

Les lubrifiants pour automobiles

Pour le bon fonctionnement et la longévité des moteurs

Bernard Sillion



Abstract

Automotive lubricants

The consumption of automotive lubricants in France was 450 000 tons in 2002. These lubricants are obtained by blending a petroleum base (80%) with a package of different additives (20%). The feature of the mineral base is its rheological behaviour: pour point, viscosity and viscosity index (VI) which is an empirical number characterizing the temperature dependence of the viscosity. The additive package improves the oxidation stability, the rheological behaviour (pour point and VI), maintains the motor cleanliness and ensures corrosion and wear protection. The greatest incentive for improving the lubricant performances is the increasing time between the oil changes.

Mots-clés

Lubrifiants, automobile, additifs, formulation.

Key-words

Automotive lubricants, additives, formulation.

Introduction [1]

En 2001, la France a consommé 17,3 millions de m³ d'essence, 35 millions de m³ de gazole et 450 000 tonnes de lubrifiants pour son parc de véhicules automobiles et utilitaires.

Depuis le développement de la traction automobile, motoristes et spécialistes de la lubrification ne cessent d'innover pour améliorer le rendement des moteurs : augmenter la puissance en réduisant la consommation.

On sait que dans un moteur conventionnel, le mouvement linéaire des pistons est transformé en mouvement circulaire à l'aide du vilebrequin. Les assemblages sont réalisés avec un jeu optimal et fonctionnent dans un environnement de lubrifiant qui est distribué au niveau des coussinets. Pour un bon fonctionnement, le lubrifiant doit former un film d'huile continu entre les pièces en mouvement. Pour suivre l'évolution de ce film d'huile, on s'intéresse à la variation du coefficient de frottement (F) par rapport à une grandeur, S (nombre de Sommerfeld), prenant en compte le produit de la vitesse de rotation de l'arbre (N) par la viscosité de l'huile (η) divisé par la pression diamétrale du palier :

$$S = \eta \cdot N / p(r/j)^2$$

Dans cette expression, on voit apparaître des caractéristiques spécifiques du palier : son rayon (r) et le jeu radial (j). Cette variation représentée par le diagramme de Stribeck [2] (figure 1) montre trois zones. La première, descendante, part du domaine dans lequel il y a contact direct entre les pièces en mouvement ; c'est une zone de lubrification solide qui peut entraîner le grippage. Dans la seconde, l'épaisseur du film d'huile est de même dimension que les rugosités des métaux et il y a encore quelques contacts métal/métal ; c'est le domaine du graissage limite. La troisième zone commence lorsque les surfaces métalliques sont totalement séparées par la formation du film ; c'est le régime hydrodynamique pour lequel l'épaisseur du film est deux fois supérieure aux rugosités du palier. On voit que pour une pression donnée sur le palier, la formation du film dépend de la viscosité de

l'huile et de la vitesse de rotation. On remarque sur la courbe de Stribeck que le coefficient de frottement peut être abaissé dans la zone de lubrification solide par l'introduction dans l'huile d'additifs qui seront discutés plus loin.

La viscosité de l'huile joue un rôle important pour le contrôle du régime hydrodynamique et pour l'alimentation des coussinets. En effet, l'huile est distribuée par une pompe et son débit Q est fixé par l'équation de Poiseuille :

$$Q = \Pi \cdot p \cdot R^4 / 8 \eta \cdot L$$

où R et L sont les rayon et longueur de la canalisation, p, la différence de pression entre entrée et sortie de la canalisation et η , la viscosité de l'huile.

On aura donc tendance à rechercher une huile peu visqueuse pour les démarrages à froid. Mais lorsque la

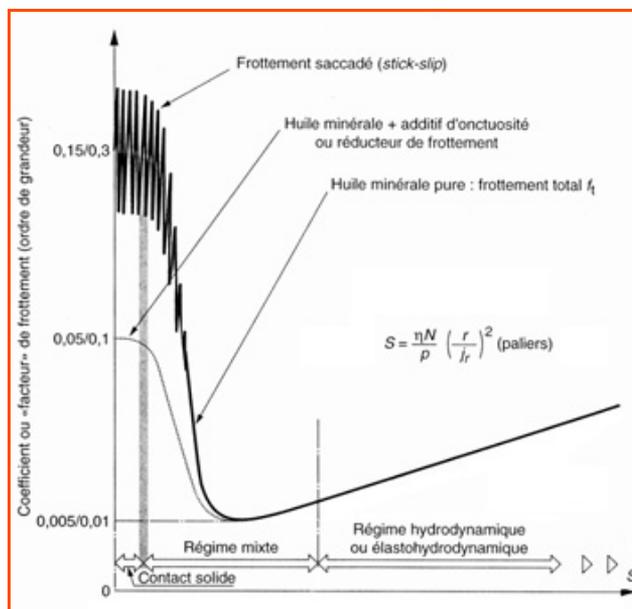


Figure 1 - Diagramme de Stribeck [2].

température s'élève, d'une part, la viscosité diminue, le film devient fragile, et, d'autre part, une partie de l'huile sera perdue par passage dans les cylindres et combustion. Dans le passé, on réglait ce problème par changement de l'huile au moment des changements de saisons. Depuis, on a mis au point des huiles dites multigrades qui travaillent dans un large intervalle de températures grâce à des additifs polymères.

