'huile même encore à de basses températures par retardement de la formation de cristaux de paraffine. Les petits cristaux de paraffine qui se forment lors du refroidissement de l'huile sont enveloppés par l'additif et ne peuvent pas fusionner, ce qui fait que l'huile reste fluide plus longtemps.

5.8 Additifs pour la protection du vieillissement

Ces additifs sont appelés inhibiteurs d'oxydation dans le langage technique. Ils ralentissent le vieillissement de l'huile déclenché par l'arrivée d'oxygène provenant de l'air, de hautes températures et de métaux à effet catalytique. Ils détruisent les produits de vieillissement de l'huile (par exemple boue) et mettent un terme aux réactions nuisibles.

5.9 Produits antimousse

Ces additifs empêchent la formation de mousse superficielle stable dans l'huile. Ils modifient la tension de surface, ce qui entraîne une destruction rapide de la mousse.

6. Huiles moteurs pour moteurs 4 temps

6.1 Introduction

Les développements dans la construction automobile et dans la technique des moteurs sont liés de façon indissociable avec les performances des huiles moteurs. Plus les moteurs ont une conception compliquée, plus le rendement et l'optimisation de la consommation sont élevés et plus l'huile moteurs est sollicitée et doit aller aux limites de ses performances. Une compression assez élevée dans le moteur, des températures de piston supérieures (surtout dans la zone du segment de piston supérieur), des commandes de soupapes modernes et sans entretien avec des poussoirs hydrauliques et des températures assez élevées dans l'espace moteur sollicitent les lubrifiants pour les moteurs modernes bien davantage qu'il y a encore 10 ans.

Les moteurs à essence et les moteurs diesel sont intégrés sur le véhicule. Ils peuvent travailler comme des moteurs à aspiration ou moteurs à turbocompresseur. Leurs conditions d'utilisation incluent aussi bien des parcours extrêmement courts (80% de toutes les voitures de l'Europe occidentale parcourent moins de 12 kilomètres) que des parcours longs avec des kilométrages annuels allant jusqu'à 300.000 km. A cela s'ajoutent des intervalles de vidange compris entre 5000 km pour certains petits moteurs diesel et allant jusqu'à 100.000 km sur des moteurs diesel de véhicules utilitaires modernes. Ceci impose des exigences en partie controversées à l'huile moteurs. C'est pourquoi on ne peut pas couvrir toutes les applications avec un seul lubrifiant. Les constructeurs de moteurs définissent la qualité d'huile à utiliser et l'intervalle de vidange autorisé. L'industrie pétrolière offre une gamme complète de types d'huile qui couvre toutes les applications.

6.2 Objectifs

Les performances d'une huile moteurs ne sont pas visibles pour l'œil humain, car toutes les fonctions se déroulent dans des systèmes de moteurs fermés. Les fonctions des huiles moteurs sont diverses et leur rendement est remarquable. Les cinq fonctions principales sont résumées ci-dessous :

■ Lubrification

La lubrification de pièces glissant les unes sur les autres joue un rôle déterminant. De cette façon, on réduit le frottement et l'usure. Mieux on réussit cette opération, plus le moteur tourne facilement et plus on économise de carburant.

■ Refroidissement

Refroidissement du moteur par l'intérieur par l'évacuation de chaleur du piston, des cylindres, des paliers de vilebrequin, de l'arbre à cames, etc., vers le carter de vilebrequin ou par intégration d'un ventilateur d'huile séparé.

■ Étanchéité

L'étanchéité de la fente de segment entre le piston et le cylindre et sur les guides de soupape.

■ Protection anticorrosion

Empêcher la formation de rouille par une neutralisation de produits de combustion acides qui peuvent attaquer les pièces métalliques.

■ **Transmission de pression**

Transmission de la pression de combustion du piston au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle.

6.3 Exigences

L'industrie automobile de même que les consommateurs et les législateurs ont imposé des objectifs qui ont une influence déterminante sur les exigences imposées aux lubrifiants de moteurs, comme on le présente ci-dessous.

■ **Réduction de l'usure**

Les huiles moteurs doivent contribuer à réduire dans la mesure du possible l'usure sur toutes les pièces de moteurs (pistons, cylindres, commande de soupape, paliers, etc.) dans toutes les conditions d'utilisation, mais en particulier lors du démarrage à froid (fluidité optimale vis-à-vis du froid) et à de hautes températures (sécurité de lubrification).

■ **Propreté des moteurs**

On exige des huiles moteurs une grande stabilité thermique, afin qu'il ne puisse pas se former de dépôts sur les parties de moteurs. Les exigences actuelles sont si poussées que les moteurs ont un aspect "comme neuf" (en anglais : blue print condition) même après un kilométrage de 100.000 km. C'est seulement avec des huiles de ce type qu'on peut espérer également des intervalles de vidange prolongés.

■ **Niveau de viscosité stable**

La tenue viscosité-température optimale pour un fonctionnement parfait à l'état froid et à l'état chaud. Ceci inclut également une bonne stabilité au cisaillement de l'huile.

■ **Pouvoir dispersant de suie**

Sur les moteurs diesel de véhicules utilitaires à partir de la norme EURO II, un pouvoir dispersant extrêmement bon pour la suie formée est d'une importance énorme pour empêcher un épaississement de l'huile moteurs.

■ **Compatibilité de l'étanchéité**

Afin de garantir un fonctionnement parfait du moteur, les huiles moteurs doivent être compatibles avec les élastomères utilisés, afin que ceux-ci ne gonflent ou ne rétrécissent pas trop ou se fragilisent.

■ **Prise en compte des aspects de l'environnement**

Les huiles moteurs doivent contribuer à moins charger l'environnement. Ceci comprend les mesures suivantes :

- la réduction de la consommation de carburant et d'huile, ce qui permet de réduire également les émissions de CO₂ (effet de serre)
- la réduction des émissions de gaz brûlés en formulant les huiles de façon que le catalyseur reste parfaitement fonctionnel pendant toute sa durée de vie.
- éviter l'utilisation d'additifs toxiques, de façon que l'évacuation, que ce soit par retraitement ou combustion, pose moins de problèmes.

Mercedes Benz prescrit dans ses instructions de service 56 exigences individuelles à imposer aux huiles moteurs qui sont incluses en grande partie dans le récapitulatif ci-dessus.

6.4 Structure des huiles moteur

Les huiles moteurs se composent de liquides de base et d'additifs. Les détails concernant ces produits sont mentionnés dans les chapitres 3 et 5. La formulation est fonction des exigences qui sont imposées aux huiles moteurs. Les produits de haute qualité contiennent des fractions plus importantes d'huiles d'hydrocraquage, de liquides de base synthétiques et d'additifs que des huiles de qualité moyenne, qui contiennent toujours des quantités élevées d'huiles minérales classiques et des fractions d'additifs plus faibles.

La viscosité, respectivement la classification SAE de l'huile moteurs est obtenue en premier lieu par le choix et la combinaison des liquides de base ainsi que de la quantité et du type d'optimisateur de viscosité.

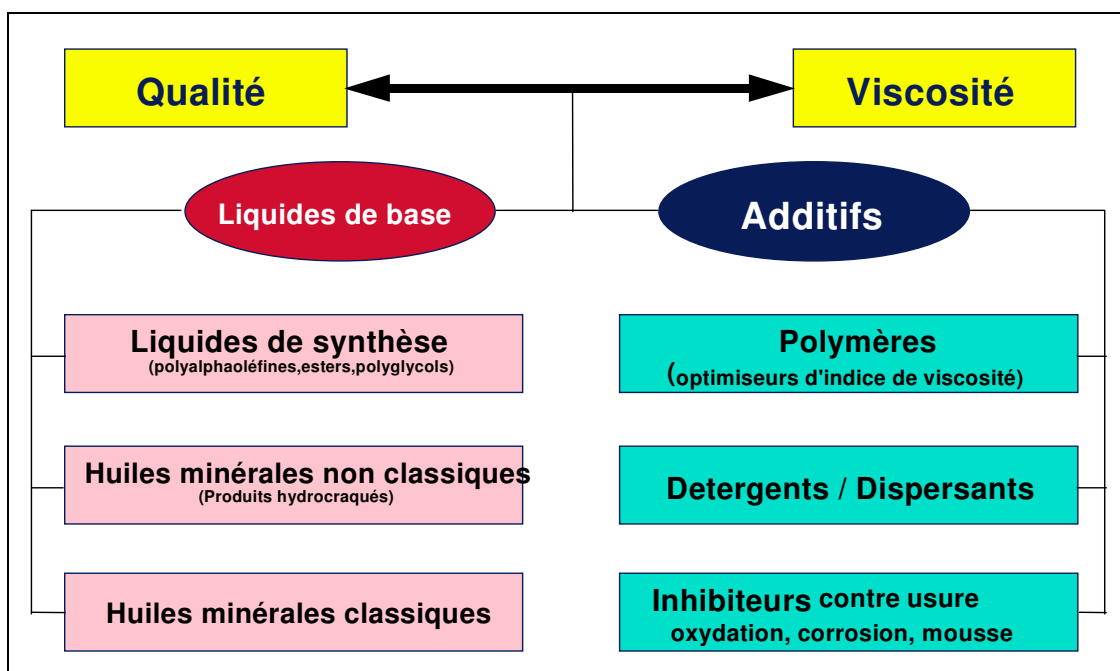


Figure 15 : Structure schématique des huiles moteurs

■ Lubrification des motos 4 temps

Afin de permettre une lubrification optimale de ces ensembles, on devrait utiliser pour les moteurs 4 temps des huiles moteurs spécialement développées car les exigences sont différentes de celles d'un lubrifiant automobile. Les moteurs de motos atteignent généralement des puissances par litre extrêmement élevées et nécessitent à cet effet des régimes bien supérieurs à ceux des moteurs automobiles. En particulier les moteurs refroidis par air sollicitent l'huile au plan thermique largement plus que les moteurs automobiles presque exclusivement refroidis par eau. D'autre part, l'huile doit alimenter également la boîte de vitesses et l'embrayage sur la quasi totalité des motos. Les fabricants de lubrifiants de marques tiennent donc compte de ces différences dans le choix des additifs, de sorte que la composition des huiles pour motos diverge sur quelques

points des huiles moteurs pour voitures. Les différences peuvent être regroupées de la façon suivante :

- Pas de modificateur du coefficient de frottement afin d'empêcher un glissement d'embrayage
- Faible volatilité afin de réduire l'évaporation de l'huile dans la chambre de combustion
- Faible teneur en cendres (1%) afin qu'il ne survienne pas d'allumage prématuré
- Grande stabilité au cisaillement afin d'éviter une réduction de viscosité trop forte

6.5 Classification selon les performances

Les huiles moteurs ne sont pas différenciées selon leur composition chimique, mais selon la façon dont elles se comportent lors des tests de moteurs, ce qui veut dire qu'on évalue les performances dans des essais pratiques et non pas en laboratoire. Pour les tests, on a recours à des moteurs automobiles et à des moteurs d'essai monocylindre. Ils sont utilisés sur des bancs d'essais selon des conditions définies de façon précise. Après les marches d'essai, les moteurs sont démontés et tous les composants importants (par exemple pistons, surface de glissement de cylindres, paliers, commande de soupape / couvercle de culasse, carter d'huile) font l'objet d'une évaluation pour différents critères tels que propreté, formation de boue, usure et formation de surface-miroir. En laboratoire, les huiles usagées sont analysées au niveau de l'augmentation de la viscosité et du comportement à l'oxydation. Ces tests de moteurs sont développés au Coordinating European Council (CEC) en collaboration entre les constructeurs automobiles et les fournisseurs d'huiles et d'additifs.

Pendant des décennies, ce furent les spécifications API (American Petroleum Institute) répandues dans le monde entier qui ont été la référence universelle. On a ainsi couvert les exigences les plus importantes au niveau du moteur et les huiles moteurs ont été subdivisées en une trame grossière qui permet à l'utilisateur de tirer certaines conclusions pour une utilisation sur les moteurs à essence ou les moteurs diesel. Les tableaux 10a et b donnent un aperçu des spécifications API actuelles (Edition juillet 2001).

Comme les spécifications API sont principalement axées sur le marché américain et ne peuvent pas être transposées complètement aux conditions européennes, les constructeurs de moteurs européens se sont regroupés au sein de l'ACEA (Association des Constructeurs Européens Automobiles). Dans cette ACEA, il y a une instance (Fuels & Lubricants Committee) qui contrôle à intervalles réguliers les exigences des constructeurs de moteurs européens imposées aux produits consommables de moteurs et les définit pour les huiles moteurs lors des séquences de tests de l'ACEA. Les tableaux 11a/b/c et 12 fournissent un aperçu des séquences de test ACEA en vigueur (Edition février 2007). Pour une vue détaillée des différences de qualités dans les tests de fréquences ACEA en laboratoire et des tests de moteurs, n'hésitez pas à contacter le département technique de Castrol (Switzerland) AG.

Spécifications API pour les huiles moteur

Moteurs à essence		
Catégorie	Etat	Description
SM	Actuel	Pour les moteurs dès 2005. Les huiles API SM se distinguent par leur meilleure stabilité à l'oxydation, un plus faible dépôt, une meilleure protection à l'usure et une plus grande économie de carburant
SL	Actuel	Pour les moteurs dès 2001.
SJ	Actuel	Pour les moteurs dès 1997.
SH	Ne plus actuel	1994. Uniquement changements chez les tests moteurs.
SG	Ne plus actuel	Pour les moteurs dès 1989.
SF	Ne plus actuel	Pour les moteurs dès 1980.
SE	Ne plus actuel	Pour les moteurs dès 1972.
SD	Ne plus actuel	Pour les moteurs dès 1968.
SC	Ne plus actuel	Pour les moteurs dès 1964.
SB	Ne plus actuel	Propriétés anti-usure minmales.
SA	Ne plus actuel	Pas d'exigences de performance. Huile minérales sans additifs.

Tableau 10a

Classification API pour moteurs à essence:

Moteurs Diesel		
Catégorie	Etat	Description
CJ-4	Actuel	Introduction en Octobre 2006. Pour les moteurs 4 temps grande vitesse avec valeurs limites des émissions mises en place en 2007. Les huiles CI-4 sont conçues pour des moteurs équipés avec des filtres à particules et des systèmes de post-traitement des gaz d'échappement. Pour l'emploi de carburant diesel d'une teneur en soufre inférieure à 0,05 % m/m. Possibilité d'utilisation à la place d'huiles CF-4, CG-4, CH-4 et CI-4.
CI-4	Actuel	Introduction en septembre 2002. Pour les moteurs 4 temps grande vitesse avec valeurs limites des émissions mises en place en 2002, valables dès 2004. Les huiles CI-4 sont conçues pour les moteurs à recirculation des gaz d'échappement ayant une longue durée de vie. Pour l'emploi de carburant diesel d'une teneur en soufre inférieure à 0,5 % m/m. Possibilité d'utilisation à la place d'huiles CD, CE, CF-4, CG-4 et CH-4.
CH-4	Actuel	Mise en service au 1 ^{er} décembre 1998. Pour les moteurs 4 temps à régime élevé présentant des valeurs limites d'émission de 98. Pour l'utilisation de carburant diesel avec teneur en soufre jusqu'à 0,5% m/m. Peut être utilisée à la place des huiles CD, CE et CF.
CG-4	Actuel	Mise en service en 1995. Pour des moteurs 4 temps très sollicités et à régime élevé présentant des valeurs limites d'émission de 94 Pour l'utilisation du carburant diesel avec teneur en soufre inférieure à 0,5% m/m. Peut être utilisée à la place des huiles CD-, CE- et CF-4
CF-4	obsolète	Mise en service en 1990. Pour des moteurs à 4 temps à aspiration et turbo à régime élevé. Peut être utilisée à la place des huiles CD et CE
CF-2	Actuel	Mise en service en 1994. Pour des moteurs 2 temps très sollicités. Peut être utilisée à la place des huiles CDII
CF	Actuel	Mise en service en 1994. Pour des moteurs diesel off-road à injection indirecte et autres, y compris ceux qui utilisent un carburant avec une teneur en soufre supérieure à 0,5% m/m. Peut être utilisée à la place des huiles CD
CE	obsolète	Mise en service en 1987
CD-II	obsolète	Mise en service en 1987.
CD	obsolète	Mise en service en 1955.
CC	obsolète	Pour des moteurs postérieurs à 1961
CB	obsolète	Pour des moteurs moyennement sollicités construits entre 1949 et 1960
CA	obsolète	Pour des moteurs peu sollicités des années 40 et 50.

