

ANALYSE DES DEGRADATIONS DES HUILES DE LUBRIFICATION MOTEUR

RAMIELSON Luis Rufin^(*), RAJAONARISON Eddie Frank, RANDRIAMOROSATA Josoa, BOURGEON Andy Marlon ,
RAKOTOARISOA Haga Johary, RAJOMALAHY Julien

Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra

(*) Auteur correspondant, e-mail : rufinluisramielson@gmail.com

Antananarivo 101, Madagascar

Mots clés : Maintenance, lubrification, analyse d'huile, moteur.

RESUME

L'étude dégage des informations, connaissances et savoirs très intéressants et enrichissantes en matière de maintenance de tracteurs. Plusieurs systèmes de modélisation de lubrification ont été exécutés afin d'évaluer ou dégager les indices qui puissent restituer l'état de dégradation d'huile dans le carter. Nos résultats sont concluants. On peut alors confirmer que l'hypothèse de recherche est bien vérifiée. Après des essais on a constaté qu'il y a encore des améliorations à faire. Il s'agit de combiner le séparateur centrifuge et le recycleur avec du coalesceur afin de combler le vide sur le séparateur centrifuge, c'est-à-dire rattraper le défaut.

1. INTRODUCTION

Nous avons orienté nos recherches d'abord sur la première mise en épreuve de deux tracteurs JX 80 de même état sur un terrain de CFFAMMA à travers l'analyse de dégradation de l'huile minérale monograde SAE 40 du moteur après 300 HDM et ensuite par l'huile minérale multigrade 20W40 et enfin par l'huile synthétique multigrade 15W40 après 300 HDM également afin de bien voir la différence d'usures qu'apporte chaque huile dans un souci de trouver un meilleur rendement de travail de tracteur.

Pour la première mise en épreuve, nous avons étudié l'évolution caractéristique d'échantillon d'huile SAE 40 en particuliers les différents viscosités par la méthode d'essai ASTM D2983.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1.1. Méthodes d'échantillonnage

Pour réaliser cette investigation, nous avons utilisée deux types d'échantillons : l'huile moteur et les boues (suie) formée au purificateur centrifuge. Dans le cas de JX 80, le vilebrequin joue un rôle très important de purificateur centrifuge :

L'huile moteur SAE 40 (Ce type d'échantillon renferme deux variétés, à savoir l'huile neuve et l'huile en service. La deuxième variété a été obtenue le long de 300 heures de marche en route normale et en travail. Le mode de marche normale est conjugué à un régime fixé de fonctionnement de moteur caractérisé par un charge, une vitesse et une température moyennement stables. Ceci a un rôle très important dans le frottement et le processus d'usure

Les boues (Les échantillons de la boue sont pris lors du nettoyage de la centrifugeuse. Cette opération est préconisée par le constructeur à chaque 300 heures de marche environ, à partir de la même vidange. Ils contiennent alors plusieurs éléments issus de l'huile lors de la purification centrifuge)

2.1.2. Matériels d'analyse

- Viscosimètre dynamique BROOKFIELD DV II

La viscosité dynamique des échantillons d'huile a été mesuré au Centre de l'analyse d'huile usée d'Antananarivo suivant la norme ASTM D2983 à l'aide d'un viscosimètre dynamique BROOKFIELD DV II avec la broche (Spindle) SC 4-21 (Figure 1). [13,14]

Le principe du viscosimètre dynamique BROOKFIELD DV II consiste à réaliser un mouvement rotatif d'une broche de forme cylindrique pointue du bout appelée spindle dans un cylindre vide autour de son axe de révolution. Le spindle et le cylindre sont séparés par le film de l'huile dont on désire mesurer la viscosité dynamique. Cette dernière correspond au rapport de la contrainte par le taux de cisaillement.[13, 14]



Figure 1: Viscosimètre dynamique BROOKFIELD DV II

Le pack de l'instrument comporte plusieurs spindles. Le choix du spinde est fixé par la notice technique de l'instrumente en fonction de l'assiette de viscosité dynamique dont le fluide étudié fait partie. Pour chaque spinde, le volume nécessaire du fluide est déterminé par la notice technique.

Le viscosimètre dynamique BROOKFIELD DV II est composé de trois parties principales :

- Le calculateur et le moteur qui entraîne le spinde.
- Le four et la chambre de l'échantillon
- Le programmeur de température

Afin de déterminer la viscosité dynamique de nos échantillons, nous avons placé 8 ml d'huile dans la chambre de l'échantillon (cylindre vide), ensuite nous avons placé le spinde suivant l'axe du cylindre. La température avec laquelle la viscosité dynamique sera mesurée (40° C et 100° C) et est réglée sur le programmeur. Enfin, nous démarrons le moteur lorsque la température se stabilise.

La viscosité dynamique des différents échantillons a été mesurée à deux températures différentes (40° C et 100° C). Ainsi, les figures représentent l'évolution de la viscosité dynamique à 40° C et 100° C respectivement de l'huile SAE 40 en fonction des heures de marche du moteur (HDM).

- Capillaire pour mesure de viscosité cinématique

La viscosité cinématique de nos échantillons d'huile a été mesurée au laboratoire de l'ADONIS d'Antananarivo suivant la norme ASTM D 445 par un viscosimètre cinématique à capillaire ATPE.

La méthode consiste à introduire une quantité suffisante de l'échantillon dans un tube capillaire (Figure 2) et le plonger dans un bain marie thermostatique pour chauffer l'échantillon jusqu'à la température souhaitée. A cette température, il faut pomper l'échantillon pour le laisser écouler de façon gravitaire entre deux points marqués sur le capillaire et le chronométrer ainsi la durée du passage de l'échantillon entre ces deux points.

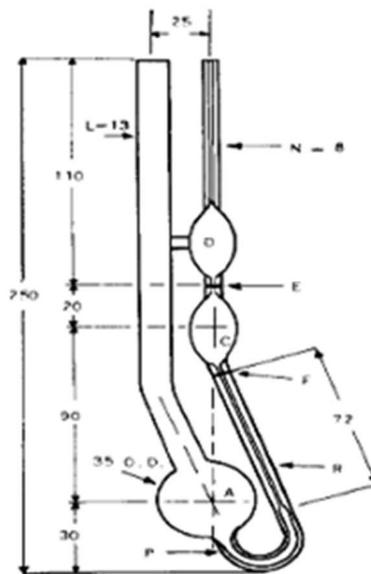


Figure 2 : Capillaire pour mesure de viscosité cinématique

- L'appareil de mesure de point éclair Controlab B0094M-METHODE PENSKY MARTENS

Le point éclair des différents échantillons d'huile a été mesuré au Centre d'Etudes d'ADONIS d'Antananarivo suivant la norme ASTM D 93 en utilisant l'appareil de mesure de point éclair Controlab B0094M-METHODE PENSKY MARTENS.[15]. La manipulation consiste à remplir un récipient de l'échantillon, le chauffer grâce à une résistance et passer une flamme test au-dessus de l'échantillon à intervalles de temps bien déterminés. Suivant la volatilité du produit dont on désire mesurer le point éclair, il faut fixer la vitesse de chauffe à partir d'un thermostat au tableau de commandes. La température de l'échantillon est mesurée en permanence grâce à un afficheur digital de la température. Le point éclair correspond à la température la plus basse à laquelle les vapeurs du liquide s'enflamment.[16]

- Mesure d'indice de basicité (TBN) par titrage de KOH de l'huile par l'acide perchlorique

L'indice de basicité total ou TBN (Total Base Numbers) des différents échantillons a été mesuré au Laboratoire d'ADONIS d'Antananarivo suivant la norme ASTM D 974-04 au moyen de titrage de KOH de l'huile par l'acide perchlorique.[17]. La manipulation du titrage consiste à effectuer le dosage de l'hydroxyde de potassium (KOH) qui existe dans l'huile par l'acide perchlorique dilué dans l'acide acétique de concentration de 1mole / L [17]. La solution à titrer contient une masse de l'échantillon dissoute dans un solvant adéquat (30% d'acide acétique + 70% de benzol) et quelques gouttes de p-naphtholbenzein.[17]

- l'analyseur des teneurs en carbone, hydrogène et en azote par LECO CHN-2000

Les teneurs des échantillons d'huile et de la boue en C, H, N sont mesurées au Centre d'études des Matériaux du Laboratoire d'ADONIS d'Antananarivo utilisant l'analyseur des teneurs en carbone, hydrogène et en azote LECO CHN-2000.