Si la viscosité et les propriétés d'écoulement de l'huile sont des paramètres fondamentaux, il faut aussi prendre en compte la stabilité chimique dans les conditions de fonctionnement. Un moteur est un excellent réacteur d'oxydation, grâce à une température élevée, la présence d'air, une excellente agitation et la présence de métaux catalyseurs d'oxydation. Les résultats de cette oxydation se manifestent par la formation d'acides organiques très corrosifs et de polymères qui restent en suspension puis se déposent sous forme de vernis sur les parois. L'oxydation doit donc être retardée au maximum et ses conséquences combattues par les additifs.

En résumé, un lubrifiant est constitué d'une huile de base (80-85 %) qui fixe la viscosité de base et d'additifs (15-20 %) qui améliorent les propriétés d'usage et assurent la durabilité.

Bref historique de l'évolution des huiles pour moteurs

Durant la deuxième guerre mondiale, la campagne de Russie en hiver a fait prendre conscience aux armées allemandes de l'importance de la viscosité à basse température, et il est apparu que les huiles riches en paraffines ne permettaient pas les démarrages par grands froids.

Cependant, les deux évolutions les plus marquantes depuis 50-60 ans ont été tout d'abord le développement des huiles détergentes qui permettent d'éviter l'encrassement par les produits d'oxydation de l'huile et, bien sûr dans les années 50, la mise sur le marché des huiles multigrades qui évitent aux utilisateurs les changements d'huile lors des variations de températures saisonnières.

Les enjeux économiques et les différents acteurs (données 2002) [1]

Le commerce extérieur des lubrifiants et additifs (tous lubrifiants et additifs confondus) a présenté en 2002 un excédent de 1,2 milliards d'euros.

Les huiles de base

Les raffineries françaises ont produit 1 743 252 tonnes d'huiles de base dont :

- 665 900 t pour la fabrication des lubrifiants (tous usages confondus dont les lubrifiants pour automobiles),
- 188 500 t pour la fabrication et la formulation des additifs,
- 887 900 t pour l'exportation.

A côté de ces chiffres, on constate que la production d'huile régénérée à partir d'huiles usagées n'est que de 36 849 t.

Les lubrifiants pour automobiles

La consommation française a été de **450 000 t** en 2002 (en baisse de 1 % par rapport à 2001). Cela correspond à 53,6 % de la consommation totale des lubrifiants en France. Il est intéressant de noter que la consommation moyenne de

1,34 L/1 000 km pour les véhicules utilitaires a baissé de 53 % par rapport à 1990. Cette consommation n'est que de 0,56 L/1 000 km pour les véhicules particuliers, ce qui correspond à une baisse de 28 % par rapport à 1990.

Il ne faudrait cependant pas attribuer cette évolution aux seuls progrès de la formulation car la conception des moteurs a considérablement évolué depuis 1990.

Le marché français des additifs de lubrification

En 2002, la consommation des additifs pour huiles de moteurs était de l'ordre de 90 200 t pour un marché total d'additifs de lubrification de 129 969 t comprenant les additifs pour moteurs 2 temps, pour huiles industrielles, pour transmissions, pour le travail des métaux etc.

Les acteurs

En ce qui concerne les huiles de base, la capacité de production française est de 2 110 000 t sur 5 sites : Exxon Mobil (Dunkerque) 330 000 t ; Exxon Mobil (Port Jérôme) 500 000 t ; Exxon Mobil (Notre Dame de Gravenchon) 400 000 t ; Shell (Petit Couronne) 360 000 t et Total (Gonfreville) 520 000 t.

Pour les fabricants et importateurs d'additifs, 11 sociétés couvrent le domaine en France : Total (Atofina) ; PCAS ; Brentag spécialités ; Chevron Chemical - Oronite ; CIBA Specialty Chemicals ; Ethyl France ; Infineum France ; Lavolée Chimie ; Lehvoss France ; Lubrizol France ; Rhomax France.