Tableau 10b:

Classification API des huiles pour moteurs diesel

Standards ACEA pour des huiles moteur (Europe) – état décembre 2008**Aperçu**

Usage	Application	Catégorie ACEA
Voitures privés et véhicules utilitaires légers	Huiles moteur à essence et Diesel	A1/B1, A3/B3, A3/B4, A5/B5
	Huiles moteur compatible aux catalyseurs (low SAPS)	C1, C2, C3, C4
Véhicules utilitaires lourds	Huiles moteur Diesel	E4, E6, E7, E9

A1/B1	Huiles moteur multigrades XW-20, XW-30, XW-40 pour les moteurs essence et diesel de voitures et utilitaires légers. Conçues pour l'utilisation d'huiles à faible friction et viscosité faible HTHS de 2,6 à 3,5 mPa à 150°C. Ces huiles peuvent ne pas convenir à certains moteurs. Utilisation uniquement avec l'accord du constructeur.
A3/B3	Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers. Conçues pour les longs intervalles entre vidanges quand autorisés par le constructeur. Viscosité HTHS d'au moins 3,5 mPa à 150°C. Huiles toutes saisons à faible viscosité pour conditions d'utilisation difficiles selon les prescriptions du constructeur.
A3/B4	Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel à injection directe très puissants. Conviennent aussi pour les utilisations décrites sous B3.
A5/B5	Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour intervalles plus longs entre deux vidanges, pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers. Les moteurs conviennent pour l'utilisation d'huile à faible friction et viscosité HTHS faible de 2,9 à 3,5 mPa à 150°C. Ces huiles peuvent ne pas convenir à certains moteurs. Utilisation uniquement avec l'accord du constructeur.

Table 11a : *Spécifications ACEA pour des huiles moteurs à essence et Diesel utilisées dans de voitures privées et véhicules utilitaires légers*

C1	<p>Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers équipés d'un filtre à particules et d'un catalyseur. Les moteurs sont prévus pour l'utilisation d'huiles à faible friction, faible viscosité et low SAPS avec une viscosité HTHS de min. 2,9 mPa à 150 °C. Ces huiles augmentent la durée de vie du filtre à particules et du catalyseur et contribuent à l'économie en carburant du véhicule.</p> <p>Attention: Ces huiles présentent les limites SAPS les plus basses (Low SAPS) et ne peuvent pas être utilisées sans l'accord du constructeur.</p>
C2	<p>Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers équipés d'un filtre à particules et d'un catalyseur. Les moteurs sont prévus pour l'utilisation d'huiles à faible friction et faible viscosité HTHS de min. 2,9 mPa à 150 °C. Ces huiles augmentent la durée de vie du filtre à particules et du catalyseur et contribuent à l'économie en carburant du véhicule.</p> <p>Attention: Elles peuvent ne pas convenir à certains moteurs. Utilisation uniquement avec l'accord du constructeur.</p>
C3	<p>Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers équipés d'un filtre à particules et d'un catalyseur. Ces huiles augmentent la durée de vie du filtre à particules et du catalyseur.</p> <p>Attention: Elles peuvent ne pas convenir à certains moteurs. Utilisation uniquement avec l'accord du constructeur.</p>
C4	<p>Huiles moteur stay-in-grade stables au cisaillement pour moteurs essence et diesel très puissants de voitures et utilitaires légers équipés d'un filtre à particules et d'un catalyseur qui demandent une huile Low SAPs avec une viscosité HTHS au-dessus de 3.5 mPa s à 150 °C. Ces huiles augmentent la durée de vie du filtre à particules et du catalyseur.</p> <p>Attention: Elles peuvent ne pas convenir à certains moteurs. Utilisation uniquement avec l'accord du constructeur.</p>

Table 11b : Spécifications ACEA pour des huiles moteurs à essence et Diesel utilisées dans de voitures privées et véhicules utilitaires légers équipés avec des filtres à particules et des systèmes de post-traitement des gaz d'échappement.

ACEA Spécification	Cendres sulfatées (% m/m)	Phosphore (% m/m)	Soufre (% m/m)	Min. HTHS (mPa s)	Perte par évaporation (% m/m)	Indice d'alca- linité total (mg KOH/g)	Fuel Economy (% v/s 15W-40)
A1/B1-04	≤ 1.3	indiquer	Indiquer	(1)	≤ 15	--	≥ 2.5
A3/B3-04	≤ 1.5	indiquer	Indiquer	≥ 3.5	≤ 13	--	--
A3/B4-04	≤ 1.6	Indiquer	indiquer	≥ 3.5	≤ 13	--	--
A5/B5-04	≤ 1.6	Indiquer	indiquer	2.9 - 3.5	≤ 13	--	≥ 2.5
C1-04	≤ 0.5	≤ 0.05	≤ 0.2	≥ 2.9	≤ 13	--	≥ 2.5
C2-04	≤ 0.8	0.07-0.09	≤ 0.3	≥ 2.9	≤ 13	--	≥ 2.5
C3-04	≤ 0.8	0.07-0.09	≤ 0.3	≥ 3.5	≤ 13	≥ 6.0	≥ 1.0 (XW-30)
C4-07	≤ 0.5	≤ 0.09	≤ 0.2	≥ 3.5	≤ 11	≥ 6.0	≥ 1.0 (XW-30)

Table 11c : Exigences différentes les spécifications ACEA ACEA pour des huiles moteurs à essence et Diesel utilisées dans de voitures privées et véhicules utilitaires légers

(1) 2.6 – 3.5 mPa s pour SAE XW-20
2.9 – 3.5 mPa s pour toutes les autres classes SAE

Abréviations utilisées

LowSAPS Teneur basse en cendres sulfatées (Sulfated Ash), Phosphore, Soufre

HTHS Viscosité à haute température (150°C) et taux de cisaillement élevé

E4	Huiles moteur stables au cisaillement avec excellentes performances en matière de propreté des pistons, protection contre l'usure, pouvoir dispersant pour la rouille et stabilité aux températures élevées. Recommandées pour les moteurs diesel très sollicités avec exigences d'émission Euro 1, Euro 2, Euro 3 et Euro 4 et fonctionnement dans des conditions d'utilisation très difficiles, ex. avec intervalles très longs entre les vidanges conformément aux recommandations du constructeur. Conviennent pour moteurs sans filtre à particules, moteurs avec recirculation des gaz d'échappement et moteurs équipés d'un système de réduction du SCR/NO _x . Les recommandations varient d'un constructeur de moteur à l'autre ; en cas de doute, consulter le mode d'emploi.
E6	Huiles moteur stables au cisaillement avec excellentes performances en matière de propreté des pistons, protection contre l'usure, pouvoir dispersant pour la rouille et stabilité aux températures élevées. Recommandées pour les moteurs diesel très sollicités avec exigences d'émission Euro 1, Euro 2, Euro 3 et Euro 4 et fonctionnement dans des conditions d'utilisation très difficiles, ex. avec intervalles très longs entre les vidanges conformément aux recommandations du constructeur. Conviennent pour moteurs avec recirculation des gaz d'échappement, avec et sans filtre à particules et moteurs équipés d'un système de réduction du SCR/NO _x . Les huiles E6 sont fortement recommandées pour les moteurs équipés d'un filtre à particules, même en combinaison avec un carburant diesel à faible teneur en soufre (max. 50 mg/kg). Les recommandations varient d'un constructeur de moteur à l'autre ; en cas de doute, consulter le mode d'emploi.
E7	Huiles moteur stables au cisaillement avec excellentes performances en matière de propreté des pistons, bore polishing, protection contre l'usure, pouvoir dispersant pour la rouille, contrôle des dépôts du turbocompresseur et stabilité aux températures élevées. Recommandées pour les moteurs diesel très sollicités avec exigences d'émission Euro 1, Euro 2, Euro 3 et Euro 4 et fonctionnement dans des conditions d'utilisation très difficiles, ex. avec intervalles très longs entre les vidanges conformément aux recommandations du constructeur. Conviennent pour moteurs sans filtre à particules, moteurs avec recirculation des gaz d'échappement et moteurs équipés d'un système de réduction du SCR/NO _x . Les recommandations varient d'un constructeur de moteur à l'autre ; en cas de doute, consulter le mode d'emploi.

Table 12 : Séquences de test ACEA pour des huiles moteurs Diesel de véhicules utilitaires

D'autre part, les "spécifications maison" de certaines firmes automobiles comme Volkswagen, Mercedes-Benz et MAN contiennent également des "tests in house" (tests maison) concernant des secteurs à problèmes qui semblent particulièrement importants aux yeux des constructeurs automobiles concernés. Ces spécifications sont en partie encore plus exigeantes que les spécifications API ou ACEA officielles.

■ Normes d'usine Volkswagen

- VW 502 00** Huile moteurs pour moteurs à essence. Exigences concernant la teneur en cendre sulfatée et en phosphore, viscosité HTHS, stabilité au cisaillement, perte par évaporation, stabilité à l'oxydation, formation de boue, usure de came et de poussoir ainsi que compatibilité avec élastomère fluoré. Intervalle de vidange 15'000 km. (remplacé par VW 504 00)
- VW 503 00** Huile moteurs SAE 0W-30 pour moteurs à essence avec propriétés élevées d'économie d'essence (viscosité à 150 °C: $3.0 \text{ mPa s} / 10^6 \text{ s}^{-1}$) pour intervalles de vidange allongés jusqu'à 30'000 km. (remplacé)
- VW 503 01** Huile moteurs pour moteurs à essence avec propriétés d'économie de carburant (viscosité à 150 °C: min. $3.5 \text{ mPa s} / 10^6 \text{ s}^{-1}$) pour intervalles de vidange allongés jusqu'à 30'000 km.
- VW 504 00** Huiles moteur Mid SAPS SAE 5W-30 avec faible teneur en soufre, phosphore et cendres de sulfate pour moteurs à essence avec propriétés élevées d'économie de carburant. Spéciales pour les modèles avec WIV pour des intervalles entre vidanges jusqu'à 50'000 km.
- VW 505 00** Pour moteurs diesel à aspiration et moteurs diesel avec turbocompresseur. Exigences concernant teneur en phosphore, viscosité HTHS, stabilité au cisaillement, perte par évaporation, propreté du piston, usure de came et de poussoir ainsi que compatibilité avec élastomère fluoré. Intervalle de vidange 15'000 km.
- VW 505 01** Huile moteurs pour moteurs diesel de gicleur/pompe avec protection élevée contre l'usure. Intervalle de vidange 15'000 km.
- VW 506 00** Huile moteurs SAE 0W-30 pour moteurs diesel avec propriétés élevées d'économie de carburant (viscosité à 150 °C: $3.0 \text{ mPa s} / 10^6 \text{ s}^{-1}$) pour intervalles de vidange allongés jusqu'à 50'000 km. (remplacé par VW 507 00)
- VW 506 01** Huile moteurs SAE 0W-30 pour moteurs diesel de gicleur/pompe avec propriétés élevées d'économie de carburant (viscosité à 150 °C: $3.0 \text{ mPa s} / 10^6 \text{ s}^{-1}$) pour intervalles de vidange allongés jusqu'à 50'000 km. (remplacé par 507 00)
- VW 507 00** Huiles moteur Mid SAPS SAE 5W-30 avec faible teneur en soufre, phosphore et cendres de sulfate pour moteurs diesel avec filtre à particules avec propriétés élevées d'économie de carburant. Spéciales pour les modèles avec WIV pour des intervalles entre vidanges jusqu'à 50'000 km.

■ Normes d'usine MAN

- 270 / 271** Huiles mono et multigrades pour moteurs d'aspiration et suralimenté de performance normale.
- M 3275** Huiles moteurs diesel haute performance pour véhicules utilitaires avec longs intervalles entre les vidanges, réf. ACEA E3.
- M 3277** Huile moteur diesel haute performance pour véhicules utilitaires avec vidanges très espacées, réf ACEA E4.
- M 3477** Huiles moteur diesel haute performance pour moteurs avec systèmes d'épuration des gaz d'échappement jusqu'à Euro IV.

■ Normes d'usine Mercedes-Benz

- Feuille 228.0 /1** Huiles monogrades et multigrades pour certains moteurs diesels selon la feuille 223.2. Pour ces exigences, conformité minimale obligatoire à ACEA E2.
- Feuille 228.2 /3** Huiles monogrades et multigrades pour certains moteurs diesels selon la feuille 223.2. Pour ces exigences, conformité minimale obligatoire à ACEA E3.
- Feuille 228.5** Huiles multigrades pour certains moteurs diesels selon la feuille 223.2. Ces huiles sont particulièrement recommandées par DC. Ces huiles moteur à coefficient de frottement réduit permettent d'espacer au maximum les vidanges des moteurs diesel de véhicules utilitaires. Pour ces exigences, conformité minimale obligatoire à ACEA E4.
- Feuille 228.51** Les huiles moteur « low SPAsh » ne sont pour l'instant autorisées que pour certains moteurs diesels (voir la feuille 223.2). Ces huiles « low SPAsh » offrent actuellement la meilleure qualité du marché pour les moteurs diesel : faible teneur en soufre, en phosphore et en composants générateurs de cendres (low ash), avec les exigences correspondantes les plus approfondies.
- Feuille 229.1** Huiles multigrades pour certains moteurs de voitures de tourisme, de véhicules utilitaires du secteur des voitures de tourisme et certains moteurs industriels du secteur des voitures de tourisme, selon la feuille 223.2. Exigences minimales selon ACEA A2 ou A3 et B2 ou B3.
- Feuille 229.3** Huiles multigrades à coefficient de frottement réduit pour certains moteurs de voitures de tourisme, de véhicules utilitaires du secteur des voitures de tourisme et certains moteurs industriels du secteur des voitures de tourisme, selon la feuille 223.2. Des autorisations sont possibles pour les classes SAE 0W-X, 5W-X et 10W-X . Exigences minimales selon ACEA : A3 et B3 et B4.