L'analyseur LECO CHN-2000 (Figure 3) comporte une unité de traitement, un four, deux cellules infrarouges et une cellule TC (ThermalConductivity)



Figure 3 : Analyseur LECO CHN-2000

L'analyseur consiste à réaliser une combustion d'une masse bien déterminée de l'échantillon sous atmosphère parfaitement oxydante dans un four réglé à 950° C. La masse de l'échantillon, mesurée par une microbalance (entre 90 et 100mg), est transmise à l'unité de traitement avant son introduction à la chambre de combustion. Le carbone et l'hydrogène sont mesurés par détection de CO₂ et H₂O à l'aide des cellules infrarouges. La quantité d'azote est mesurée suivant sa variation de température lors de son passage par la cellule TC. Avant l'utilisation de l'appareil, on procède à son étalonnage par un étalon LECO ayant des teneurs précisément déterminées en carbone, hydrogène et en azote. Quant au pourcentage en soufre, nous avons utilisé l'analyseur LECO SC-144 DR du LPEE. L'analyseur LECO SC 144 DR (Photo N°3) comporte une unité de traitement, un four et une cellule infrarouge. L'analyse consiste à réaliser une combustion d'une masse bien déterminée de l'échantillon dans un four réglé à une température de 1350° C. La masse de l'échantillon mesurée par une microbalance (entre 0,1 et 0,2g) est transmise à l'unité de traitement avant son introduction à la chambre de combustion. Le pourcentage en masse de soufre est détecté sous forme de SO₂ à l'aide d'une cellule infrarouge

- Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7

La spectrométrie est l'étude de l'interaction des photons avec les molécules accompagnée d'une variation d'énergie. La quantification de l'énergie donne les valeurs possibles des niveaux d'énergie. Selon les cas, il peut s'agir d'absorption, d'émission ou de diffusion inélastique. [20]. Dans le domaine des lubrifiants, l'analyse spectrométrique infrarouge a joué un rôle capitale dans la détermination de la vie utile restante RUL (Remaining Useful Life) de l'huile de lubrification [21]. En effet, la disparition et l'apparition progressive de certains groupements fonctionnels justifient la disparition et l'apparition de certains composants de l'huile en service. Par ailleurs, la spectrométrie d'émission est une méthode d'analyse qui permet la quantification de la contamination de l'huile par des particules métalliques [22]. Cela fournit des informations très fiables sur le lubrifiant et le système lubrifié [23].



Figure 4 : Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7

L'analyse spectrale a été réalisée au laboratoire de l'Adonis Group Environnement basé à Antananarivo.

La spectrométrie d'émission atomique DCP « Direct Current Plasma » (Plasma à Courant Continu) est l'une des techniques spectrochimiques les plus couramment utilisées aujourd'hui pour mesurer la concentration des particules métalliques. La spectrométrie d'émission DCP est une méthode d'analyse rapide, précise et apte pour mesurer plusieurs éléments métalliques simultanément avec une grande sensibilité. [24, 25].

Dans la spectrométrie DCP, l'excitation de l'émission atomique se fait par un plasma d'une température d'environ de 10.000°K, dit plasma à courant continu. Ce plasma est produit par un décharge électrique stabilisé par un courant d'argon et maintenu par un noyau composé d'arcs à courant continu.

Spectromètre DCP SPECTRASPAN 7 : Le dispositif DCP SPECTRASPAN 7 est un spectromètre d'émission composé d'un dispositif d'excitation, d'un système optique, d'un système de détection et d'un module électronique.

Le module électronique est piloté par un microprocesseur (esclave) lié à un ordinateur (maître). Les données transmises à l'ordinateur sont exploitées au moyen du logiciel PLASMAVISION. Les résultats sont présentés en ppm (Particules Par Million)

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.1. L'huile monograde SAE 40

- Viscosité dynamique

Les tracés relatifs à la viscosité dynamique mesurée à 40°C et 100°C sont d'allures semblables. L'analyse des courbes obtenues indique que la qualité de l'huile de lubrification change en fonction du nombre de marche du moteur

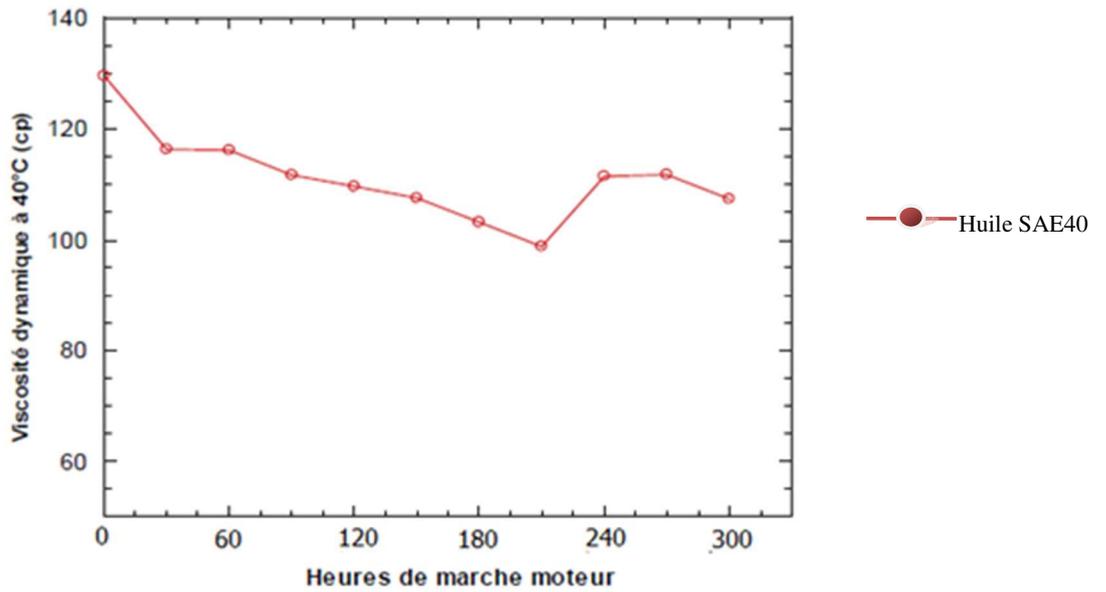


Figure 4 : Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 40° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

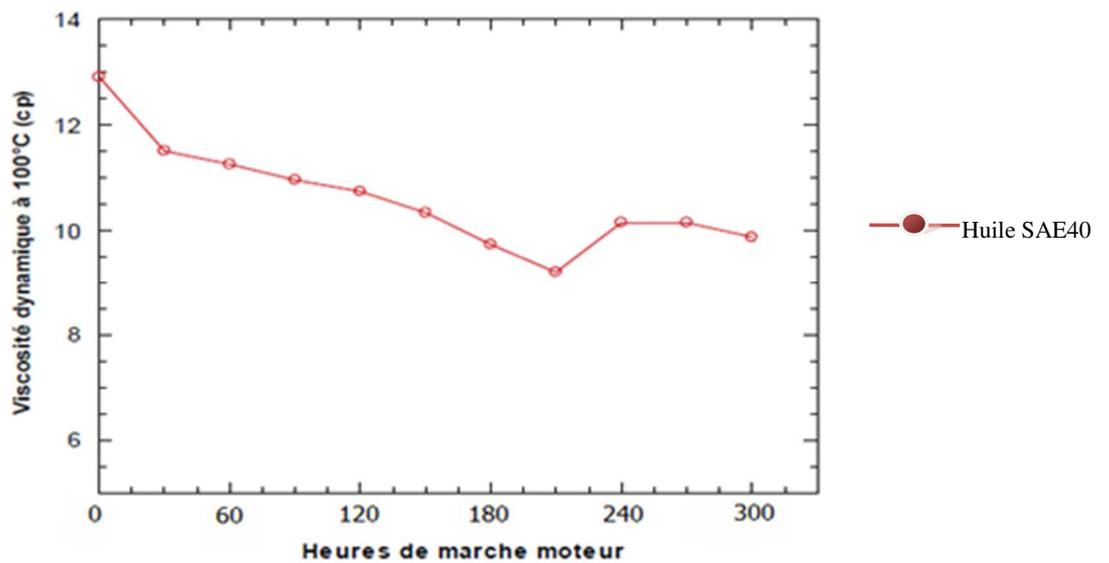


Figure 5 : Evolution de la viscosité dynamique mesurée à 100° C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

Pour un fonctionnement du moteur à 210 heures de marche, la viscosité dynamique diminue. Mais au-delà, elle subit une légère augmentation pour en décroître en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue. [13, 14]

- Viscosité cinématique

Les figures 6 et 7 représentent l'évolution de la viscosité cinématique à 40° C et 100°C respectivement de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche (HDM) du moteur