Les lubrifiants pour automobiles et leurs additifs

L'huile de base, préparation et caractérisation [3]

Les opérations de raffinage produisent la quasi-totalité des bases lubrifiantes dites « bases minérales » qui sont des mélanges complexes d'hydrocarbures paraffiniques naphthéniques (cycloparaffines) et aromatiques. Très grossièrement, le schéma de raffinage (figure 2) est basé sur une distillation atmosphérique qui permet de recueillir dans l'ordre de points d'ébullition croissants les gaz, les essences, le kérosène et les gazoles. Le résidu de distillation atmosphérique est distillé sous vide, une partie des distillats retourne vers les gazoles. Le résidu de distillation est soumis à un traitement qui

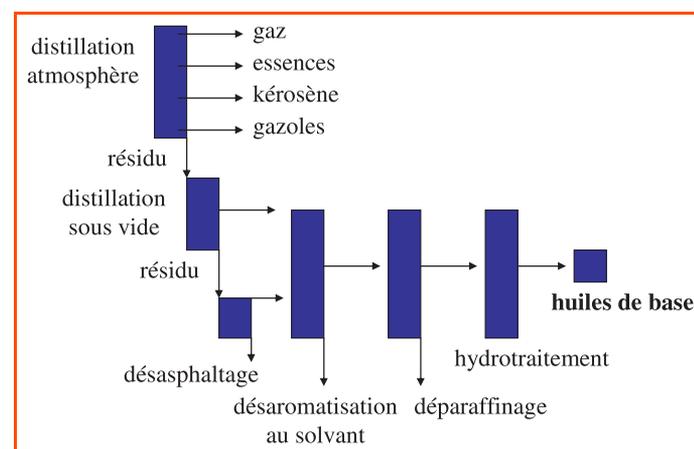


Figure 2 - Schéma de raffinage des huiles.

Tableau I - Classification SAE J 300 des lubrifiants pour automobiles.

Grade SAE	Viscosité à la température (°C) en cP ou mPa.s ⁻¹ ASTM D2602	Température limite de pompage (°C) ASTM D3829 (max.)	Température limite de pompage (°C) ASTM D468 (max.)	Viscosité à 100 °C en cSt ou mm ² .s ⁻¹ ASTM D445 (min.)	Viscosité à 100 °C en cSt ou mm ² .s ⁻¹ ASTM D445 (max.)
0W	3 250 à - 30	- 35	--	3,8	--
5W	3 500 à - 25	--	- 30	3,8	--
10W	3 500 à - 20	--	- 25	4,1	--
15W	3 500 à - 15	--	- 20	5,8	--
20W	4 500 à - 10	-15	--	5,6	--
25W	6 000 à - 5	-10	--	9,3	--
20	--	--	--	5,6	≤ 8,3
30				9,3	≤ 12,5
40				12,5	≤ 16,3
50				16,3	≤ 21,9
60				21,9	≤ 26,1

consiste à faire précipiter les asphaltes. Les distillats lourds et le résidu désasphalté sont traités par solvant pour éliminer les aromatiques et hétérocycles soufrés. On élimine ensuite une partie des paraffines en les faisant cristalliser par refroidissement et les huiles sont purifiées par un traitement à l'hydrogène.

L'huile de base est caractérisée par sa viscosité à froid et à chaud et l'on souhaite la plus faible variation possible entre les deux valeurs. Cette variation est caractérisée par une grandeur empirique, « l'indice de viscosité » ou VI (« viscosity index », voir formule dans l'encadré), reliant les viscosités à 40 °C et à 100 °C. Le point d'écoulement (température en dessous de laquelle l'huile ne s'écoule plus) et la volatilité sont deux autres caractéristiques importantes pour définir une huile.

Ces propriétés rhéologiques sont liées à la composition chimique de la base :

- les paraffines linéaires élèvent le point d'écoulement ;
- les aromatiques abaissent le point d'écoulement et le VI ;
- les isoparaffines sont les structures les plus performantes ; elles abaissent le point d'écoulement et augmentent le VI.

Sur la base de ces observations, les raffineurs ont développé des procédés pour améliorer les bases lubrifiantes :

- l'hydrocraquage des distillats sous vide transforme les naphthènes en isoparaffines ;
- l'hydrorafinage transforme les aromatiques en naphthènes ;
- l'hydroisomérisation provoque la conversion des paraffines linéaires en isoparaffines.

De plus, l'industrie propose des bases synthétiques : polyalphaoléfines (PAO) et esters, qui sont entrés dans la composition de formules commerciales. Les PAO sont préparées par polymérisation de coupes centrées sur le décène-1 par un amorçage cationique (BF₃) [4] suivie d'une hydrogénation pour éliminer les insaturations. Le mélange obtenu (dimère, trimère, tétramère...) possède une structure d'isoparaffine, donc d'excellentes propriétés supérieures à celles des bases hydrotraitées. Les esters organiques sont préparés de diacides ou de diols aliphatiques, de monoacides et d'alcools. Le contrôle de la masse molaire permet d'ajuster viscosité, point d'écoulement VI et volatilité.

L'indice de viscosité des huiles minérales est compris entre 90 et 100, celui des bases hydrotraitées est entre 120 et 130, celui des PAO peut être supérieur à 140 et enfin, celui des esters peut atteindre 200. Les bases synthétiques ont un coût plus élevé et ne sont utilisées que pour préparer des lubrifiants de haut niveau.

Classifications et performances des lubrifiants

Les classifications

Aux États-Unis, l'American Petroleum Institute (API) et en Europe, l'Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA), ont défini des spécifications qui caractérisent les lubrifiants pour automobiles et toute nouvelle huile doit subir une série de tests (analytiques et bancs d'essais moteurs) pour être homologuée.