- Feuille 229.31** Ces huiles « low SPAsh » à coefficient de frottement réduit sont autorisées pour certains moteurs de voitures de tourisme, de véhicules utilitaires du secteur des voitures de tourisme et certains moteurs industriels du secteur des voitures de tourisme. Pour les moteurs de voitures de tourisme diesel Euro4 ou les véhicules particuliers diesel équipés de filtres à particules diesel, ces huiles « low SPAsh » sont obligatoires ! Voir la feuille 223.2 pour l'utilisation. Exigences selon ACEA : A3 et B3 et B4 mais limites renforcées en matière de teneur en cendres sulfatées, soufre et phosphore (huiles « low SAPS »). Niveau de qualité selon la feuille 229.3.
- Feuille 229.5** Huiles multigrades à coefficient de frottement réduit pour certains moteurs de voitures de tourisme, de véhicules utilitaires du secteur des voitures de tourisme et certains moteurs industriels du secteur des voitures de tourisme, selon la feuille 223.2. Exigences minimales selon ACEA A3 et B3 et B4. Qualité maximale selon 229.1 / 229.3 en matière d'usure et de propreté, d'économie de carburant et de potentiel d'espacement des vidanges (en relation avec les nouveaux filtres à huile).
- Feuille 229.51** Spécification d'huile moteur voiture pour huiles pour moteur « Low SPAsh » avec une puissance identique à l'huile 229.5, c'est-à-dire avec les limites les plus précises au niveau de l'usure, de la formation de dépôts, de la propreté et de la formation de dépôts. Potentiel d'économie de carburant accru et plus grand respect de l'environnement. Exigences de base conformément à A3/B4 et C3.

6.6 Informations pratiques

■ Huiles à marche fluides

Pour les huiles qui maintiennent le frottement dans les moteurs et les machines à un faible niveau, et permettent ainsi de faire des économies d'énergie et de carburant, l'appellation "huiles à marche fluide" est passée dans l'usage. Les huiles à marche fluide permettent une efficacité optimale par une réduction du frottement aussi bien dans le secteur du liquide que dans le secteur du frottement mixte. La réduction du frottement peut être obtenue de la façon suivante :

- Grâce à une faible viscosité jusqu'à environ 80 °C et en même temps une faible tendance à l'évaporation grâce à l'utilisation d'huiles de synthèse ou d'hydrocraquage, ou bien
- réduction du frottement mixte grâce à l'utilisation de modificateurs du coefficient de frottement. Dans leur composition, les huiles à marche fluide se différencient sensiblement de leurs concurrents classiques, par exemple une huile de la classe SAE 15W-40 ou 20W-50, et sont de ce fait plus chères. Des essais pratiques approfondis ont cependant montré que les huiles à marche fluide permettent de réduire la consommation de carburant, ce qui contribue à son tour à l'économie d'énergie et à la réduction de l'effet de serre du fait d'une émission de CO₂ plus faible.

■ Intervalles de vidange de l'huile moteurs

L'intervalle de vidange est défini par les constructeurs de moteurs. Alors qu'on prescrivait autrefois des intervalles de 5.000 km, ceux-ci ont été allongés par les constructeurs de moteurs grâce à une technique de moteur et des qualités d'huile optimisées. De nombreux constructeurs prescrivent aujourd'hui des intervalles de vidange de 15.000 km avec cependant comme réserve de changer l'huile au moins une fois par an si le kilométrage prédéfini n'est pas atteint. Dans des conditions défavorables, par exemple en cas de fréquents parcours sur des petites distances ou de régime continu en montagne, on recommande une vidange deux fois par an. Avec un régime de parcours réduits, l'huile moteurs est sollicitée par le condensat du carburant, l'humidité et la formation de boue, plus largement qu'avec des conditions de service idéales. En résumé, on peut donner les conseils suivants :

- L'huile moteurs doit être changée assez souvent pour que toutes les pièces de moteurs soumises à l'usure, dans la mesure où elles viennent en contact avec l'huile moteurs, puissent effectuer leur service au moins pendant 200.000 km sans défaillance de fonction.
- L'huile moteurs doit être changée assez souvent de façon que l'encrassement global dans le moteur, dans le filtre et dans l'huile reste dans des limites satisfaisantes.

Une huile moteurs qui n'est jamais remplacée ne peut pas satisfaire sans réserves aux fonctions qu'on exige d'elle, étant donné que les additifs contenus dans l'huile sont décomposés et perdent donc leur puissance. Les conséquences sont une usure élevée et

une accumulation de boue importante, ce qui entraînera une réduction de puissance du moteur au cours de sa vie ultérieure.

■ Consommation d'huile

Chaque moteur consomme de l'huile, même les moteurs modernes peu polluants et économes en carburant, un état de fait qui est inévitable et qui trouve sa justification aussi bien dans la conception des moteurs que dans la technique des lubrifiants.

On a toujours une faible consommation d'huile. Sur les moteurs modernes, la consommation d'huile est aujourd'hui généralement < 0,5 l pour 1000 km. La consommation d'huile du moteur dépend des facteurs suivants :

- Ajustement des segments de pistons dans les rainures de segment de pistons
- Forme et pression d'application des segments de piston
- Etanchéité des guide-soupapes
- Etanchéité à l'huile du moteur vers l'extérieur
- Perte par évaporation de l'huile moteurs avec une température d'huile élevée

■ Perte par évaporation de l'huile moteurs à température élevée

La perte par évaporation de l'huile moteurs est liée étroitement à la viscosité et à la qualité de l'huile de base utilisée. De façon générale, on peut dire ce qui suit :

- Plus l'huile de base est fluide, plus la perte par évaporation est élevée à la température de service du moteur.

Cependant, les huiles d'hydrocraquage et en particulier les hydrocarbures synthétiques présentent pour une viscosité identique des pertes par évaporation sensiblement plus faibles que les produits raffinés classiques d'huile minérale.

■ Dilution de l'huile moteurs

Lors du démarrage d'un moteur froid à allumage commandé, une faible partie seulement de l'essence s'évapore ("éléments à bas point d'ébullition") dans l'air d'aspiration. Ceci peut entraîner des problèmes de démarrage à froid, étant donné que le mélange air-carburant est alors trop pauvre. C'est pourquoi tous les moteurs à allumage commandé disposent d'un système auxiliaire de démarrage à froid, soit commandé manuellement et appelé généralement "choke" soit commandé électriquement ou électroniquement ("starter automatique"). Ces organes de réglage amènent une quantité supplémentaire d'essence au moteur froid en fonction de la température, de sorte qu'il peut se former un mélange air-carburant inflammable. L'essence non évaporée quitte l'échappement en grande partie sous la forme d'hydrocarbure non brûlé. Une petite partie se condense sur les parois de cylindre encore froides et peut enlever partiellement le film lubrifiant à cet endroit. Sur les moteurs avec des démarrages à froid fréquents, on peut arriver à une dilution importante de l'huile moteurs. Ceci réduit la viscosité et le pouvoir lubrifiant de l'huile moteurs, une usure importante peut en être la conséquence.

Une consommation normale d'huile moteurs peut être masquée également par l'accumulation d'essence dans l'huile moteurs. Lorsque l'huile moteurs atteint à nouveau la température de

service, ce qui n'est le cas cependant qu'au bout de 15 à 20 km environ de parcours, l'essence s'évapore en majeure partie à nouveau de l'huile moteurs. Cette opération n'intervient cependant que très lentement, et au bout d'environ 2 heures de parcours, 80 à 85% de l'essence sont évaporés. Les fractions d'essence à point d'ébullition plus élevé restent dans l'huile moteurs.

Lorsque le moteur est sollicité davantage pendant la phase d'évaporation par une conduite poussée, on a souvent en conséquence des dégâts de paliers, pour lesquels il n'y a pas d'explication valable pour commencer. En raison de l'évaporation de la fraction d'essence provenant de l'huile moteurs, il peut apparaître soudain une prétendue consommation d'huile brusquement élevée, qui entraîne dans des cas extrêmes un graissage insuffisant.

Avec les moteurs à allumage commandé, on peut rencontrer des fractions d'essence de 5% de volume dans l'huile moteurs ; cependant, même des valeurs de 10% de volume et plus ne sont pas rares avec des conditions de service défavorables. Ceci explique pour quelle raison l'huile usagée provenant de moteurs à essence présente souvent une viscosité plus faible que l'huile neuve. Cependant, ceci ne doit pas être imputé à une qualité d'huile moteurs insuffisante, mais aux conditions de service défavorables.

■ **Épaississement de l'huile moteurs**

Il apparaît principalement sur les moteurs diesel en raison de l'absorption de suie par l'huile moteurs, mais également sur les moteurs à allumage commandé dans le cas d'une sollicitation thermique extrême.

Sur les moteurs diesel, ceci est dû au processus de combustion, qui dépend lui-même du procédé d'injection, de la charge de moteur et de l'état mécanique de l'installation d'injection. Alors que la suie quitte le moteur principalement par l'échappement, une faible partie de suie arrive avec le gaz contournant le piston dans le carter d'huile où il peut entraîner un épaississement de l'huile moteurs. Celui-ci est responsable en particulier pendant la saison froide de problèmes de démarrage à froid et nécessite une vidange intermédiaire. L'huile usagée provenant de moteurs diesel a généralement une viscosité supérieure à l'huile neuve.

Sur les moteurs à allumage commandé, un vieillissement thermique et oxydant peut entraîner l'épaississement de l'huile moteurs en cas de surcharge thermique de l'huile moteurs (parcours poussé de longue durée avec un niveau d'huile faible, surchauffement dû à une défaillance).

Une arrivée de réfrigérant (eau et antigel du radiateur) à l'huile moteurs dans le cas d'un système de refroidissement de moteur non étanche peut également entraîner l'épaississement de l'huile moteurs jusqu'à la panne de moteur.

■ **Accumulation de boue dans l'huile moteurs**

Depuis le début des années 80, on observe pour les moteurs à allumage commandé un développement qui entraîne un colmatage en particulier du couvercle de soupape et du carter d'huile, et qu'on appelle "boue noire". Cette situation devient particulièrement critique lorsque la boue encrasse tout ou partiellement le tamis à huile de la pompe à huile et les conduites d'huile. Le moteur peut ainsi être détruit par un graissage insuffisant.

Les constructeurs automobiles et les consommateurs recherchent depuis longtemps en commun les causes de ce phénomène. Du point de vue actuel, les facteurs de déclenchement peuvent être décrits de la façon suivante :

- L'huile moteurs est davantage chargée d'un point de vue spécifique par des intervalles de vidange d'huile moteurs extrêmement allongés dans le cas d'une quantité de remplissage inchangée ou même réduite.
- La consommation d'huile moteurs a été sensiblement réduite. Ceci aboutit souvent au résultat que l'huile moteurs n'est guère régénérée par des quantités d'appoint pendant l'intervalle de vidange déjà extrêmement long, bien qu'on ait une nécessité impérative de le faire vers la fin de cet intervalle.
- Le carburant et également pour une faible part l'huile moteurs sont brûlés dans la chambre de combustion. Les produits de réaction provenant de la combustion arrivent avec le gaz contournant le piston dans l'huile moteurs et le chargent en supplément lorsque des composants inappropriés provenant des produits consommables brûlent en même temps.
- Les moteurs modernes sont des concepts pauvres, avec lesquels la teneur en oxyde de carbone est certes fortement réduite dans les gaz brûlés, mais la fraction d'oxydes d'azote dans les gaz brûlés et dans les gaz contournant le piston augmente forcément. Les oxydes d'azote parviennent en même temps que d'autres produits de réaction issus de la combustion avec le gaz contournant le piston dans le carter de vilebrequin. Là, ils arrivent en contact étroit avec l'huile moteurs et peuvent réagir avec l'huile. Il se forme en supplément des produits d'oxydation insolubles dans l'huile et des nitrates organiques. Ces derniers peuvent former conjointement avec l'eau de combustion de l'acide nitrique, ce qui peut entraîner à son tour l'épuisement prématuré de la réserve alcaline des huiles moteurs.

Tous les facteurs réunis peuvent surcharger l'huile moteurs à tel point que des produits de réaction insolubles dans l'huile peuvent précipiter sous la forme de boue dans le moteur.

■ **Teneur en cendre sulfatée**

La plupart des additifs contiennent des composés très efficaces appelés organométalliques, qui sont transformés cependant en cendre dans la zone de la chambre de combustion en raison des températures qui règnent à cet endroit. Cette cendre peut se déposer aussi bien sur le fond du piston que dans la tête de cylindre et cuire plus ou moins fort pendant le service. Ceci n'est pas gênant dans le moteur diesel, mais sur le moteur à allumage commandé, ceci peut entraîner des auto-allumages et donc des pannes de moteur. En conséquence, la teneur en cendre sulfatée pour les huiles de moteurs à essence est limitée à 1,5% de la masse lors des séquences d'essai de ACEA.

■ **Formation de surfaces-miroir (Bore Polishing)**

Le développement des moteurs diesel à haut rendement avec une utilisation complète des possibilités d'augmentation de puissance qui sont offertes par le turbocompresseur exige des huiles moteurs de qualité adaptée. Les moteurs diesel modernes doivent atteindre une durée de vie très longue avec des charges élevées dans le cas d'intervalles de vidange d'huile moteurs très longs.

Au début des années 70, on a observé pour la première fois en Europe du Nord la formation de surfaces-miroir sur des surfaces de glissement de cylindre de moteurs diesel suralimentés sur des véhicules utilitaires. Dans le cas présent, il s'agit d'un phénomène d'usure sur la paroi du cylindre avec une surface lisse et réfléchissante (d'où le nom de formation de surface-miroir). La surface qui donne un effet extrêmement lisse présente une très faible rugosité et donne l'impression d'être une surface très bien rodée en raison de l'absence de traces d'usinage. En réalité cependant, il s'agit d'une usure irrégulière par lissage de la surface de glissement du cylindre, provoquée par l'effet de polissage des dépôts de calamine sur la couronne du piston. Même des dépôts de calamine dans le fond des rainures, qui entraînent des "ondulations du segment de piston", peuvent entraîner la formation d'une surface-miroir. En conséquence, la fraction de gaz contournant le piston commence par augmenter. La rapide augmentation de la consommation d'huile moteurs entraîne un graissage insuffisant, qui peut entraîner également des grippages du piston.

Le calaminage responsable de la formation de la surface-miroir dans la zone de la cloison de gorges de piston supérieure et la zone du fond de la gorge du piston peut être évité ou fortement limité par des huiles moteurs qui sont particulièrement fortement alliées et spécialement alliées. De telles huiles moteurs sont appelées huiles SHPD.

■ Filtration de l'huile moteurs

Les particules d'usure, la suie provenant de la combustion imparfaite, la poussière de la rue, les produits de combustion acides, les condensats de carburant et l'eau souillent l'huile moteurs. Il est important de retirer par filtration au moins les composants solides de l'huile moteurs en circulation, afin qu'ils n'augmentent pas l'usure ou n'engorgent pas les conduites d'huile. Les filtres à huile de flux principal filtrent constamment et de façon fiable l'ensemble de l'huile moteurs lorsque le moteur est chaud. Aujourd'hui, on trouve donc ce système sur n'importe quel moteur à combustion moderne. La grosseur de pore classique de ces filtres est de l'ordre de 5-35 μ m. Pendant le service, toutes les impuretés solides de taille supérieure aux pores du papier filtre sont retirées de l'huile moteurs par filtration. Ces filtres se bouchent alors lentement, la grandeur du filtre (surface du papier filtre) étant adaptée à la longueur des intervalles de vidange de l'huile moteurs. Ces filtres sont généralement montés directement sur le moteur et exposés à une sollicitation thermique élevée pendant le service. Ceci peut entraîner à son tour la fragilisation du papier filtre et un risque de fissuration. Pour les raisons précitées, les intervalles autorisés pour le remplacement des filtres à huile ne doivent donc pas être dépassés, parce que dans le cas contraire, il pourrait survenir de graves avaries de moteur du fait de la présence de substances étrangères non filtrées.