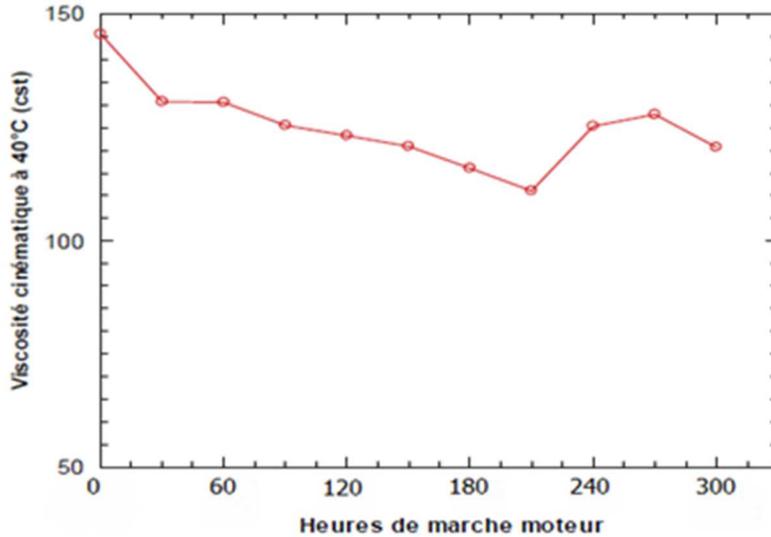


Figure 6 : Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

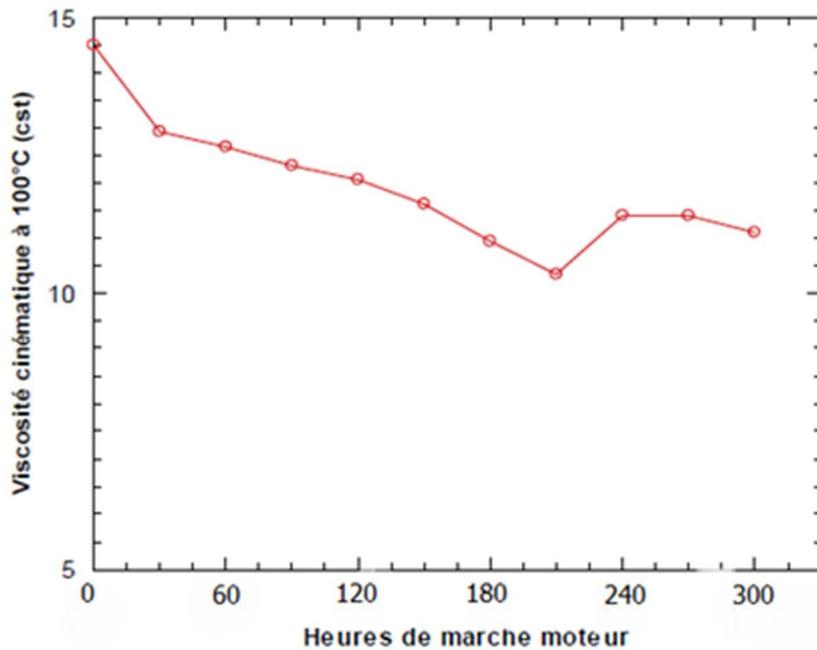


Figure 7 : Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

Dans ce cas, on note aussi que l'évolution de la viscosité cinématique mesurée à 40°C et à 100°C est la même que celle de la viscosité dynamique. Les courbes obtenues la même allure. Ce résultat montre que l'huile perd progressivement sa qualité lubrifiante initiale en fonction du nombre d'heures de marche du moteur.

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche, la viscosité cinématique décroît de manière remarquable. Mais au-delà, elle subit une légère augmentation pour s'incliner en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue.[13, 14]

La hausse de la viscosité dynamique et cinématique, observée entre 210 HDM et 240 HDM et probablement due aux produits lourds polymérisés, provoque des problèmes lors de la lubrification. En effet, lorsque l'huile atteint les parties chaudes du moteur, elle se polymérise de plus en plus et forme ainsi des dépôts. En outre, l'huile se charge d'avantage en éléments d'usure, ce qui entraîne une amplification du processus de dégradation de l'huile

- Indice de viscosité

L'indice de viscosité des différents échantillons de l'huile étudiés a été déterminé suivant la norme ASTM D 2270 à l'aide des tables ASTM. Ces tables fixent directement l'indice de viscosité comme croisement des valeurs de viscosité cinématique à 40° C et à 100° C. [13, 14]

Sur la figure 8, nous avons représenté l'évolution de l'indice d'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

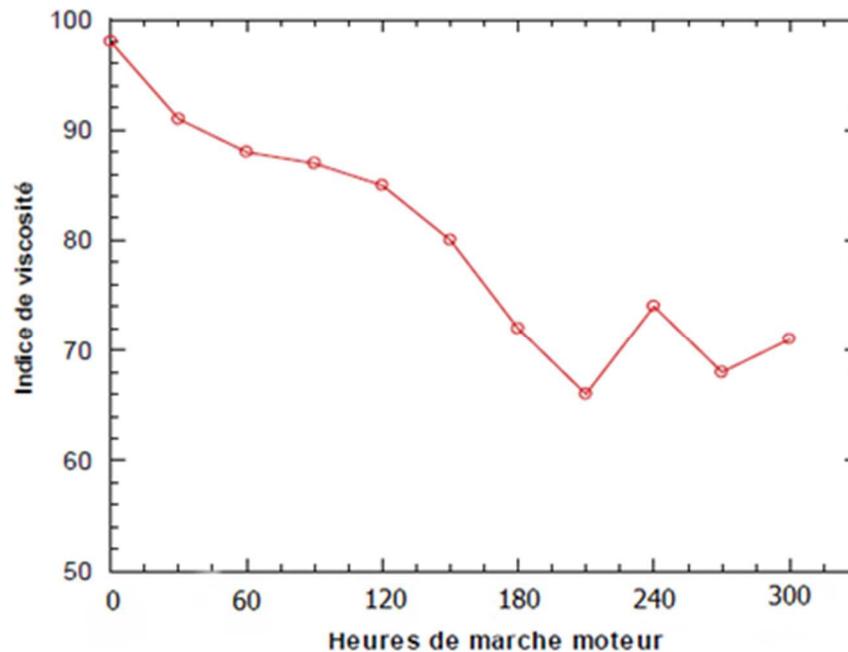


Figure 8 : Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche du moteur

Nous observons que l'indice de viscosité, qui traduit l'aptitude de l'huile à résister à la variation de température, diminue fortement en fonction des heures de marche du moteur pour atteindre son minimum à 210 HDM et croître sensiblement pour s'incliner au-delà de 240 HDM. L'analyse de la courbe montre qu'à partir de 120 HDM, la viscosité de l'huile devient très sensible aux gradients de température rencontrés en dépit de sa valeur assez élevée aux températures étudiées.

- Point éclair

La figure 9 donne l'évolution du point éclair de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

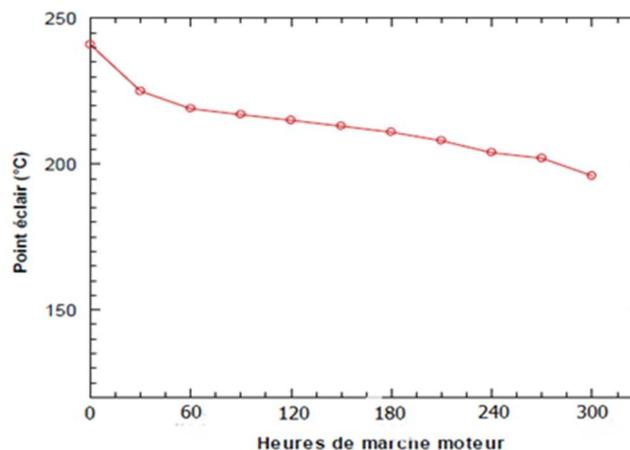


Figure 9 : Evolution du point éclair d'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur

Cette figure montre qu'au cours du fonctionnement du moteur, le point éclair connaît au début une chute remarquable pour décroître d'une façon pratiquement linéaire lorsque le nombre d'heures de marche augmente. Cela est probablement dû à la perte de la stabilité thermique du lubrifiant. Nous reviendrons sur ce point de l'étude du comportement thermique des matériaux

- Indice de basicité totale (TBN)

L'évolution du TBN de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur est présentée sur la figure 10

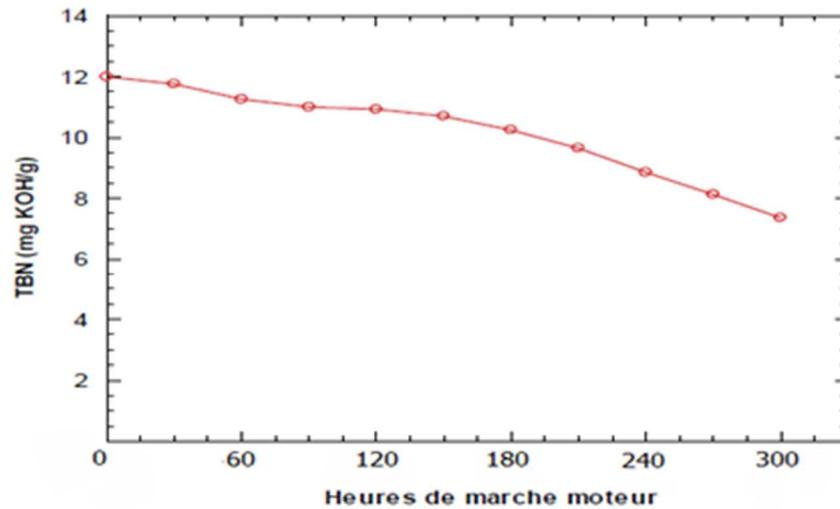


Figure 10 : Evolution du TBN de l'huile de lubrification SAE40 en fonction des heures de marche

Dès la mise en service de l'huile de lubrification, le TBN commence à décroître. En effet, dans le cadre de sa fonction requise, l'huile neutralise au fur et à mesure les acides formés désagréablement et ayant un impact corrosif sur les surfaces lubrifiées. A partir de 150 HDM, la diminution du TBM devient importante et l'huile perd excessivement la faculté de vaincre l'acidité produite lors du fonctionnement du moteur

- Teneur en cendres sulfatées

Le tableau 1 montre les teneurs de l'huile de lubrification en carbone, hydrogène, azote et en soufre en fonction des heures de marche du moteur

Tableau 1 : Composition élémentaire de l'huile (en %) en fonction des HDM

Eléments en%	Heures de marche			
	0	100	200	300
Carbone	85,18	84,87	84,82	84,76
Hydrogène	12,82	13,03	13,06	13,11
Azote	0,137	0,082	0,078	0,080
Soufre	1,21	0,574	0,577	0,605

Le tableau 7 montre que les teneurs de la boue en carbone, hydrogène, azote, et en soufre en fonction des heures de marche du moteur

Tableau 2 : Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM

Eléments	Heures de marche

	100	200	300
Carbone	87,85	87,37	88, 22
Hydrogène	8,016	8,48	8,39
Azote	0,1536	0,1203	0,1149
Soufre	1,685	0,863	0,892

La teneur en soufre de l'huile en service connaît une chute aigue durant les premières 100 HDM pour prendre une valeur presque stable durant les 300 HDM qui viennent. Cela montre que l'huile de lubrification subit, dès sa mise en service, une grande transformation.