La classification par viscosité est basée sur une norme de la « Society of Automotive Engineers », norme SAE J 300, qui définit les propriétés à froid et à chaud selon le *tableau I*.

A partir de ce tableau, on caractérise une huile monograde hiver (ex : 10W) ou été (ex : SAE 40) ou une huile multigrade si elle répond aux critères rhéologiques exigés pour les basses et hautes températures. Par exemple, une huile 5W40 assure un bon démarrage à froid et un bon comportement à chaud.

Les performances des huiles

Elles sont définies en prenant en compte l'évolution de la viscosité, la formation des dépôts, les pertes de lubrifiants, la formation de cendres sulfatées, la réduction de consommation... en fonction de différentes conditions de fonctionnement. Aux États-Unis, les niveaux de performances sont établis pour les moteurs à essence S et

Mesure de l'indice de viscosité VI

$$VI = 100 \frac{(L - U)}{(L - H)} \quad \text{norme ASTM D2270}$$

où U, L et H sont les viscosités cinématiques (mm²/s) à 40 °C :
 U : de l'huile testée,
 L : d'une huile de référence d'indice 0,
 H : d'une huile de référence d'indice 100.

pour les diesels D par une lettre à partir de A avec sévérité croissante ; une huile qui a passé les tests d'une séquence SJ est de meilleure qualité qu'une huile qui ne satisfait que la séquence SH. En Europe, l'ACEA dispose d'un système comparable avec trois classifications : A pour les moteurs à essence, B pour les diesels et E pour les utilitaires. La sévérité des tests est définie par un chiffre suivi de l'année de la modification du test ; par exemple, une huile pour moteur à essence A3 98 est plus performante qu'une huile cotée A2 96.

C'est pour obtenir les niveaux de performance les plus élevés qu'intervient la formulation par les additifs.

Les additifs [5]

On peut classer les additifs en trois grandes catégories : ceux qui améliorent la stabilité chimique de l'huile ou inhibent les effets des produits de dégradation, ceux qui améliorent les propriétés rhéologiques, et enfin ceux qui protègent les surfaces métalliques et ont un effet anti-usure.

Additifs améliorant la stabilité chimique du lubrifiant ou inhibant les effets des produits de dégradation

• Les additifs antioxydants

L'oxydation de l'huile provoque la formation de deux types de produits : les acides organiques de faibles poids moléculaires très corrosifs pour les métaux et des composés oxygénés de masses molaires comprises entre 500 et 3 000 g/mole qui dans une première étape augmentent la viscosité avant de polymériser, précipiter dans l'huile et enfin former des dépôts sur les parois.

Le mécanisme d'oxydation des hydrocarbures par l'air est de nature radicalaire [6] (figure 3) et les additifs agissent soit en désactivant les métaux catalyseurs par complexation d'un degré d'oxydation, soit en décomposant les peroxydes formés par action de l'oxygène sur les radicaux

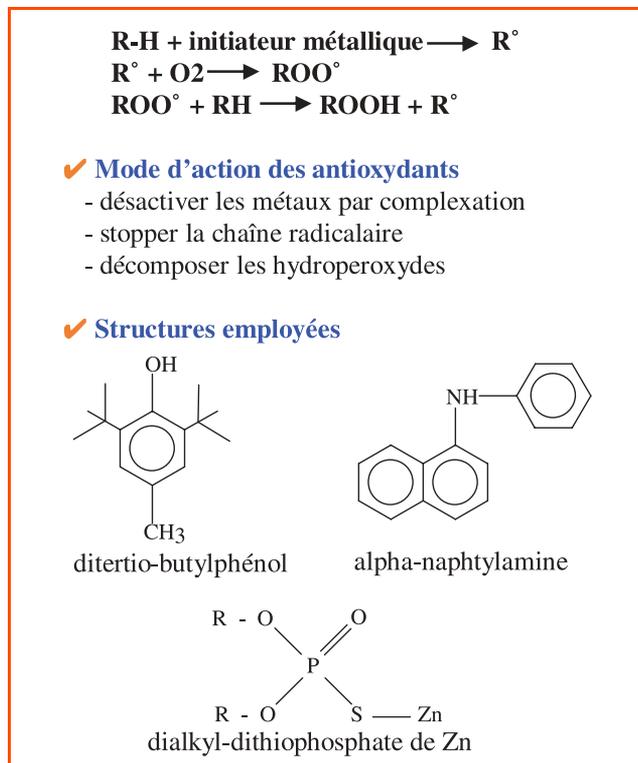


Figure 3 - Les additifs antioxydants.

⇒ Le rôle

Limiter l'effet de la formation des boues provenant de l'oxydation.

⇒ Les détergents

Contiennent une réserve de base TBN neutralisant les acides ;
 Empêchent la formation des vernis sur les surfaces chaudes du moteur.

⇒ Les dispersants

Maintiennent les boues naissantes en suspension dans l'huile.