Sur les filtres d'huile de flux secondaire, qui sont souvent proposés sur le marché des accessoires pour un montage ultérieur, on filtre uniquement un flux partiel de 5 à 10% de la quantité d'huile moteurs en circulation par cycle de circulation. Ils sont montés généralement loin du moteur, et par conséquent, ils ne sont pas sollicités au plan thermique autant que les filtres à huile de flux principal. En raison de la viscosité plus élevée de l'huile moteurs froide et de la grande résistance à l'écoulement du filtre, ils sont cependant pratiquement sans effet pendant des phases prolongées. La grosseur de pore de ce type de filtre se situe à 5-10 μ m et ils permettent une filtration plus fine de l'huile en tant que filtres d'huile de flux principal. D'autre part, les filtres d'huile de flux secondaire entraînent une augmentation du volume d'huile d'un moteur, qui peut aller jusqu'au doublement en fonction du modèle de filtre. C'est pourquoi l'huile moteurs est généralement moins sollicitée, et elle reste plus fraîche. Pour les

raisons précitées, on peut obtenir sur les moteurs diesel de véhicules utilitaires, avec le montage ultérieur de filtres d'huile de flux secondaire, un certain allongement des intervalles de remplacement de l'huile moteurs, étant donné que l'encrassement de l'huile moteurs peut être réduit avec un filtrage optimisé. Cependant, cette mesure devrait être convenue impérativement avec les constructeurs automobiles.

Sur les moteurs à essence et les moteurs diesel, l'épuisement de l'additif dans l'huile moteurs est cependant l'élément déterminant pour la durée d'un intervalle de vidange. L'épuisement de l'additif et la présence de produits de combustion corrosifs ne peuvent pas être influencés par des filtres de flux secondaire.

Un filtre d'huile moteurs, qu'il soit disposé dans le flux principal ou le flux secondaire, ne peut jamais

- remplacer les additifs consommés de l'huile moteurs,
- filtrer le condensat du carburant,
- filtrer l'eau et les acides. Ces deux éléments entraînent le gonflement du papier filtre. Ceci empêche l'écoulement de l'huile et réduit la surface de filtre efficace.

Un grand constructeur automobile allemand donne ci-dessous sa position sur le thème des filtres de flux secondaire :

"En particulier, nous ne pouvons pas approuver un allongement des intervalles de vidange, même avec le montage d'une installation de filtration supplémentaire, étant donné que l'efficacité de l'additif et les performances des additifs dans l'huile ne s'en trouvent pas améliorées. Le montage supplémentaire d'un filtre d'huile de flux secondaire ne permet pas de faire une économie de frais. Nous jugeons très douteuse la publicité des constructeurs et fournisseurs d'installations de filtration supplémentaires avec des intervalles de vidange extrêmement longs en cas de montage de leurs installations de filtration supplémentaires".

On a donc déconseillé d'utiliser des filtres supplémentaires sur les moteurs à essence et les moteurs diesel dans le but de prolonger l'intervalle de vidange.

■ Additifs additionnels pour huiles moteurs

Dans le commerce, on trouve les additifs des plus divers pour les huiles moteurs. Les sociétés pétrolières n'offrent cependant pas de tels produits dans leur programme de vente.

Le constructeur automobile déjà cité au chapitre précédent prend la position suivante à ce sujet :

"Pour fabriquer des lubrifiants de haute qualité, il est nécessaire d'effectuer des essais longs et coûteux en laboratoire, sur des bancs d'essai et sur des véhicules, afin d'expérimenter les mécanismes d'action des additifs et de déterminer les combinaisons les plus favorables des huiles de base et additifs. Nous pensons donc que l'objectif de l'industrie des lubrifiants est exclusivement de développer, en collaboration avec l'industrie automobile, des huiles lubrifiantes de qualité optimale et de les mettre sur le marché.

La pratique a montré qu'il est très rare que le consommateur puisse se rendre compte parfaitement par sa propre expérience si un additif spécial produit un effet et si oui, juger cet effet, et si cet additif supprime tout ou partiellement par exemple certaines qualités du lubrifiant."

Les huiles moteurs des fournisseur de marques sont développées de façon qu'une utilisation d'autres additifs est inutile et ne pourrait que gêner. Des modifications de qualité préjudiciables dans la recette de l'additif adaptée avec beaucoup de finesse peuvent

parfaitement en être la conséquence. Une optimisation des performances d'une huile moteurs ne peut pas être obtenue par des additions incontrôlées de substances en partie inconnues.

■ **Pourquoi de l'huile de synthèse et non pas de l'huile minérale ?**

Les huiles moteurs synthétiques ont un meilleur rendement – leur utilisation est avantageuse, moderne, et est exigée de plus en plus par les constructeurs de moteurs afin de satisfaire aux exigences imposées aux intervalles de vidange allongés. En particulier les huiles légères synthétiques des classes de SAE OW-X et 5W-X (par exemple SAE OW-30 et SAE 5W-40) méritent une attention particulière.

Les huiles synthétiques sont composées de structures moléculaires assemblées de façon sélective (voir également chapitre 3) qui confèrent par exemple aux huiles moteurs légères synthétiques des avantages importants par rapport aux huiles moteurs à base d'huile minérale. Ceci est mis en évidence à l'aide de l'aperçu à la page suivante.

Les liquides synthétiques présentent les propriétés avantageuses suivantes par rapport aux huiles minérales :

(1)	Meilleure fluidité dans les limites de la plage d'utilisation de températures (les huiles synthétiques se diluent moins avec l'augmentation de la température)
(2)	Meilleure fluidité au froid
(3)	Meilleure stabilité au vieillissement
(4)	Volatilité et tendance à l'évaporation plus faibles
(5)	Meilleure stabilité du produit à des températures élevées
(6)	Meilleures propriétés de réduction du frottement associées avec une très grande capacité d'absorption de pression (ester)
(7)	Epaisseur supérieure du film lubrifiant (viscosité supérieure à des températures élevées)
(8)	Meilleur comportement de réaction des additifs (possibilité d'additivité plus adéquate, adaptée au type de liquide de base)

A partir de ces propriétés, on obtient une série d'arguments convaincants qui mettent en évidence les avantages dans l'utilisation d'huiles moteurs synthétiques.

(1)(2)	Démarrage à froid sans problème à toutes les températures, même au-dessous de 0°C – fonctionnement sensiblement plus souple des moteurs
(1)(2)(5)	Alimentation plus rapide des composants des moteurs après le démarrage - usure plus faible pouvant être mesurée
(1)(2)(6)	Economie de carburant mesurable dans toutes les conditions de service
(4)	Aucune consommation d'huile constatable – quantités d'appoint en huile réduites
(3)(5)	Meilleure protection contre les dépôts à des températures élevées – longue durée de vie des moteurs (Blueprint condition)
(5)(6)(7)	Réserves de lubrification plus élevées dans la plage des hautes températures – protection optimale contre l'usure même dans des conditions critiques
(3)(8)	Prévention optimisée contre la formation de boue dans des conditions de service défavorables
(3)(5)(8)	Réserves de performances plus importantes notamment dans le cas d'intervalles de vidange allongés

7. Huiles moteur pour moteurs 2 temps

7.1 Introduction

Le moteur 2 temps occupe une place particulière au niveau de la technique de lubrification. Dans le cas présent, on n'a pas de carter d'huile, comme sur le moteur 4 temps, et en conséquence l'huile moteurs ne peut pas être amenée sous pression aux paliers par une pompe à huile normale. L'huile moteurs est donc soit ajoutée au carburant (lubrification séparée) soit injectée dans le mélange air-carburant, au moyen d'une pompe de dosage d'huile (lubrification par huile fraîche). Dans le carter de vilebrequin, elle se sépare du carburant gazéifiant et lubrifie sous la forme d'un brouillard d'huile les paliers, les pistons, les segments de pistons et les cylindres. Ainsi, les surfaces de glissement du cylindre, les pistons et les segments de pistons peuvent être lubrifiés de façon fiable, mais on ne peut guère mettre en place une lubrification hydrodynamique dans les paliers. C'est pour cette raison qu'on n'utilise pas de paliers à glissement sur les moteurs 2 temps, mais des paliers à roulement, qui nécessitent une quantité d'huile inférieure. Le brouillard d'huile peut pénétrer à cet endroit et est suffisant pour la lubrification.

Les principaux secteurs d'utilisation pour les moteurs 2 temps sont aujourd'hui les deux roues (motos, vélomoteurs, scooters), des moteurs hors-bord de bateaux, les scies à chaîne et les appareils de jardin comme les tondeuses à gazon. Pour le fonctionnement d'un moteur 2 temps, il faut des huiles très spéciales.

7.2 Fonctions

Les fonctions et exigences qui sont imposées à une huile moteurs 2 temps sont mentionnées sur la figure 16.

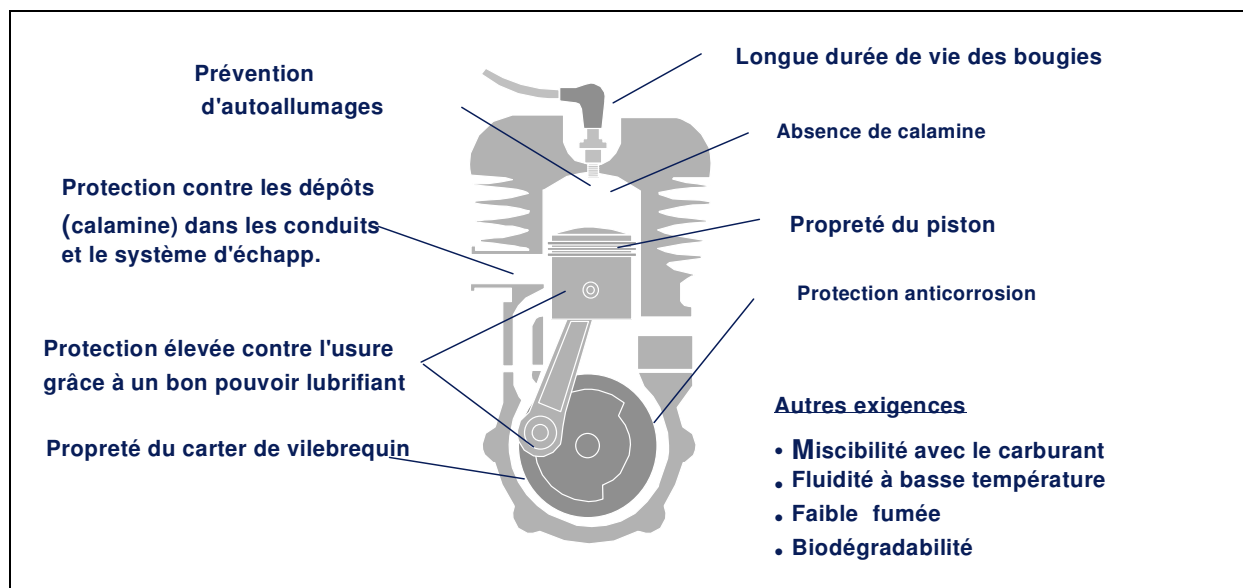


Figure 16 : Fonctions / exigences imposées à une huile pour moteurs deux temps

7.3 Structure

Comme huiles de base, on utilise principalement des produits raffinés de pétrole. Pour des huiles 2 temps de haute qualité, on a recours cependant également à des liquides de base synthétiques comme les polyalphaoléfinés et les esters. Pour des formulations très modernes et dégageant peu de fumée, on utilise en supplément des polybutènes. Dans le cas d'huiles moteurs 2 temps rapidement biodégradables destinées à des moteurs de hors-bord (plus de 80% selon méthode de CEC L-33-A-93), on utilise exclusivement des esters synthétiques.

Comme additifs, on utilise principalement des détergents, des dispersants et des additifs anticorrosifs et antirouille.

7.4 Classes de viscosité

Il n'y a pas de spécifications de viscosité pour les huiles moteurs 2 temps. En général, ce sont des huiles des classes de SAE 20, 30 ou 40.

7.5 Classes de rendement

Comme pour les huiles moteurs 4 temps, il existe dans ce domaine également différentes marches d'essai normalisées pour les moteurs qui sont destinées à évaluer les performances de ces lubrifiants.

Jusqu'à une date récente, on a eu recours également à des classes A.P.I. pour évaluer les performances des huiles moteurs 2 temps. Ce système a été remplacé cependant par la spécification JASO. JASO est l'abréviation pour "Japanese Automotive Standards Organisation", à laquelle adhèrent tous les principaux constructeurs de moteurs japonais. La spécification de JASO a été développée pour des moteurs 2 temps de motos refroidis par air et par eau. On évalue les critères suivants :

- **Pouvoir lubrifiant** (usure du piston et du segment, comportement au démarrage à froid)
- **Comportement aux détergents** (propreté du piston, de la rainure de segment, de la chambre de combustion, des bougies, pas de gommage du segment)
- **Blocage du système d'échappement** (accumulation de calamine)
- **Fumée d'échappement** (prévention de la formation de fumée)

En supplément des classes de JASO, les constructeurs européens de moteurs 2 temps ont mis au point une spécification Global, étant donné que les performances de moteur des classes de JASO ne sont pas suffisantes pour des moteurs 2 temps exigeants comme ceux utilisés par exemple sur des scies à chaîne. Il existe trois catégories de JASO et trois catégories de Global pour les huiles moteurs 2 temps, qui sont regroupées dans le tableau 13.

Catégorie de JASO	Catégorie de Global	Exigences
FA		légère
FB	EGB	moyenne
FC	EGC	élevée + absence de bruit
	EGD	très élevée + absence de bruit

Tableau 13: Classes de performances des huiles 2 temps

Ni les classes de JASO ni les classes de Global ne sont valables pour les huiles moteurs de hors-bord. Celles-ci sont décrites dans la spécification NMMA TC-W3, étant donné qu'on a imposé des exigences spéciales à ces huiles en raison de la densité de puissance élevée des moteurs de hors-bord. Les méthodes d'essai de moteurs sont adaptées exactement à ces exigences. La NMMA est l'abréviation pour "National Marine Manufacturers Association", l'association de constructeurs américains de moteurs pour la marine.

8. Huiles à engrenages pour véhicules

8.1 Introduction

Les engrenages situés sur la branche d'entraînement des véhicules doivent permettre des conditions d'adaptation optimales entre le régime moteur et le régime des roues. Ce résultat est obtenu par des boîtes de vitesses à commande manuelle ou des boîtes de vitesses automatiques et des entraînements d'essieux. Sur les moteurs longitudinaux, le flux de force doit être dévié de 90°. Ce résultat est obtenu par une couronne de différentiel et une roue conique dans l'engrenage de la roue. Des engrenages de différentiel ou un différentiel (intégrés dans l'entraînement de l'essieu) équilibrent des régimes de roues différents dans les virages.