La boue éliminée par nettoyage de la centrifugeuse par l'intermédiaire de vilebrequin après les premières 100 HDM contient une quantité importante de soufre. En effet, la purification centrifuge a pour but de récupérer les éléments polluants contenus dans le lubrifiant.

Dans ce qui précède, nous avons vu que l'huile subit plusieurs changements rhéologiques et physico-chimiques lors de la lubrification. Par ailleurs, le lubrifiant ne pourrait échapper à une pollution de particules métalliques générées par usure du moteur, ce qui affecte bien sa structure. A cet effet, nous allons procéder, dans le chapitre suivant, à une étude spectrométrique.

- Etude spectrométrique

Les résultats des huiles en service obtenus par spectrométrie montrent que les principaux éléments générés par usure des surfaces en contact du moteur sont le fer, le cuivre et chrome.

Sur les figures 11, 12, 13, nous avons regroupé l'évolution du taux des éléments précités relatifs à l'huile et aux boues en fonction des heures de marches du moteur diesel.

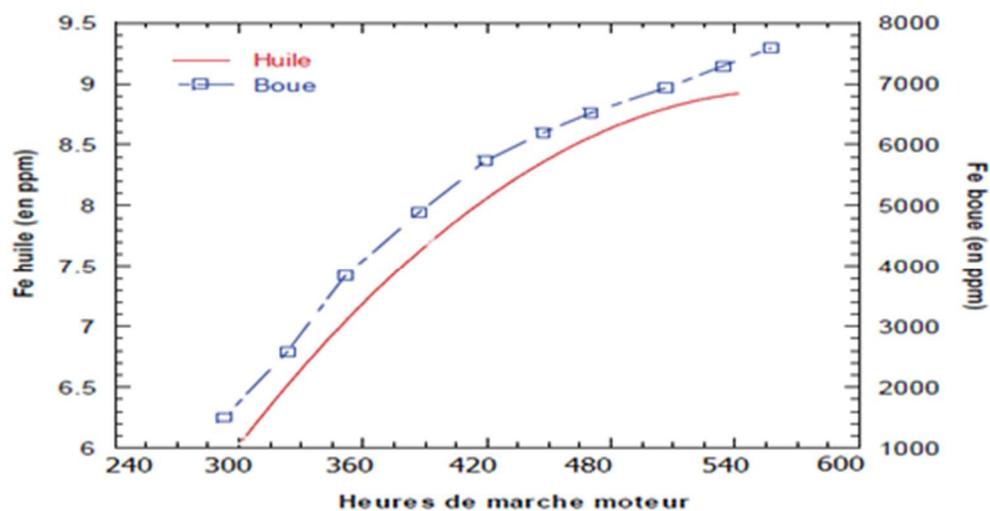


Figure 11 : Variation du taux de Fer (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche du moteur

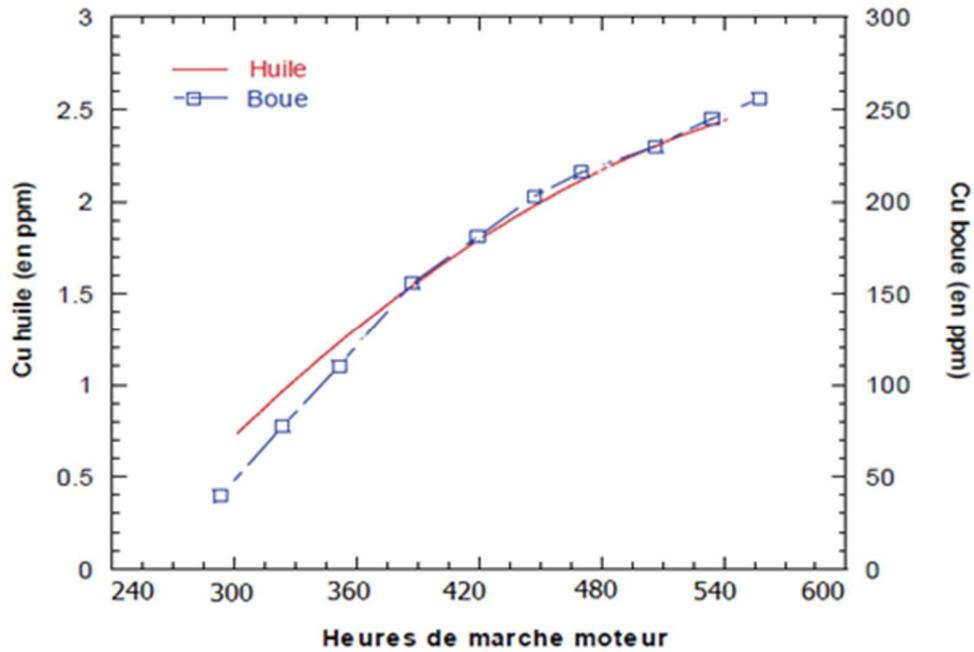


Figure 12 : Variations du taux de Cuivre (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonctions des heures de marche

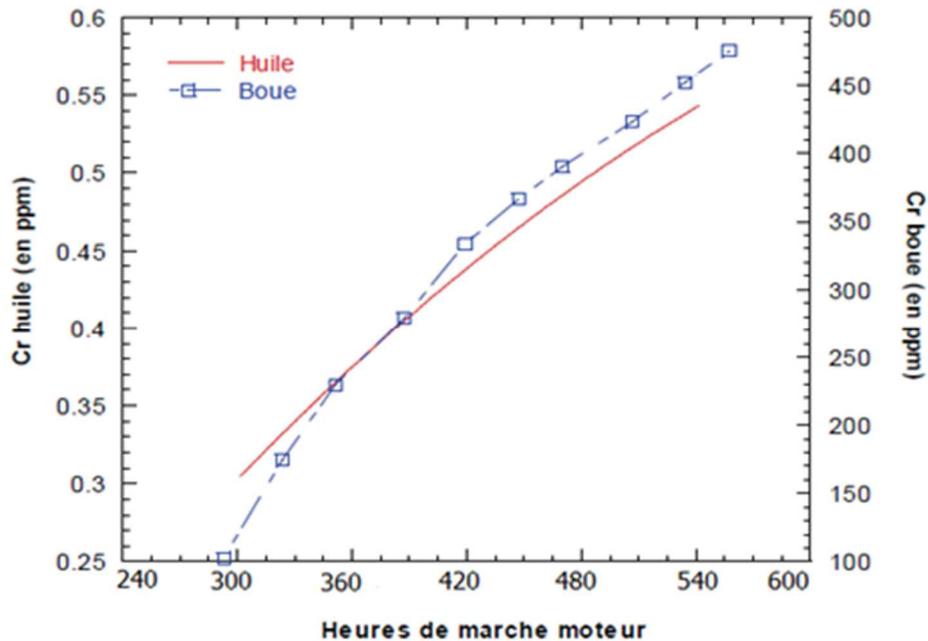


Figure 13 : Variation du taux de Chrome (en ppm) dans l'huile SAE40 et dans les boues en fonction des heures de marche

Les résultats obtenus montrent une ressemblance qualitative entre l'allure des courbes relatives à l'évolution du taux de chacun des éléments métalliques majoritaires contenus dans l'huile SAE40 et dans les boues. Ceci prouve l'efficacité du système de purification centrifuge comme le vilebrequin pour ce genre de moteurs.

Aussi, le rapport entre les taux des particules métalliques respectivement présentes dans l'huile et dans les boues confirme que l'huile SAE40 a effectivement l'aptitude de se débarrasser facilement de la contamination causée par l'usure du moteur.

Par ailleurs, l'usure du moteur IVECO/ TTF8045.045.939 régénère, au niveau des chemises des particules en fer, au niveau des coussinets des particules en cuivre et au niveau des jupes des pistons des particules en aluminium. Ainsi, les résultats des figures 11, 12, 13 indiquent les endroits les plus usés du moteur durant la période de fonctionnement étudiée.

Ces courbes présentent une progression logarithmique avec une tendance vers la saturation. Cependant, pour un régime de fonctionnement de moteur bien déterminé, la régénération des particules métalliques par usure est quasiment stable. En outre, les additifs anti-usures s'absorbent sur les surfaces lubrifiées et se sacrifient pour créer un contact chimique/chimique au lieu d'un contact métal/métal.

La perte progressive des additifs anti-usures causerait ainsi une augmentation du taux d'usure du moteur et par la suite une régénération excessive des particules métalliques.

Les additifs dispersants et détergents ayant pour rôles de maintenir les impuretés en suspension dans l'huile, d'empêcher un éventuel dépôt de particules (particules carbonées, poussières et microparticules métalliques) sur les pièces mécaniques et enfin les véhiculer vers l'extérieur du moteur lors de sa vidange, connaissent progressivement une déplétion.