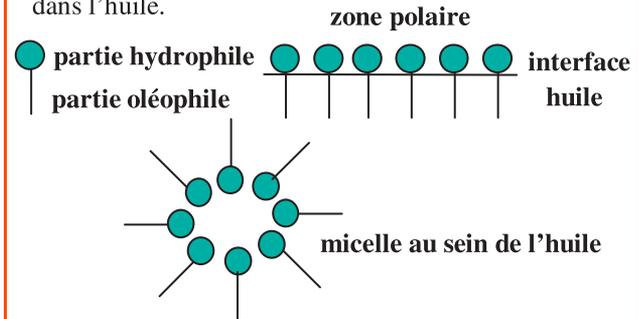


Figure 4 - Organisation des additifs dispersants et détergents dans l'huile.

hydrocarbonés, soit en transformant les radicaux de la chaîne d'oxydation en radicaux stables.

On utilise des phénols, des arylamines substitués ou des composés soufrés qui forment des radicaux stables ; les dialcyl-dithiophosphates de zinc sont très largement utilisés car ils ont un effet anti-usure en plus de l'effet antioxydant.

• Les additifs détergents et dispersants

Ces additifs sont destinés à limiter les effets produits par l'oxydation que les antioxydants ne peuvent totalement empêcher. Il faut neutraliser les acides organiques pour limiter la corrosion et le lubrifiant doit contenir une réserve de base (carbonate de calcium). Il faut maintenir en suspension les particules de polymères organiques et éviter ainsi la formation de vernis sur les parois métalliques chaudes.

Les additifs dispersants et détergents possèdent une structure tensioactive constituée d'une partie organique soluble dans l'huile et d'une partie polaire. Ce caractère est responsable de deux comportements : l'adsorption sur les surfaces polaires et l'auto-association dans l'huile pour former des micelles (figure 4).

- *Les dispersants* sont des tensioactifs organiques. La partie hydrocarbonée est constituée de polyisobutylène dont la masse molaire est de l'ordre de 1 000 à 2 000 g/mole. La partie polaire est de nature succinimide (figure 5). Ils sont particulièrement utiles pour les véhicules fonctionnant en milieu urbain (arrêts et démarrages fréquents pendant lesquels l'oxydation provoque la formation de beaucoup de boues insolubles). On verra qu'il est possible de conférer des propriétés dispersantes aux polymères améliorant le VI par une démarche analogue qui consiste à fixer sur le polymère des fonctions azotées ou oxygénées polaires.

- *Les détergents* sont des sels d'acides organiques ou de phénols et de métaux divalents (calcium et magnésium) (figure 6). Le cœur de la micelle a la capacité de stocker une quantité de carbonate largement excédentaire à la

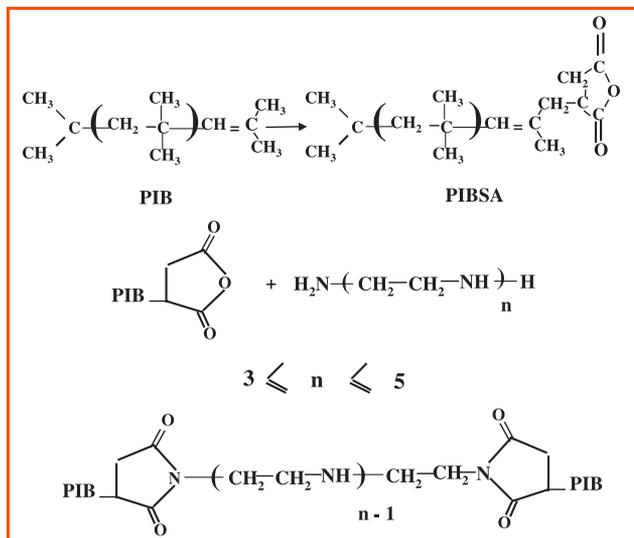


Figure 5 - Structures des additifs dispersants.

stœchiométrie. Cette réserve, définie par le « total basic number » ou TBN selon la norme ASTM D664, sert à neutraliser les acides organiques qui se forment pendant le fonctionnement du moteur. Ces additifs ont deux autres fonctions par adsorption sur le métal : ils empêchent la formation de vernis qui proviennent de la polymérisation des dépôts organiques et ils ont un effet anticorrosion.