8.2 Fonctions

- **Lubrification** de pièces glissant l'une sur l'autre / effectuant un mouvement de déroulement
- **Refroidissement** par évacuation de la chaleur vers le carter de boîte de vitesses
- **Transmission de force** sur les flancs de dents
- **Protection anticorrosion**
- **Commande hydraulique** des passages de vitesses (pour les huiles de boîtes automatiques)

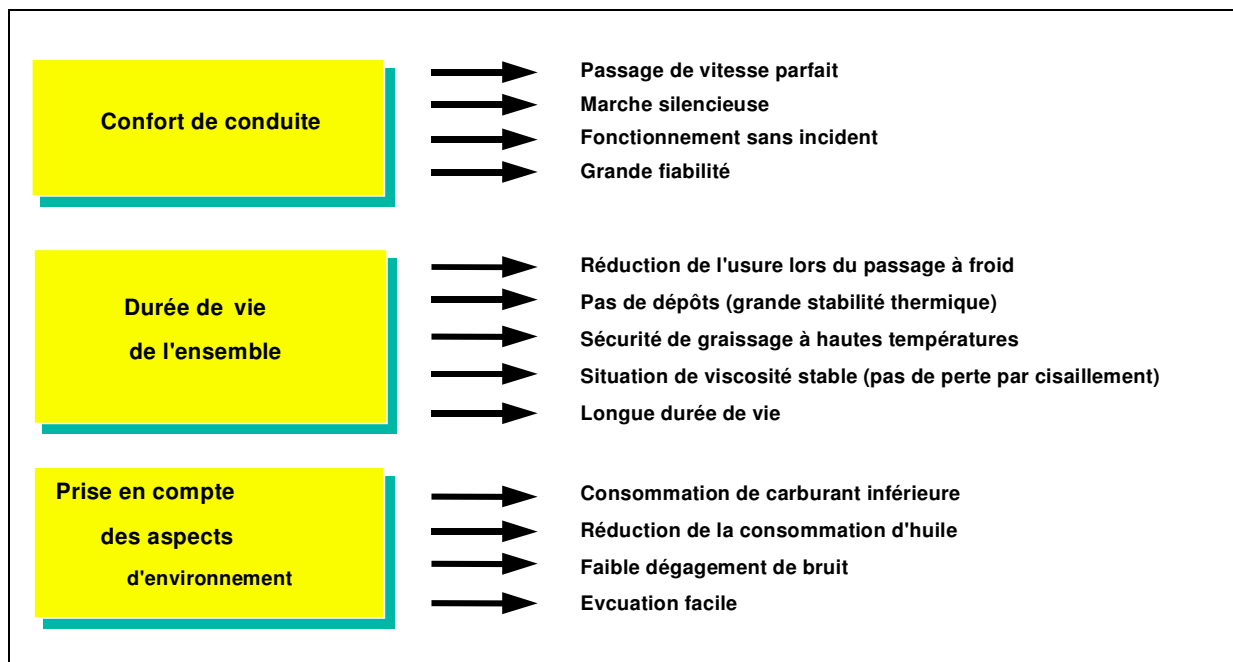


Figure 17 : Exigences imposées aux huiles pour boîtes et engrenages

8.3 Exigences imposées aux huiles pour boîtes de vitesses à commande manuelle et engrenages d'essieux

Les exigences imposées aux huiles à engrenages peuvent être regroupées sous les termes confort de conduite, durée de vie de l'ensemble et prise en compte des aspects d'environnement. On en déduit les différents critères qui sont nécessaires pour le fonctionnement parfait d'un engrenage (figure 17).

8.4 Exigences imposées aux huiles de boîtes automatiques (Automatic Transmission Fluids, ATF)

Du fait de leur utilisation, il apparaît pour les huiles ATF des exigences très spécifiques qui peuvent être déduites de la façon suivante selon les spécifications General Motors Dexron et Ford Mercon :

- **Grande constance du coefficient de frottement** pendant toute la durée du séjour pour un changement de vitesse optimal.
- **Excellente stabilité au vieillissement** pour de longs intervalles de vidange.
- **Bonne tenue viscosité-température** afin de garantir un parfait fonctionnement avec un moteur chaud et un moteur froid.
- **Compatibilité d'étanchéité suffisante** avec différents élastomères pour que ceux-ci ne gonflent pas, ne rétrécissent pas et ne se fragilisent pas.

8.5 Structures

Comme liquides de base, on peut utiliser des produits raffinés de pétrole, des huiles d'hydrocraquage ou des liquides de synthèse, qu'il s'agisse de polyalphaoléfinés ou d'esters. Dans certains cas, on utilise également des polyglycols, qui présentent cependant le gros inconvénient qu'ils ne sont pas miscibles avec les autres liquides de base cités.

Afin d'obtenir des performances suffisantes, les huiles à engrenages doivent également être complétées avec des additifs de façon optimale en fonction des exigences de qualité. La différence par rapport aux huiles moteurs dans le choix concerne surtout les additifs pour haute pression (Extreme Pressure), qui ne sont guère présents dans les huiles moteurs ou ne le sont que dans de très faibles quantités. D'un autre côté, les additifs détergents dispersants font défaut dans les huiles à engrenages.

La viscosité d'une huile à engrenages est fonction généralement de son utilisation. Ce sont les huiles pour boîtes automatiques qui présentent la plus faible viscosité (pour comparaison environ 70W), suivies des huiles pour boîtes de vitesses à commande manuelle, alors que les huiles pour engrenages d'essieu arrière sont sensiblement plus visqueuses à la température de service.

8.6 Classes de performances

Les performances des huiles à engrenages pour les véhicules sont décrites par la classification de API (tableau 14). Les constructeurs européens ne sont pas encore arrivés jusqu'à présent à se mettre d'accord sur un cahier des charges commun, et il existe donc dans ce secteur à nouveau différentes spécifications maison entre autres de Ford, MAN, Mercedes-Benz, Volkswagen, Volvo et ZF.

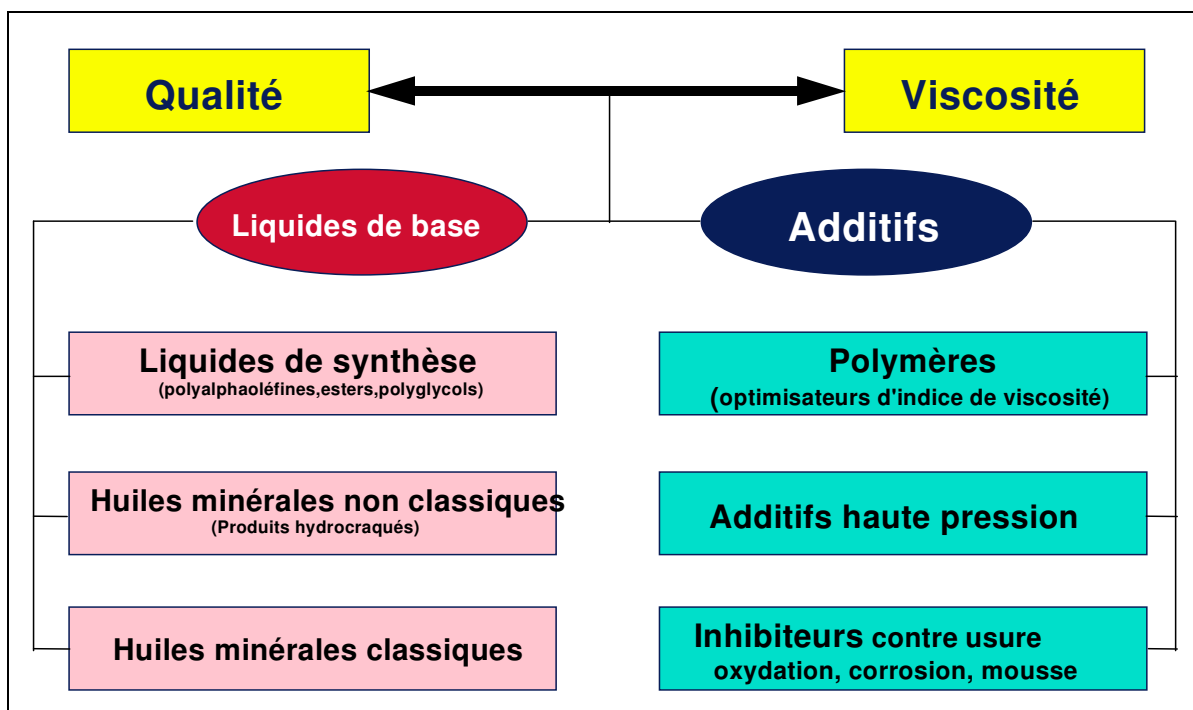


Figure 18: Structure schématique des huiles à engrenages

Classe de API	Conditions d'utilisation	Type d'utilisation	Additifs
GL-1	facile	Boîtes de vitesses peu sollicitées	non alliés
GL-2	moyenne	Transmissions industrielles et engrenages à vis sans fin	spéciaux
GL-3	moyenne	Boîtes de vitesses sollicitées normalement	doux haute pression
GL-4	moyenne à difficile	Boîtes de vitesses très sollicitées Engrenages hypoïdes peu sollicités	Moyenne haute pression
GL-5	difficile	Engrenages hypoïdes très sollicités Boîtes de vitesses si prescrit ou autorisé	Forts haute-pression

Tableau 14 : Classes de performances de API

9. Liquides de frein

9.1 Introduction

Le mode de fonctionnement du système de freinage est basé sur le principe de la transmission de pression par un agent liquide. Cet agent s'appelle "liquide de frein hydraulique". Le liquide de frein est le seul lien efficace entre le pied sur la pédale de frein sur un véhicule et le groupe de freinage sur chaque roue.

9.2 Fonctions

Le liquide de frein assume la transmission des forces envoyées dans le cylindre de frein principal au cylindre de frein de roue et aux étriers de frein. Le liquide de frein est un élément de construction important pour le véhicule, et ses propriétés jouent un rôle important pour la conception de l'installation de freinage. Il doit donc répondre à un grand nombre d'exigences lorsqu'il doit fournir ses preuves dans la pratique.

9.3 Exigences

La liste ci-dessous n'a pas la prétention d'être exhaustive. On mentionne seulement les points qui semblent particulièrement importants pour l'utilisateur dans l'utilisation pratique.

- **Point d'ébullition**

Le point d'ébullition devrait être le plus élevé possible afin d'empêcher la formation de bulles de vapeur, et donc la défaillance du frein, avec les températures qui apparaissent dans le système de freinage. Le point d'ébullition devrait rester constant dans la mesure du possible pendant la durée d'utilisation du liquide se trouvant dans le système, c'est-à-dire ne pas être modifié par des influences atmosphériques ou les conditions de service qui règnent.

- **Viscosité**

La viscosité devrait être la plus faible possible dans le froid et la plus élevée possible dans la chaleur. On exige donc une tenue viscosité-température la plus favorable possible (indice de viscosité élevé).

- **Protection anticorrosion**

Une bonne protection anticorrosion par rapport aux composants métalliques de l'installation de freinage est particulièrement importante, car elle influe de façon déterminante sur leur durée de vie.

- **Propriétés de lubrification**

De bonnes propriétés de lubrification sont nécessaires pour protéger de l'usure les pièces qui sont en déplacement dans le système de freinage les unes par rapport aux autres, en particulier les joints.

- **Compatibilité avec l'élastomère**

On exige une interaction définie avec les pièces élastomères dans l'installation de freinage, qui peuvent gonfler seulement légèrement sous l'influence du liquide de frein (en particulier avec un effet à long terme), mais ne doivent en aucun cas rétrécir.

- **Compressibilité**

La compressibilité devrait être faible et la moins dépendante possible de la température et de la pression.

- **Stabilité à l'oxydation**

Le liquide de frein ne devrait pas vieillir ni s'évaporer et rester le plus stable possible à toutes les températures et avec toutes les influences que l'on peut trouver dans le système de freinage.

9.4 Structure

La composition chimique d'un liquide de frein doit être choisie de façon à garantir un rendement et une sécurité optimum. La nature et la qualité des divers composants déterminent les propriétés choisies d'un liquide.

9.4.1 Liquides de base

Au niveau mondial, quatre groupes de produits se sont imposés qui sont utilisés pour la fabrication de liquides de frein et servent en premier lieu de lubrifiants. Ces groupes sont les suivants :

- Ethers de polyglycol avec/sans esters de borate
- Huiles minérales
- Esters de silicium
- Huiles de silicone

Les liquides de frein à base d'éthers de polyglycol et de leurs dérivés les esters de borate, occupent de loin la plus grosse part sur le marché mondial. Certains systèmes de freinage exigent encore l'utilisation d'huiles minérales. Les esters de silicium sont utilisés principalement dans la course automobile en raison de leur point d'ébullition élevé. La diffusion des huiles de silicone se limite principalement aux Etats-Unis, où ces produits sont utilisés sur de nombreux véhicules militaires.

Pour fabriquer les liquides de frein à base d'éther de polyglycol, on utilise également les trois composants suivants :

9.4.2 Diluants à solvants

Un système de freinage, qui contiendrait uniquement de l'éther de polyglycol avec ou sans esters de borate, ne fonctionnerait plus à de basses températures en raison de la viscosité trop élevée. C'est pourquoi il est nécessaire de diluer le lubrifiant avec un produit à faible viscosité. Ce diluant doit dissoudre en plus tous les autres composants, de sorte qu'on obtient un système à phase unique pour toutes les températures. Les éthers de glycol sont les diluants à solvants les plus utilisés.

9.4.3 Agents modifiants

Comme on l'a déjà mentionné au chapitre 8.3, il est nécessaire d'avoir une certaine proportion de gonflement du caoutchouc. Comme le diluant à solvant a une tendance prononcée à faire gonfler le caoutchouc, il faut ajouter des agents modifiants pour contrôler ce phénomène. A cet effet, on utilise des glycols. Les glycols peuvent être appelés également agents de solubilisation parce qu'ils facilitent la dissolution des inhibiteurs (voir plus loin),

agissent comme solvants pour le lubrifiant et optimisent la compatibilité avec l'eau du liquide de frein.

9.4.4 Inhibiteurs

Dans un liquide de frein, ces inhibiteurs doivent empêcher non seulement la corrosion des métaux dans le système de freinage, mais également l'oxydation du liquide de frein même. Ces deux types d'inhibiteurs sont indispensables pour un rendement et une stabilité satisfaisants à long terme dans le système de freinage hydraulique.

9.5 Spécifications

Pour la description des liquides de frein synthétiques et des huiles de silicone, il existe diverses spécifications qui sont déduites de la norme américaine de SAE J1703. Le Department of Transport (DOT) des Etats-Unis a édité une norme fédérale dans laquelle on prescrit les performances minimales des liquides de frein, leur conditionnement et également le marquage des récipients. Cette norme fédérale s'appelle "Federal Motor Vehicle Safety Standard 116" et permet l'utilisation des liquides de frein synthétiques et des huiles de silicone ci-dessous :

- DOT 3 Base éthers de polyglycol
- DOT 4 Bases éthers de polyglycol / esters de borate ou esters de silicium
- DOT 5 Huiles de silicone
- DOT 5.1 Bases éthers de polyglycol / esters de borate ou esters de silicium

Aussi bien les prescriptions de SAE que les différentes spécifications de DOT contiennent les différentes exigences et méthodes d'essai qui sont imposées pour les liquides de frein. Les caractéristiques de différenciation des trois liquides de frein synthétiques à base d'éther de polyglycol sont regroupées dans le tableau 15.

Exigence / Spécification	DOT 3	DOT 4	DOT 5.1
Point d'ébullition à sec (°C)	min. 205	min. 230	min. 260
Point d'ébullition à l'état humide (°C)	min. 140	min. 155	min. 180
Viscosité à -40°C (mm ² /s)	max. 1500	max. 1800	max. 900

Tableau 15 : Caractéristiques de différenciation des liquides de frein

Les exigences minimales / spécifications pour des liquides de frein à base d'huile minérale sont éditées par les constructeurs automobiles respectifs, par exemple Citroën, Jaguar, Rolls Royce.

9.6 Conseils pratiques

■ **Miscibilité**

Les liquides de frein DOT 3, 4 et 5.1 peuvent être mélangés complètement avec tout autre liquide de frein qui appartient à la même catégorie, parce que les normes DOT contiennent une clause de compatibilité.

Si l'on mélange un liquide de frein ayant un point d'ébullition élevé avec un liquide de frein à faible température d'ébullition, les propriétés et performances du liquide de frein supérieur en qualité sont réduites.

Les mélanges entre liquides de frein à base d'éthers de polyglycol et ceux à base d'huile minérale ou d'huiles de silicone ne sont pas autorisés. Les huiles minérales et huiles de silicone ne sont pas non plus miscibles. De même, on ne conseille pas de mélanger des liquides de frein à base d'huile minérale de différents constructeurs automobiles.