La déplétion des additifs dispersants et détergents fait perdre à l'huile la propriété de maintenir les particules métalliques d'usure et d'autres impuretés en suspension. En effet, la progression logarithmique des courbes de la charge de l'huile en particules métalliques générées par l'usure du moteur est due à la déplétion des additifs dispersants et détergents

3.2. Huile multigrade SAE 20W40

- Viscosité dynamique

Les tracés relatifs à la viscosité dynamique mesurée à 40°C et à 100°C sont d'allures semblables comme montré aux Figures 14 et 15. L'analyse des courbes indique que la qualité de l'huile de lubrification change en fonction du nombre d'heures de marche du moteur. Mais on constate une amélioration de dégradation d'huile sur la courbe dès qu'on a changé l'huile à tester par l'huile 20SAEW40

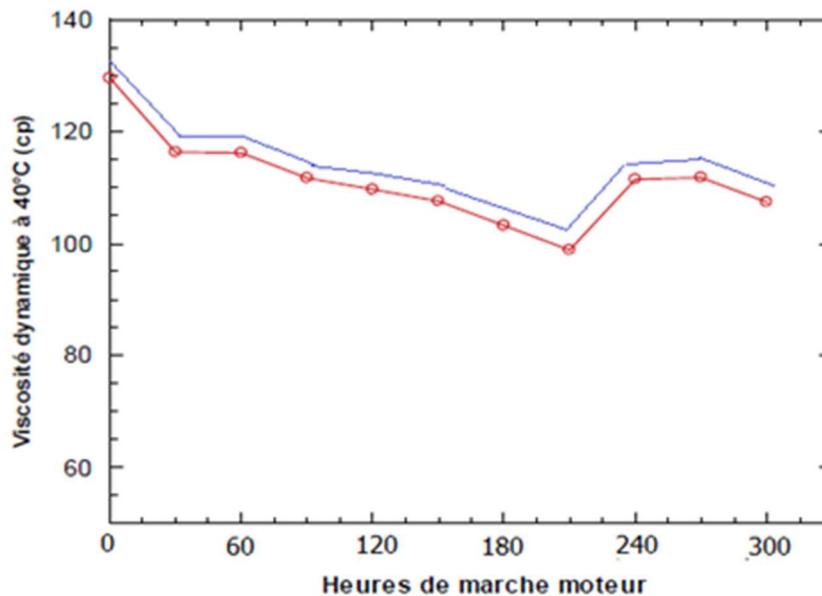


Figure 14 : Evolution de la viscosité dynamique à 40°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur

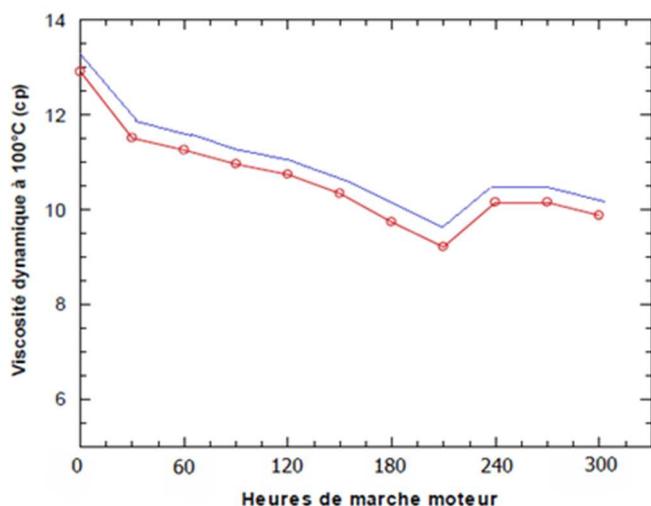


Figure 15 : Evolution de la viscosité dynamique à 100°C de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche de moteur

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche la viscosité dynamique de l'huile 20W40 diminue aussi mais par rapport à l'huile SAE40, on a constaté une amélioration de dégradation d'huile en tant qu'huile multigrade SAE 20W40 prouvée par la différence ou l'écart de deux courbes. Or au-delà, elle subit une légère augmentation pour décroître en fin.

- Viscosité cinématique

La viscosité cinématique de nos échantillons a été mesurée à deux températures 40°C et 100°C. Les figures 16 et 17 représentent l'évolution de la viscosité cinématique à 40°C et 100°C respectivement de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche (HDM) du moteur

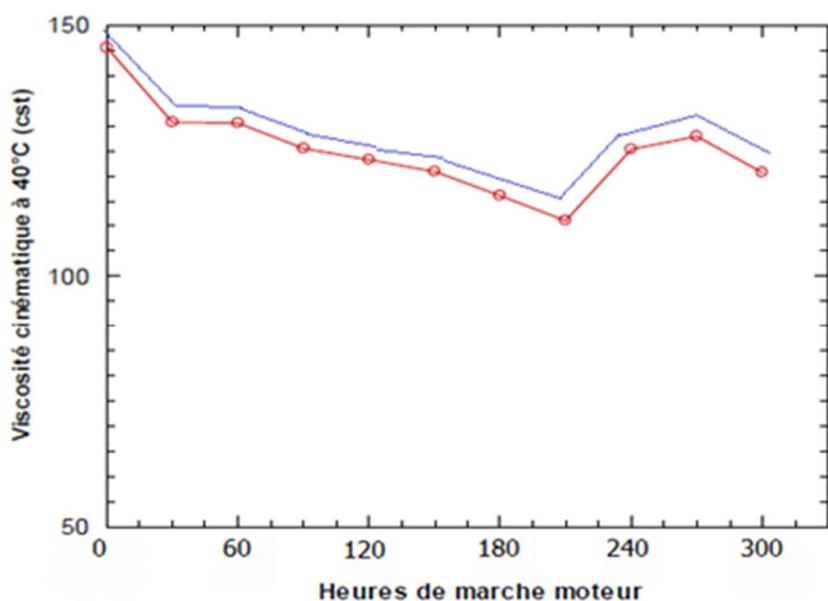


Figure 16 : Evolution de la viscosité cinématique à 40°C de l'huile de lubrification 20W40 en fonction des heures de marche du moteur

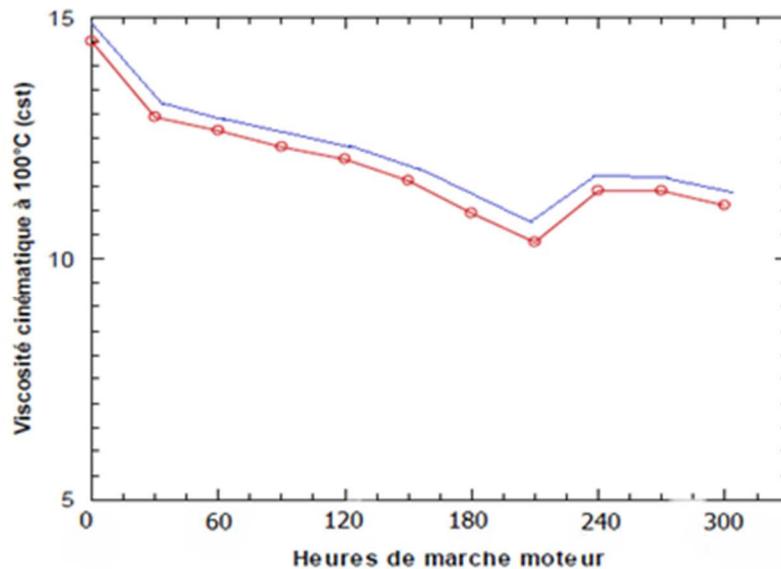


Figure 17 : Evolution de la viscosité cinématique à 100°C de l'huile de lubrification SAE 20W40 en fonction des heures de marche du moteur

Dans ce cas, on note aussi que l'évolution de la viscosité cinématique mesurée à 40°C et 100°C est la même que celle de la viscosité dynamique. Les courbes obtenues détiennent la même allure. Ici, le résultat montre que l'huile reprend progressivement sa qualité lubrifiante en fonction du nombre d'heures de marche moteur par rapport à l'huile de lubrification SAE40.

Pour un fonctionnement du moteur inférieur à 210 heures de marche, la viscosité cinématique décroît de manière remarquable aussi mais par rapport à l'huile de lubrification SAE40, on a décelé une amélioration de dégradation en tant que huile multigrade 20SAE40, prouvée par la différence ou l'écart de deux courbes. Or au-delà, elle subit une légère augmentation pour s'incliner en fin. Ceci est dû au phénomène d'épaississement engendré par la suie et la formation excessive de la boue.

La hausse de la viscosité dynamique et cinématique est la même que la précédente, observée entre 210 HDM et 240 HDM et probablement due aux produits lourds polymérisés, provoque des problèmes lors de la lubrification. En effet, lorsque l'huile atteint les parties chaudes du moteur, elle se polymérise de plus en plus et forme ainsi des dépôts. En outre, l'huile se charge d'avantage en éléments d'usure, ce qui entraîne une amplification du processus de dégradation de l'huile.

- Indice de viscosité

Sur la figure 18, nous avons représenté l'évolution de l'indice de viscosité de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur.

Nous observons que l'indice de viscosité, qui traduit l'aptitude de l'huile SAE20W40 à résister à la variation de température, diminue parallèlement avec l'huile SAE40, c'est à dire elles ont les mêmes allures sur la courbe en fonction des heures de marche du moteur pour atteindre son minimum à 210 HDM et croître sensiblement pour s'incliner au-delà de 240 HDM, mais par rapport à l'huile SAE40, on a découvert une sensible amélioration de dégradation d'huile, celle de la différence entre les deux courbes qui est bien mis en évidence sur le graphe. L'analyse de la courbe montre qu'à partir de 120 HDM, la viscosité de l'huile devient très sensible aux gradients de température rencontrés en dépit de sa valeur assez élevée aux températures étudiées

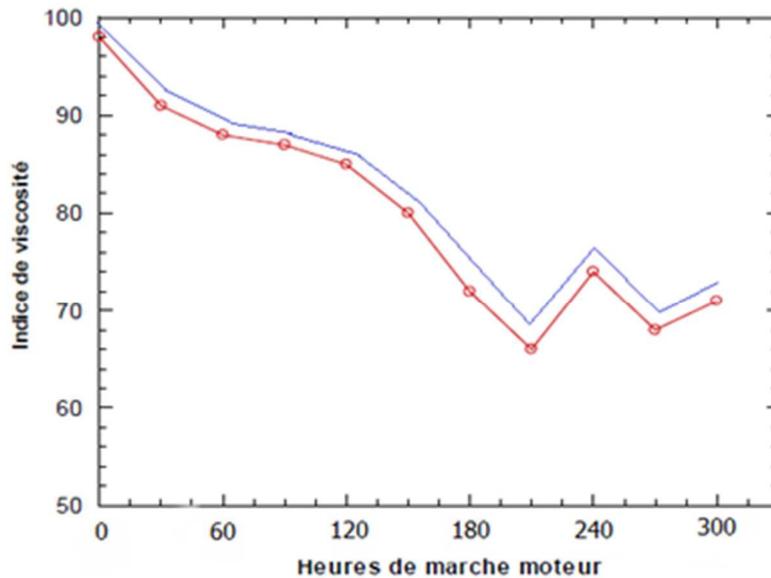


Figure 18 : Evolution de l'indice de viscosité de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche

- Point éclair

Ainsi, la figure 19 donne l'évolution du point éclair de l'huile de lubrification en fonction des heures de marche du moteur.