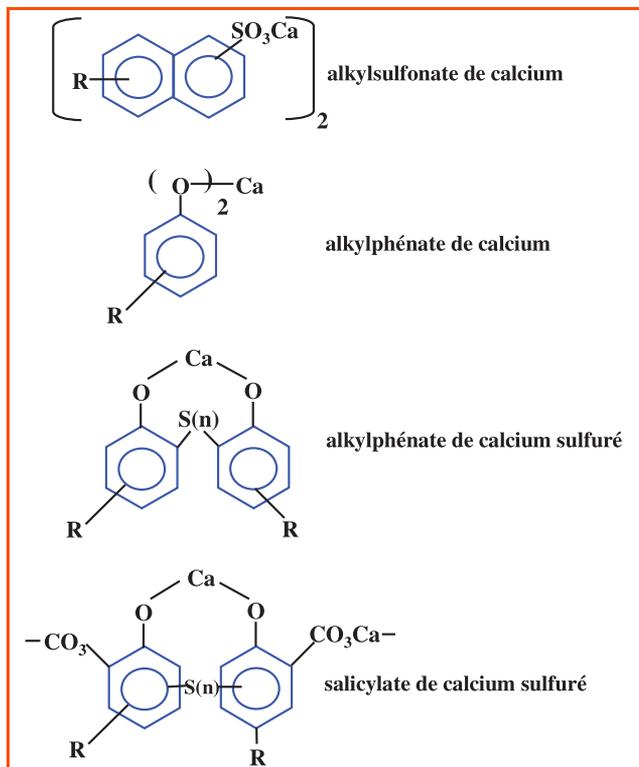


Figure 6 - Structures des additifs détergents.

Les additifs améliorant les propriétés rhéologiques des lubrifiants [7]

• Le point d'écoulement des huiles et les additifs anticongelant

Le refroidissement d'un lubrifiant provoque la cristallisation des paraffines vers - 10 °C (c'est le « point de trouble »), mais

l'huile s'écoule car les cristaux sont dispersés. Si la température continue à s'abaisser, on observe la croissance de ces cristaux et la formation d'une phase continue (réseau) qui emprisonne les autres constituants de l'huile, ce qui gêne l'écoulement. La température en dessous de laquelle le lubrifiant ne s'écoule plus est définie comme « point d'écoulement ». Ce phénomène se produit bien que ce réseau ne représente que 1 à 5 % de la masse de l'huile ; on peut s'opposer à sa formation en modifiant la croissance des cristaux de paraffines. Pour cela, on introduit des oligomères possédant des chaînes alkyles qui s'adsorbent sur une face du cristal en croissance, en modifiant la forme et perturbent ainsi l'organisation du réseau.

Les produits dits « anticongelants » commercialisés sont des alkylnaphtalènes, des polyacrylates d'alcools à longues chaînes (figure 7) ou des polystyrènes alkylés.

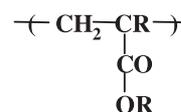
✓ Rôle

Éviter l'agglomération des cristaux de paraffines pour éviter la formation du réseau cristallin qui empêche l'écoulement.

✓ Structures



polyalkylnaphtalène (réaction d'une paraffine chlorée sur le naphthalène)



polyalkylméthacrylate (R = CH₃)
polyalkylacrylate (R = H)

produits de faible masse : 2 000 à 10 000 g/mole

✓ Action

Adsorption sur le cristal de paraffine.

Figure 7 - Structures des additifs anticongelants.

• Les additifs améliorant l'indice de viscosité (VI)

Les bases lubrifiantes d'origine pétrolière ont un VI qui ne dépasse pas 100. Or, il est important que la viscosité de l'huile diminue le moins possible pendant le fonctionnement à chaud pour éviter la rupture du film d'huile. Les propriétés des polymères en solution permettent de résoudre ce problème.

La viscosité d'une solution de polymère dépend de la concentration certes, mais aussi du volume qu'occupe chaque macromolécule dans le solvant. Ce volume dépend lui-même de l'importance des interactions entre le solvant et le polymère [4]. L'huile de base (naphténique, paraffinique et faiblement aromatique) est un assez mauvais solvant des polymères et les forces de cohésion des motifs du polymère entre eux seront plus fortes que les interactions entre l'huile et le polymère. La chaîne polymère peu gonflée occupera un faible volume dans l'huile et l'augmentation de la viscosité sera faible. Lorsque le moteur fonctionne, la température s'élève, le pouvoir solvant de l'huile augmente. Ses interactions avec le polymère se traduisent par une augmentation du volume de la macromolécule, donc de sa contribution à la viscosité de la solution, qui compense la perte de viscosité que l'augmentation de la température fait subir à l'huile (figure 8).

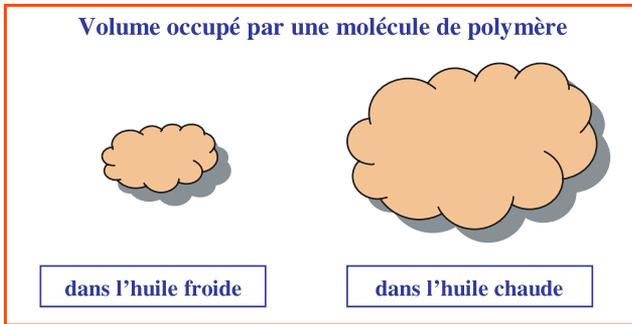


Figure 8 - Mécanisme d'action des additifs améliorant l'indice de viscosité (VI).