■ **Couleur**

La couleur naturelle d'un liquide de frein est généralement jaune. L'addition de colorants dans le but de colorer le liquide en rouge, vert, bleu, etc., a uniquement un objectif principal, celui de pouvoir différencier une marque d'une autre. La couleur d'un liquide de frein ne donne aucun renseignement sur ses qualités.

■ **Conservabilité**

Les liquides de frein devraient pouvoir être stockés jusqu'à 5 ans dans des fûts métalliques d'origine fermés.

■ **Influence de l'eau, hygroscopicité**

Par hygroscopicité, on entend la propriété d'un liquide à attirer l'humidité contenue dans l'environnement. Ceci aboutit à ce que le liquide de frein continue toujours de s'enrichir en eau, ce qui entraîne un abaissement du point d'ébullition. L'expérience montre que le point d'ébullition ne devrait pas être inférieur à 155°C, afin de ne pas faire courir un risque au bon fonctionnement du liquide de frein. Ce risque est réduit considérablement si on utilise des liquides de frein de meilleure qualité, par exemple un DOT 5.1. La figure 19 montre le point d'ébullition en fonction de la teneur en eau.

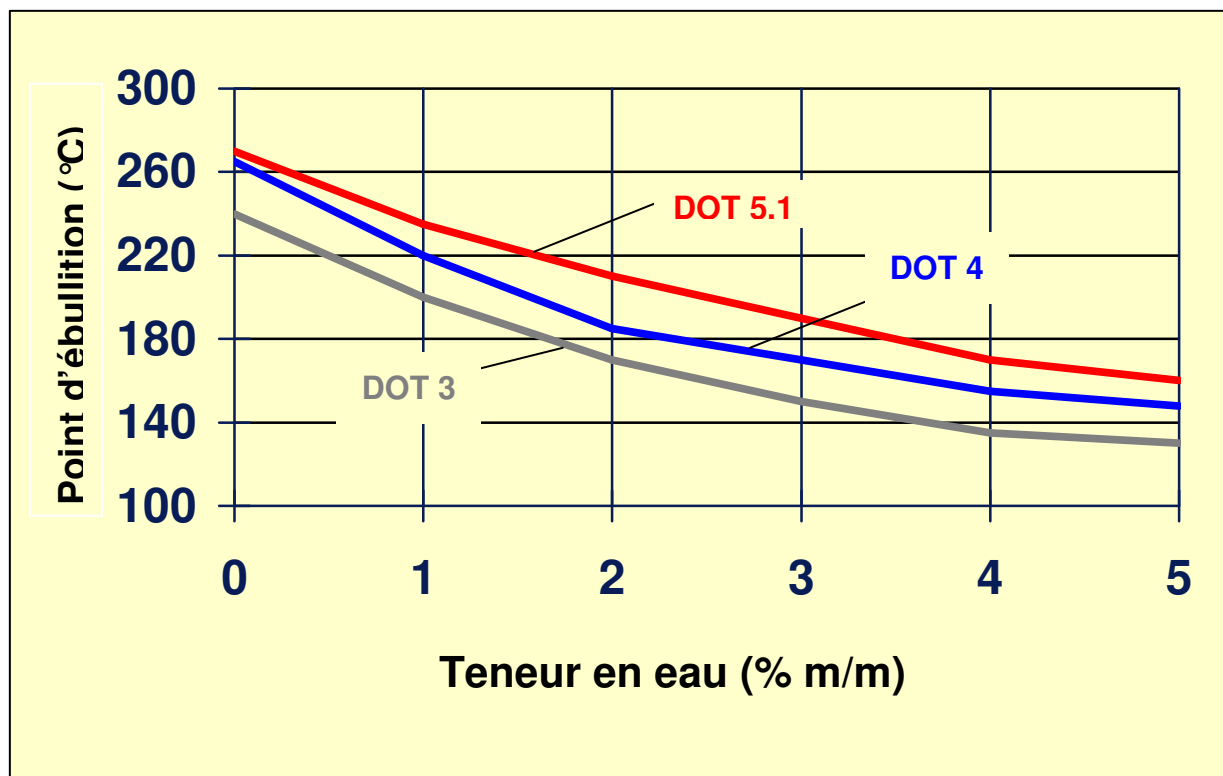


Figure 19 : Point d'ébullition de différents liquides de frein en fonction de la teneur en eau

10. Fluides hydrauliques

10.1 Introduction

La transmission de l'énergie et de la force d'une unité à l'autre est d'une importance maximale dans l'univers industriel moderne. Dans les secteurs techniques, les tâches les plus diverses sont donc résolues à l'aide d'installations hydrauliques. Le fluide hydraulique est un élément d'importance vitale de ces installations. Leurs propriétés et leur état avant et pendant leur utilisation jouent également un rôle déterminant pour la durée de vie allongée et le rendement optimum du fluide hydraulique.

L'hydraulique joue un rôle essentiel dans la construction mécanique actuelle. La raison de cette importance réside dans ses grands avantages tels qu'une manipulation simple, une bonne facilité de réglage, une conversion simple d'un mouvement droit en un mouvement rotatif et une transmission de force sans à-coups.

Il ne faut pas oublier également l'énorme déploiement de forces dans un espace comparativement réduit, qui peut être occasionné en quelques fractions de secondes pratiquement sans phase de démarrage, et l'exceptionnelle fiabilité de ces installations.

10.2 Fonctions

Comme liquides de service pour la transmission de force hydrostatique et hydrodynamique, on utilise aujourd'hui encore principalement des huiles minérales. On utilise d'autres liquides uniquement dans des cas spéciaux en cas d'exigences particulières, par exemple en cas de recouvrement d'une large plage de températures pour des raisons de protection de l'environnement ou dans le cas d'une exigence d'une ininflammabilité.

Pour l'adaptation aux états et conditions de service respectifs, on utilise, comme on l'a déjà mentionné, des huiles minérales de structure et de viscosité différentes avec des additifs qui doivent répondre aux fonctions et exigences suivantes :

- Transmission de pression et de mouvement avec de très faibles pertes et sans modifier leur volume sous pression
- Obtention d'une bonne capacité de charge entre les éléments de glissement déplacés et donc réduction du frottement et de l'usure
- Protection de surfaces métalliques lubrifiées, même pendant de longues durées d'immobilisation de l'installation, vis-à-vis d'une agression corrosive et d'une destruction.
- Evacuation de la chaleur occasionnée lors de la conversion de l'énergie
- Etanchéité entre les éléments de machines

10.3 Exigences

Comme documents de base pour les exigences imposées aux fluides hydrauliques, on applique, tout du moins dans la zone européenne, la norme DIN 51524 avec les pages 1, 2 et 3. Pour que les fluides hydrauliques puissent répondre aux multiples fonctions dans la pratique, ils doivent présenter les propriétés suivantes :

- Possibilité d'utilisation sur une large plage de températures (bonne tenue au froid, indice de viscosité suffisant)
- Insensibilité vis-à-vis de l'oxydation (vieillessement), de sorte que le pouvoir lubrifiant est conservé pendant une durée d'utilisation prolongée.
- Bonne stabilité du volume, c'est-à-dire suppression de la formation de mousse sans porter préjudice à l'aptitude au dégagement d'air.
- Comportement neutre vis-à-vis de tous les matériaux – aucune agressivité vis-à-vis des métaux et des élastomères.
- Séparation rapide de l'humidité ou de l'eau pénétrée du fluide hydraulique, de sorte qu'il n'apparaît pas de formation d'émulsion inopportune.
- Bon pouvoir nettoyant pour que les impuretés contenues dans les fluides hydrauliques usagés ne se déposent pas sur les organes de commande et de réglage, etc.

10.4 Structure

Les fluides hydrauliques sont conçus à partir de liquides de base et d'additifs. Le choix du liquide de base (type) et celui des additifs (type et quantité) dépendent directement des exigences différentes imposées aux liquides de service qui doivent être adaptés à l'ensemble hydraulique à lubrifier.

Les types suivants de liquides de base sont disponibles pour la fabrication de fluides hydrauliques :

- Huiles minérales à base de paraffine avec un indice de viscosité d'environ 100.
- Huiles minérales à base de naphène avec une excellente tenue aux basses températures
- Huiles hydrocraquées avec un indice de viscosité jusqu'à 145
- Esters naturels (huiles végétales – triglycérides)
- Polyalphaoléfines (hydrocarbures synthétiques)
- Esters synthétiques
- Polyglycols

Dans les additifs, le choix est encore plus grand. L'effet des additifs est fonction d'une part de la concentration et d'autre part également de la combinaison des additifs entre eux (effet synergétique). Cependant, il existe également le risque que certains types d'additifs ne soient pas compatibles entre eux (effet antagoniste), ce qui doit être pris en considération lors du développement. Le tableau 16 donne des informations sur les principaux additifs et leur fonction, qui sont utilisés pour la fabrication de fluides hydrauliques.

10.5 Subdivision

La subdivision des fluides hydrauliques peut se faire selon différents points de vue, par exemple des groupes de produits, des domaines d'application, selon des aspects d'ininflammabilité ou selon des concepts écologiques tels que la biodégradabilité ou la classe de risque pour l'eau. La subdivision la plus courante actuellement se fait selon le schéma suivant :

- Fluides hydrauliques à base d'huile minérale
- Fluides hydrauliques ininflammables (sans importance en Suisse, donc non traités)
- Fluides hydrauliques biodégradables

Type d'additif	Fonction
Inhibiteurs d'oxydation	Réduisent et retardent le vieillissement
Additifs pour la protection anticorrosion	Empêchent et réduisent la corrosion et la formation de rouille sur des surfaces métalliques
Inhibiteurs pour des métaux non ferreux	Réduisent la corrosion de matériaux contenant du cuivre
Additifs pour la protection contre l'usure (anti-wear)	Réduisent l'usure par abrasion avec des conditions moyennement difficiles, surtout en cas de sollicitations fixes
Additifs pour haute pression (Extreme Pressure)	Réduisent l'usure et le grippage dans des conditions difficiles, surtout également en cas de contraintes de choc
Modificateurs de frottement	Réduisent le frottement dans des conditions de frottement mixtes
Détergents / dispersants	Maintiennent en suspension les impuretés solides et l'eau avec une répartition très fine
Inhibiteurs de mousse	Réduisent la mousse superficielle
Réducteurs du point d'écoulement	Font baisser le point d'écoulement dans le cas d'huiles hydrauliques à base de paraffine
Optimisateurs d'indice de viscosité	Réduisent la dépendance viscosité/température

Tableau 16 : Additifs pour fluides hydrauliques

10.5.1 Fluides hydrauliques à base d'huile minérale

Les fluides hydrauliques à base d'huile minérale, appelés généralement huiles hydrauliques, sont le groupe le plus répandu en raison de leur possibilité d'utilisation universelle et du prix comparativement avantageux.

Afin de faciliter le choix des huiles hydrauliques sur un plan qualitatif, on a regroupé différents groupes de qualité dans les normes DIN 51502 et ISO 6743 partie 4 selon la classification du tableau 17.

10.5.2 Fluides hydrauliques biodégradables

La mobilité en constante progression et l'utilisation croissante de machines aboutissent à une charge de plus en plus grande pour l'environnement. Cette information s'est imposée entre-temps auprès de tous les intéressés, des constructeurs ainsi que des consommateurs de produits lubrifiants.

Groupe de produits	Symboles selon DIN 51502	Symboles selon ISO 6743 partie 4
Huiles hydrauliques sans additifs	H	HH
Huiles hydrauliques avec inhibiteurs d'oxydation et additifs anticorrosion	HL	HL
Huiles hydrauliques HL avec additifs supplémentaires antiusure	HLP	HM
Huiles hydrauliques HLP/HM avec optimisateurs supplémentaires d'indice de viscosité	HVLP	HV

Tableau 17: Classification des huiles hydrauliques à base d'huile minérale

Le développement des lubrifiants, qui chargent moins l'environnement, dont en particulier les fluides hydrauliques, a fortement progressé depuis quelques années. Des règlements nationaux, comme par exemple en Autriche où l'on prescrit impérativement des huiles biodégradables pour des scies à chaîne, peuvent être d'une grande aide dans ce secteur. On devrait conseiller par principe de remplacer dans les secteurs d'utilisation critiques (zones de protection des eaux entre autres) des lubrifiants classiques par des produits biodégradables. La figure 20 présente la classification la plus courante actuellement de fluides hydrauliques biodégradables.

Cependant, on doit dire clairement que même des liquides biodégradables ne sont pas écologiques ; ils ne chargent l'environnement que dans une proportion plus faible que par exemple les huiles minérales. Ils doivent être évacués de façon réglementaire de la même façon que tous les autres lubrifiants. Même dans le cas d'un accident de pétrolier, on doit procéder comme pour une huile minérale : le liquide écoulé doit être recueilli et l'autorité compétente doit être informée.

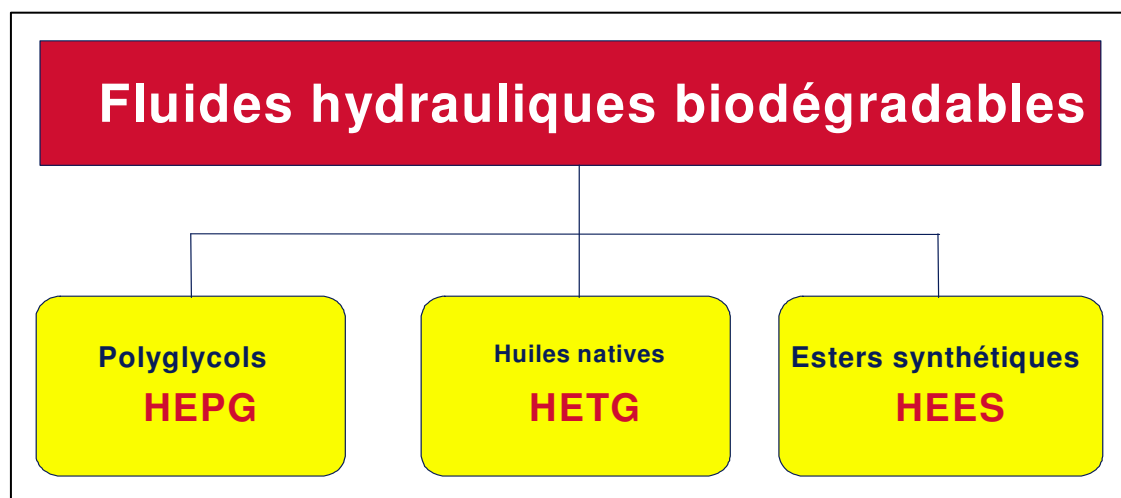


Figure 20 : Classification de fluides hydrauliques biodégradables

Les exigences minimales imposées à des fluides hydrauliques biodégradables sont consignées dans la fiche standard de VDMA 24568 et dans les propositions de ÖNorm C 2027 partie 4 et partie 5.

10.6 Spécifications

Pour être sûr qu'un groupe hydraulique est lubrifié sans problème et de façon fiable pendant toute la durée d'utilisation et peut remplir ainsi ses fonctions, on a créé différentes spécifications. Outre la norme de DIN 51 524 déjà mentionnée au chapitre 9.3, différents constructeurs ont publié également leurs propres règlements qui sont restitués de façon sommaire sur la figure 21.