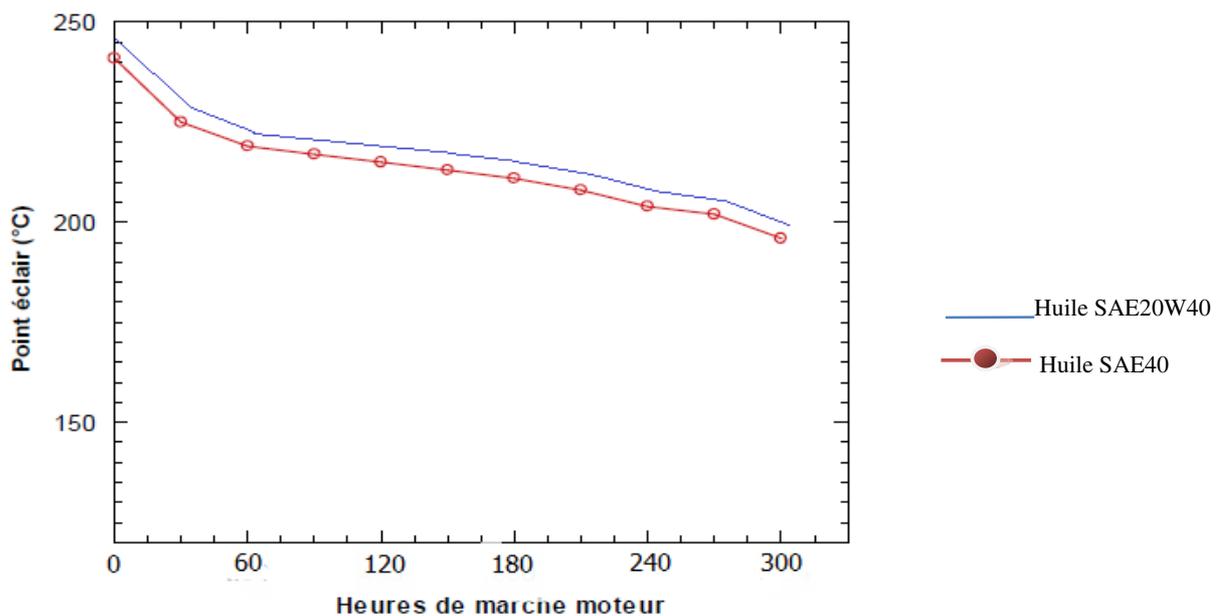


Figure 19 : Evolution de point éclair de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche

Cette figure 19 démontre qu'au cours du fonctionnement du moteur, le point éclair connaît au début une chute remarquable pour décroître d'une façon pratiquement linéaire aussi lorsque le nombre d'heures de marche augmente. Cela est probablement dû à la perte de la stabilité thermique du lubrifiant, mais au regard de l'huile monograde SAE40, on constate un changement en termes de point éclair, celui de l'écart affiché entre le SAE20W40 et le SAE40, c'est-à-dire le point éclair augmente de valeur autant dire qu'il revient un peu dans le sens positif de son état initial.

- Indice de basicité totale (TBN)

L'évolution du TBN de l'huile de lubrification SAE20W40 en fonction des heures de marche du moteur est présentée sur la figure 20.

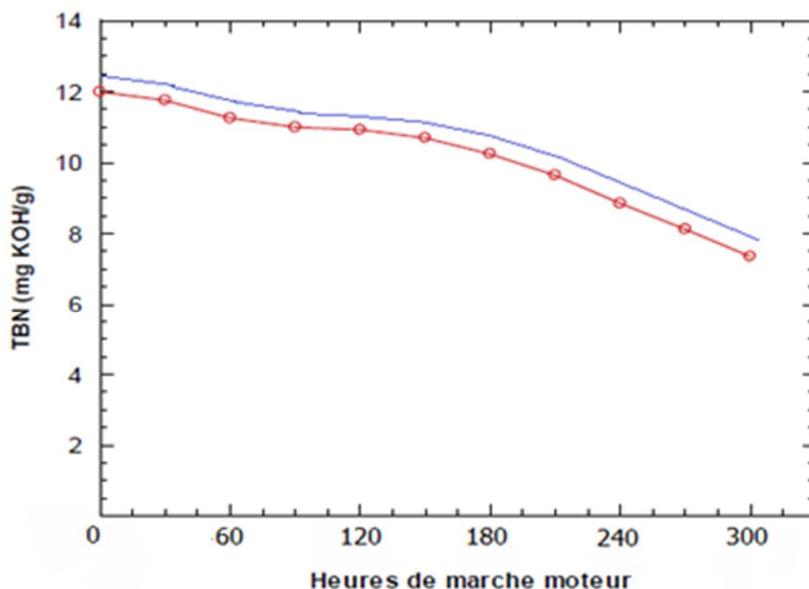


Figure 20 : Evolution du TBN d'huile de lubrification SAE20W40 des heures de marche du moteur

Dès la mise en service de l'huile de lubrification SAE20W40, le TBN commence à décroître mais n'est pas si remarquable que ça par rapport au SAE40 selon la courbe affichée. En effet, dans le cadre de sa fonction requise, l'huile neutralise au fur et à mesure les acides formés désagréablement et ayant un impact corrosif sur les surfaces lubrifiées. A partir de 150 HDM, la diminution du TBN devient importante et l'huile perd excessivement la faculté de vaincre l'acidité produit lors du fonctionnement du moteur mais ici en huile SAE20W40, elle a encore la faculté de vaincre l'acidité grâce à sa propriété et la qualité supérieure de l'huile. On constate ici que l'huile résiste à la faculté d'être vaincu par l'acidité

- Teneur en cendres sulfatées

Tableau 3 : Composition élémentaire de l'huile SAE20W40 (en%) en fonction des HDM

Eléments	Heures de marche			
	0	100	200	300
Carbone	85,18	84,87	84,82	84,76
Hydrogène	12,82	14,03	14,06	14,11
Azote	0,137	0,083	0,079	0,081
Soufre	1,21	0,675	0,678	0,806

Tableau 4 : Composition élémentaire des boues (en %) en fonction des HDM

Eléments	Heures de marche			
	0	100	200	300

	100	200	300
Carbone	87,85	87,37	89,22
Hydrogène	8,016	8,48	9,39
Azote	0,1536	0,1203	0,1249
Soufre	1,685	0,883	0,893

La teneur en soufre de l'huile en service connaît aussi une chute aigüe durant les premières 100 HDM pour pendre une valeur stable durant les 200 HDM qui viennent. Cela montre que l'huile de lubrification subit, dès sa mise en service, une grande transformation. La boue éliminée par nettoyage de la centrifugeuse après les premières 100 HDM contient une quantité importante de soufre. En effet, la purification centrifuge a pour but de récupérer les éléments polluants contenus dans le lubrifiant. De ce qui précède, nous avons vu que l'huile subit également plusieurs changements rhéologiques et physico-chimiques lors de la lubrification. Par ailleurs, le lubrifiant ne pourrait échapper à une pollution de particules métalliques générées par usure du moteur, ce qui affecte bien sa structure. A cet effet, nous procéderons dans le chapitre suivant à une étude spectrométrique, de la même manière que nous avons mené l'action du précédent.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

La gamme de lubrifiants Fuel Economy est recommandée pour tous types de matériels Agricoles (huiles tracteurs, huiles moissonneuses-batteuses...) et tous types de motorisation non dépollués ou de technologie récente répondant à la norme de dépollution Europe Phase I (EPA TIER 1), Europe Phase II (EPA TIER 2) et Europe Phase IIIa (EPA TIER 3). C'est une nouvelle formulation, nouvelles performances et une huile synthétique haut de gamme de technologie Low SAPS et Fuel Economy.[29]