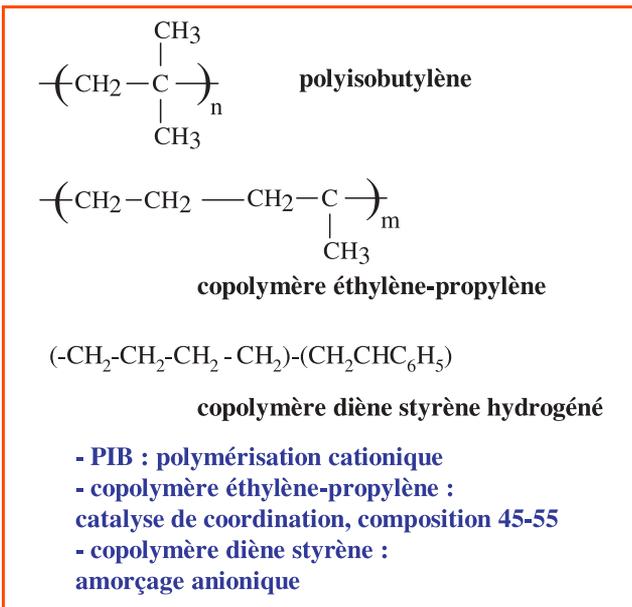


Figure 9 - Structures des polymères hydrocarbonés améliorant le VI.

L'utilisation des polymères n'est pas sans poser de problèmes. L'un des plus importants est le comportement des solutions soumises à un gradient de cisaillement (ce qui se produit dans un moteur) qui provoque des coupures, donc diminue la masse molaire et par suite l'effet sur la viscosité. Néanmoins, ces additifs sont très largement utilisés et actuellement, deux grandes familles sont commercialisées :

- Les polymères hydrocarbonés (figure 9). Le polyisobutène est obtenu par amorçage cationique [4] ; les copolymères de l'éthylène et du propylène (« olefin copolymers », OCP) sont préparés par catalyse de coordination [4]. Leurs masses molaires sont de l'ordre de 50 000 à 100 000 g/mole. Les copolymères diène-styrène sont obtenus par amorçage anionique [4] et hydrogénés ensuite pour éliminer les insaturations. Leurs masses molaires sont de l'ordre de 120 000 g/mole.

- Les polymères à fonction ester (figure 10). Ce sont des polyméthacrylates de masses molaires comprises entre 150 000 et 500 000 g/mole, obtenus par polymérisation de méthacrylates d'alcools de C₈ à C₁₄ par voie radicalaire [4]. Dans les deux familles OCP et polyméthacrylates, on commercialise des additifs de VI possédant des propriétés dispersantes. Ils sont obtenus par introduction sur la macromolécule de fonctions polaires [5].

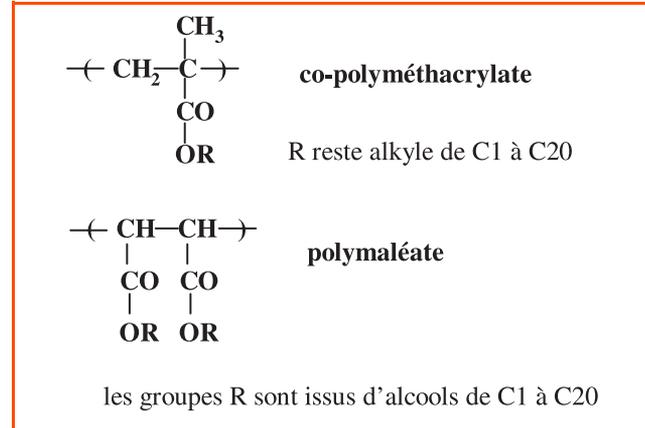


Figure 10 - Structures des polymères à fonctions esters améliorant le VI.

• Les produits anti-moussants

La présence d'agents tensioactifs dans les formules et la forte agitation en présence de gaz provoque la formation de mousse. L'ajout de quelques parties par million de dérivés de silicones permet d'éviter ce phénomène.

Les additifs extrême pression et anti-usure

Lorsque le lubrifiant fonctionne en régime hydrodynamique, le film d'huile est stable et il n'y a pas réellement de problème d'usure. En conditions plus sévères, si les pièces se rapprochent, si le film se rompt, le frottement peut provoquer de l'arrachement de métal. En conditions extrêmes, l'échauffement peut conduire à la soudure des pièces. Les additifs extrême pression et anti-usure ont pour rôle de créer un lubrifiant solide par réaction avec la surface. Les produits commerciaux sont des composés organiques contenant du chlore, du soufre ou du phosphore. Ces atomes réagissent avec le métal au moment de la décomposition thermique de l'additif en créant une interface plus ductile qui joue le rôle de lubrifiant solide. On utilise par exemple des produits de réaction du soufre avec des oléfines, des dérivés dithiophosphoriques ou des phosphomolybdates (figure 11).