- **Cincinnati Milacron P-68, P-69 et P-70**
- **Denison HF-0, HF-1 et HF-2**
- **US Steel 127 et 136**
- **Vickers I-286-S et M-2950-S**

Figure 21: Spécifications de constructeurs pour fluides hydrauliques

11. Huiles à engrenages pour l'industrie

11.1 Introduction

Les engrenages par roue dentée, par chaîne, par courroie et roue de friction servent à la transmission et à la conversion de régimes et de couples. Occasionnellement, on utilise également des convertisseurs hydrodynamiques électriques et des engrenages pneumatiques. Cependant, les engrenages par roue dentée sont de loin les plus utilisés. Les engrenages par roue dentée comprennent au moins deux arbres, au moins deux roues dentées engrenées entre elles ainsi que les paliers et éléments d'étanchéité nécessaires. Les arbres sont reliés entre eux par un cadre ou une traverse, généralement dans un carter.

La durée du vie d'un engrènement est déterminée par 4 facteurs, à savoir :

- la résistance à l'usure, déterminée par le matériau de la roue dentée, la rugosité de surface, le lubrifiant et les impuretés dans le système
- la résistance de rupture en fonction du matériau de la roue dentée, des caractéristiques de l'engrenage et des forces transmises
- la résistance à la cavitation (piqûre) qui peut être influencée par la dureté des roues dentées et dans certaines limites par le lubrifiant
- la résistance au grippage en fonction des caractéristiques de l'engrenage, du matériau de la roue dentée, du lubrifiant et des conditions de service

11.2 Fonctions

Les fonctions principales du lubrifiant sont les suivantes :

- Réduire le plus largement possible le frottement et l'usure sur les flancs de dents
- Prévenir la formation de piquûre
- Evacuer la chaleur de frottement qui se forme

Ces fonctions sont renforcées par le fait que les lubrifiants doivent garantir la sécurité d'exploitation des machines même avec des influences de températures extrêmes.

11.3 Choix

A partir des fonctions, il est important d'une part de connaître les "conditions d'environnement" dans lesquelles l'engrenage travaille et d'autre part de connaître les déroulements de mouvements qui apparaissent et les charges sur le flanc de dent.

Le choix des lubrifiants pour les engrenages à roue dentée dans le secteur industriel est consigné dans la norme DIN 51509 partie 1 "huiles lubrifiantes" et dans la norme DIN 51509 partie 2 "lubrifiants plastiques" (graisses et lubrifiants d'adhérence) et peut y être relu.

Pour le fonctionnement sûr d'engrenages à roue dentée, on dispose de six types différents de lubrifiants pour engrenages avec un additif différent (aucun/doux/fort), qui sont les suivants :

- Huiles minérales
- Huiles de synthèse
- Liquides de rodage
- Graisses à base d'huile minérale
- Graisses synthétiques
- Lubrifiants d'accrochage

11.4 Classification et spécification

11.4.1 Normes DIN

On mentionne huit types de lubrifiants dans les normes allemandes, dans lesquelles les exigences imposées à la lubrification sont fixées par des secteurs industriels (tableau 18)

11.4.2 Spécifications d'association et de sociétés

Différents constructeurs de secteurs industriels et la AGMA (American Gear Manufacturers Association) ont également défini des spécifications propres.

Viscosité / pénétration	Qualité des lubrifiants							
	Sans additifs pour haute pression					Avec additifs pour haute pression		
Classes de viscosité selon ISO 3448 /classes de NLGI selon DIN 51818	Huiles lubrifiantes L-AN DIN 51 501	Huiles lubrifiantes DIN 51510	Huiles lubrifiantes B DIN 51513	Huiles lubrifiantes L-TD DIN 51 515	Huiles lubrifiantes C & C-L DIN 51517 Parties 1 et 2	Huiles lubrifiantes C-LP DIN 51 517 Partie 3	Graisses lubrifiantes K DIN 51825	Graisses lubrifiantes G DIN 51826
VG 5	•				•			
VG 7	•				•			
VG 10	•				•			
VG 15			•					
VG 22	•		•		•			
VG 32	•		•	•	•			
VG 46	•		•	•	•	•		
VG 68	•		•	•	•	•		
VG 100	•		•	•	•	•		
VG 150	•				•	•		
VG 220	•		•		•	•		
VG 320	•		•		•	•		
VG 460			•		•	•		
VG 680	•	•			•	•		
VG 1000		•						
VG 1500		•						
NLGI 000								•
NLGI 00								•
NLGI 0							•	•
NLGI 1							•	•
NLGI 2							•	
NLGI 3							•	
NLGI 4							•	

Tableau 18: Exigences imposées aux lubrifiants industriels.

12. Réfrigérants lubrifiants

12.1 Introduction

Les réfrigérants lubrifiants sont utilisés aussi bien pour l'usinage que pour le formage de métaux. Un grand nombre de facteurs influe ici sur la rentabilité du travail des métaux.

Parallèlement aux influences qui proviennent du matériau de la pièce, de l'outil et de la machine-outil, les réfrigérants lubrifiants entraînent dans de nombreux cas une rentabilité nettement plus avantageuse des processus de fabrication. La proportion dans laquelle le temps de fabrication et les frais de fabrication peuvent être réduits dépend naturellement toujours du bon choix et de la bonne application. Ainsi, il est d'une importance déterminante d'intégrer la valeur économique d'un réfrigérant lubrifiant, en plus des propriétés techniques et certainement importantes, dans le calcul de rentabilité.

12.2 Fonctions

Outre l'évacuation des copeaux (effet de lavage) et la protection anticorrosion temporaire, la fonction principale des réfrigérants lubrifiants consiste à contrôler les températures de coupe des outils. C'est pourquoi un réfrigérant lubrifiant a deux fonctions principales dans la zone de contact :

- **Réfrigération et lubrification**

Réfrigération pour évacuer la chaleur qui se forme et lubrification pour réduire le frottement. Tous les effets réunis constituent l'élément de base de l'utilisation de réfrigérants lubrifiants (figure 22).

On en déduit que, dans le cas de très grandes quantités de chaleur à évacuer, comme celles qui se forment avec des vitesses de coupe élevées, on utilise de façon appropriée des réfrigérants lubrifiants mélangés à de l'eau.

Les réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau sont utilisés dans le cas d'un travail difficile et lent, pour lequel il s'agit principalement de lubrification et de réduction de frottement.

L'appréciation de la question de savoir si un réfrigérant lubrifiant remplit ses fonctions optimales pour un processus de fabrication intervient en général selon les critères suivants :

- durées de vie de l'outil et
- qualité de surface et précision dimensionnelle des pièces travaillées

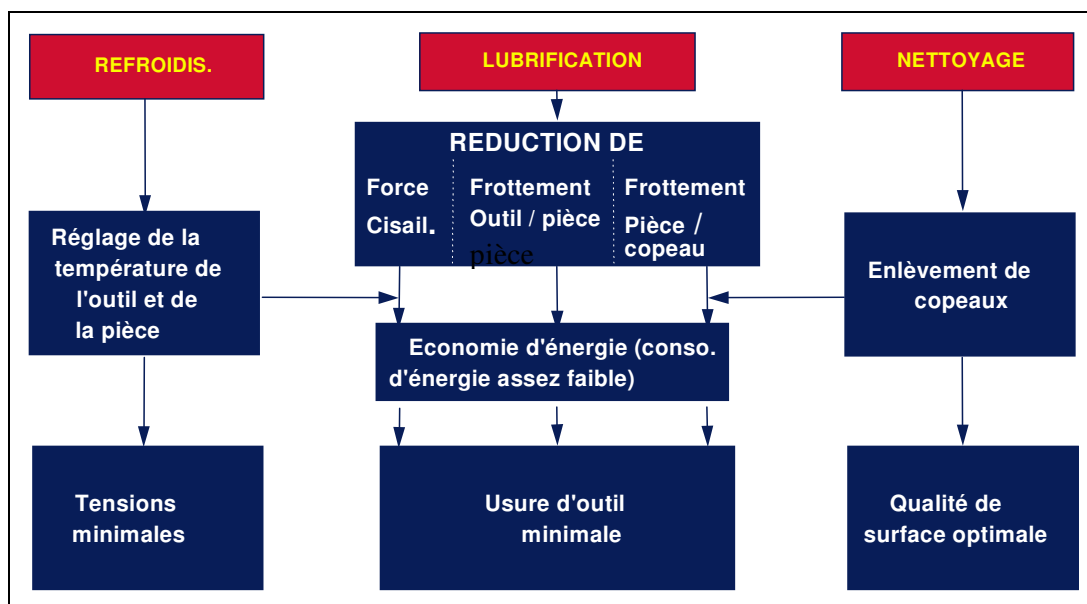


Figure 22 : Fonctions des réfrigérants lubrifiants

12.3 Structure

Pour la fabrication de réfrigérants lubrifiants, on peut utiliser les liquides de base les plus divers, soit individuellement soit en combinaison entre eux. Il s'agit des produits suivants :

- Huiles minérales classiques
- Huiles d'hydrocraquage
- Huiles végétales et animales
- Liquides synthétiques (polyalphaoléfines, esters, polyglycols)

Dans de nombreux cas, ces liquides de base ne peuvent pas répondre à eux seuls aux exigences de la pratique, en particulier lors du processus d'enlèvement de copeaux. Pour améliorer le rendement, on ajoute donc des additifs. Le choix des additifs intervient selon l'utilisation. Le tableau 19 donne une vue d'ensemble des groupes d'additifs utilisés dans des réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau et miscibles à l'eau. Globalement, on peut admettre que plus de 300 substances individuelles sont utilisées dans des réfrigérants lubrifiants.

Dans le choix des composants (liquides de base et additifs), des exigences et des prescriptions toxicologiques et écologiques jouent un rôle croissant. Tout fabricant de réfrigérants lubrifiants porte une grande responsabilité à cet égard en ce sens qu'on n'utilise que des composants qui ne portent pas préjudice à la santé. Différents produits (huiles minérales avec une teneur trop élevée en aromates polycycliques, phénols, chloroparaffines, amines secondaires, nitrite) ne sont donc plus utilisés ou pratiquement plus utilisés. Ces substances peuvent être remplacées aujourd'hui dans presque tous les cas par des produits améliorés ou d'autres produits, sans propriétés préjudiciables dans la pratique.

Type d'additif	Réfrigérant lubrifiant non miscible à l'eau	Réfrigérant lubrifiant miscible à l'eau
Additifs pour haute pression (EP)	X	X
Additifs anti-usure	X	X
Optimisateur du pouvoir lubrifiant (agents actifs polaires)	X	X
Inhibiteurs d'oxydation	X	
Inhibiteurs de corrosion	X	X
Additifs anti-brouillard	X	
Agents antimousse	X	X
Stabilisateurs / nébuliseurs		X
Emulsifiants		X
Bactéricides / Fongicides		X
Déodorants	X	
Colorants	X	X

Tableau 19 : les additifs dans les réfrigérants lubrifiants

12.3.1 Réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau

La composition des réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau est fonction de la difficulté de l'opération à effectuer. On peut remédier à des exigences différentes avec des mesures différentes. Cette opération peut être contrôlée par la viscosité ou ensuite par l'ajout d'additifs.

Pour de simples opérations de traitement, on utilise généralement des huiles sans additifs. Pour des opérations de difficulté moyenne, par exemple sur des tours automatiques, on utilise des huiles avec des substances grasses. Les opérations de traitement difficiles telles que le brochage exigent une huile peu visqueuse et très chargée en additifs avec des additifs pour haute pression à base de composés de chlore, de phosphore ou de soufre. Les huiles à faible viscosité comportant des fractions assez faibles d'additifs sont utilisées pour le meulage ou le honage. Outre ces additifs pour haute pression (appelés en anglais additifs Extreme Pressure ou en abrégé additifs EP), qui sont achetés pour avoir une performance suffisante de l'huile pour le traitement de la surface des métaux, on utilise cependant également des additifs pour la protection contre le vieillissement (inhibiteurs d'oxydation), contre la corrosion, la formation de mousse et de brouillard et à la rigueur contre une odeur trop forte.

12.3.2 Réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau

Ils ont une composition nettement plus complexe que les huiles pour le traitement de la surface des métaux, en particulier les produits à haute performance contiennent un nombre nettement plus grand d'additifs différents, afin qu'ils puissent répondre aux exigences qui leur sont imposées. Ils sont conçus de façon qu'ils doivent être ajoutés à l'eau avant leur utilisation.

Dans le cas présent, l'émulsifiant en particulier joue un rôle important avec ces produits. Etant donné que l'huile et l'eau ne peuvent pas se mélanger, comme on le sait, cette substance est pratiquement le produit miracle et assure une liaison homogène. Une émulsion se compose de gouttelettes d'huile (concentré) qui sont en suspension dans l'eau. La nature ou le type de l'émulsion est un facteur critique pour l'évaluation des performances d'une émulsion. La différenciation des réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau repose donc principalement sur la teneur en huile définie selon le tableau 20. Dans le cas présent, on n'utilise pas de termes normalisés, mais des expressions qui se sont imposées au cours des dernières années dans la technique d'application et auprès du consommateur.

Type de réfrigérant lubrifiant	Teneur en huile minérale
Emulsion réfrigérante et lubrifiante classique (huile minérale ou huile végétale)	> 50 %
Emulsion réfrigérante et lubrifiante pauvre en huile minérale	5 - 50 %
Solution réfrigérante et lubrifiante synthétique	0

Tableau 20 : Différenciation des réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau

- **Les réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau et classiques** contiennent en général plus de 50% d'huile minérale. Les gouttelettes d'huile sont relativement grandes (jusqu'à 5 μ m) et cette structure aboutit à une émulsion laiteuse. Ces gouttelettes assez grandes entraînent de bonnes propriétés de lubrification et peuvent assister de façon efficace également des additifs EP. D'un autre côté, ces émulsions ont tendance à avoir une stabilité plus faible et exigent un meilleur contrôle.
- **Les réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau et pauvres en huiles minérales** sont une combinaison entre un réfrigérant lubrifiant classique et un réfrigérant lubrifiant entièrement synthétique. Ces concentrés présentent en général des teneurs en huile comprises entre 5

et 50%, et après la préparation avec de l'eau, il se forme une émulsion claire et opalescente. L'aspect transparent permet une observation exacte d'opérations de traitement précises, par exemple le meulage. De telles formulations tolèrent généralement une certaine contamination avec de l'huile de fuite. Certains des types décrits comme pauvres en huiles minérales sont des microémulsions véritables avec des grosseurs de gouttes proches de 1 μ m.

- **Les réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau et entièrement synthétiques** sont par définition des liquides chimiques qui ne contiennent pas d'huile minérale. Ce sont habituellement des solutions qui sont composées entièrement à base de produits chimiques solubles à l'eau, avec des esters synthétiques ou d'autres esters pour garantir la lubrification.

12.4 Classification

On dispose de trois normes DIN qui définissent les termes et les exigences minimales pour les réfrigérants lubrifiants.

Dans la norme DIN 51385, on définit les termes qui doivent être utilisés lors de l'utilisation de réfrigérants lubrifiants. Les réfrigérants lubrifiants sont subdivisés de façon approximative en deux groupes :

- Les réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau (huiles pour le traitement de la surface des métaux, Neat Oils) ont l'appellation "SN"
- Les réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau (Water Soluble Fluids) portent l'appellation "SE".

La norme DIN 51520 définit les exigences minimales et les appellations pour des réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau, et la norme DIN 51521 celles pour les réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau. Les figures 23 et 24 présentent la subdivision des réfrigérants lubrifiants selon les normes précitées sur la base de l'ajout d'additifs.