4.1. Les principaux avantages du lubrifiant

Homologations

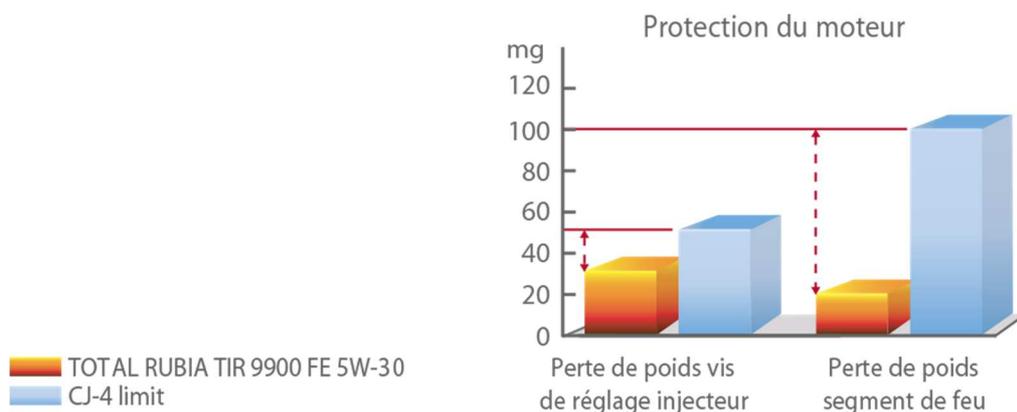
Lubrifiant dûment agréé (selon les spécifications internationales et des constructeurs) bénéficiant des homologations les plus strictes des constructeurs européens et américains. -Normes internationales : ACEA E6/E9 • API CJ-4 - Normes des constructeurs : Mercedes : MB-Approval 228.51 • MAN : M 3477 VOLVO : VDS-4 • Mack EO-O Premium Plus • DAF RENAULT TRUCKS : RLD-3 • CUMMINS : CES 20081

Intervalles de vidange allongés

TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 est spécialement recommandée par tous les constructeurs européens et américains pour ses très longs intervalles de vidange grâce à ses exceptionnelles propriétés anti-oxydantes et anticorrosion. TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 offre de plus une énorme valeur ajoutée aux gestionnaires de flottes en réduisant significativement leurs coûts de maintenance.

Protection exceptionnelle des moteurs

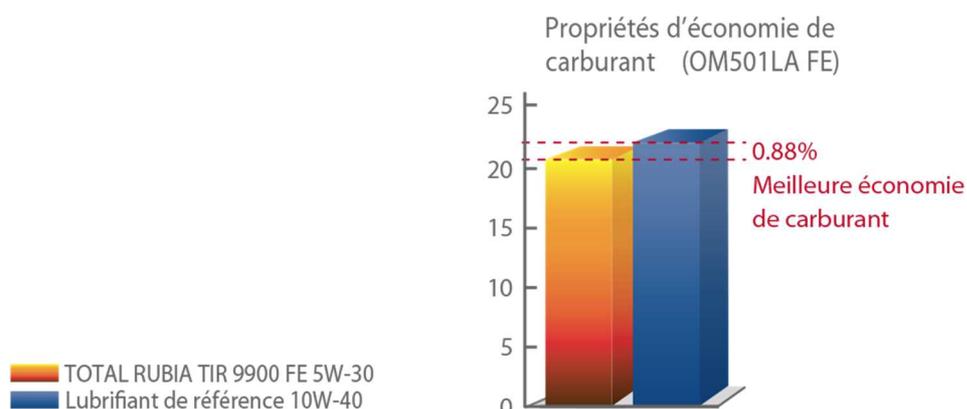
Excellentes performances anti-usure, démontré sur les tests effectués sur moteur Cummins ISM. -> TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 protège votre moteur, quelles que soient les conditions de fonctionnement : livraisons, arrêts fréquents, charges importantes, etc.



Les propriétés anti-usure de l'huile TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 protègent de manière optimale les organes du moteur.

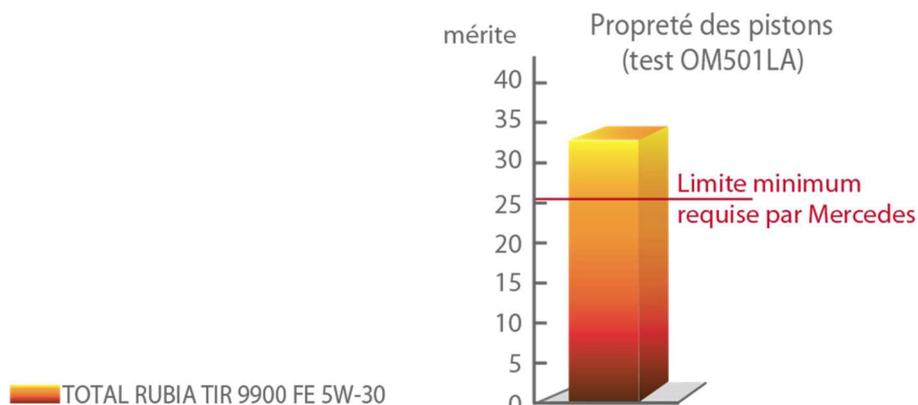
Excellentes propriétés d'économie de carburant

Comme prouvé sur les essais menés sur des moteurs Mercedes OM501LA FE, le lubrifiant TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 permet de réduire sa consommation de carburant de manière considérable. TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 permet d'économiser 1 L aux 100 km ou 3 % si elle est utilisée conjointement à des lubrifiants Fuel Economy pour transmissions.



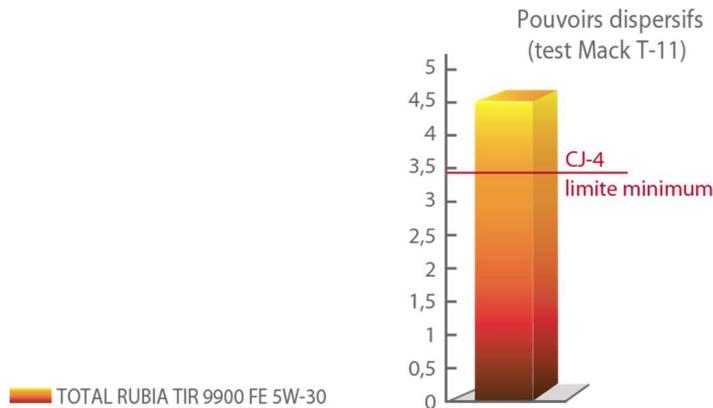
Excellente propreté des pistons

Comme prouvé sur les tests effectués sur des moteurs Mercedes de référence OM501LA, à un niveau de performance MB-228.51, l'huile TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 assure une propreté exceptionnelle aux pistons et donc une excellente protection contre le polissage de l'alésage et l'usure des cylindres.



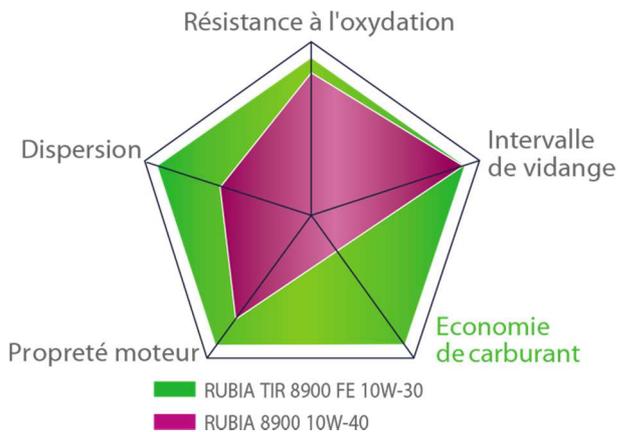
Excellents pouvoirs dispersifs

Comme démontré sur les tests de moteurs Mack T-11, TOTAL RUBIA TIR 9900 FE 5W-30 peut supporter un niveau extrême de suie.



Bénéfices d'utilisation

Lubrifiant très haut de gamme permettant de satisfaire les exigences les plus pointues. Protection du moteur et du filtre à particules, qualités dispersantes, économies du carburant... Les performances techniques de l'huile RUBIA TIR 8900 FE lui ont permis de dépasser les exigences des tests constructeurs les plus sévères, et en font un



4.2. Principaux atouts

Homologations

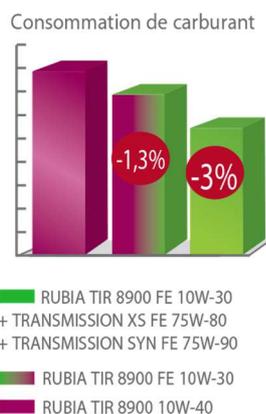
Le respect des normes internationales ainsi que certaines normes constructeur.

- *Homologations internationales* : ACEA E6 / E7 / E4-99 issue 3 • API CI-4

- *Homologations constructeurs* : Mercedes : MB-Approval 228.51 • Man : M 3477 / M 3277-CRT/ 3271-1 • Volvo : VDS-4 • Renault Trucks : RLD-3 • MACK EO-O Premium Plus • DAF • ScaniaLowAsh

Un lubrifiant qui allie les technologies du lowsaps et du fuel economy

- Fuel Economy : économies de carburant certifiées par le TÜV.



Le TÜV*, après avoir assisté aux tests réalisés sur un MAN TGX 440, a certifié que RUBIA TIR 8900 FE permet des économies de carburant de 1,34%. (*Organisme de certification allemand indépendant)

Combinée avec un lubrifiant pour transmission Fuel Economy, les économies de carburant atteignent 3%.

- Low SAPS : préservation du filtre à particules.

Sa faible teneur en cendres sulfatées, soufre et phosphore permet d'éviter l'encrassement du filtre à particules.