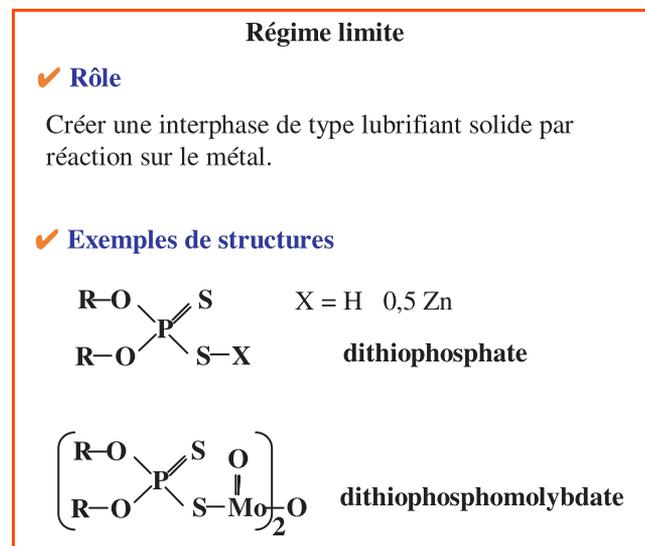


Figure 11 - Structures des additifs anti-usure et extrême pression.

La formulation

Les propriétés rhéologiques (viscosité et point d'écoulement) sont les paramètres de base du formulateur qui recherche un grade SAE. Pour cela, on combine quelques bases lubrifiantes pour obtenir viscosité et pompabilité à basse température. On ajoute alors un « paquet » d'additifs antioxydants anti-usure, extrême pression et détergent dispersant pour obtenir le niveau de performance SAE ou ACEA et le grade définitif de viscosité SAE est apporté par l'additif de VI.

Le *tableau II* résume pour chaque additif les quantités utilisées pour la formulation.

Conclusion et tendances

La formulation de tous les lubrifiants obéit aux principes évoqués ci-avant.

Cependant, elle doit être adaptée aux différents types de moteurs et aux conditions de fonctionnement (on ne formule pas une huile pour moteur à essence comme on formule une huile pour bateaux par exemple). En ce qui concerne les tendances, il est clair que l'espacement des vidanges (actuellement de 30 000 km) est un facteur important pour renforcer les performances des lubrifiants, en particulier en ce qui concerne les exigences pour la résistance à l'oxydation et la réduction de la teneur en cendres sulfatées. Un autre facteur incitatif actuel est à rechercher dans le développement des pots catalytiques qui implique que la combustion du lubrifiant ne provoque pas la formation de poison des catalyseurs.

Remerciements

L'auteur remercie le Centre Professionnel des Lubrifiants qui a fourni les éléments statistiques de la référence [1].

Références

- [1] *Lubrifiants 2002*, Centre Professionnel des Lubrifiants, Les Passerelles, 104 Bd Albert I^{er}, 92563 Rueil Malmaison Cedex (<http://www.cpl-lubrifiants.com>), 2002.

Tableau II - Proportions d'additifs entrant dans la formulation du lubrifiant.

Propriétés	Additifs	
Pt écoulement de - 12 °C à (- 25, - 35 °C)	Anticongelants Polymères	0,1 à 0,5 %
Augmentation sélective de la viscosité à haute température	Améliorants d'indice de viscosité Polymères	5 à 10 %
Détergence Neutralisation, dispersion des polluants	Détergents et dispersants Organométalliques et sans cendre	3 à 15 %
Moussage	Antimousse Huile de silicone	10 à 100 ppm
Rouille et corrosion	Antirouille Anticorrosion	0,05 % 1 %
Stabilité à l'oxydation	Antioxydants DTPZ, dérivés phénoliques et aminés	1 à 10 %
Capacité de charge en régime limité	Anti-usure, extrême pression DTPZ et produits phosphorés, soufrés, chlorés	1 à 10 %

- [2] Ayel J., Born M., *Lubrifiants et Fluides pour l'Automobile*, Éditions Technip, Paris, 1998, p. 26.
 [3] Heinrich G., *Petroleum Refining, vol. 1, chap. 10*, J.-P. Wauquier éd., Éditions Technip, Paris, 1995.
 [4] Pour tous les aspects concernant les polymères voir : Fontanille M., Gnanou Y., *Chimie et Physico-Chimie des Polymères*, Dunod, Paris, 2002.
 [5] Satriana M.J., Synthetic oil and lubricating additives, *Chemical Technology Review*, 1982, 207, NDC, Park Ridge NJ USA.
 [6] Mercier J.-P., Godard P., *Chimie Organique*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1995, p. 278.
 [7] Briand J., Denis J., Parc G., *Propriétés Rhéologiques des Lubrifiants*, Éditions Technip, Paris, 1985.



Bernard Sillion

a été directeur de recherche à l'Institut Français du Pétrole et directeur de recherche au CNRS. Il est actuellement rédacteur en chef de *L'Actualité Chimique**.

- * 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.
 Tél. : 01 40 46 71 64. Fax : 01 40 46 71 61.
 E-mails : ac@sfc.fr ; b.sillion@sca.cnrs.fr



Image Photothèque TOTAL Lubrifiants.