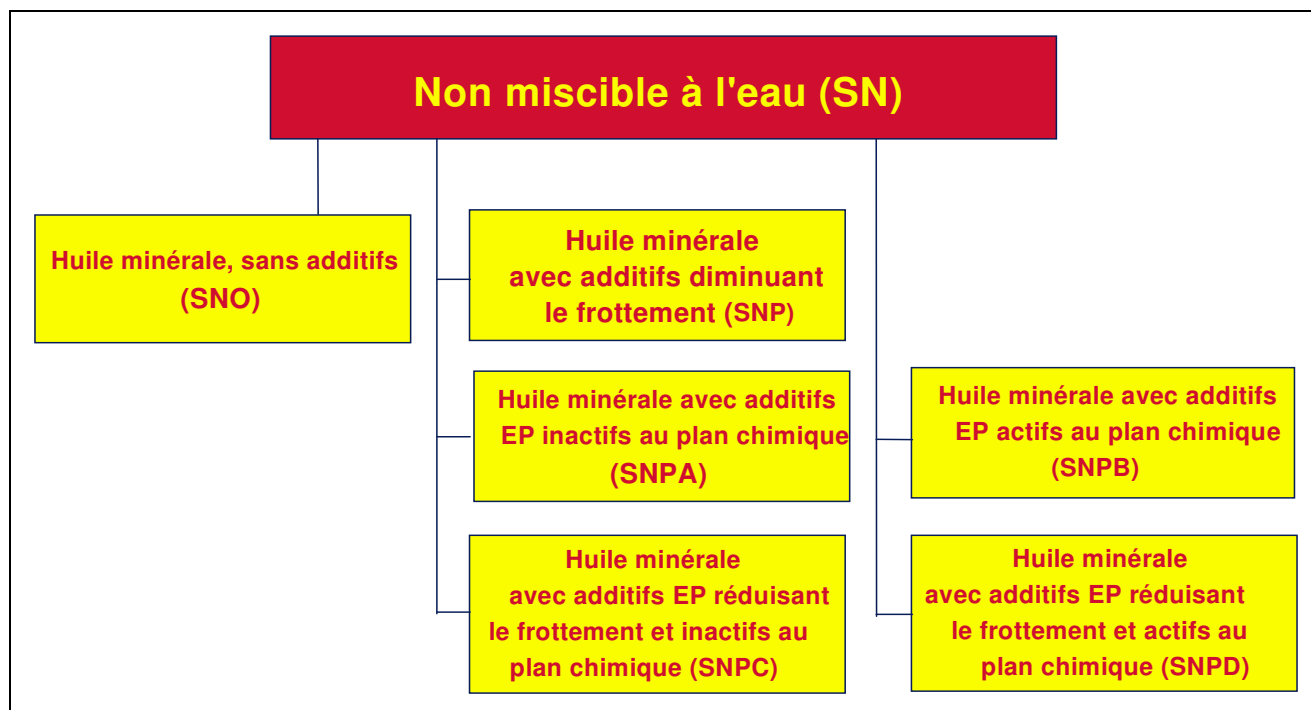


Figure 23 : Appellations de réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau

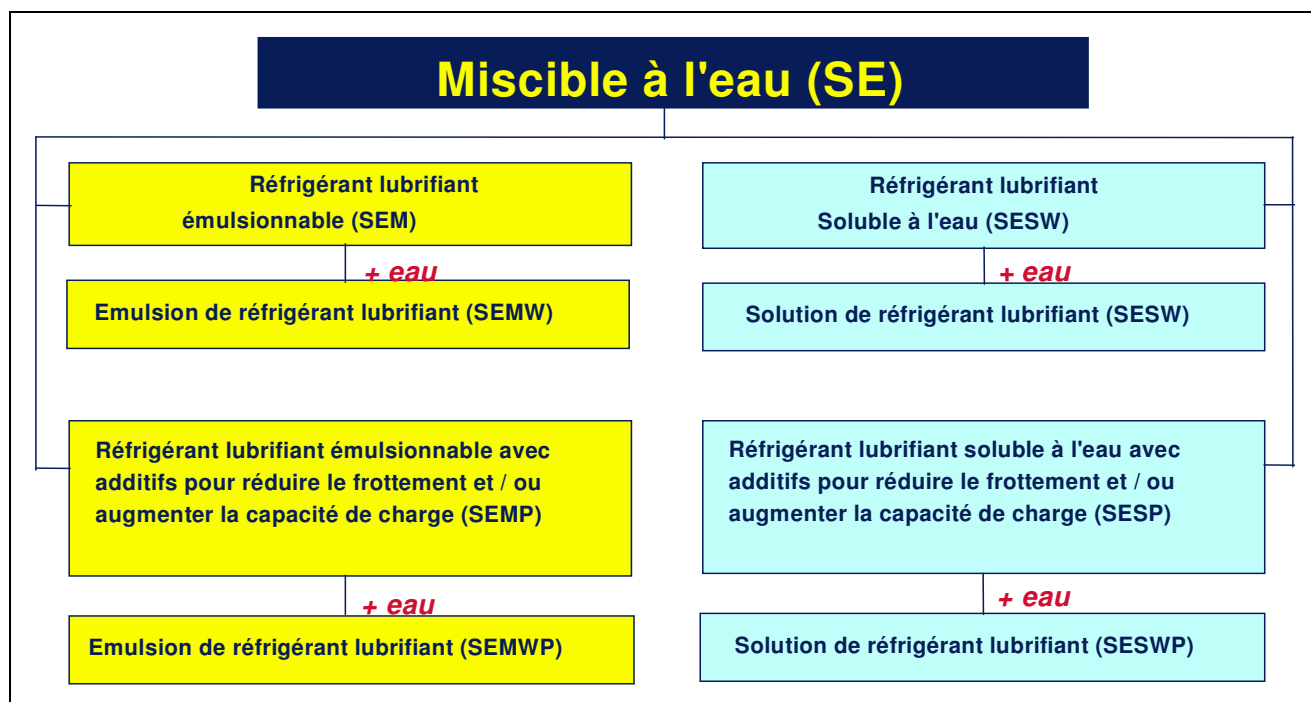


Figure 24 : Appellations de réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau

Les exigences minimales définies dans les normes DIN 51520 et 51521 sont basées sur des méthodes de laboratoire uniquement physiques et chimiques. Dans le tableau 21, on présente les tests qui sont prescrits.

Propriété	Réfrigérants lubrifiants non miscibles à l'eau	Réfrigérants lubrifiants miscibles à l'eau	Réfrigérants lubrifiants mélangés à l'eau
Couleur	x		
Densité à 20 °C	x	x	
Point d'inflammation	x		
Viscosité à 20 °C Viscosité à 40 °C Viscosité à 100 °C	si KV40 < 10 mm ² /s x x	x	
Indice de neutralisation	x		
Teneur globale en soufre	x		
Teneur en chlore	x	x	
Effet de corrosion sur le cuivre	x		
Indice de réfraction		x	
Teneur en huile minérale		x	
Teneur en eau		x	
Résistance			x
PH			x
Rapport de mélange			x
Protection anticorrosion			x
Teneur de la fraction précipitable avec de l'acide			x
Conductibilité électrique			x
Comportement des matériaux d'étanchéité			x
Effet sur le cuivre			x
Comportement à la mousse			x

Tableau 21 : Méthodes d'essai physico-chimiques

13. Graisses

13.1 Introduction

Il existe de nombreuses applications où les lubrifiants liquides ne conviennent pas parce qu'ils "dérivent" par rapport au point de graissage. On pense surtout aux paliers à roulement et paliers à glissement, aux engrenages ouverts, aux câbles métalliques ou aux entraînements par chaîne. Pour ces applications, on utilise des graisses lubrifiantes. Les graisses lubrifiantes sont des lubrifiants consistants et généralement à base d'huile minérale. Elles sont fabriquées dans une large plage de consistance et de pénétration qui va de liquide à suifeux en passant par pâteux.

13.2 Définition

Pour la définition des graisses lubrifiantes, il existe différentes versions. Les plus courantes sont reportées sur la figure 25.

Au plan physique, les graisses lubrifiantes font partie des dispersions, plus exactement des suspensions de solides dans des liquides. Il existe les définitions suivantes :

- Les graisses lubrifiantes sont des lubrifiants consistants qui sont à base d'huile minérale et/ou d'huile de synthèse et d'un épaississant. Elles peuvent contenir des additifs et / ou des lubrifiants gras (DIN 51825).
- Une graisse lubrifiante est une substance solide ou semi-fluide qui résulte de la dispersion d'un épaississant dans un lubrifiant liquide. Elle peut contenir d'autres composants qui confèrent des propriétés particulières (ASTM D 288).
- Les graisses lubrifiantes sont des lubrifiants fixés, c'est-à-dire qui ne coulent pas librement, et sont donc résistantes à un certain degré à des forces déformantes. Les graisses lubrifiantes sont des huiles lubrifiantes empêchées de dériver.
- Les graisses lubrifiantes sont au plan physique des suspensions colloïdales d'épaississants appropriés (phase solide) dans des huiles minérales et / ou des huiles de synthèse (phase liquide).

Figure 25 : Définition de graisses lubrifiantes

13.3 Fonctions

Les fonctions des graisses lubrifiantes peuvent être résumées de la façon suivante :

- Dégagement d'une quantité suffisante de lubrifiant liquide à partir de l'assemblage de graisses (séparation de l'huile) afin de réduire le frottement et l'usure sur de larges plages de températures et périodes (graissage à vie).
- Etanchéité vis-à-vis de l'eau et des produits abrasifs ; à cet effet, les graisses doivent présenter une stabilité mécanique suffisante.
- Protection anticorrosion
- Absorption de poussière sans préjudice pour la fonction.

13.4 Fabrication et composition

Pour la constitution et la fabrication des graisses lubrifiantes, il faut trois composants :

- | | |
|--|-----------------------------|
| ● Huile de base (huiles minérales ou huiles de synthèse) | Pourcentage en masse 70-95% |
| ● Épaississants | Pourcentage en masse 3-30% |
| ● Additifs | Pourcentage en masse 0-5% |

Dans les huiles de base utilisées, on disperse des substances solides appropriées (épaississants) de façon à former des lubrifiants consistants.

La très large majorité des graisses lubrifiantes est préparée à l'aide de savons (sels métalliques d'acides gras) sous la forme d'épaississants. Pour la fabrication des graisses lubrifiantes de savons, on dissout l'acide gras dans l'huile de base à une température relativement élevée et on ajoute ensuite l'hydroxyde de métal approprié. Après avoir fait évaporer par cuisson l'eau qui se forme lors de la réaction, on laisse refroidir pendant un laps de temps défini, ce qui entraîne la formation de l'assemblage gras. Des hydroxydes de sodium, de calcium et de lithium et, dans une proportion réduite d'aluminium, par le passé également de baryum, conviennent comme composés métalliques pour la fabrication de la graisse. Les acides gras à chaîne longue proviennent d'huiles végétales (par exemple l'huile de ricin) ou de graisses animales (par exemple suif, huile de baleine) et peuvent être hydrogénés. Le dérivé le plus connu de cette catégorie est l'acide hydroxystéarique 12 provenant de l'acide ricinoléique.

Occasionnellement on utilise, outre les acides gras à longue chaîne, également des acides à chaîne courte comme l'acide acétique, l'acide propionique, etc. Il se forme alors les graisses dites complexes.

Les composés de savons forment une ossature fibreuse qui retient l'huile lubrifiante. Seuls les savons d'aluminium présentent une structure de gel sphérique.

Parallèlement aux savons de métal, il y a également des épaississants inorganiques et à base de cendres comme par exemple la bentonite, le graphite, la suie et le gel de silice ainsi que des polycarbamides exempts de cendres. Ces épaississants sont utilisés généralement pour des applications spéciales, par exemple des graisses pour hautes températures.

13.5 Classification

Dans la pratique, les graisses lubrifiantes sont classées selon différents aspects :

- Selon le **type d'épaississant** classification en
 - "Simples" graisses de sodium, de calcium et de lithium
 - Graisses complexes de sodium, de calcium et de lithium
 - Graisses de bentonite et de polycarmabide
- Selon les **éléments de machines** à lubrifier classification en
 - Graisses pour paliers à roulement, graisses pour paliers à glissement et graisses pour paliers de roues
 - Graisses pour articulations et graisses pour engrenages
 - Graisses pour châssis
- Selon l'**application** classification en
 - Graisses pour basses températures, graisses pour températures normales et graisses pour températures élevées
 - Graisses lubrifiantes polyvalentes, graisses lubrifiantes et graisses lubrifiantes spéciales
 - Graisses lubrifiantes avec propriétés pour haute pression
- Selon la **consistance** subdivision en neuf classes de NLGI selon tableau 22

Classe de NLGI (1)	Pénétration au fouillage selon DIN ISO 2137 en unités (2)
000	445 - 475
00	400 - 430
0	355 - 385
1	310 - 340
2	265 - 295
3	220 - 250
4	175 - 205
5	130 - 160
6	85 - 115
(1) National Lubricating Grease Institute (2) 1 Unité = 0,1 mm	

Tableau 22 : Classification de la consistance des graisses lubrifiantes

13.6 Applications

Les graisses lubrifiantes sont utilisées de façon appropriée pour des applications spéciales et doivent répondre à des exigences différentes selon les conditions d'utilisation. Les secteurs d'utilisation sont les suivants :

- Points de graissage qui doivent être protégés par un matelas de graisse vis-à-vis de la pénétration de substances étrangères perturbatrices, en particulier abrasives ou corrosives
- Points de graissage pour lesquels on doit éviter un encrassement du produit fabriqué ou des couples de frottement par un écoulement d'huile goutte à goutte
- Points de graissage ouverts desquels l'huile s'écoulerait trop rapidement ou par lesquels elle est projetée violemment
- Points de graissage avec faible consommation de lubrifiant qui ne doivent être graissés que rarement
- Points de graissage dont le coût de maintenance doit être faible
- Points de graissage avec des mouvements de glissement lents, des pressions superficielles élevées et/ou des mouvements très variables (à-coups/chocs)
- Points de graissage qui doivent fonctionner silencieusement

13.7 Propriétés d'utilisation

La nature et la concentration des trois éléments de base déterminent en principe les possibilités d'utilisation et propriétés des graisses.

■ Huiles de base

- **avec faible viscosité**
 - permettent de bonnes propriétés aux basses températures
 - permettent une bonne transportabilité
 - permettent des régimes élevés pour des paliers à roulement
- **avec viscosité élevée**
 - permettent des charges élevées
 - permettent des températures élevées
 - entraînent une faible séparation de l'huile
 - entraînent une faible perte par évaporation

■ Les épaississants influent sur

la pénétration
le point de goutte
la capacité d'épaississement
le comportement vis-à-vis de l'eau

- **Les additifs** améliorent
 - la stabilité à l'oxydation
 - la protection anticorrosion
 - la résistance à l'eau
 - l'adhérence
 - la protection antiusure

Les paramètres caractéristiques de différentes graisses lubrifiantes sont mentionnés dans le tableau 23.

Phase liquide	Huile minérale	Huiles minérale	Huile minérale	Huile minérale	Huile de synthèse
Epaississant	Savon de sodium	Savon de calcium	Complexe de calcium	Savon de lithium	Savon de lithium
Point de goutte, °C	160	100	> 240	190	190
Température d'utilisation					
• inférieure, °C	-10	-20	-25	-25	-60
• supérieure, °C	120	70	130	130	180
Tenue à l'eau	insuffisant	très bien	très bien	bien	bien
Résistance au foulage	moyen	bon	bon	très bon	très bon
Stabilité à l'oxydation	bien	bien	très bien	bien	très bien
Prix	+	++	++++	+++	+++++

Tableau 23 : Paramètres caractéristiques de différentes graisses lubrifiantes