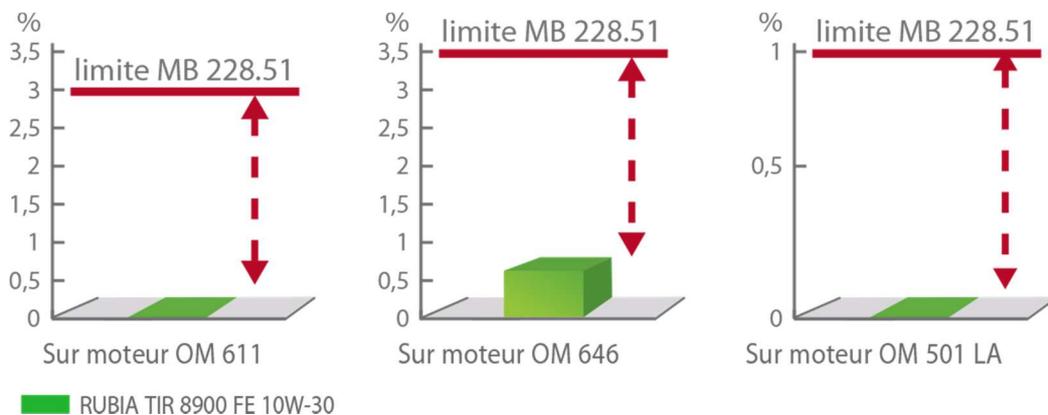
Garantie d'intervalles de vidange extrêmes

L'huile moteur RUBIA TIR 8900 FE permet d'atteindre des intervalles de vidange optimaux : le lubrifiant a obtenu les normes Mercedes et MAN les plus exigeantes.

Rubia Tir 8900 Fe Protege Votre Moteur

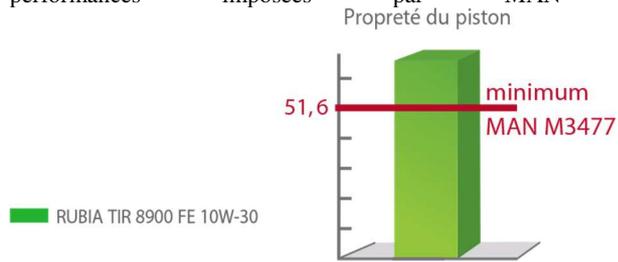
- Protection du moteur grâce à ses performances anti-usure qui minimisent le polissage de la chemise.

Dans le moteur, le piston en action frotte contre la chemise et la détériore. Le lubrifiant limite cette usure. Sur les tests normalisés opérés sur trois moteurs Mercedes, RUBIA TIR 8900 FE dépasse très largement les exigences requises.



- Propreté optimale du piston.

La propreté du piston est un parfait indicateur de performance d'un lubrifiant. RUBIA TIR 8900 FE va au-delà des performances imposées par MAN pour l'obtention de sa norme.



L'huile TOTAL RUBIA TIR 990 FE 5W-30 est une huile multigrade synthétique composée chimiquement dont les caractéristiques standards fournies par le fabricant sont indiquées sur le tableau N°11.

REFERENCES

- [3] Florent P., Lauton G., Lauton M., *Equations et systèmes différentiels, Tome IV*, Edition France 1978.
- [13] Castrol, ABC du graissage, Structure, Utilisation et Propriétés des lubrifiants. HC 04(2003)
- [14] K. Malal, Thèse de doctorat, Contribution à l'étude de l'influence de la rigidité et des effets non newtoniens dans le contacts severs lubrifiés, Institut national des Sciences Appliquées de Lyon (2003)
- [15] <https://www.iespm.fr/analyse-huile-moteur/>
- [16] J. Weismann. Carburants et combustibles pour moteurs à combustion interne. Edition Technip. (1970) 557-579
- [17] Mark A. Nicholls, Than Do, Peter R. Norton, Masoud Kasrai, G. Michaël Bancroft, Review of lubrication of metallic surfaces by zinc dialkyl-dithiophosphates. Elsevier. Tribology international 38 (2005) 15-39
- [18] Mridul Gautan, Karthik Chitoor, Murali Durbha, Jerry C. Summers. Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear-investigation of novel formulation. Elsevier. Tribology International 32 (1999) 687-699
- [19] John J. Truhan, Jun Qub, Peter...Blau. The effect of lubricating oil condition on the friction and wear of piston ring and cylinder liner materials in a reciprocating bench test. Elsevier. Wear 259 (2005) 1048-1055.
- [20] M. Chabanel, P. Gressier. Liaison chimique et spectroscopie. Ellipse (1991).
- [21] Benzing R, Goldblatt I, Hopkins V, Jamison W, Mecklenburg K, Peterson M. Friction and wear devices. American Society of Lubrication Engineers (1976)
- [22] S. Tsiarshka. Master of Science in Mechanical Engineering. Georgia Institut of Technology (2006)
- [23] P. Vahaoja. Oil analysis in machine diagnostics. ACTA Universitatis Ouluensis. A. Scientiae Rerum Naturalium 458 (2006).
- [24] James W. Ball, D. Kirk Nordstrom, Everett A. Jenne, Davison V. Vivit. Chemical analysis of hot springs, pools geysers, and surface waters from yellowstone national park, wyoming and vicinity. Science for a changing world (1998).
- [25] Joint oil analysis program manual (Volume I). 0817LP1046015. Direction of Commander, Naval Air Systems Command (2005).
- [26] Motor_oil_SAE_20W_40.pdf
- [27] https://fr.wikipedia.org/wiki/Huile_moteur
- [28] https://fr.wikipedia.org/wiki/Huiledesynt%C3%A8se_moteur
- [29] <https://www.lubricants.total.com>
- [30] Modélisation du réseau de distribution d'eau potable de la zone ouest de la ville d'ANTANANARIVO à partir du surpresseur d'Anosizato, 2009.
- [31] Fiabilité d'une installation de raffinerie : Modélisation et Simulation du système, 2012.
- [32] Modélisation hydrologique dans le sous-bassins versants d'Ambohimanarina II et de Kianjavato, Région de Vatovavy Fitovinany, Mémoire d'ingénieur, Mines, ESPA, 2014.
- [33] Jean -Marie DE CONTO, *Mesures physiques*, Edition UIT Grenoble.
- [34] Florent P., Lauton G., Lauton M., *Equations et systèmes différentiels, Tome IV*, Edition France 1978.
- [35] ALLARD, Equations différentielles , LIDEC.

- [36] J.DIXMIER, Cours de mathématiques du premier cycle , Gauthier-Villars.
- [37] N.PISKOUNOV, Calcul différentiel et intégral, Edition MIR.
- [38] G.HACQUES, Algorithme numérique, Armand Colin.
- [39] Gérard Colombari et Jacques Giraud, Sciences industrielles pour l'ingénieur , 1^{er} Année, 2005
- [40] Modélisation mathématique et numérique des fluides à l'échelle nanométrique, Rémi JOUBAUD. Université Paris-Est 2012.
- [41] [http:// www.ac-nancy-metz.fr/cpge-pmf-epinal/Cours_TD.../cours_asservissement.pdf](http://www.ac-nancy-metz.fr/cpge-pmf-epinal/Cours_TD.../cours_asservissement.pdf): /consulté le 08 Décembre 2018
- [42] [http:// www.academia.edu/30496344/Polycopie_D_Rached](http://www.academia.edu/30496344/Polycopie_D_Rached): consulté le 24 Janvier 2018
- [43] http://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/Polycopie_D_Rached:consulté le 24 Janvier 2018
- [44] [http:// www.technologuepro.com/cours.../chapitre-5-systeme-de-premier-ordre](http://www.technologuepro.com/cours.../chapitre-5-systeme-de-premier-ordre): consulté le 24 Janvier 2018
- [45] [http:// www.hec.ca/cam/rubriques/modelisation](http://www.hec.ca/cam/rubriques/modelisation): consulté le 24 Janvier 2018
- [46] [http:// www.cphpt.polytechnique.fr.../livre.pdf](http://www.cphpt.polytechnique.fr.../livre.pdf): consulté le 24 Janvier 2018
- [47] [http:// www.mathworks.com/discovery/modelin...](http://www.mathworks.com/discovery/modelin...): consulté le 24 Janvier 2018
- [48] [http:// www.mathworks.com/matlabcentral/ans](http://www.mathworks.com/matlabcentral/ans): consulté le 26 Mars 2018
- [49] [http:// www.technologuepro.com/tp-asservissement](http://www.technologuepro.com/tp-asservissement). Consulté le 26 Mars 2018
- [50] [http:// www.bh-automation.fr/download/Autom](http://www.bh-automation.fr/download/Autom): consulté le 26 Mars 2018
- [1] Michael TRAUTWEIN, Gerd Hilgers, Franz HUNDS, Bruno STEGEMANN, G. STEGEMANN, Ingenieur-gruppe Trieboteknik Wiefelstede, Mannesmann REXROTH, Harry DAUTZENBERG, Gregor KRAUSE, Anneliese BOPY, Joachim FRENZEL-PAUL, Gestion de la maintenance, CDG (Carl Duisberg Gesellschaft), Aachen- Köhl-Berlin,1988-2000.
- [2] Jean –Marie DE CONTO, *Mesures physiques*, Edition UIT Grenoble.
- [4] ALLARD, *Equations différentielles*, LIDEC. Edition France.
- [5] Dixmier J.,Gauthier VILLARD, *Cours de mathématiques de premier cycle*. Edition France.
- [6] PISKOUNOV N., Calcul différentiel et intégral. Edition MIR.
- [7] Hacques G., Armand COLIN, *Algorithme numérique*. Edition
- [8] Modélisation mathématique et numérique des fluides à l'échelle nanométrique, Rémi JOUBAUD. Université Paris-Est 2012.
- [9] <File://H:/Maintenance preventive-Wikipédia.htm>
- [10] <File://H:/Maintenance preventive-Wikipédia.htm>
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Huile_moteur
- [12] Motor_oil_SAE_40.pdf